UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Ústav životního prostředí

Hydrologická funkce fluviálních jezer v nivě Horní Lužnice

Diplomová práce

Matouš Šimek

Vedoucí práce: Doc. RNDr. Bohumír Janský, CSc.

Praha 2008

Foto 1: Předjaří v nivě PR Horní Lužnice z leteckého pohledu (autor Jan Ševčík)

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval svému školiteli Doc. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc., díky němuž jsem se nadchnul pro výzkum v říční nivě, RNDr. Davidu Pithartovi, CSc. za předání řady cenných zkušeností ze studia tůní v nivě Lužnice, Mgr. Miroslavu Šobrovi a Mgr. Juliu Česákovi z katedry Fyzické geografie a geoekologie PřF UK za pomoc při instalaci latí, mapování v terénu a zpracování mapového výstupu, celé katedře za poskytnutí technického vybavení i možnost zapůjčení některých publikací. Velký dík patří rodičům, sourozencům a přátelům za obětavou pomoc a trpělivost při měření, často v poměrně ztížených a ne zrovna suchých podmínkách (povodně apod.). Děkuji i rybářským holínkám, které vydržely časté prodírání vrbovým houštím a v neposlední řadě i přírodě PR Horní Lužnice za několik pěkných zážitků.

Obsah

1.Úvod 5

1.1.Téma a cíl práce 5

1.2. Předmět studia 6

1.3. Fenomény spjaté s dynamikou říční nivy 9

2. Charakteristika povodí Lužnice 14

2.1. Hydrografická charakteristika povodí Lužnice 14

2.1.1. Hydrografie povodí 14

2.1.2. Hydrologická specifika horní Lužnice po profil Pilař 15

2.2. Vývoj údolí Lužnice, vybraných přítoků a stav upravenosti říční sítě 17

2.2.1. Lužnice do odbočení Zlaté stoky 17

2.2.2. Lužnice a Třeboňská rybniční soustava 21

2.2.3. Dolní tok Lužnice 23

2.3. Paleogeografický vývoj povodí a hydrografické sítě 24

2.4. Geologický přehled 25

2.5. Pedologické poměry 26

2.6. Splaveninový režim 28

2.7. Hydrogeologické poměry 29

2.8. Geomorfologie území 31

2.9. Biogeografická charakteristika a územní ochrana 32

2.10. Jakost povrchových vod 36

2.11. Klimatické podmínky 40

2.11.1. Teplotní poměry 40

2.11.2. Větrné poměry, oblačnost 41

2.11.3. Srážkové poměry 41

2.12. Srážkoodtokové charakteristiky 47

3. Metodika 57

4. Výsledky terénních šetření 63

4.1. Charakteristika lokality 63

4.1.1. Popis říční nivy v PR Horní Lužnice 63

4.1.2. Charakteristika jednotlivých fluviálních jezer 66
4.2. Záznam měřených hodnot a jeho vyhodnocení 69
4.2.1. Záznam z vodočetných latí 69
4.2.2. Záznam automatické stanice 78
4.3. Základní popisná statistika naměřených dat 81
4.4. Retence při poklesu průtoku a její závislost na vybraných parametrech tůní 83
4.5. Retence při nástupu povodní a retardace jejich postupu 93
4.5.1. Rozlivy a nástup povodní 93
4.5.2. Analýza příčin a průběhu povodňových situací v období sledování 96
4.5.3. Transformace povodňových vln 100
4.6. Dílčí poznatky získané terénním šetřením 104
5. Diskuze 107
6. Závěr 111
7. Přehled literatury 117
8. Přílohy 122

1. Úvod

1.1. Téma a cíl práce

Tématem diplomové práce je studium vybraných tůní (jež jsou jedním z typů fluviálních jezer) v zachovalé přírodní říční nivě z hlediska jejich propojení s říčním ekosystémem, diverzity projevů při různých hydrologických situacích i zhodnocení faktorů, které tuto diverzitu ovlivňují. Řešené téma je součástí koncepce výzkumu na katedře fyzické geografie a geoekologie a je zpracováváno v rámci výzkumného záměru Geografické sekce PřF UK v Praze „Geografické systémy a rizikové procesy v kontextu globálních změn a evropské integrace". Práce je rovněž součástí řešení grantu VaV MŽP „Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami". Ve studované lokalitě a jejím širším okolí se v roce 2008 započalo s řešením projektu VaV agentury NAZV „Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení". Práce je tedy součástí širšího výzkumu nivy Lužnice a měla by poskytnout poznatky, na které může navázat další výzkum.

Říční nivy jsou jedním z našich nejproduktivnějších ekosystémů, jsou rezervoárem biodiverzity a také plní významnou funkci z hlediska retence vody v krajině, čímž zmírňují následky sucha i povodní (Pelc 1998). To je v současném období hrozby globálních klimatických změn a vyšší rozkolísanosti klimatu s větší pravděpodobností výskytu extrémnějších situací důležitá vlastnost, či spíše služba (Seják a Pokorný 2008). Důležitou součástí nivy jsou její stojaté vody, ať už periodické, nebo stálé. Kromě vlastní retenční kapacity těchto fluviálních jezer, která sice není vzhledem k jejich rozloze a hloubce příliš významná, ovšem plní důležitou funkci ve zdrsnění a rozrůznění povrchu nivy. Erodovaný materiál vyhloubené tůně se na jiném místě nivy ukládá a díky této dynamice je niva horizontálně a především vertikálně členitější, což je pro retenci vody a retardaci povodní zásadní (Ložek 2003). Hladina vody v jezerech vypovídá o hydrologické situaci v okolní nivě a dává představu o prostorové heterogenitě vlastností nivy ve studované lokalitě. Zjištěné poznatky se dají orientačně vztáhnout i na další podobné lokality v tomto přibližně sedmnáctikilometrovém úseku nivy (Gmünd – Tušť) s rozlohou přes 842 ha (Pithart a kol. 2008), který si udržuje po celou dobu stejný charakter (zejména jeho česká část). Práce si klade za cíl přispět k získávání nových poznatků a konkrétních kvantitativních hydrologických a fyzickogeografických údajů pro celou nivu, což je cílem dalšího výzkumu čtyřletého projektu, do kterého je zapojen jako koordinační pracoviště Ústav systémové

biologie a ekologie AV ČR v Třeboni a dále Zemědělská fakulta Jihočeské univerzity a stavební fakulta ČVUT v Praze.

1.2. Předmět studia

Práce přistupuje k fluviálním jezerům v nivě Lužnice jako součásti fenoménu výjimečných poměrů povrchového odtoku na této řece. Na Lužnici dochází k velmi výraznému zpomalení průchodu povodňových vln, které přicházejí do vodní nádrže Orlík zpravidla s dvoudenním zpožděním oproti Vltavě a Otavě (Vlasák 2007). K příčinným faktorům vyšší retence vody v povodí patří malý spád v ploché třeboňské pánvi na středním toku řeky, přítomnost četných rybníků v povodí, a také zachovalá funkční niva v jižní polovině třeboňské pánve. Niva zde doprovází horní část středního toku Lužnice. Čím blíže pramenným oblastem se vyskytují území vhodná k rozlivům, zpomalení průtokových rychlostí a vůbec k retenci vody, tím efektivněji přispívají ke zmírnění extremity povodňových situací (Janský a Kocum 2007).

Hydrologickému výzkumu skupiny fluviálních jezer z hlediska dynamiky pohybu jejich hladin byla dosud věnována v ČR poměrně malá pozornost. Většinu našich jezer přitom tvoří právě jezera fluviální. Počtem výrazně chudší jsou jezera glaciální (karová), hrazená, krasová (jeskynní), či organogenní (Janský, Šobr a kol. 2003). Po regulacích a napřimování říčních toků se přírodní říční nivy staly na území ČR vzácností. Kromě Lužnice se delší úsek hodnotné široké nivy zachoval ještě na horním toku Vltavy (Vltavský luh), střední Ploučnici, Stropnici, Smědé, Radbuze, Úhlavě a Odře, na dolní Orlici a Dyji a místy na střední a dolní Moravě (Prach 2003). V porovnání se všemi těmito nivami ta při Lužnici zaujímá přední místo z hlediska koncentrace fluviálních jezer. Konkurovat v tomto ohledu na středním toku řeky může pouze Litovelské Pomoraví na Moravě nad Olomoucí (Chytil 1999).

Fluviální jezera jsou přírodní nádrže vzniklé v souvislosti s přirozenou dynamikou řeky a pohybem vody v její nivě (Havlíková 2008). Nacházejí se nejčastěji v partiích, kde řeka protéká plochou oblastí vlastních uloženin, které jsou zpravidla snadno erodovatelným materiálem. Maximální vzdálenost fluviálních jezer od řeky je dána šířkou nivy a dynamikou erozně akumulačních procesů, které v ní probíhají. Většině fluviálních jezer odpovídá Odumova definice tůní (Odum 1977), která je označuje za malé vodní plochy s poměrně velkým litorárním pásmem a malým nebo chybějícím pásmem limnetickým a profundálním. To ovšem neplatí např. u zastíněných tůní, které žádný litorál charakterizovaný výskytem makrofyt mít nemusí (Pithart 2003).

Fluviální jezera můžeme dělit na stálá (permanentní) a dočasná (periodická). Hlavním dělícím kritériem je v tomto případě přítomnost organismů adaptovaných k vyschnutí (Williams 1996). Může nastat situace, že i stálé jezero dočasně zcela vyschne. U dočasných se to však děje pravidelně a spíše dochází k jejich dočasnému naplnění. Stálá jezera jsou v našich podmínkách vázána výhradně na říční nivu, oproti tomu některé dočasné tůně mohou vznikat po velkých letních deštích i na polích, loukách a pastvinách. Zde není jasná terminologie, co již lze považovat za tůň a co je pouze kaluží (např. definování času, po který zde setrvává voda). Tyto tůně však již nemůžeme považovat za fluviální jezera, neboť jejich vznik není spjat s činností řeky.

Fluviální jezera můžeme dále rozdělit dle mechanismu jejich vzniku (což zpravidla souvisí s jejich tvarem na říční ramena a tůně). Pokud jezero vzniklo přírodní nebo umělou změnou dráhy toku v relativně nedávné době, jedná se o tzv. říční rameno (Pechar a kol. 2004). V místě, kde se toto jezero nachází, tekla v minulosti v horizontu maximálně několik desítek let řeka. To je patrné i z tvaru jezera, kde jeho délka většinou mnohonásobně převyšuje jeho šířku a jezero vytváří oblouk. Všechna říční ramena ale nemůžeme řadit k fluviálním jezerům. Rozhodně k nim nemůžeme řadit aktivní průtočná (anastomozující, paralelní, dvojitá...) říční ramena. Pravými fluviálními jezery jsou v této kategorii tzv. mrtvá ramena (v případě vzniku antropogenní úpravou toku tzv. odstavená ramena), která nejsou na rozdíl od tzv. slepých či bočních ramen propojena ani jedním koncem s řekou. Do mrtvých ramen se říční voda povrchově dostává pouze za vyšších stavů říční hladiny. S říčním tokem jsou však hydraulicky propojeny prostřednictvím mělké podpovrchové zvodně. Zpravidla se tato ramena postupně zanášejí, nejsou příliš hluboká, dno klesá pozvolněji, takže jejich objem nebývá vzhledem k ploše velký. Často jsou výrazně zarostlá makrovegetací (Černý 1994).

Tůně naproti tomu vznikají kinetickou silou vody rozlité v nivě. Lépe erodovatelné hrubozrnější sedimenty se mohou nacházet v místech, kde v dávnější minulosti rovněž tekla řeka. Zazemňování probíhalo na různých místech různě intenzivně a někde zůstaly oválné či kruhové tůně, u kterých posléze došlo k vyhloubení a zvýraznění (Pithart a kol. 2003). Jak již bylo uvedeno, některé periodické tůně vznikají i mimo nivu a vliv rozlivů z řeky. Trvalé tůně však najdeme výhradně uvnitř niv. Tůně jsou většinou kruhové nebo oválné, mají vzhledem k povrchu hladiny poměrně velkou maximální hloubku a jejich dno klesá od břehu většinou ostře. Hodnoty relativní hloubky z_r (poměr maximální hloubky ku poloměru kruhu o stejné ploše) jsou velmi vysoké. U 50 % tůní ze 48 v nivě Lužnice byla tato hodnota větší než 5%, což je srovnatelné s kráterovými jezery (Pithart a kol. 2003). Mají tedy vzhledem k povrchu hladiny poměrně velký objem. Chemické vlastnosti vody i její oživení zde závisí na umístění

tůně v nivě, jejím zastínění a množství opadu, který se do ní dostává. V zastíněných tůních, kde navíc probíhá silně dekompozice spadaného listí, může vzniknout anoxické prostředí. Rychlost vzniku takové situace je ještě rychlejší tam, kde je hladina porostlá okřehkem, který brání pronikání dostatku světla pod hladinu (Pithart 1999).

Rozdělení nivních vod podle Amorose ukazuje tabulka (Tab. 1).

Tabulka 1: Rozdělení nivních vod

Název	Definice	Příklad
Eupotamon	Ekosystémy tekoucích vod: lotické a lentické biotopy	Hlavní tok a paralelní, anastomozující ramena apod.
Parapotamon	Víceméně stojaté vodní ekosystémy omezeně spojené s řekou	Slepá ramena propojená s řekou pouze na jednom konci (zpravidla dolním ve smyslu směru toku řeky)
Plesiopotamon	Stojaté vody nemající permanentní přímé propojení s řekou; nestabilní biotypy vysoce ovlivňované průtokem v řece	Periodické tůně, mokřady v lužních lesích přiléhající k toku, většina mrtvých ramen a některé stálé tůně zpravidla v blízkosti řeky
Paleopotamon	Stojaté vody bez permanentního propojení s řekou; spíše stabilní biotypy středně ovlivňované průtokem v řece	Většina stálých tůní a některá vzdálenější a od toku sině izolovaná stará mrtvá ramena

(Zdroj dat: Amoros a kol. 1987)

Z uvedených definic je zřejmé, že fluviální jezera v tomto rozdělení náleží k paleopotamonu, popř. plesiopotamonu.

Všechny vodní plochy v přírodní říční nivě jsou díky více či méně propustným sedimentům určitou měrou provázané, žádná není zcela izolována. To se projevuje i v kolísání hladiny všech vodních ploch v nivě v návaznosti na kolísání hladiny v řece (Pechar a kol. 2004), k čemuž však dochází s různým zpožděním. Toto zpoždění je u parapotamonu nulové, u plesiopotamonu malé, ale u paleopotamonu může být poměrně velké. S rostoucím průtokem v řece provázanost výrazně roste. Při výrazném vybřežení vodního toku dochází k propláchnutí stojatých vod povrchovou říční vodou. Rychlost nástupu povodně a členitost nivy rozhodují o tom, jak rychle se jednotlivé deprese kaskádovitě plní a k jak výraznému zpomalení postupu povodňové vlny dojde. Při mohutné povodni, která přeplaví celou šíři nivy se všechny tekoucí, stojaté i podzemní vody v nivě propojí v jeden velký vodní ekosystém. Při následném poklesu hladiny dochází znovu k izolaci a rediverzifikaci stojatých nivních vod.

Na výzkumné lokalitě při 141. říčním kilometru Lužnice již prováděl Pithart studium chemismu a oživení stojatých vod. Při opadu vody po povodni v květnu 1997 se souvislá hladina rozdělila do několika periodických i stálých tůní. Během měsíce se v nich díky

rozdílným podmínkám lišily parametry chemismu a fytoplanktonu o desítky až stovky procent (Pithart 1999). Diverzita tůní se po povodni tedy obnovuje velmi rychle. Fluviální jezera vůbec představují ve srovnání s jinými stojatými vodami (jinými typy jezer, rybníky, přehradami) časově proměnlivější a vzájemně diverzifikovanější ekosystémy (Prach 2003). Morfologicky podobná jezera se již na první pohled odlišují barvou vody či druhy makrofyt, které se tu vyskytují. Biodiverzita jednotlivých lokalit může být nízká, ale v celku je systém aluviálních vod velmi bohatý. Korelace mezi sezónním průběhem chemismu v řece a v tůni (i mezi většinou tůní navzájem) jsou většinou nízké (Pechar a kol. 1994). Mnohé tůně jsou také významně dotovány průsakem podzemní vody od říční terasy. Tato voda se může od říční vody i vody hyporeálu výrazně lišit vyšší koncentrací dusičnanů (polní hospodaření nad terasou), síranů a chloridů a nižší koncentrací fosforečnanů (Rauch a kol. 1993, Pithart 1999). Sycení tůně podzemní vodou je v těchto případech také vyrovnanější, což se projevuje například vyrovnanější teplotní bilancí (tůně pod terasou pomaleji zamrzají).

Svou roli zde hraje i menší velikost tůní, neboť se zmenšující se plochou hladiny klesá její poměr ku délce břehu. Ovlivnění okolním terestrickým ekosystémem je pak větší. Vodní sloupec je také více ovlivněn procesy v dnových sedimentech. Plocha 50% tůní z reprezentativního vzorku 48 v nivě Lužnice (Pithart a kol. 2003) spadala do rozmezí 100 – 400 m^2, přičemž 80 % z těchto tůní mělo oválný tvar, 20 % bylo kruhových. Přestože většina tůní byla eutrofního charakteru, pH jejich vody bylo mírně kyselé (kolem 6,5). V hlubších tůních, kde je hladina chráněna před větrem, dochází snadno ke stratifikaci.

1.3. Fenomény spjaté s dynamikou říční nivy

Povodňové rozlivy jsou přirozenou součástí dynamiky říčních niv (Bridge 2003). Hydrodynamické proudění při povodni, zejména při jejím nástupu, může ovlivnit tvar, zvýšit hloubku a dobu existence některých jezer. Pokud mezoreliéf v okolí tůně brání volnému průtoku vody, dochází v tůních k vířivému pohybu vody, k jejich stálému prohlubování a změně tvaru z oválného na kruhový. Důkazem vířivého pohybu je i písčitý střed dna, přestože břehy jsou bahnité (Pithart a Černý 2003). Rozlivy říční vody v nivě tedy přispívají k rejuvenaci (zmlazování) některých tůní a umožňují jejich delší existenci. Větší kinetická energie vody při velkých povodních způsobuje též vznik nových tůní. V případě mrtvých ramen bývají proplachy méně razantní, často zde dochází k nestejnoměrnému ukládání materiálu. Víme-li, při jakém průtoku je už tůň zaplavena, můžeme pro ni vypočítat parametr

„roční doba zaplavení“, který má velký význam pro chemismus a společenstva tůní (Pithart a Simon 2003).

Rozlivy vody v nivě jsou běžné. To si v minulosti lidé uvědomovali a téměř všechna svá obydlí stavěli za horní hranou terasy, kde nehrozilo nebezpečí ani při povodni v srpnu 2002. Pokud je niva dostatečně členitá (strukturovaná), postup povodňové vlny se zde díky vyššímu tření zpomalí a vlna se zploští. Drsnost přírodní nivy bývá řádově vyšší než drsnost povrchu říčního koryta. Je důležité si uvědomit, že jen malé procento vody teče při povodní korytem – většina vody teče právě po povrchu nivy. Při desetileté vodě je to v nivě Lužnice 87%, při padesátileté dokonce 91% (Pithart a Simon 2003). Niva je v úseku Gmünd – Tušť dlouhá přibližně 17 km. V šesti kilometrech nad Novou Vsí nad Lužnicí (území přírodních rezervací Lainsitzerau a Krabonošská niva) se šířka nivy pohybuje kolem 375 m, v jedenácti kilometrech pod Novou Vsí (přírodní rezervace Horní Lužnice) je to průměrně více než 500 m. Celková plocha zaplavovaného území říční nivy zjištěná pomocí GIS nástrojů je 842 ha, které pojmou při přelití do výše průměrně jednoho metru objem 8,4 mil. m^3 vody, což je větší objem, než zadržuje největší rybník Rožmberk při běžném stavu vody. Hodnoty jsou odvozeny z již zpracovaných údajů pro český úsek pod Novou Vsí (Pithart a Simon 2003). Při povodni 2002 mělo vodní těleso v této části nivy objem 11 – 17 mil. m^3. V situaci, kdy už je niva vysoko přelita, však již nedochází k účinné retenci povodňových vod (Vlasák 2006). Je potřeba připomenout, že na Lužnici se dále po toku nachází další úseky přírodních niv a plochy, kde se řeka rozlévá, aniž by ohrožovala a činila škody.

Představu o četnosti rozlivů vody v nivě Lužnice podává tabulka převzatá od Pitharta.

Tabulka 2: Počet a doba trvání rozliv v nivě Lužnice (1989 – 1995)

Rok	**1989**	**1990**	**1991**	**1992**	**1993**	**1994**	**1995**
Počet rozlivů	4	2	3	11	1	2	9
Celkové trvání rozlivů (dny)	11	7	21	60	25	30	102

(Zdroj dat: Pithart a kol. 2003)

K rozlivům v nivě tedy dochází poměrně často, ale nepravidelně. Četnost rozlivů se mezi roky dost liší. Pravidelně se vyskytují rozlivy pouze brzy na jaře (jsou však různě intenzivní a dlouhé). Řeka v nivě opouští koryto i při nižších než povodňových průtocích (v situacích, kdy hladina vody v řece ještě zdaleka nedosahuje 1. povodňového stupně).

Při rozlivech voda zaplňuje nejdříve postupně všechny deprese v nivě. Podle leteckých snímků i mapy nivy (Černý 2000) se dá plocha trvale zatopených depresí v nivě odhadnout na 30 ha. Plocha depresí zaplavovaných jen periodicky je vyšší. V nivě se voda rozlévá do velké plochy a dochází tudíž k intenzivnějšímu výparu. Při zaplavení jmenovaného úseku nivy

Lužnice se vypaří za slunečného dne 43 000 m^3, což představuje snížení průtoku o 445 $l.s^{-1}$. Transpirace vegetace (pokud není vodou zcela zaplavena) zde představuje další snížení průtoku o cca 390 $l.s^{-1}$. (Pithart a Simon 2003). Další objem vody se adsorbuje v půdě. Pokud půda již není částečně, či úplně nasycena vodou, spotřebuje 10-20 l vody na m^2. Pro nivu mezi Gmůndem a Tuští to činí 84 200 – 168 400 m^3, což představuje snížení průtoku minimálně o 950 $l.s^{-1}$ v prvním dni povodně (poté už je půda nasycena).

Rozlivy v nivě mají další pozitivní účinky. Dochází zde ke zpomalení proudu a unášecí síly vody, takže se v nivě na vhodných místech akumulují látky a živiny, které by jinak zbytečně skončily na dně přehrad či moří (a v případě přehrad ještě způsobily nežádoucí masivní rozvoj vodního květu). Na 35 km dlouhém úseku dolní Moravy došlo při povodni v roce 1997 dle bilance mezi profily k zachycení 809 000 tun sedimentů. To však nezpůsobilo v ekosystému polopřírodní nivy výrazné narušení, neboť systém niv je na to adaptován a sedimenty rychle absorbuje (Valachovič, Holubová a Šíbl 2000). Častým rozlivům je v nivách také přizpůsobena (semi)terestrická složka. Rozlivy naopak přinášejí do nivy dostatečné množství vláhy a živin, což vede k rychlému rozvoji bylinného patra a rychlému růstu dřevin. Lužní lesy v nivách řek dosahují nejvyšší produkce z našich typů lesů (Penka a kol. 1985). Jak se ukázalo, omezení záplav výrazně snížilo přírůsty dřevin v lužních lesích nad soutokem Moravy a Dyje, což vedlo až k přistoupení k jejich umělému povodňování (Valachovič a kol. 2000). Na pravidelných záplavách je též závislá produkce nivních luk, zejména typických psárkových luk. Při absenci rozlivů začne pícninářsky cenná dominantní tráva, psárka luční *(Alopecurus pratensis),* ustupovat produkčně a nutričně méně vhodným druhům trav (Prach 1992, Straškrabová a kol. 1996). Rozlivy udržují vysokou diverzitu (semi)terestrických ekosystémů nivy. Proud vody místy naruší zapojené porosty, kde se mohou uchytit druhy konkurenčně slabší. Delší rozlivy omezují výskyt běžných ruderálních druhů, které se do nivy dostávají z okolního prostředí a mohou biodiverzitu nivy značně snížit (Prach 1992, Rychnovská 1996).

Rozlivy také výrazně zvyšují diverzitu ichtyofauny. Při povodních ryby strhávané proudem z vyšších úseků nacházejí útočiště v různých zákoutích nivy, kde jsou průtokové rychlosti podstatně menší (Hartvich a kol. 1998). Pravidelné rozlivy v předjaří jsou velmi důležité pro štiku obecnou, jež v rozlitinách ukládá jikry. Ve stojatých vodách nivy nacházejí ryby většinou velké množství potravy (masivní jarní rozvoj fyto- a zooplanktonu, vyplavené terestrické hmyzí druhy...). Poté, co vzroste teplota vody (k čemuž dochází ve stojatých vodách v nivě rychleji než v řece), využívají ke tření ramena a tůně nivy Lužnice také další fytofilní a fytolitofilní druhy jako cejnek malý, perlín ostrobřichý, slunka stříbřitá, karas

obecný, kapr obecný, lín obecný, piskoř pruhovaný, sekavec písečný, i mnoho indiferentních druhů jako cejn velký, plotice obecná a okoun říční. V říčním toku a průtočných ramenech pak probíhá výtěr proudomilných druhů jako je parma obecná a podoustev říční. Rozlivy ve vhodné době plní současně roli přirozených trdlišť. V suchých obdobích se stojaté nivní vody omezují pouze na nevysoký vodní sloupec stálých tůní a ramen. Ve vodě s nedostatkem rozpuštěného kyslíku přežívají jen na kyslík nenáročné druhy jako lín obecný, úhoř říční, karas obecný či chráněný piskoř pruhovaný (Holub a kol. 2008). Ze vzácnějších rybích druhů řeky v nivě Lužnice je významná populace mníka obecného. Vyšší denzita a diverzita ryb láká do nivy také jejich četné predátory, v čele s vydrou říční. Exempláři tohoto druhu se do nivy Lužnice ještě výrazněji stahují v silných zimách, kdy mohou jen velmi omezeně lovit na zamrzlých rybnících. V posledních letech se zde začíná silně šířit nepůvodní druh norek americký (mink). Naproti tomu typický obyvatel říčních niv, bobr evropský, se v nivě řeky Lužnice nevyskytuje, přestože v povodí Moravy se početnost tohoto velkého hlodavce v posledních letech značně zvýšila a je s ním potřeba počítat jako s výrazným činitelem ovlivňujícím prostředí niv.

Široké rozlivy v přírodních nivách neohrožují životy ani majetek lidí, proto by se měly stát trvalou a důležitou součástí koncepce protipovodňové ochrany (Pelc 1998). Měly by být znovu umožněny tam, kde jim bylo uměle zabráněno, protože je zbytečné přijít o tlumivý efekt samotné přirozené krajiny kolem řeky a nemusíme do něj investovat vysoké finanční prostředky. Přirozená retence v nivě lze případně ještě zvýšit budováním poldrů (Just 2003). Tento přístup a metody se mohou doplňovat s protipovodňovými hrázemi a dalšími technickými opatřeními, které je nezbytné využít pouze v obydlených částech niv, kde řeka protéká intravilány obcí, nebo by vznikla zaplavením výrazná škoda či dokonce havarijní situace (průmyslové podniky apod.) (Janský 2008). Přehradní nádrže jsou na některých lokalitách také účinným řešením, přestože jejich retenční účinnost je menší, než se při stavbě očekávalo (Pithart 2003).

Z hlediska legislativní ochrany je v případě niv podstatné, že se staly významným krajinným prvkem v rámci obecné ochrany přírody ošetřené § 3 písm. b) zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny. Nivy jsou díky tomu chráněny před poškozováním a ničením. Při zásazích, které by mohly narušit či oslabit jejich ekologicko-stabilizační funkci (umisťování staveb, změny kultur pozemků, jejich odvodňování, úpravy vodních toků a nádrží, těžba nerostů aj.) je třeba závazné stanovisko orgánu ochrany přírody (Mlčoch 2003). K významným krajinným prvkům jsou také počítány dřeviny rostoucí mimo les, které se právě v nivách často nachází. Problémem je z legislativního pohledu přesné vymezení nivy,

což je ryze praktická otázka, jejíž řešení musí vždy probíhat *ad hoc* s přihlédnutím k výsledkům hodnocení na konkrétní lokalitě (Mlčoch 2003). Estetickou ochranu fenoménu přírodních niv lze prosazovat prostřednictvím § 12 č. 114/1992 Sb., vymezujícím ochranu krajinného rázu. Většina nejcennějších partií niv v ČR je chráněna také v rámci zvláštní ochrany přírody prostřednictvím CHKO, NP, NPR, PR, PP apod. Zde se kromě základních ochranných podmínek vymezených zákonem uplatňují bližší ochranné podmínky dané zřizovacím výnosem chráněného území a navazujícím plánem péče. K ochraně niv přispívá i vodní zákon č. 254/2001 Sb., který ukládá správcům vodních toků vysazovat a vlastníkům pozemků strpět břehové porosty přirozeného druhové skladby. Právní režim břehových porostů pak plní režim zákona o ochraně přírody a krajiny. Ve vodním zákoně je v § 47 odst. 2, písm. f) dále právně zakotvena povinnost obnovy přirozených koryt vodních toků, zejména ve zvláště chráněných územích a prvcích ÚSES (Mlčoch 2003).

V rámci přidělených finančních prostředků v rámci programu MŽP Revitalizace říčních systémů byla od roku 1992 provedena v ČR řada těchto technických revitalizací. Jen některé z nich byly provedeny tak, že se dostavil výrazný pozitivní efekt v podobě vyšší retence a zlepšení jakosti vod v místě revitalizace i několik kilometrů dále po toku (Simon a Pithart 2003). Jeden z prvních úspěšných revitalizačích projektů proběhl právě v povodí Lužnice. Jednalo se o revitalizaci potoka Včelničky, přítoku Kamenice, která je zdrojnicí Nežárky. Úpravy probíhaly v rámci komplexních opatření na pozemcích soukromého zemědělce. Část toku byla navrácena do živě meandrujícího koryta. Vznikla malá kořenová čistírna odpadních vod z obce nad pozemky a následný dočišťovací rybník. Okolo toku došlo k přeměně polních kultur na luční, k úpravě cest a výsadbám pásů stromů. V roce dokončení 1997 již bylo zaznamenáno zlepšení jakosti vody. Z hlediska dusičnanového dusíku nastalo zlepšení z V. do II. jakostní kategorie (Simon, Rauch a Rosendorf 1998). V roce 2001 už jakost vody dosáhla I. třídy, meandrující koryto se stabilizovalo a vysazený porost doplnil přirozený nálet. Projekt dokumentoval, že i malé změny ploch a nevelké zásahy mohou při vhodné lokalizaci a v kombinaci s dalšími opatřeními přinést výrazný pozitivní efekt. Další zdařilá revitalizace byla na území jižních Čech provedena např. na potoce Borová v CHKO Blanský les (povodí Polečnice), jejíž pozitivní retenční účinek se projevil brzy po dokončení, kdy zde došlo k zmírnění povodňové vlny (téměř stoleté úrovně) z přívalové srážky (Flašar 2001).

2. Charakteristika povodí Lužnice

2.1. Hydrografická charakteristika povodí Lužnice

2.1.1. Hydrografie celého povodí

Povodí Lužnice se prostírá ve východní části Jihočeského kraje a v nejsevernější části Dolního Rakouska zvané Waldviertel. Celková plocha povodí je 4226,166 km2 a celková délka toku činí 199,1 km (od hraničního profilu 149,4 km). Výškový rozdíl pramene a ústí toku činí 623 m. Lužnice ústí do Vltavy na říčním kilometru 202,3 ve vzdutí vodní nádrže Kořensko. Je největším pravostranným přítokem Vltavy v Jihočeském kraji. Povodí Lužnice zaujímá 15,05% plochy povodí Vltavy (Havlová 1998). Vzhledem k osovému toku je povodí výrazně asymetrické, plocha pravostranné části je více než dvojnásobná oproti části levostranné. Tomu odpovídá i šířka povodí napravo od toku, která činí mimo pramennou oblast 20 – 46 km, nalevo od toku jen 12 – 20 km. Vzhledem k asymetrii povodí ústí většina významných přítoků do Lužnice z pravé strany. K tomu přispívá rovněž fakt, že tyto přítoky přivádějí vodu z výše položených a vlhčích oblastí ve východní části, kde hranici povodí tvoří z velké části přímo hlavní evropská rozvodnice (z místa poblíž pramene až za Javořici – nejvyšší vrchol Českomoravské vrchoviny). Jedinou hornatinou, vyskytující se v povodí, jsou Novohradské hory (Freiwald), kde pramenní hlavní tok a které povodí vymezují z jihu. Na východě povodí se nachází pahorkatinné i vrchovinné části náležící k Českomoravské vrchovině (v Rakousku se lesnatá oblast s žulovými balvany a četnými rybníky nazývá Waldviertel). Na severu rozvodnice mezi povodím Lužnice a Sázavy vede po vrcholcích Středočeské pahorkatiny. Na západě probíhá rozvodnice k povodí Malše a Vltavy podél Stropnického příkopu přes Lišovský hřbet až k ústí do Vltavy. Centrální část povodí tvoří rovina třeboňské pánve, jejíž je Lužnice přirozenou osou. Geograficky nejsevernější bod povodí má souřadnice 49°43´ s.š. a 14°37´ v.d. (Nasavrky), nejjižnější bod povodí poblíž pramene 48°35´ s.š. a 14°43´ v.d. Nejvýchodnější bod povodí má polohu 49°13´ s.š. 15°36´ v.d. (Javořice) a nejzápadnější 49°22´ SŠ a 14°19´ v.d. Vzdálenost nejsevernějšího a nejjižnějšího bodu v povodí představuje 107 km, nejzápadnějšího a nejvýchodnějšího pak 78 km. Přímá vzdálenost od pramene Lužnice k ústí do Vltavy činí 71 km. Teoretická střední šířka povodí Lužnice (poměr plochy povodí k délce toku) je 21,22 a odpovídá mírně protáhlému typu povodí. Koeficient protažení vodního toku (poměr střední šířky povodí ku délce vodního toku) je 0,102 a řadí Lužnici k nejnižší hranici protáhlého povodí. Křivolakost

toku (poměr mezi skutečnou délkou toku a přímou vzdáleností od pramene k ústí) činí v případě Lužnice 2,8. Toto vysoké číslo poukazuje na značně zakřivený a na mnoha místech bohatě meandrující průběh vodního toku. Průměrná hustota říční sítě v povodí je naopak poměrně nízká: 0,49 km toku na km^2. Průměrný průtok v ústí Lužnice činí 24,3 m^3/s, specifický odtok v povodí je 5,75 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Jednotlivé části toku Lužnice a jejich příslušná subpovodí se ve svých charakteristikách výrazně liší. Podélný profil toku je dosti atypický. Nejmenší spád a nejširší niva se nenachází jako obvykle na dolním, nýbrž středním toku řeky. To souvisí s paleogeografickým vývojem povodí.

2.1.2. Hydrologická specifika horní Lužnice po profil Pilař

Povodí horní části, pro kterou platí uvedené hydrologické ukazatele tvoří necelou čtvrtinu celkové plochy povodí (po studovanou lokalitu přibližně pětinu). Horní část povodí má ovšem v detailu zcela odlišný tvar, než ten který zaujímá celé povodí. To je možno charakterizovat jako mírně protáhlé, zatímco horní část je silně vějířovitého typu, kde Skřemelice teče v podstatě naproti Lužnici (podrobněji dále v geografickém popisu toku). Další pravostranný přítok Dračice se chová podobně. Tento tvar povodí může mít v některých případech za následek eskalaci povodně (Janský 1995). Odlišnost tvaru povodí v horní části dokládá i poměr střední šířky povodí ku délce vodního toku, který činí nad Pilařem vysokých 0,230 oproti 0,104 v Bechyni. Profil Klenovice se v těchto charakteriskách pohybuje mezi oběma profily.

Křivolakost toku Lužnice je obecně poměrně vysoká. Na horní trati po Pilař dosahuje hodnoty 2,05 (řeka urazí od pramene do profilu více než dvojnásobný počet kilometrů, než činí přímá vzdálenost obou míst). Po profil Klenovice křivolakost poněkud poklesá na hodnotu 1,9. Důvodem je fakt, že řeka pod Rožmberkem již tak bohatě nemeandruje a je napřímena. Třeboňskem navíc směřuje poměrně vyrovnaně k severu. V Bechyni však hodnota vyšplhá na 2,8. Hlavní příčina je v ohybu řeky o 135° u Tábora (Havlová 1998).

Hustota říční sítě nedosahuje v povodí Lužnice (0,49) ani průměrných hodnot pro povodí Labe (0,66). V horní části povodí to však neplatí a hustota říční sítě je zde naopak mírně nadprůměrná (Tab.3). Je zde také v krajinném pokryvu o něco vyšší zastoupení lesních a lučních kultur, které je ale poměrně vysoké pro celé povodí.

Vyšší průměrnou nadmořskou výšku horní části povodí způsobuje hlavně významnější poměrné zastoupení vysokých poloh v Novohradských horách. Nižší polohy pod 400 m jsou v povodí zastoupeny pouze v úzkém kaňonovitém údolí dolního toku v pahorkatině, jejíž vrcholy při severní hranici povodí dosahují až 700 m. Část povodí na úrovni dolního toku je

pahorkatinného rázu. Průměrná nadmořská výška pro jednotlivé části povodí je tedy značně vyrovnaná, klesá po toku jen velmi zvolna. Téměř třetinu povodí tvoří plochá Třeboňská pánev, jež leží ve výškách 410 – 480 m.n.m.

Tabulka 3: Porovnání odlišností povodí Lužnice v různých jeho částech

Hydrologické charakteristiky a režim	jednotky	**Lužnice před odbočením Zlaté stoky nad Pilařem (v závěrečné části povodí po tento profil se nachází studovaná lokalita)**	**Lužnice po profil Klenovice (cca počátek dolního toku)**	**Lužnice po Bechyni (profil 11 km před ústím)**
Plocha povodí	[km^2]	917.81	3142.95	4046.3
Říční kilometr	km	117,7	59,6	10,6
Koeficient tvaru povodí		0,230	0,194	0,104
Tvar povodí		Vějířovitý	Široce rozvětvený	Slabě protáhlý
Křivolakost toku		2,05	1,9	2,8
Hustota říční sítě	[km.km-2]	cca 0,77	cca 0,52	0,49
Podíl lesa a luk na land-usu (pramen – 1.profil, poté mezi profily)	[%]	64	52	49
Podélný sklon dna toku (od pramene k 1.profilu, poté mezi profily)	[%]	0,654 (prvních 7 km do opuštění ČR v Novohr. horách 3,857; poté do Gmündu 0,646; poté 0,086)	0,074	0,088
Nadmořská výška profilu	m. n.m.	440,3	396,8	353,7
Průměrná nadmořská výška	m. n.m.	565.6	488,5	479,7
Průměrná dlouhodobá roční srážka (H_{SA})	mm	748,7	701,5	697,3
Průměrný roční průtok	[m3.s-1]	6.97	19.7	21.80
Průměrný specifický průtok	[m3.s-1.km-2]	7.6	6.27	5.39
Průměrná roční výška odtoku	[mm]	239	197,7	169,9
Odtokový koeficient		0.32	0,28	0,24
Q100	[m3.s-1]	187	359	577
Q10	[m3.s-1]	116	208	308
Q5	[m3.s-1]	86	175	241

(Zdroj dat: Ekologická studie Lužnice (Hydroprojekt a.s.), ČHMÚ ČB , doplněno autorem)

Pokud tok rozdělíme podle profilů na intervaly, největší podélný sklon dna vykazuje samozřejmě úsek od pramene po profil nad Pilařem. Jeho hodnota (0,654 %) je ale dána průměrem z odlišných úseků. V prvních sedmi kilometrech v Novohradských horách, ze kterých teče řeka 5 územím ČR, dosahuje sklonu téměř 4 %! První kilometr pod pramenem je to až 10 %. V další části horního toku do Gmündu, ve které se vystřídají dva mírnější a jeden svažitější úsek, je zjištěný sklon dna 0,646. Skřemelice během svého toku nepřekonává zdaleka takové převýšení jako horní Lužnice (Obr. X). Pod jejich soutokem Lužnice přechází do svého středního toku a začíná meandrovat v nivě. Tento poslední úsek po profil nad Pilařem, v jehož centru se nachází studovaná lokalita, již vykazuje spád pouhých 0,086 %.

Další významné pravostranné přítoky Dračice a Koštěnický potok mají větší výškový rozdíl mezi pramenem a ústím než Skřemelice. Dračice ho překonává postupně v několika proudnějších úsecích až na Třeboňsko, kdežto Koštěnický potok překonává největší výškový rozdíl v nejhořejším úseku. Na obou přítocích byly postaveny rybníky, na Koštěnickém potoce i značné velikosti (Kačležský, Staňkovský, Hejtman). V dalším průběhu středního toku na Třeboňsku se podélný sklon dna Lužnice pohybuje v rozmezí 0,08 - 0,06 %. Mezi ústím Nežárky a Planou nad Lužnicí, kde se nachází profil Klenovice lesá sklon na pouhých 0,05 %. V náčepném ohybu řeky u Tábora stoupá na cca 6 km sklon k 0,2 %. V koncovém úseku na úrovni profilu Bechyně už se znovu pohybuje jen okolo 0,07 % (Havlová 2006).

Vzhledem k většímu zastoupení vyšších poloh, je v horní části povodí logicky zaznamenána vyšší průměrná dlouhodobá roční srážka (téměř 750 mm). Ve zbytku povodí se pohybuje okolo průměrných 700 mm. V souvislosti s tím, geologickou stavbou, hustotou říční sítě apod., je v horní části před odbočením Zlaté stoky také zaznamenán vyšší průměrný specifický odtok (7,6 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$), než dále po toku v Klenovicích, respektive v Bechyni (6,27, resp. 5,39 $m^3.s^{-1}.km^{-2}$). Stejné je to v případě průměrné roční výšky odtoku. Když ji porovnáme s průměrnou roční srážkou, získáme odtokový koeficient. Čím je vyšší, tím větší podíl srážek se realizuje v povrchový odtok řekou. V horní části povodí po profil nad Pilařem činí 0,32, v Klenovicích 0,28 a v Bechyni 0,24.

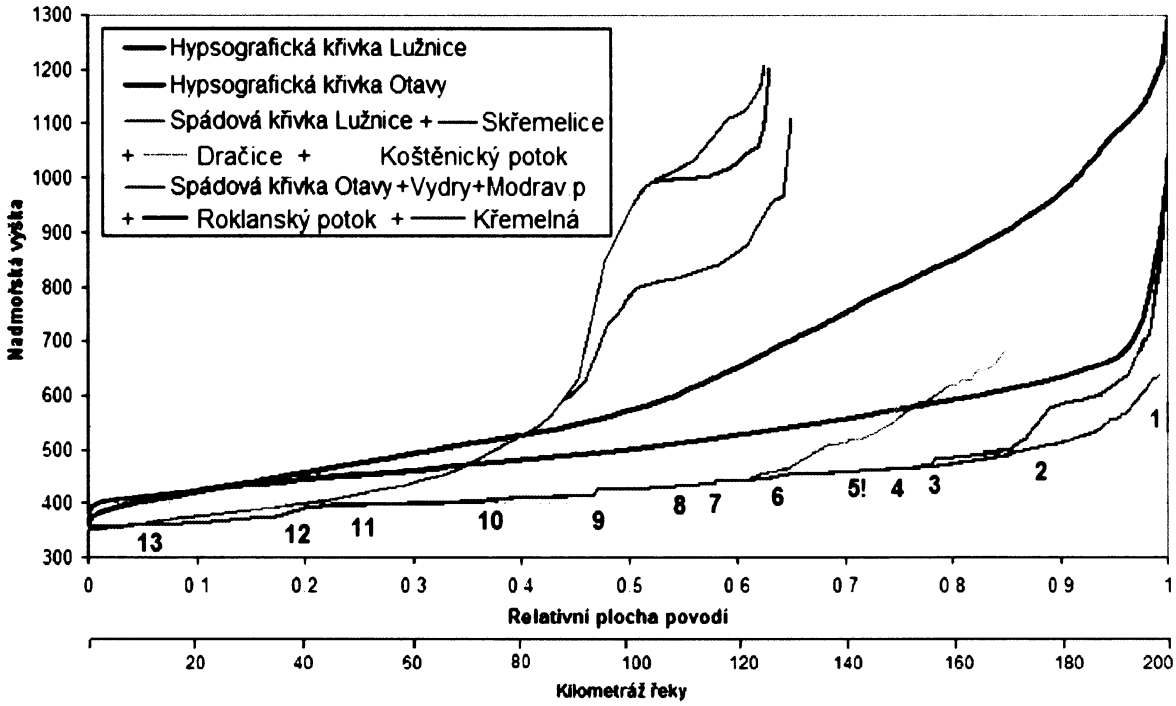
2.2. Vývoj údolí Lužnice, vybraných přítoků a stav upravenosti říční sítě

2.2.1. Lužnice do odbočení Zlaté stoky

Hlavní pramen Lužnice se nachází v Novohradských horách na území Rakouska (tam nese pohoří název Freiwald) na západních svazích vrcholu Eichelberg ve výšce 970 m.n.m. Prvních 15 km toku Lužnice charakterizuje její značný spád. Sklon údolního dna zde činí plných 40 promile. Řeka se 2 km od pramene dostává na území ČR (poblíž obce Pohoří na Šumavě se nachází vedlejší, český pramen Lužnice), kde stáčí svůj směr na sever a zařezává se do hlubokého údolí. Toto údolí těsně při hranicích s Rakouskem je nejodlehlejší částí Novohradských hor a je dnes neosídlené, třebaže zde v 19. století fungovaly 3 sklářské hutě a 2 dřevařské osady. Lužnice zde protéká retenční nádrží (klauzou) Kapelníkův rybník (Kapelunk) s vodní plochou 6,34 ha, která byla postavena především za účelem plavení dřeva. Po 5 km, kdy řeka protéká území ČR, se vrací zpět do Rakouska, kde směřuje generelně severovýchodním směrem. Prvních 12 km řeky charakterizuje velký spád v horské oblasti,

kde v krajinném pokryvu výrazně dominuje les. Řeka během tohoto úseku překonává výškový rozdíl 320 m.

Graf 1: Hypsografická křivka povodí Lužnice a podélný profil toku i hlavních přítoků v horním subpovodí v kontrastu se stejnými charakteristikami Otavy.



Úroveň bodu 1: Pramenný úsek Lužnice s velkým spádem v kontrastu s pramenným úsekem Skřemelice.

2: Údolí Gabrielenthal, kde Lužnice znovu nabírá vyšší sklon. Skřemelice (Braunaubach) v této vzdálenosti přijímá největší přítok Romavský potok (Romaubach).

3: Skalní stupeň kombinovaný s jezem ve Gmündu, pod nímž dochází k soutoku se Skřemelicí.

4: Definitivní vtok Lužnice do ČR. Řeka zde má již charakter středního toku.

5!: Lokalita studovaných fluviálních jezer v nivě Lužnice.

6: Úsek vyššího sklonu a účinků eroze předcházející antropogenně upravené části v Suchdole n.Luž.

7: Odbočení Zlaté stoky nad vysokým jezem Pilař, pod kterým se nalézá vodoměrný profil ČHMÚ.

8: Místo, kde odbočuje Nová řeka, tzv. Rozvodí "U splavů".

9: Hráz největšího českého rybníka Rožmberk.

10: Soutok s Nežárkou ve Veselí nad Lužnicí

11: Místo poblíž Plané nad Lužnicí, kde řeka opouští pánevní sedimenty a vtéká do krystalinika.

12: Místo vyššího sklonu v ohybu u Tábora, kde se řeka zařezává hlouběji do údolí.

13: Místo u ústí říčky Smutné pod Bechyní, kde se nachází vodoměrný a předpovědní profil ČHMÚ.

(Zdroj dat: Vlasák 2007, vlastní doplnění a úprava)

Dále už se strmost údolních svahů snižuje, v údolí se nacházejí i louky a pastviny, několik obcí a roztroušeně větší množství jednotlivých obydlí. Před historickým městem Weitra (Vitoraz), bystřinná říčka Lužnice protéká sevřenějším údolím zvaným Gabrielental, kde má řeka znovu značný spád. Během 4 km řeka překonává převýšení 85 m. Od obce Unterbrühl až

do města Gmünd se již údolí Lužnice rozevírá (říční niva zde dosahuje šířky 50 – 400 m) a tok se výrazně zklidňuje (během 12-ti kilometrů jen 30 metrů převýšení). Souhrnně lze však 42 km horního toku až do města Gmünd označit za bystřinnou řeku, minimálně ovlivněnou antropogenními zásahy. Průměrný sklon Lužnice v tomto úseku přesahuje 7 promile, což má výrazný vliv i na průměrný relativní sklon dna celého toku, který činí 2,8 promile. V úseku od definitivního vtoku na území ČR po ústí do Vltavy (75% délky toku) je tento sklon totiž jen 0,8 promile. Na 100 km úseku řeky od státní hranice po Planou nad Lužnicí, je tento sklon ještě menší – kolem 0,5 promile (Havlová 1998).

Ve městě Gmünd Lužnice poté, co přímo v centru města překoná 8m vysoký skalní stupeň kombinovaný s jezem, přibírá z pravé strany na říčním kilometru 156,4 významný přítok Skřemelici (Braunaubach). Ta sbírá vodu z oblasti ležící od města Gmünd na opačné straně než Lužnice. Pramen Lužnice se nachází od Gmündu 30,5 km vzdušnou čarou jihozápadním směrem, kdežto pramen Skřemelice leží od Gmündu 32 km severovýchodním směrem. Délka obou toků po jejich soutok je také téměř shodná (okolo 43 km). Pouhých 9 km jihovýchodně od jejich soutoku v Gmündu se přitom již nachází hlavní evropská rozvodnice a hranice povodí. Horní část povodí Lužnice je tudíž silně vějířovitého typu. Vzhledem k tomu, že Lužnice sbírá vodu z horské oblasti, má na soutoku se Skřemelicí obvykle větší průtok. Jak vyplývá z měření průtoku na profilech před soutokem obou toků v Gmůndu, průměrně třetinu průtoku Lužnice pod Gmündem tvoří voda ze Skřemelice, dvě třetiny pochází z horní Lužnice. Vzhledem ke značné vzdálenosti pramenných oblastí obou toků se průtoky Lužnice a Skřemelice po jednotlivých srážkových epizodách často dost liší. Skřemelice pramenní na rozdíl od Lužnice ve výšce pouhých 650 metrů v oblasti České Kanady na Novobystřicku pod vrchem Větrov (713,5 m), již na území ČR. Po 4 km toku ovšem definitivně vtéká na území Rakouska. Na území ČR nad bývalým Rajchéřovem pramení i nejvýznamnější přítok Skřemelice - Romavský potok (Romaubach), na kterém v Rakousku leží i město Heidenreichstein. Spád obou toků je vyšší pouze v pramenných oblastech ve vrchovinách ještě na českém území. V Rakousku protékají pahorkatinnou oblastí a jejich spád je mírný. Na tocích je postaveno také několik rybníků. Šířka nivy se mění, ale zpravidla neposkytuje tokům prostor pro širší meandrování. Povodí Skřemelice je poměrně lesnaté, lesy ovšem netvoří hluboké komplexy. Nachází se zde také četné mokřady a rašeliniště. Pod městem Schrems přibírá Skřemelice (Braunau) přítok Schwarzau, na kterém leží několik větších rybníků s více než 10 ha vodní plochy. Upravenost koryta Skřemelice a jejích přítoků je dosti proměnlivá s výskytem přírodních i silně upravených úseků (Schlott a Idl 1993).

Trajektorie toku Skřemelice je v podstatě rovnoběžná s dalšími pravostrannými přítoky Lužnice dále po toku (Dračice, Koštěnický potok) a směřuje generelně k jihozápadu. To mimojiné dokládá, že v geologické historii byla oblast drenována do Dunaje (Schützner 1998). Následek této skutečnosti je ten, že Lužnice přibírá relativně vodné přítoky v překvapivě malých vzdálenostech od pramene a do třeboňské rybniční pánve přivádí dostatečné množství vody, které umožnilo vybudování řady přívodních rybničních kanálů v čele se Zlatou stokou. Ještě před odbočením Zlaté stoky jsou vody Lužnice bohatší o Dračici a Skřemelici (před Majdalenou ještě o Koštěnický potok), jejichž pramenné oblasti leží na Novobystřicku, a přivádí tak do pánve vodu ze severovýchodu, třebaže převažující směr toku Lužnice v celé pánvi je z jihu na sever.

Soutokem se Skřemelicí a definitivním vtokem do sedimentů Třeboňské pánve řeka vstupuje již v Rakousku pod městem Gmünd do svého středního toku. Odpovídá tomu řada charakteristik. Výrazně se rozšiřuje říční niva, v níž řeka bohatě meandruje, snižuje se průtoková rychlost, řeku doprovází lužní vegetace. Toto rozhraní v podstatě odpovídá přechodu lipanového rybího pásma na parmové (Hartvich a kol. 1998). Rakouská část nivy středního toku, ve které řeka urazí 7,5 km, je proti české straně výrazněji hospodářsky využívána (luční hospodaření, pastevectví) a dřevinný porost zde byl zredukován. Přesto si niva zachovala většinu svých cenných funkcí (Schlott a Idl 1993). Definitivním vtokem na území ČR na 149, 5 říčním kilometru se nemění parametry nivy, pouze její vegetační kryt. Často zde nalezneme neprostupné vrbové houštiny a zarostlé louky se solitérními vzrostlými listnatými stromy i menší plochy souvislého lužního lesa. Prostředí svým charakterem odpovídá termínu sekundární divočiny (Lipský 2008). V 300 - 1700 m široké říční nivě, vymezené zřetelně terasami, má řeka charakter přirozeného, bohatě meandrujícího toku. V nivě na úrovni námi sledované lokality je zachována dynamická rovnováha eroze a akumulace a procesu vzniku, vývoje a zániku fluviálních jezer typu mrtvých ramen i oválných tůní (Drbal a kol. 1988). Tato rovnováha bývá porušena ve prospěch eroze až v závěrečných kilometrech říčních niv ve vazbě na navazující antropogenně upravené koryto (jeho opevnění a napřímení). Typickým příkladem je závěr přírodní nivy nad Suchdolem nad Lužnicí a Tuští. Při povodních zde dochází k daleko markantnějším projevům (rozsáhlejší břehové nátrže, častější prorážení meandrů), než v nivě nad tímto úsekem (Černý 2008). S výjimkou několika menších antropogenních úprav na úrovni obcí Suchdol a Majdalena je zachován přírodní charakter středního toku až po ústí do Rožmberka (62 km toku, upravené úseky z toho představují cca 7,5 km). Jako horní tok Lužnice se někdy nepřesně označuje právě část od hranice s Rakouskem po rybník Rožmberk, popř. až do Veselí nad Lužnicí. Snad v souvislosti

s železnou oponou byl za počátek toku brán jeho vtok na naše státní území, bez ohledu na to, že řeka sem od pramene urazila již 50 km a průtokové rychlosti, trajektorie toku ani jeho oživení neodpovídají charakteristikám horního toku. Zřejmě z toho důvodu také nese přírodní rezervace, v níž se nachází studovaná fluviální jezera, název Horní Lužnice. Také v Rakousku je území nivy chráněno rezervací (Lainsitzerau), její vyhlášení se však uskutečnilo o 20 let později než na české straně (Schlott a Idl 1993).

Významným rizikem z hlediska povodňového nebezpečí i ekologickým problémem z hlediska omezení rozsahu (především šířky) přírodní nivy je vybudování rozsáhlých neprůtočných oprámů, kde se těží štěrkopísková a místy i živcová surovina. Těžební jezera vznikla ve 20. století (Hátle 1996). Ta u Halámek nezasahují přímo do nivy a mezi nimi a řekou pravděpodobně funguje dostatečná bariéra zamezující havarijním situacím. Do těžebního jezera s ukončenou těžbou pod Tuští (tzv. Tušťské pískovny) se naopak voda dostává při povodňových situacích pravidelně (nedostatečná dělící hrázka je erozí většinou rychle destruována). Plnění pískovny může zpomalit postup povodňové vlny, její přelití však způsobuje rychlou akceleraci povodňové vlny dále po toku (povodeň červen/červenec 2006). Při mimořádné povodni v srpnu 2002 došlo pod Suchdolem k destrukci 90 m ochranné hráze desítky hektarů velkého a přes 10 m hlubokého těžebního jezera Cep (Majdalenské pískovny). Po jejím přeplnění si voda prorazila několik metrů hluboký kaňon, což způsobilo kritickou situaci v obci Majdalena (na její úrovni se nachází profil Pilař) a zbytečně akcelerovalo průběh povodně dále po toku (Rameš 2003).

2.2.2. Lužnice a Třeboňská rybniční soustava

Největší část antropogenních zásahů do povodí v úseku středního toku Lužnice pod profilem Pilař se odehrála mnohem dříve, než v případě vzniku pískoven. V Třeboňské pánvi byla vybudována rozlehlá rybniční soustava. Nejstarší rybníky (Dvořiště, Bošilecký) spadají svým vznikem již do doby Karla IV., nejvýznamnější období jejich výstavby je však spojeno s 16. stoletím, rožmberským rodem a staviteli jako Štěpánek Netolický, Mikuláš Ruthard z Malešova a Jakub Krčín z Jelčan. V dnešní době se na Třeboňsku nachází více než 450 rybníků (Hátle 1996), 17 má vodní plochu větší než 100 ha. Řadu z nich propojuje Zlatá stoka, která odbočuje z Lužnice nad vysokým kamenným jezem Pilař. Na vodoměrném profilu, který se nachází 400 m pod jezem, jsou tak zejména v suchých periodách měřeny nižší průtoky, než na profilu Nová Ves, který leží proti proudu toku, jen 2,5 kilometru od místa, kde Lužnice definitivně vtéká na území ČR. Tuto raritu způsobuje právě odbočení Zlaté stoky 400 m nad profilem. Při využívání údajů z profilů v úseku Pilař až Veselí nad

Lužnicí je tedy třeba brát v potaz podstatný vliv hydrologického systému nejrozsáhlejší rybniční soustavy v ČR (napouštění, vypouštění rybníků, využívání jejich volné kapacity, vliv retenčních prostor vázaných na přívodní i odtokové stoky apod.).

Zlatá stoka byla vybudována v letech 1506-20 Štěpánkem Netolickým a stala se společně s Lužnicí základem a osou ucelené rybniční soustavy. Stoka se nejdříve nazývala lapidárně Strouha, ale její stavba si žádala velký technický um a dokonalou znalost terénu, neboť při 45,5 km délky má spád pouhých 30,5 m! Z tohoto spádu je navíc téměř polovina využita na mlýnech a pilách. Zlatá stoka je široká 2,5 – 5 m a její dno bylo na některých místech vymazáváno jílem, aby nedocházelo ke ztrátám vody. Křížení s jinými stokami v pánvi absolvuje Zlatá stoka většinou formou krátkých akvaduktů. Proudí jí obvykle 1-3, mimořádně až 9 m^3 vody za sekundu. Při povodňových situacích hraje v oblasti zásadnější roli tzv. Prostřední (Podřezanská) stoka, odvodňující rašelinnou sníženinu (vázanou na tektonický zlom – tzv. blanickou brázdu) od Červeného blata po Mokrá luka v sousedství historického jádra Třeboně. Štěpánek Netolický také postavil řadu velkých, ale z povodňového hlediska relativně bezpečných rybníků třeboňské soustavy na krátkých levostranných přítocích s malým povodím (Horusický, Bošilecký, Záblatský, Kaňov), do nichž může vodu doplňovat také Zlatá stoka. Některé rybníky Třeboňska jsou zcela odkázány na přívod vody člověkem vybudovanými stokami, jen malou část tvoří tzv. nebeské rybníky, závislé jen na srážkách v jejich bezprostředním okolí.

Asi 1 km pod profilem Pilař Lužnici z pravé strany obohacuje přítok z Koštěnického potoka. V jeho povodí byl v polovině 16.století činný rybníkář Mikuláš Ruthard z Malešova. Původně ústil tento přítok (dříve zvaný Hostice) do Lužnice o 4 km dále po proudu, ale Ruthardovi se podařilo jeho dolní trať přesunout a na původním toku postavit soustavu rybníků tzv. Chlumecké rybniční soustavy poblíž Lutové (Rameš 2003). Ještě předtím na potoce postavil u Chlumu rybník Hejtman a nad ním dlouhý a hluboký Staňkovský (u hráze hloubka 15 m), který je mezi třemi rybníky s největší kubaturou v třeboňské pánvi.

Rybníkářské dílo na Třeboňsku završil koncem 16. století rožmberský regent Jakub Krčín z Jelčan (Nadějská rybniční soustava aj.). Tento rybníkář postavil i řadu rybníků, které jsou z povodňového hlediska rizikovější. Do rybníka Spolského a Světa může Spolský potok přivádět takový průtok, který vedl v roce 1890 až k protržení dvousethektarového Světa. Na soutoku tohoto potoka a Prostřední stoky s Lužnicí postavil Krčín své největší dílo - rybník Rožmberk, největší v Čechách (489 ha, původně přes 800 ha). Je to jediný rybník, který staví svou hráz přímo do cesty toku Lužnice. Pro zmírnění rizika protržení hráze Rožmberka Krčín navrhl a nechal vybudovat mohutný odlehčovací kanál zvaný Nová řeka. Její úlohou je

převádět značnou část průtoku Lužnice (často více než 60%) do sousedního povodí Nežárky. S tou se voda vrací do Lužnice až ve Veselí nad Lužnicí, na severní hranici CHKO Třeboňsko a celé rybniční soustavy. Nová řeka je dlouhá 13,5 km, přičemž v délce 9 km podél ní vede hráz, na které se nachází stromořadí chráněné státem se staletými duby (nejširší s obvodem kmene 740 cm). Umělý kanál Nové řeky se dobře začlenil do okolních mokřadních biotopů, které jsou díky Nové řece pravidelně zaplavovány. V území chráněném v PR Novořecké močály se nachází řada periodických i trvalých tůní, některé byly uměle obnovovány Správou CHKO Třeboňsko. Původní řečiště Lužnice mezi odbočením Nové řeky a rybníkem Rožmberk nese název Stará řeka. Jedná se o přírodní úsek meandrující biologicky hodnotným lužním lesem v rámci NPR Stará řeka.

Mezi rybničním velikánem Rožmberkem a Veselím nad Lužnicí se řece říká Malá Lužnice. Důvodem jsou obvyklé nižší průtoky po regulaci Novou řekou a Rožmberkem. Koryto bylo v tomto úseku v průběhu 20.století v několika etapách silně upraveno, došlo k napřímení a zahloubení toku (Drbal a kol. 1988). Délka toku byla úpravami zkrácena téměř na třetinu (vyplývá z porovnání se staršími mapovými podklady). Území kolem toku byla z velké části přeměněna na pole. V oblasti klesá hladina podzemní vody, což je vázáno také na hloubkovou erozi říčního koryta v úzkém a opevněném profilu. Mezi obcemi Frahelž a Vlkov bylo v rámci tohoto upraveného úseku na levobřežní části Správou CHKO obnoveno a zprůtočněno několik zazemňujících se fluviálních jezer, které jsou pozůstatkem původní trajektorie toku (Hátle ústní sdělení).

2.2.3. Dolní tok Lužnice

Po soutoku s největším přítokem Nežárkou řeka značně zmohutní. Teče meandry s velkým poloměrem k Soběslavi. Z mnoha meandrů se zde po regulaci dochovala jen četná slepá ramena a tůně (fluviální jezera), chráněná dnes např. v PP Dráchovské tůně. Pod Soběslaví se postupně zužuje šířka nivy a k řece se začínají přibližovat zatím mírné údolní svahy. Před Planou nad Lužnicí řeka definitivně opouští území neogenních sedimentů a razí si dále cestu krystalickými horninami (Malecha 1964). Směrem k Táboru se rychle prohlubuje údolí a říční niva se omezuje na úzký pás podél břehů. Ve velkém ohybu na úrovni města Tábora je v podélném profilu řeky patrný vyšší sklon (1,8 promile), který však dnes řeka překonává kaskádou jezů. Tok a jeho břehy mezi Soběslaví a Táborem jsou většinou antropogenně upraveny. Pod Táborem řeka protéká hlubokým a strmým údolím bez výrazných antropogenních zásahů, ve kterém setrvává až ke svému ústí do Vltavy. Pod

Bechyní se sice údolí rozšiřuje místy na 200-300 m, což umožňuje výskyt užší nivy, údolní svahy jsou však stále strmé, vysoké a zalesněné.

2.3. Paleogeografický vývoj povodí a hydrografické sítě

Jihočeské pánve (původně souvislé) vznikly mladší saxonskou mobilitou diferencovanými poklesy podél již založených zlomových linií, za současného přetržitého vyplňování sedimenty v této samostatné erozní bázi, která byla původně drenována k jihovýchodu do Vídeňské pánve – tedy do Dunaje (Schützner 1998). Geologický vývoj povodí Lužnice začíná již v hercynském orogenním cyklu. Relief byl rámcově dotvořen koncem paleozoika uložením platfomního pláště permokarbonu. Oblast byla dlouhodobě souší, k ukládání lakustrinních sedimentů došlo až ve svrchní křídě - senonu a po přerušení znovu až v terciéru. V oblasti sníženin vznikla rozlehlá, mělká jezera s limnickými sedimenty. V následujícím období došlo vlivem geodynamických procesů k destrukci a denudaci území a k dotvoření zarovnaného povrchu. Geologické pohyby doznívajícího alpinského vrásnění – saxonská tektonika se projevily oživením starých zlomových linií (většinou směrů S-J a SZ-JV) a došlo k rozčlenění celého masivu na rozsáhlé megabloky a dílčí kry, zpravidla mírně vzájemně dislokované. Systémy zlomů determinují oblasti sedimentárních formací (např. zlom Blanické brázdy ohraničuje Třeboňskou pánev na západě). Zaklesání jihočeských pánví probíhalo za současné sedimentace převážně psamiticko- pelitického vývoje ve svrchní křídě – senonu až neogénu. Následný sekulární planační odnos zvětralin se selektivní denudací vytvořil dnešní reliéf - vyčnívající táhlé hřbety a suky, zarovnání plošin za hloubkové eroze vodních toků (Schützner 1998). Ta se stala společně s pliocenním výzdvihem pásma Šumavy a Novohradských hor hlavní příčinou přestavby říční sítě v podstatné části jižních Čech. Mobilita kerné stavby moldanubika vedla v tomto období k rozdělení jihočeské sedimentární pánve a dnešní Budějovická pánev poklesla o více než 300 m proti Rudolfovské hrásti. Třeboňská pánev zůstala situována téměř o 100 m výše. V bezodtokých pánvích se vytvořila jezera a první si svou erozní činností našla cestu na sever do povodí Labe Vltava. Jihočeská oblast byla poté drenována severním směrem, oblast se začlenila do úmoří Severního moře. Pro Lužnici změna znamenala ve velké části změnu směru toku. Původní pramenné oblasti řeky severně od Tábora se staly povodím dolního toku řeky. Došlo k zásadní přestavbě říční sítě v povodí. Mnohé přítoky na JV a V povodí (Skřemelice, Dračice, Koštěnický potok a částečně i Nežárka) si však zachovaly do značné míry svá původní údolí směřující k jihu do

povodí Dunaje a až na svých dolních tratích ohýbají svou trajektorii toku k Lužnici, která teče naopak severním směrem.

Specifický průběh toku Lužnice i vývoje jejího údolí v důsledku této poměrně mladé tektoniky přispívá ke zmírnění rychlosti postupu povodňových vln a zvyšuje retenční možnosti v povodí. Poté, co horní tok steče SV směrem poměrně strmě z Novohradských hor (přítoky pramenící mimo Novohradské hory mají podstatně menší spád), brzy vtéká do sedimentů ploché třeboňské pánve, kde má řeka velmi malý spád a v přírodních úsecích bohatě meandruje. V této oblasti, kterou řeka směřuje k SSZ, se nachází 60% délky toku. Od faktu, že řeku převážně doprovází plochá zamokřená niva (luh), se odvozuje název řeky Lužnice (Hátle 1996). V ploché pánevní oblasti se již v terciéru rozkládaly mnohé dílčí deprese se slatinami a rašeliništi, vázané často na pliocénní dotvarování dílčími tektonickými pohyby. Výrazně se uplatňují ve vývoji a zachování neogenních sedimentů v severojižní osové sníženině pánve mezi dnešními Šalmanovicemi, Třeboní a Veselím nad Lužnicí. Kvartérní vývoj říční sítě probíhal v již relativně stabilizovaném reliéfu. Ovlivněn byl především střídáním glaciálů a interglaciálů, se změnami rychlosti a intenzity eroze, transportu a akumulace splavenin, v závislosti na postupném zahlubování údolního dna. Dnešní drenážní síť byla dotvořena v pleistocénu a rekonstrukce detailnějšího vývoje údolí se opírá o systémy reliktů neogénu a doprovodných říčních aluviálních sedimentů v terasových úrovních (Kraus 1988). Rozptýlené relikty vyšších teras byly identifikovány i v Rakousku, v oblasti dnešního horního toku. Výraznější terasové úrovně lze dnes sledovat na středním a dolním toku, zejména v jesepních jádrech meandrových oblouků a zřídka při údolní hraně (Chábera 1972). Systém teras podél Lužnice je však značně komplikovaný a determinovat jednotlivé terasy je dnes obtížné.

V dolní trati Lužnice vtéká zpět do tvrdších hornin krystalinika, omezeně i magmatitů. Intenzivní zpětnou erozí, vázanou na zahlubování Vltavy, se zde v průběhu mladšího terciéru a v kvartéru vytvořilo hluboké sevřené údolí, do něhož dnes řeka vstupuje ještě před táborským ohybem řeky. Tento náčepný ohyb řeky o 75° směrem k jihozápadu je místem výraznějšího sklonu dna. Zahlubování údolí probíhalo v sérii erozních a akumulačních cyklů, které jsou indikovány zbytky terasových úrovní (Schützner 1998). V hlubokém údolí setrvává Lužnice až do svého ústí do Vltavy ve vzdutí vodního stupně Kořensko pod Týnem nad Vltavou. Údolí je na mnoha místech asymetrického profilu a směrem k ústí se poněkud otevírá.

2.4. Geologický přehled

Celé povodí Lužnice se nachází v megastruktuře Českého masivu, v regionu moldanubika, které je součástí pásma evropských hercynid. Převážnou část povodí tvoří krystalinické moldanubikum, které je ovšem ve střední části překryto mladšími platformními sedimenty Třeboňské pánve vymezené zlomy SZ a S směrů v tektonické vkleslině. Pouze na J a JV zasahují do povodí vyvřelé nepřeměněné horniny centrálního plutonu moldanubika a na SZ granitoidy středočeského plutonu (Schützner 1998).

Moldanubickým centrálním plutonem protéká Lužnice na svém horním toku v Novohradských horách a jejich podhůří po říční kilometr 163. Granitoidní pluton se vyskytuje podél hlavního evropského rozvodí až do oblasti České Kanady a tvoří tak nejvýznamnější část plochy povodí pravostranných přítoků jako je Skřemelice, Dračice, či Koštěnický potok.

V celé dlouhé jižní části střední trati Lužnice od rakouského Gmůndu po Frahelž (ř. km 163 – 83) protéká Lužnice senonskými sedimenty svrchní křídy, patřícími litologicky ke klikovskému souvrství, složeného z cyklického souboru kaolinických pískovců a prachových jílovců až tmavých jílů s rostlinnou drtí či světlých jílovců a jílů. V těchto horninách se také nalézá studovaná lokalita. Maximální mocnost sedimentů zde přesahuje 300 metrů, ale v důsledku kerného rozčlenění je značně proměnlivá (Kraus 1988).

Mezi říčními kilometry 83 a 53 protéká dále Lužnice lakustrinními a říčními sedimenty neogénu, které se povodím táhnou v úzkém, ale 70 km dlouhém pásu sníženiny predisponované zlomem blanické brázdy v ose Šalmanovice – Třeboň – Turovec. Relikty neogénu se vyskytují i vzdáleněji na východ i západ od osového pásma a poukazují na původně rozsáhlejší pokryv v povodí. V oblasti Šalmanovic však i dnes dosahuje mocnosti 120 m (Schützner 1998). Neogenní souvrství se v Třeboňské pánvi ukládalo přetržitě s hiáty (přerývkami) a jeho rozsah se díky tektonickým pohybům mírně změnil. Jeho vývoj má značný význam pro hydrogeologii pánve. Typ sedimentů třeboňské pánve ukazuje na odnos starých zvětralin fosilního větrání z širokého okolí pánve i občasné propojení s marinními zálivy a sedimentací brakickou z Vídeňské pánve (Malecha a kol.1964)..

Na 53. říčním kilometru poblíž Roudné řeka opouští pánevní sedimenty a vtéká do krystalinika tvořeného biotitickými i plagioklasovými pararulami migmatitizovaných až v cordirietické migmatity. Často asymetrické údolí řeky se v úseku směrem k Táboru začíná nápadně zahlubovat (Havlová 1998).

Mezi 39. a 30. kilometrem se Lužnice obloukem stáčí k JZ v hlubokém údolí se skalními svahy v táborském syenitu – durbachitu, který náleží ke středočeskému plutonu (Schützner 1998).

Od 30. říčního kilometru až po ústí Lužnice protéká pásem krystalinika biotitických pararul, směrem po toku silně migmatitizovaných, s vloženým pásem Bechyňské ortoruly a malým ostrůvkem serpentinitu u Hvožďan.

Kvartérní pokryvné útvary jsou v celém povodí pochopitelně geneticky závislé na podkladových horninách. V nejvyšší trati v Novohradských horách se výrazně uplatnilo mrazové zvětrávání. Do údolí se tímto způsobem dostávají velké balvany a valouny, převažují kamenité štěrky. Ve vrchovinách a pahorkatinách došlo periglaciálním zvětráváním k rozlehlé destrukci povrchů s následnou denudací a transportem písčitých štěrků a písků do údolí, nebo až do pánevní oblasti, kde se střídají s vložkami jílů (Schützner 1998).

Relikty teras nižších úrovní doprovázejí téměř celý tok Lužnice a bývají kryté svahovými hlínami i vátými sprašemi. Sedimenty údolní terasy dosahují největších mocností v horní polovině středního toku (po profil Pilař), obyčejně 5-7 m, v přehloubeném korytě pod Novou Vsí až 23 metrů (Chábera 1972). Často mají značné podíly frakcí živcových písků (těžba poblíž Halámek). Terasový stupeň středního pleistocénu se vyskytuje jen omezeně na východní straně cca 20 m nad úrovní řeky. Největší plochu fluviálních písků a štěrků tvoří risská sedimentace při řece a jejích východních přítocích v jižní části Třeboňské pánve. Mocnost je různá podle polohy a odnosu s povrchem 8 - 11 m nad hladinou řeky a bází místy i pod úrovní hladiny (u Halámek až 15 m). Wűrmské úrovně (mocné 1 – 5 m) převážně překrývají holocenní náplavy. Podél toku se vyskytují jemnozrnné naváté písky (u Rapšachu, Františkova, Hamru, Majdaleny). Písčité hlíny a zejména jemné hlinité písky kryjí povrch říční nivy Lužnice i přítoků, dnové sedimenty jsou převážně jemně písčité. V mrtvých ramenech Lužnice a některých tůních se ukládají bahnité organické kaly (Kraus 1988). Při bázi teras se omezeně vyskytují i drobné rašelinné plochy s mocností do 1,5 m. Významnější rašeliniště doprovází oboustranně řeku ve vzdálenosti 4 - 8 km (Červené blato, Žofinka, Široké blato, Ruda aj.).

Svahy hlubokého údolí dolní trati Lužnice jsou kryty koluvii, svahovými sutěmi různého zahlinění, místy sprašemi, v nejprudších svazích nárazových konkáv se vyskytují skalní výchozy (Schützner 1998).

2.5. Pedologické poměry

V pásmu povodí Lužnice se v návaznosti na horninový podklad vyskytují téměř všechny hlavní půdní druhy. Značný podíl tvoří těžké jílovité půdy vytvořené na zvětralinách jílovitých sedimentů senonu a neogénu zejména v třeboňské pánvi. Středně těžké písčito - jílnato - slídnaté hlíny a dokonce lehké půdy hlinito - písčité se vyskytují jen na některých vrstvách neogénu a polohách permu i na kvartérních náplavech, terasách a v nivách ostrůvkovitě na akumulacích náplavů. V oblasti České Kanady a Novohradských hor a jejich podhůří se vyskytují na granitoidech kamenité půdy společně s nepravidelně zahliněnými lesními půdami s místy výraznějším humózním podílem (Schützner 1998). Organogenní půdy nalezneme v povodí na drobných rašeliništích v Novohradských horách, v pramenných oblastech pravostranných přítoků v České Kanadě, v okolí města Schrems v povodí Skřemelice, omezeně i v říčních nivách. Rozsáhlejší plochy se vyskytují podél střední trati Lužnice v Třeboňské pánvi (Hátle 1996).

Z hlediska půdních typů se v oblasti vyskytuje jen jejich omezený počet. V Novohradských horách se vyskytují azonální skeletové půdy (bez vyvinutých horizontů). V Třeboňské pánvi jsou na senonských sedimentech vyvinuty převážně podzolové půdy (Havlová 1998). Stupeň podzolizace je vzhledem k střídání písků a jílů v matrici značně proměnlivý. V pásmu pleistocenních teras sledujcích střední tok řeky jsou vyvinuty azonální typy půd silně podzolovaných s hlubšími horizonty převážně silně glejovými. V pásmu nivy se střídají slatinné, silně oglejené půdy v depresích s písčitými hlínami na akumulacích, které patří do typu fluvizemí (Jeník a Prach 1988). Úrodnější středoevropské hnědozemě se vyskytují až v severní části povodí Lužnice.

2.6. Splaveninový režim

Horní erozní bází je prameniště poblíž hlavního evropského rozvodí v granitech centrálního plutonu moldanubika. Přírony z horských přítoků, oboustranně napájených puklinovými i suťovými prameny přináší do toku štěrk, balvany, kryogenní zvětrávání i celé bloky. S postupným klesáním sklonu podélného profilu klesá i výskyt větších kamenů, posléze valounů. V třetihorách se v pánvi rozlévala jezera a hrubé písky tak byly ukládány jako ploché delty. Na střední trati jsou postupně ukládány stále jemnější frakce splavenin a v původních plochých jezerních dnech i jíly plavenin (Malíšek 1975). Hrubší frakce jako různé oblázky a valouny se dostávají dále po toku jen za povodňových situací. Sedimentace

probíhala přerušovaně v závislosti na oscilacích klesání pánevní oblasti, podél původních okrajů se později ukládaly hrubší frakce, jejichž relikty jsou dnes patrné v širším okolí Třeboňské pánve (v Rakousku od cca 620 m n.m.). Splaveninový režim je tedy ovlivněn lokální skladbou neogenního podkladu a dále přínosem přítoků, zejména z rozsáhlejší a výše položené pravé strany povodí. Na středním toku se proto vyskytují ve dnových sedimentech hlavně psamitické frakce s různým podílem prachových a jílových složek. Nejvýznamnější bariérou i pro menší frakce je rybník Rožmberk, který na Lužnici vytváří výraznou lokální erozní bázi a z hlediska splavenin vlastně dělí tok na 2 části (Havlová 1998). Při ústí do rybníka vytváří řeka ukládáním jemných písků dokonce malou vnitřní deltu. Také řada přítoků Lužnice má splaveninový, ale i průtokový režim silně ovlivněn tím, že na nich leží rybníky. Patří k nim Schwarzau – přítok Skřemelice (Braunau), Dračice (Reissbach), Koštěnický potok, Spolský potok a Miletínský potok. . Teprve v pevnějších horninách na dolním toku znovu přibývá štěrků. Pro jejich delší transport jsou však účinnou bariérou četné jezy, kterých je na dolním toku Lužnice velké množství. Menší frakce splavenin jsou již na dolním toku trvale unášeny a přítok Lužnice tak výrazně přispívá k zanášení Orlické přehradní nádrže, před jejímž vzdutí ústí. Dá se tedy shrnout, že přínos splavenin i plavenin je v povodí značně diferencovaný, závislý na litologii lokálních povodí, stavu vegetace a tedy i roční době a na výskytu četných barier (Ložek 2003)..

2.7. Hydrogeologické poměry

V oblasti celého povodí i povodí po zkoumanou lokalitu můžeme vyčlenit z hydrogeologického hlediska 2 výrazně odlišné oblasti.

1) V krystaliniku a granitoidech moldanubika se vytváří pouze přípovrchové puklinové zvodně. Na poruchových zlomových liniích s mocnějším krytem zvětralin písčitého charakteru bývají přípovrchové zóny hlouběji propustné a častěji se zde vyskytují přelivné prameny (v Novohradských horách). V oblasti se také ve sklonitém terénu vyskytují zavěšené zvodně přípovrchového otevřeného pásma puklin, které jsou zespod utěsněny vplaveným kolmatačním materiálem (Krásný 1980). Při přílišném prohloubení studní se tak může tato poloha prorazit a voda se může zcela vytratit do hlubšího systému puklin pod předchozím utěsněním. Pro oblast je typický intenzivnější oběh podzemní vody v přípovrchové zóně a absence větších akumulací podzemních vod. Jedná se o prostřední s nízkou transmisivitou, její koeficient se pohybuje kolem hodnoty $3.10^{-6}m^2.s^{-1}$ (Schützner 1998). Z hlediska chemismu jsou vody nejčastěji typu Ca-Mg-SO_4 až Ca-SO_4-HCO_3 s variabilním Na a Mg.

Bývají kyselejší, často obsahují více Fe, v granitoidech i Rn. Obecně však mají nižší mineralizaci (0,09 - 0,15 $g.l^{-1}$).

2) Zcela odlišné prostředí z hlediska výskytu a chování podzemních vod jsou sedimenty třeboňské pánve. Tvoří celek, jehož zvodnění je vázáno na psefito - psamitické polohy kolektorů s převážně průlinovou propustností. Podél toku dochází k užší spojitosti vod podzemních a povrchových a to i s ohledem na jejich jakost. Litologický vývoj sedimentů podmiňuje jejich pórovitost a transmisivitu. Jsou zde ovšem charakteristická, řádová rozpětí maxim a minim, neboť pískové kolektory a izolátory z jílového materiálu se tu střídají a prolínají. Zvodně při tektonických poruchách s mocnějšími krytem nepropustných jílů dokonce místně vytváří artéské zvodně. Pro sedimenty senonu a terciéru se udává koeficient transmisivity kolem $1,2.10^{-4}m^2.s^{-1}$ (Kraus 1988).

Kvarterní, převážně fluviální sedimenty mají v nivě přímou hydrodynamickou souvislost s hladinou Lužnice, vykazují však určité zpoždění vzhledem k pohybům hladiny v řece. Za vyšších vodních stavů, či ve vzdutí jezů zde dochází k infiltraci do přilehlých aluvionů, z opačné strany sem drenují i vzdálenější zvodnělé struktury pánve. Prostředí je vysoce transmisivní (koeficient v řádu 10^{-4} až $10^{-3}m^2$.s-1). Nejvyšší hodnoty byly naměřeny v údolních terase značné mocnosti mezi Gmündem a Suchdolem a v okolí Majdaleny, kde specifická vydatnost přesahuje 10 $l.s^{-1}$. Podzemní vody třeboňské pánve jsou dotovány srážkami, po obvodě místně i přínosy z krystalinika či granitoidů a v nivě a jejím okolí i řekou. Dotace z rybníků je méně významná, neboť mají zpravidla kolmatované dno kalovými plachy (Krásný 1980).

V přípovrchové zóně probíhá místní oběh podzemních vod k lokální erozní bázi, kterou je často Lužnice. Celkově se hladiny podzemních vod uklání mírně k severu. V jihozápadní části Třeboňska jsou však podzemní vody drenovány do Stropnice. V hlubších kolektorech pánve probíhá většinou velmi pomalý regionální oběh a chemismus vod se zde proti přípovrchové zóně dost liší. Převládá slabě kyselý až slabě alkalický typ Ca-Mg-HCO_3 s proměnným obsahem Mg^{2+} a Ca^{2+}, v nejhlubších zvodních s převahou Na+. Častý je zvýšený obsah Fe a Mn. Mineralizace bývá nižší (do 0,2 g.l-1). V kvartérnch zvodních se nachází vody slabě kyselé až kyselé reakce s nízkou mineralizací (0,05 - 0,1 mg.l-1) typu Ca-Mg-SO_4-HCO_3 s proměnnými obsahy Mg, Na a Fe. Na převaze aniontů SO_4 se podílejí srážky (Langhansová 1998).

Třeboňská pánev je bohatým zdrojem podzemních vod. Proto je její podstatná část chráněna jako chráněná oblast přirozené akumulace vod (CHOPAV). Na mnoha místech jsou vody jímány pomocí vrtů. Problémem ovšem bývají zvýšené obsahy Fe a Mn a na mnoha

místech kontaminace intenzivním agrotechnickým využíváním spojeným s přehnojováním močůvkou i kejdou z velkovepřína Gigant u Třeboně, kdy se nachází i v podzemních vodách zvýšené obsahy dusičnanů, chloru, místy i pesticidy (Langhansová 1998).

2.8. Geomorfologie území

Povodí Lužnice je situována v jihovýchodní části povodí Vltavy i celých Čech. Zasahují sem 2 geomorfologické podjednotky České vysočiny, a to Šumavská subprovincie a Česko-moravská subprovincie. Podle orografického aspektu se zde vyskytuje 5 základních forem reliéfu (Demek a kol. 1987).

1) Hornatiny se vyskytují jen v nejjižnější části povodí v nejhořejší trati Lužnice. Novohradské hory (na rakouské straně Freiwald) jsou jihovýchodní výspou Šumavské hornatiny o rozloze cca 250 km^2 (i s Rakouskou stranou), střední výšky kolem 800 m a středním sklonem téměř 8° (Schützner 1998). Oblast je ze severní strany vymezena tektonicky zlomovými svahy až 400 m výšky a jako celek byla vyzdvižena společně s elevací Šumavy. Nejvyšším vrcholem pohoří je Viehberg (1111 m), v povodí Lužnice je zde nejvyšším bodem vrchol Tischberg (1063 m), na české straně Myslivna (1040 m). Do povodí Lužnice zde zasahuje především jednotka Žofínská hornatina, kde pramení také Černá a Stropnice (nejvýznamnější přítoky Malše). V podhůří řeka protéká na území Rakouska po říční km 164,5 tzv. Jedlickou vrchovinou (Schützner 1998). Poté řeka opouští Šumavskou subprovincii a přitéká do Třeboňské pánve.

2) Pod jednotku Třeboňská pánev s plochou 1360 km^2, střední výškou 457 m a středním sklonem 1°17` patří akumulační roviny Lomnické pánve (po profil Pilař podjednotka Českovelenická pánev, severněji Borkovická pánev) i polohy sníženin a pahorkatin v části Lišovský práh a Kardašořečická pahorkatina (s podjednotkou Chlumecká pahorkatina) (Demek a kol. 1987).

3) Vrchoviny se v povodí nalézají především podél hlavního evropského rozvodí na východní straně. Menší částí sem zasahují Jihlavské vrchy s vrcholem Javořicí (837 m), nejvyšším bodem Českomoravské vrchoviny. Především ale jde o oblast České Kanady s menším přesahem do rakouského Waldviertlu, která náleží pod jednotku Novobystřická vrchovina (nejvyšším bodem je Vysoký kámen, 738 m). V ČR má rozlohu 527 km^2 se střední výškou 592 m a středním sklonem 3°31` (Demek a kol. 1987). Pramení zde důležité pravostranné přítoky Lužnice jako Skřemelice, Dračice, Koštěnický potok, či Hamerský potok (přítok Nežárky).

4) Pahorkatiny jsou nejvíce zastoupenou orografickou jednotkou v povodí. Lemují Třeboňskou pánev a především se vyskytují téměř souvisle v celé severní polovině povodí (Táborsko, Bechyňsko apod.) V rámci pahorkatinných jednotek se místy nachází jako další orografický typ sníženiny, jež vznikají nejčastěji denudací zarovnaných povrchů.

2.9. Biogeografická charakteristika a územní ochrana

V údolí Lužnice můžeme vymezit 4 úseky, jež mají značně odlišná ekologická specifika a liší se i charakterem hospodářského využití a hustotou osídlení. Odlišnost dokládá i to, že řeka postupně protéká třemi různými biogeografickými regiony (Novohradským, Třeboňským a Bechyňským) (Culek 1996).

1) V převážné části horního toku protéká Lužnice Novohradským biogeografickým regionem. Jedná se o horskou oblast, kde řeka protéká většinou hlubokým, sevřeným údolím. Z geobotanické rekonstrukce přirozené vegetace vyplývá, že by zde měly být zastoupeny vegetační jednotky: horská klimaxová smrčina pouze omezeně v nejvyšších polohách pramenné oblasti, ponejvíce pak smrkové bučiny. V podhorském pásmu, vrchovinách (Česká Kanada) i vyvýšeninách pahorkatin to jsou bikové bučiny a jedliny. Přirozenější skladba lesa však zůstala zachována pouze omezeně, největší plochy zde zaujímají smrkové monokultury. Přesto právě v údolí Lužnice, zejména na české straně od vlivu člověka dlouhodobě silně izolovaném, jsou hojněji zastoupená přirozená lesní společenstva i hodnotné plochy bezlesí v území zaniklých hutí. Předpokládá se zde výskyt řady významných druhů bezobratlých, chybí však podrobný průzkum. Z hydrobiologického hlediska má horní tok Lužnice v Rakousku charakter rhytronu a z hlediska množství organických látek ho charakterizuje oligosaprobita zřejmě až po úroveň města Weitra. Fytoplanktonní společenstav řeky tvoří hlavně rozsivky (Simanov 1998). Z ryb se v horní trati vyskytuje téměř výhradně pstruh obecný, po proudu přibývá zastoupení pstruha duhového a lipana podhorního, místně i vranky obecné a střevle potoční. Pstruhové pásmo je vystřídáno poměrně krátkým pásmem lipanovým (Hartvich a kol.. 1998). Kapelníkův rybník je vhodnou lokalitou pro rozmnožování několika druhů čolků a hnědých skokanů. Vyskytuje se zde rejsek horský. Z ptačích druhů je na toku zaznamenána přítomnost konipasa horského, skorce vodního i ledňáčka říčního. Téměř k prameni zde sahá v současné době výskyt vydry říční. Skřemelice a její přítoky nepramení v horských oblastech, proto je na ni vázáno méně horských druhů, než na horní Lužnici. Také vlivem rybníků se v toku vyskytují kaprovité ryby jako cejn, perlín, plotice, či karas, z dravých ryb

okoun a candát. Místně se vyskytuje poněkud širší niva s olšinami, výrazněji zastoupena jsou vrchoviště a přechodová rašeliniště.

V Novohradských horách je již řadu let naplánováno vyhlášení CHKO. K tomu však dodnes z důvodu tlaku různých zájmových skupin nedošlo (Ložek 2003). S horským povodím Lužnice na území ČR se počítá jako s 1. zónou případné CHKO. V jádrovém území Novohradských hor byla alespoň vyhlášena ptačí oblast soustavy NATURA 2000, v rámci níž se při hranicích povodí Lužnice nachází i Evropsky významná lokalita (dále EVL) Žofínský prales a Pivonické skály. Jádrová část Žofínského pralesa, která byla vyhlášena rezervací z nařízení hraběte Buquoye již v roce 1838, leží již v povodí říčky Černé (přítoku Malše). V rámci Územního systému ekologické stability (dále ÚSES) je celé širší území nadregionálním biocentrem Žofín. V Rakousku je část údolí Lužnice a severních svahů hor (Freiwald) chráněna jako Naturpark Nordwald. Části toků Lužnice i Skřemelice s přilehlými mokřady a rašeliništi jsou zde navrženy k zapsání do soustavy území chráněných Ramsarskou úmluvou pro ochranu mokřadů. Pramenná oblast Skřemelice, Dračice i Koštěnického potoka leží na území tzv. České Kanady, kde byl vyhlášen stejnojmenný přírodní park či bylo vymezeno nadregionální biocentrum Vojířov.

2) Meandrující střední tok řeky v široké ploché Třeboňské pánvi od rakouského Gmůndu po Veselí nad Lužnicí je z ekologického hlediska nejcennější partií toku. Téměř celý úsek zde řeka protéká CHKO a Biosférickou rezervací Třeboňsko, kde je přírodní říční niva společně s rybníky a rašeliništi hlavním předmětem ochrany. Třeboňsko je také chráněno jako vzácná ukázka oblasti, kde lidská hospodářská činnost nevedla k destrukci, ale spíše k obohacení životního prostředí a krajiny (Hátle 1996). V úseku po rozdělení Lužnice na Starou a Novou řeku se vyskytuje spíše otevřená niva s mozaikovitě uspořádanými porosty determinovanými erozí a akumulací v nivě, jejíž přírodní charakter je jen místně narušen. Starou řeku doprovází naopak rozsáhlý komplex lesa, který má v nivních polohách charakter lesa lužního, kde na řeku většinou navazuje tvrdý luh, měkký chybí (Drbal a kol. 1988). Mezi listnáči se zde místy objevují i mohutné exempláře jehličnanů (smrk, jedle, borovice). V lesích se také roztroušeně nachází mohutné exempláře dubů a lip, které najdeme soustředěně především na hrázích (stromořadí chráněné státem na hrázi Rožmberka a Novořecké hrázi). Vegetační jednotkou nivy jsou zpravidla luhy a olšiny. Na terasové sedimentární elevace navazují pásy acidofilních borů a reliktních borů silikátových podkladů, v některých sníženinách vznikla přechodová rašeliniště. Zbytek území Třeboňska tvoří jednotka acidofilních doubrav, která tvoří většinou klimaxové stadium lesa středních až nižších poloh na chudších půdách na silikátovém substrátu. Přirozené porosty tohoto typu se

v oblasti vyskytují jen omezeně, rozšířenější jsou husté borové monokultury (Černý 2000). Řeka má charakter epipotamonu, vlivem Rožmberka a mnohých jezů se dále trvale mění na metapotamon. Zde také dochází ke skokové změně beta-mezosaprobity (I.b třída čistoty – voda čistá) na alfa-mezosaprobitu (II., popř. III. třída – znečištěná až silně voda), v letních měsících až na polysprobitu. Řeka po Rožmberk je bohatě oživena různými druhy makrozoobentosu, jako jsou různé druhy jepic, pošvatek a chrostíků. Také mrtvá ramena a především hlubší nezastíněné tůně jsou domovem řady vzácných vodních bezobratlých, ale i řas, vířníků i litorárních druhů klanonožců. Tůně oplývají nejvyšší diversitou bičíkatých řas řádu Chrysomonád v rámci ČR (Pithart 1999). V řece postupně klesá zastoupení rozsivek a stoupá zastoupení zelených řas. Společenstvo fytoplanktonu (biosestonu) lze hodnotit obsahem chlorofylu, který v tomto úseku v souvislosti s vlivem okolních rybníků stoupá z 10 často až na 50 ug/l. Kritickým místem z tohoto hlediska je úsek pod rybníkem Rožmberk, kde naměřené hodnoty ve vegetační sezoně přesahují i 100 ug/l. Situace se často projevuje až k Táboru, společenstvo biosestonu je již stabilní a směrem k ústí obsah chlorofylu neklesá pod 60 ug/l (Langhansová 1998). Z vodních rostlin se občas vyskytují především ve stojatých vodách porosty stulíků, leknínů, plavínů, ďáblík i kosatec bahenní či vachta trojlistá. Výrazně se však nivou invazivně šíří netýkavka žlaznatá, místy je niva zarostlá kopřivami dvoudomými (Prach 2003). Na souši se například ve vazbě na místně rozsáhlé porosty tavolníku vyskytuje motýl bělopásek tavolníkový (Lexová 1994). V řece najdeme vysokou diverzitu ryb, některé jsou rozmnožováním vázány na nivní rozlivy. Kromě běžných druhů kaprovitých ryb se ve zdejším parmovém pásmu vyskytuje hojně okoun, štika, ale i mník jednovousý, hrouzek, slunka, střevle, vranka, mřenka mramorovaná, podoustev, vzácně i ostroretka stěhovavá, především ve fluviálních jezerech i ohrožený piskoř pruhovaný, či sekavec písečný. V přítoku Dračice se vyskytuje i mihule potoční. V poslední době se však značně rozšiřuje zavlečená střevlička východní (Holub a kol. 2008). Ze 168 druhů obratlovců, které se vyskytují v říční nivě, jsou ochranářsky nejvýznamnější ropucha krátkonohá, ještěrka živorodá, ledňáček říční, hohol severní, volavka bílá, chřástal vodní a polní, vodouš kropenatý, moták lužní, orel mořský, slavík modráček, rejsec černý a vodní a vydra říční, která zde má jádro středoevropské populace. Nezamrzající úseky řeky a okolních stok jsou navíc zimovištěm desítek volavek popelavých a stovek až tisíců kachen divokých. V lužním lese zaznamenáváme výskyt skokanů ostronosých a štíhlých, lejsků bělokrkých, strakapoudů prostředních, vzácně se zde objevuje i los evropský (Bejček a Šťastný 1996). V nivě nachází potravu i úkryty značné množství zvěře, především srnec obecný a prase divoké. V úseku mezi Rožmberkem a Veselím byla podél napřímeného koryta Lužnice niva značně

zredukována, až na pár fragmentů tvrdého luhu a několik obnovených bočních ramen zde nivní společenstva zanikla. Vyskytují se zde spíše jen běžné druhy okolní zemědělské krajiny, v zimě je však úsek významný kvůli zimování řady ptáků včetně ledňáčků. Celoročně hodnotnější jsou močály při Nové řece a niva Nežárky mezi Jemčinou a Hamrem.

Kvůli vysoké ekologické hodnotě je niva Lužnice chráněna také soustavou maloplošných chráněných území. Jedna z nejmladších rezervací byla vyhlášena v Rakouské části nivy pod Gmůndem. Na našem území navazuje PR Krabonošská niva a především dlouhá PR Horní Lužnice (414 ha), pod Suchdolem PR Na Ivance. Po celou dobu tok sleduje nedregionální nivní bioloridor, lesy v pravobřežní části prochází ještě nedregionální borová osa biokoridoru. Pod Majdalenou řeka vtéká do ptačí oblasti Třeboňsko a na území nadregionálního biocentra Stará řeka, v rámci něhož se nachází i PR Meandry Lužnice, NPR Stará řeka, PR Výtopa Rožmberka a PR Novořecké močály (Hátle 1996). Celé území od státní hranice po Rožmberk je i součástí velké EVL Třeboňsko – střed. Další tok Lužnice a Nežárku již sledují jen regionální biokoridory.

3) Pod Veselím nad Lužnicí se k řece postupně přibližují zatím mírné údolní svahy a rozsah i biologická hodnota nivy je omezována výraznými a frekventovanými dopravními koridory, které tudy prochází. Saprobita toku je však stabilizovaná a dále se nezvyšuje. Tok se většinou drží na beta-mezosaprobním stupni. Vzácnější druhy jako jsou skokan ostronosý, cvrčilka říční, moudivláček lužní či luňák červený se zde vyskytují jen v přírodnější části kolem Dráchova. Pod Soběslaví je okolí toku svým oživením málo atraktivní, pouze přímo v řece se vyskytuje řada druhů ryb uniklých z rybniční soustavy (kapři, líni, cejni, amuři, okouni), ale i úhoři a sumci. Rozšiřuje se střevlička východní i americké druhy raků (Holub a kol. 2008).Území již leží mimo CHKO a BR Třeboňsko, je však součástí EVL Nežárka – Lužnice. Nachází se zde přírodní památka (PP) Doubí u Žíšova a PR Dráchovské tůně.

4) Hluboké údolí dolní trati, do kterého se řeka začíná zařezávat před Táborem, je územím nadprůměrných, ovšem zcela odlišných ekologických hodnot, které nejsou vázány na říční nivu, ale na strmé údolní svahy, popř. nejodolnější části údolí některých přítoků (Vlásenický potok, Židova strouha). Na hluboké údolí se váže většinou geobotanická vegetační jednotka duboabrových hájů, konkrétně asociace černýšových dubohabřin, které vytváří cenné ekosystémy, místy narušené porosty smrku, který sem proniká z okolních lesích komplexů, nebo byl přímo vysazován člověkem. Luhy a olšiny jsou v oblasti vázány významněji pouze na přítok Smutné. Zbytek území náleží převážně k acidofilním doubravám. Město Tábor dříve způsobovalo zhoršení saprobity toku, dnes už se tak neděje a zůstává zachována beta-mezosaprobita. V úseku s drobnými peřejemi se znovu objevují čistomilnější

společenstva larev chrostíků apod. V toku se však zejména koncem vegetačního období vyskytují vysoké koncentrace fytoplanktonu. Přítok Lužnice výrazně zvyšuje obsah živin v toku Vltavy a podílí se na rozvoji vodního květu v přehradní nádrži Orlík. Původní společenstvo parmy obecné je potlačeno výskytem ryb uniklých z rybníků. Hojný je v úseku úhoř říční a karas obecný. Pestrost podmínek údolí daných klimatickou inverzí, expozicí svahů apod. se projevuje ve vysoké diverzitě a stupňovitosti výskytu rostlin a bezobratlých (zejména měkkýšů, brouků a pavouků). Na horních hranách slunných svahů roste např. i tařice skalní, v chladnějších zastíněných dolních částech místně i kapradina pérovník pštrosí (Ložek 2003). Na druhou stranu je tok vektorem šíření invazních druhů jakými jsou netýkavka žlaznatá či americký rak skvrnitý. V případě obratlovců se zde převážně vyskytují běžné lesní druhy, vázané na okolní lesní komplexy, bez vazby na vlastní vodní tok.

Údolí Lužnice je součásti EVL Nežárka-Lužnice a prochází jím regionální biokoridor, kolem zříceniny Příběnice je pod Táborem navrženo regionální biocentrum. Při levém břehu se v okolí Bečic nachází menší přírodní park Kukle. V údolí se nachází řada přírodovědně cenných segmentů, které se nenacházejí v žádném zvláště chráněném území a vztahuje se tak na ně pouze obecná ochrana (významný krajinný prvek apod.). Vyhlášena je však PP Granátová skála a v kaňonech přítoků PP Vlásenický potok a PP Židova strouha.

2.10. Jakost povrchových vod

Lužnice je (mimo nejhořejší tati) již staletí řekou ovlivněnou lidskou činností. Ta má podstatný vliv na i na kvalitu vody. Hlavní příčinou poměrně nízkého pH říční vody (kolem 6,5) však není lidská činnost, ale dotace vody huminovými kyselinami z mokřin a rašelinišť. Tomu přispívá i nízká kyselinová neutralizační kapacita vody tekoucí výhradně z oblastí acidických silikátových hornin, která je chudá na vápník. Teprve na dolním toku se stabilně udržuje pH kolem 7,0 (Drbal a kol. 1988). Před rokem 1970 byla řeka silně živinově a bakteriálně zatížena, neboť se většina odpadních vod v povodí pouštěla přímo do řeky. Na horním toku tak byl přes vysoký obsah kyslíku a nízké koncentrace živin zaznamenán výskyt koliformních bakterií indikujících fekální znečištění (Kroupa 1988). V horách má řeka I. třídu jakosti vody, v podhůří II. třídu. Kvalita vody se dále měří na profilu Nová Ves, kde se v minulosti (zejména v 80. letech) silně projevoval negativní vliv aglomerace České Velenice-Gmünd. Ve Velenicích byla jen část obce napojena na kanalizaci, do řeky se dostávaly i těžké kovy z Železničních opraven a strojíren, než zde začala fungovat tovární ČOV. V Gmündu se nachází 2 ještě výraznější zdroje znečištění: textilní továrna Heinisch Gmünd a svého času

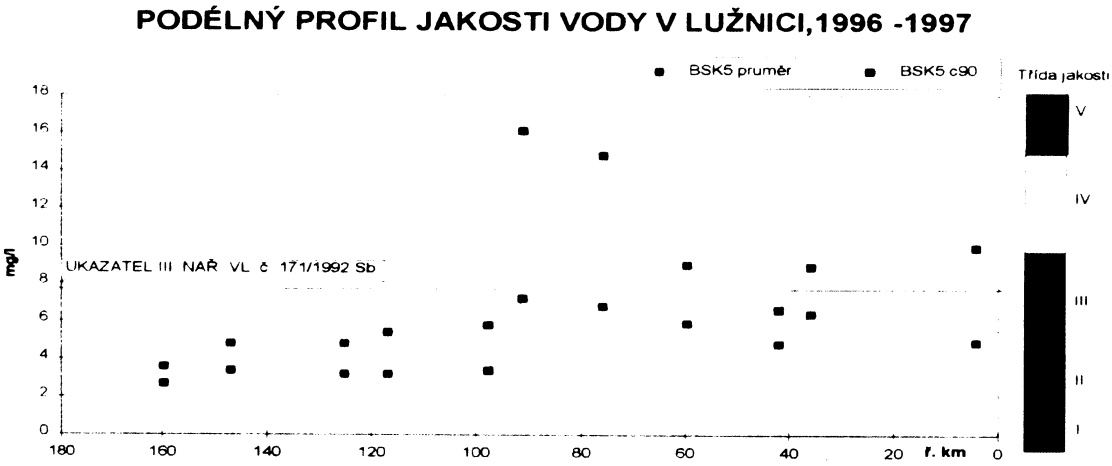
největší středoevropská škrobárna Agrana Stärke Gmůnd. Až po dokončení moderní ČOV s kalovým hospodářstvím v roce 1989 nastalo v profilu v Nové Vsi trvalé zlepšování kvality vody (pokles BSK_5, $CHSK_{Mn}$, fosforu, amonných sloučenin a fekálních bakterií, vzestup rozp. kyslíku), které se zvýraznilo dobudováním ČOV Českých Velenicích. Postupně se projevuje, že zemědělské pozemky sousedící s nivou nejsou přehnojovány jako v 80. letech. V té době zde docházelo ke zhoršení kvality vody o více než 1,5 saprobního stupně na alfa-mezosaprobitu. Dnes se jedná maximálně o horší beta-mezosaprobitu, po průchodu přírodním úsekem směrem k Suchdolu dosahuje lepší betamezosaprobity, která je tu vzhledem k charakteru toku, jeho okolí a oživení klimaxovým stadiem (Langhansová 1998). Vše se dnes obyčejně odehrává v rámci II. třídy jakosti vody. Suchdol nad Lužnicí není díky fungující ČOV problémem. Kvalita vody téměř ve všech ukazatelích výrazně klesá průchodem Lužnice rybníkem Rožmberk, do kterého byly dříve vypouštěny nečištěné odpadní vody z Třeboně a Velkovýkrmny prasat Gigant (dnes R.A.B. s.r.o.). Mechanicko biologická ČOV byla uvedena do provozu roku 1982, anaerobní stupeň dočišťování kalových vod 1985, technologie na částečné odstraňování biogenního dusíku a rozšíření o bioplynovou stanici až v 90. letech. Ke znečištění úseku Lužnice pod Rožmberkem až do Veselí ještě přispívají další přítoky z četných rybníků, které ovlivňují říční vodu zejména v létě a v podzimním období výlovů. V upraveném, napřímeném toku probíhá pomaleji proces samočištění (Simanov a kol. 1998). Znečištění rovněž zvýrazňují nižší průtoky Lužnice, která je zde ochuzena o vodu, kterou odvádí do Nežárky Nová řeka. Voda zde dosahuje IV., někdy i V. třídy jakosti, je překračována limitní hodnota BSK5 (8 mg/l), $CHSK_{Cr}$ (50 mg/l) i $CHSK_{Mn}$ (20 mg/l) dle nařízení vlády č. 171/1992 Sb. (Graf 2). Přítok Nežárky ve Veselí se projevuje zlepšením kvality vody, kterou již ve Veselí drasticky neznečišťují nečištěné vody z potravinářských závodů (Madeta, Fruta) a lihovaru. ČOV zde plně funguje až od roku 1991, v Soběslavi až od roku 1996 (Havlová 1998). Kvalita vody se směrem k Táboru zlepšuje až na hranici III. třídy jakosti. Tam dochází ke znečištění (a překročení limitů BSK5 a $CHSK_{Cr}$) vlivem velké aglomerace Planá nad Lužnicí – Sezimovo ústí – Tábor s největším soustředěním průmyslu v jižních Čechách. Situace ale není tak vážná jako na přelomu 70. a 80.let, kdy ČOV pod Táborem v Klokotech neměla dostatečnou kapacitu a přítok z ní způsoboval veliké zatížení toku ve všech ukazatelích (včetně koliformních bakterií) a zařazoval ho do V. třídy mezi silně znečištěné (Kroupa 1988). V roce 1986 proběhla intenzifikace a zkapacitnění ČOV pro 2. největší jihočeské město Tábor a jeho potravinářské a strojírenské podniky a v roce 1995 byla zprovozněna areálová ČOV pro Sezimovo Ústí a Planou s podniky Kovosvit a Silon. Pod Táborem se navíc vlivem vyššího sklonu řeka intenzivněji provzdušňuje a samočistí až na

lepší III. jakostní stupeň a z alfa-mezosaprobity se vrací k beta-mezosaprobitě. Vliv rybníků se však projevuje až k ústí vyššími koncentracemi fytoplanktonem vázaného organického fosforu. Zdrojem znečištění 10 km před ústím bývalo ještě město Bechyně a přítok Smutné, do které Milevský potok přiváděl velmi znečištěnou vodu díky masnému průmyslu, mlékárně i vzduchotechnické výrobě (úniky těžkých kovů). Díky účinnější ČOV se situace zlepšila až v posledních osmi letech. V Lužnici tak již nedochází ke zhoršení, jen ke stagnaci jakosti vody (Langhansová 1998).

Jak vyplývá z uvedeného popisu, v povodí se za posledních 20 let podařilo podstatně omezit bodové zdroje znečištění vody z obcí a průmyslu. Problémem jsou spíše plošné zdroje, do řeky i rybníků se dostává velké množství živin z intenzivně hnojených rozlehlých zemědělských pozemků (ty se vyskytují v daleko větší míře v severní polovině Třeboňska a celého povodí Lužnice), problémem je i aplikace přebytečných objemů kejdy z velkovýkrmen prasat v zimním období, kdy má půda jen slabé zadržovací schopnosti. V době vypouštění rybníků se do řeky dostává i část živinami přezásobených anoxických rybničních sedimentů. Jistý pokles intenzity hnojení pozemků byl zaznamenán po roce 1990, z důvodu předzásobení půdních horizontů dusíkem došlo ke snižování koncentrací dusičnanů v toku až se zpožděním 5 a více let. U dusičnanů je ovšem pozorován netradiční průběh koncentrací v podélném profilu, kdy je v Třeboňské pánvi zaznamenán díky biologickým procesům v rybniční soustavě pokles až po profil Klenovice! U amonného dusíku, fosforu i ukazatelů BSK5 a CHSK dochází v Třeboňské pánvi naopak ke vzrůstu měřených hodnot (většinou skokově na Rožmberku). Co se týče sezónního průběhu koncentrací nutrientních prvků, dusičnanový i amonný dusík dosahuje nejvyšších koncentrací v zimě a začátkem jara, díky nižší biologické aktivitě a splachům ze zemědělských pozemků při oblevách (Simanov a kol. 1998). V případě fosforu je v souvislosti s rozvojem vodního květu zaznamenáván od května nárůst koncentrací se zářijovým vrcholem (Graf 3). Obsah těžkých kovů není v současné době v toku Lužnice významný, ani radioaktivita. Zdrojem specifických organických látek je areál Jihočeských dřevařských závodů při Dírenském potoce u Soběslavi (polyaromatické uhlovodíky včetně benzo(a)pyrenu) a obalovny Strabag Bohemia u Milevska (PCB). V současné době může docházet k nárazovému uvolňování látek ze sedimentů v tocích pod těmito bodovými zdroji (Havlová 1998).

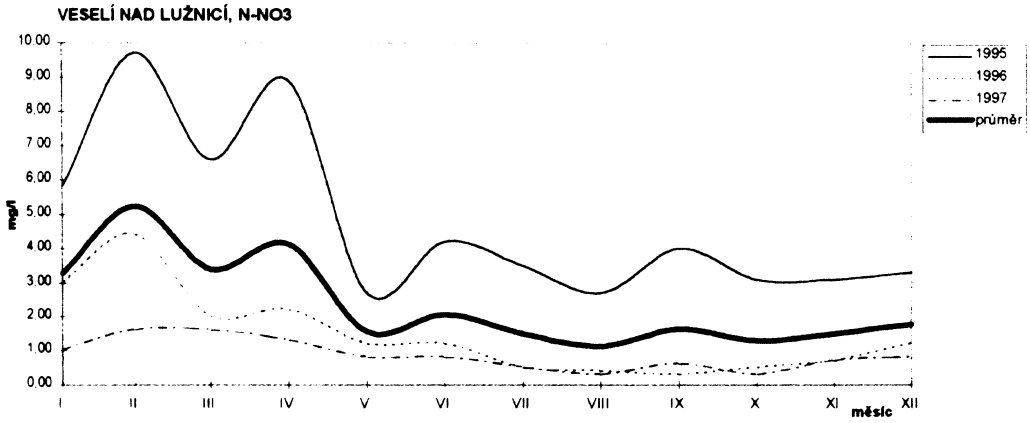
Lužnici tak můžeme z hlediska jakosti charakterizovat jako řeku, která poměrně brzy přechází z oligosaprobity na mezosaprobitu, ale má v podstatné části vyhovující jakost. Ta je lokálně porušena v úseku Rožmberk – Veselí nad Lužnicí a těsně pod Táborem. Významnější je pro řeku organické znečištění, především z plošných zdrojů.

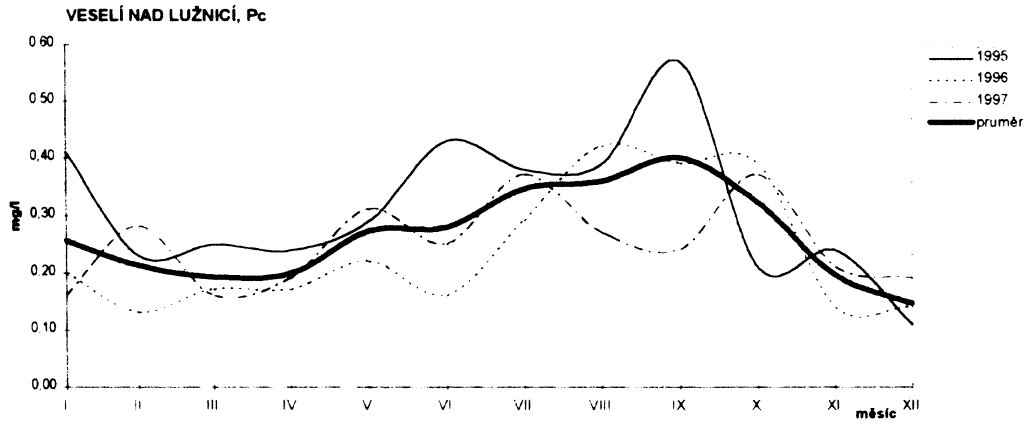
Graf 2: Průměrné hodnoty BSK_5 v podélném profilu Lužnice



(Zdroj dat: Havlová, J. (ed.) Ekologická studie Lužnice 1998)

Graf 3 : Sezónní průběh koncentrací dusičnanů a fosforu ve Veselí nad Lužnicí





(Zdroj dat: Havlová, J.(ed.) 1998, Ekologická studie Lužnice)

2.11. Klimatické podmínky

Klimatické podmínky v povodí Lužnice vyplývají z geografické polohy v mírném klimatickém pásu v území, kde se uplatňuje vliv oceánského i pevninského klimatu. Rozdíly mezi denními a nočními, stejně jako zimními a letními teplotami jsou výrazně vyšší, než v západní Evropě, ale nedosahují hodnot běžných v Evropě východní. Celkově lze klima zařadit do oblasti atlanticko-kontinentální. Oblačnost a množství srážek v oblasti je však značně proměnlivé a výrazně kolísá (Havlová 1998). Hlavní dynamickou silou jsou cyklonální tlakové níže, přicházející většinou od oceánu ze západu či severozápadu. Některé, pro povodí Lužnice srážkově významné cyklony směřují do oblasti také z jihu či jihozápadu. Výrazný vliv na místní klima má v celém povodí nadmořská výška, v případě srážek hraje významnou roli expozice svahu vzhledem ke směru, odkud srážky přicházejí.

2.11.1. Teplotní poměry

Největší část povodí Lužnice patří z aspektu teplotního průměru mezi oblasti mírně teplé. Kolem 68% povodí vykazuje teplotní průměr mezi 7 a 8°C. Nejteplejší je severní polovina třeboňské pánve (Třeboň – Planá nad Lužnicí) a malá deprese Bechyňska, kde se počet dní s průměrnou teplotou přesahující 15°C pohybuje mezi 80 a 100. Stanice v Třeboni vykazuje průměrnou roční teplotu 7,8°C. Táborsko, západní hranice povodí, jižní polovina třeboňské pánve a pahorkatiny při jejím východním okraji vykazují 60 až 80 dní s průměrnou denní teplotou přes 15°C. Průměrná roční teplota v Táboře je 7,3°C, v Nové Vsi nad Lužnicí (jih třeboňské pánve) 7,2°C. Asi 28% plochy povodí charakterizuje teplotní průměr v rozmezí 6-7°C. Jedná se zejména o oblast Středočeské pahorkatiny na severních hranicích povodí a o pahorkatiny a nižší části vrchovin při východní hranici povodí včetně okolí Gmündu a Schremsu v Rakousku. Mezi 5 a 6°C mají průměrnou teplotu Jihlavské vrchy a Novobystřicko – centrální oblast tzv. České Kanady, tedy pramenné oblasti Skřemelice, Dračice, Koštěnického potoka a Hamerského potoka (významný přítok Nežárky). Od celého povodí se klimaticky výrazně a prostorově ostře liší oblast Novohradských hor (Freiwald), v jejíž centrální části se průměrné roční teploty pohybují jen mezi 3 a 4°C. Počet dní s průměrnou teplotou nad 15°C je zde zpravidla nulový (výjimky se začínají objevovat v poslední dekádě). Průměrné letní teploty zde nepřesahují 13°C, byť v nedaleké třeboňské pánvi přesahují 18°C. V okolí Třeboně a Veselí nad Lužnicí bývá také nejmírnější zimní období s průměrnými teplotami slabě nad nulou, v rámci celého povodí klesá zimní průměr na -3°C. Počet dnů

v roce s průměrnou teplotou pod bodem mrazu je v pramenné oblasti 120, v třeboňské pánvi 80. Tento rozdíl je ještě výraznější v počtu dní se sněhovou pokrývkou (Schützner 1998).

Do povodí Lužnice po lokalitu zkoumaných fluviálních jezer (popř. po profil Pilař) zasahuje třeboňská pánev jen svou jižní částí, která je poněkud vlhčí a chladnější, než severní polovina pánve. V rámci této části povodí se přesto jedná o nejteplejší část. Podstatnou plochu zde tvoří pahorkatiny a nižší pásma vrchovin mezi izothermou 6 a 7°C. Skřemelice, popř. i Dračice pramení na výše položeném a tudíž chladnějším Novobystřicku, kde průměrná teplota klesá pod 6°C. Směrem do hor proti proudu Lužnice od města Weitra (Vitoraz), teplota klesá s poměrně strmým gradientem. V pramenné oblasti Lužnice již panuje horské podnebí, prostředí zde má šumavský charakter. Teploty jsou však poněkud vyšší než v centrální oblasti Šumavy (Kvildsko, Modravsko) (Vlasák 2006).

2.11.2. Větrné poměry, oblačnost

V povodí Lužnice vítr fouká nejčastěji ze západních směrů (Z, SZ a JZ). Tyto větry do oblasti přinášejí většinu vlhkosti. Poměrně často v oblasti vane vítr JV směru, který bývá většinou suchý. Vysoké rychlosti větru (silné vichřice, orkán) se v oblasti vyskytují v souvislosti se silnými bouřkami, či za rychlých přesunů front ve výrazném tlakovém gradientu mezi středy silných tlakových níží a výší, jež se navzájem velmi přiblíží (tyto situace nastávají v posledních letech v zimním období čím dál častěji (orkán Kyrill, Emma). Bezvětří se v povodí Lužnice vyskytuje nejčastěji v oblasti třeboňské pánve. Oblačnost je v povodí Lužnice proměnlivá, závislá zejména na přechodech front a na větru. Vyjadřuje se % zatažené oblohy. Pro Třeboň se udává roční průměrná oblačnost 6,3%, pro Tábor 6,7%. Více oblačnosti se zpravidla vyskytuje v zimním období, než v letním. Rozdíl mezi letní a zimní částí roku je v tomto případě menší ve výše položených oblastech (zejména v Novohradských horách), neboť se zde v zimním období méně uplatňuje nízká inverzní oblačnost.

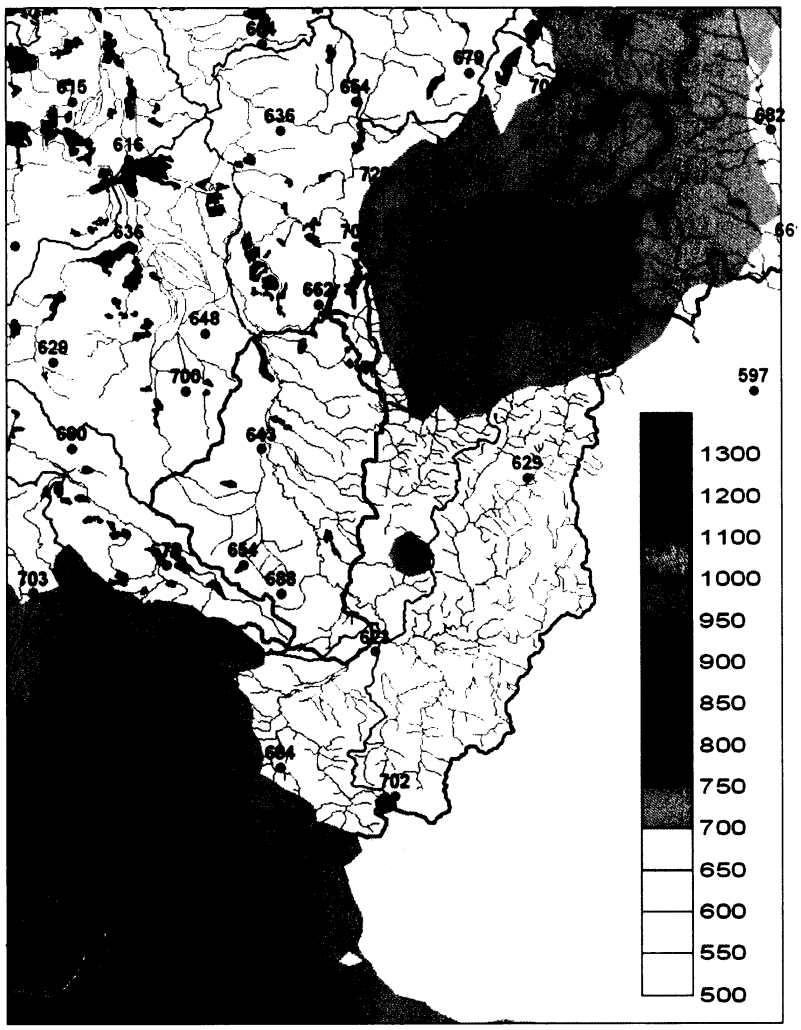
2.11.3. Srážkové poměry

Srážky jsou vzhledem k tématu práce nejdůležitějším klimatickým faktorem. Roční průměrné srážky dosahují v povodí Lužnice 690 mm. To znamená celkový roční objem srážek v povodí 2 322 miliónů m^3 (Havlová 1998). Celkově můžeme povodí Lužnice označit za oblast mírně vlhkou, značná část povodí však hodnot charakterizujících tuto oblast nedosahuje a na menší ploše jsou tyto hodnoty naopak výrazně překročeny. Kolem 44% plochy povodí zaujímá oblast přechodná (500 - 650 mm), 48% oblast mírně vlhká (650 – 750

mm) a zbylých 8% zaujímají vlhké oblasti. Ty se v povodí vyskytují dvě. Obě leží v povodí nad lokalitou zkoumaných fluviálních jezer, kde se formuje přítok do nivy středního toku. Menší je centrální oblast České Kanady, kde pramení významné pravostranné přítoky Skřemelice a Dračice (srážkoměrná stanice u Nové Bystřice vykazuje roční průměr 770 mm). Ještě humidnější je oblast Novohradských hor (Freiwald), kde pramení Lužnice. Srážkové úhrny zde dosahují podstatně vyšších hodnot. Srážkoměrná stanice v Pohoří na Šumavě, 3 km od pramene Lužnice dokonce zaznamenává roční průměr 1074 mm (data ČHMÚ).

Přestože povodí Lužnice patří v rámci ČR, co se týká srážkových úhrnů, mezi mírně nadprůměrné oblasti, v suchých letech bývá nedostatkem srážek postihováno zhruba 50% plochy povodí. Nejnižší roční úhrn srážek byl zaznamenán v Sudoměřicích u Bechyně a v Třeboni v roce 2003 - méně než 360 mm. Takový úhrn srážek byl naopak předchozí, mimořádně vodný rok 2002 překonán během pouhých 12 srpnových dní. V Novohradských horách tehdy spadlo kolem 500 mm srážek! Na všech tocích v povodí Horní Vltavy nastala katastrofální povodeň, jejíž mohutnosti se mohla dle dochovaných pramenů blížit snad jen povodeň v červenci 1432 (Elleder 2007). To ještě neexistovala většina třeboňských rybníků).

Obrázek 1: Mapa průměrných ročních srážek v horní části povodí Lužnice



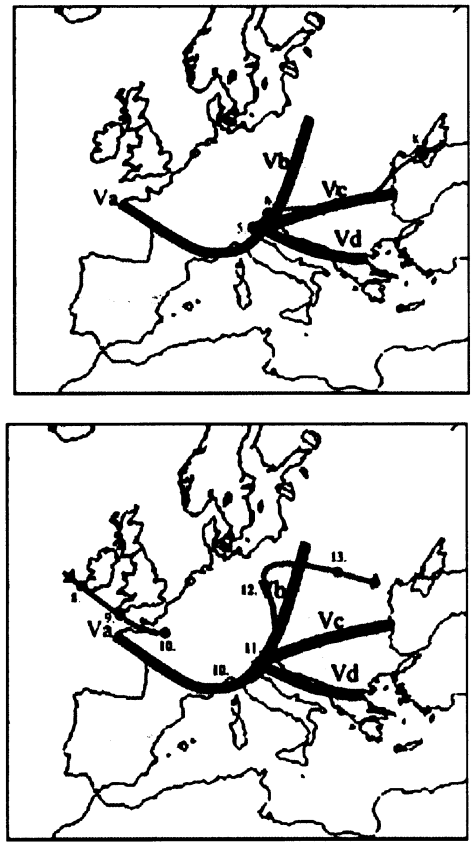
(Zdroj dat: ČHMÚ České Budějovice 2008)

V povodí jsou zaznamenávány významnější srážkové úhrny v letním období. Z dlouhodobých průměrů vyplývá, že nejdeštivějším měsícem je červenec, nejmenší srážkové úhrny jsou zaznamenávány v lednu. V rámci roku můžeme vyčlenit vlhčí periodu

květen – září a sušší periodu listopad – březen. Měsíce duben a říjen jsou srážkové průměrné. Uvedený rozdíl mezi letním a zimním období je méně výrazný v horských oblastech (Novohradské hory) a na Táborsku (zejména ve vyšších partiích Středočeské pahorkatiny). Vlhkostní poměry z klimatického hlediska závisí na vzájemném vztahu teplot a srážek, který se vyjadřuje Langovým dešťovým faktorem (podíl průměrného ročního úhrnu srážek a průměrné roční teploty vzduchu daného místa). Pramenná oblast Lužnice v Novohradských horách leží v perhumidní zóně nad izočarou 160, ve vyšších oblastech vrchovin (Česká Kanada) dosahuje faktor 120. Nad hodnotou 100 se ještě nalézá v okrajových pahorkatinách, v převážné části třeboňské pánve se pohybuje v rozmezí 80 - 100, jen na jejím severu a na Bechyňsku klesá na 70 – 80 (Schützner 1998).

Na množství srážek spadlých v povodí má zásadní vliv interakce morfologie terénu a příčinné meteorologické situace. V zásadě platí, že povodí je silně exponováno srážkám, jež přináší oblačnost z východního až severního, nejčastěji severovýchodního směru. V části Novohradských hor, která leží v povodí Lužnice, jsou takové srážky silně orograficky zesilovány (Obr. 4). V oblasti východní hranice povodí při hlavní evropské rozvodnici se srážky přicházející z tohoto směru také významně uplatňují. Srážkám od severovýchodu je v regionu také více vystaveno povodí Blanice, Polečnice a Křemžského potoka. Nálevkovitý efekt klínu Novohradských hor a Šumavy způsobuje, že severovýchodní situace (např. první vlna při povodni 2002, 5-letá voda v září 2007 aj.) se často srážkově silně projeví v celé širší oblasti (Stropnice, Černá, Malše, částečně Vltava) (Vlasák 2006). Většina front v podmínkách ČR nicméně postupuje ze západu. Podstatná část povodí Lužnice v takovém případě leží ve srážkovém stínu Šumavy. Západní fronty jsou obvykle srážkově významnější pro jiná povodí, než Lužnice (Obr. 3). V jihočeském regionu se jedná zejména o povodí Otavy. Srážkový stín Šumavy je výraznější v jižní, než v severní části povodí Lužnice.

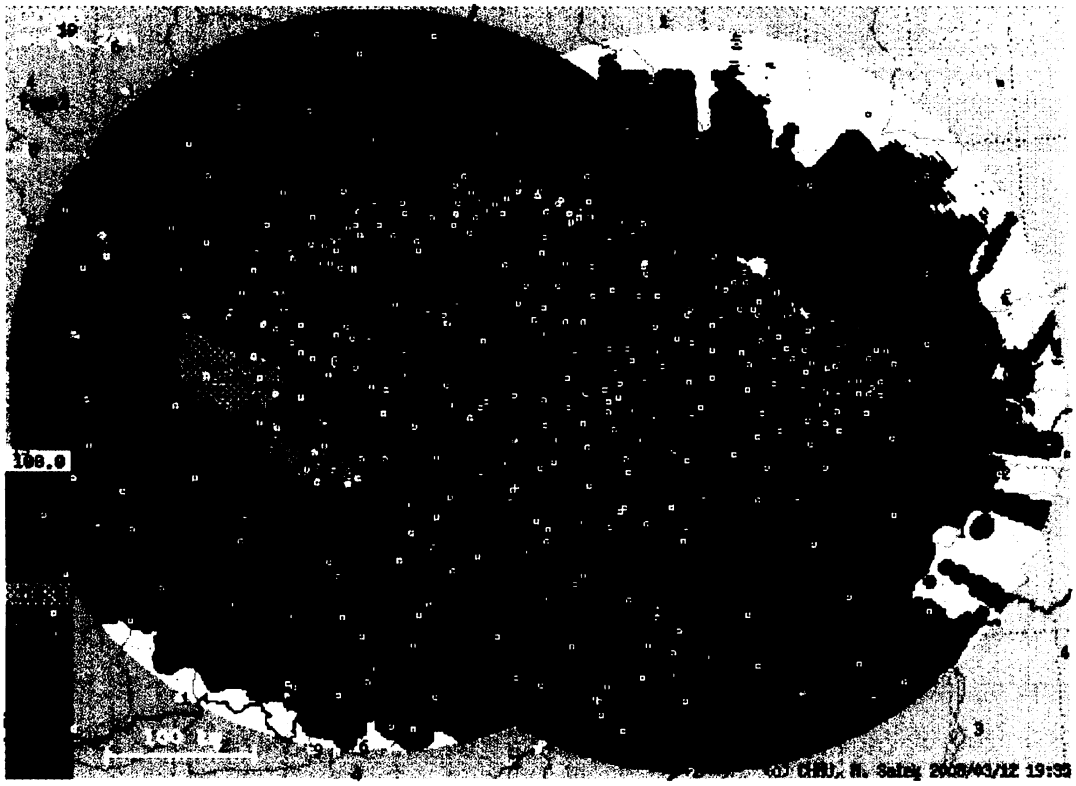
Obrázek 2: Typické dráhy pohybu středů srážkově významných cyklon pro oblast povodí Lužnice se zaznamenanými polohami středů při 1. a 2. vlně srážek v srpnu 2002)



(Zdroj dat: http://www.chmi.cz/ hydro/pov02/index.html)

Na Táborsku, v povodí dolního toku a částečně také v povodí Nežárky, se vyšší srážkové úhrny vyskytují i v souvislosti s frontami přicházejícími ze západu. Na dolním toku Lužnice (profil Bechyně) se v souvislosti s těmito situacemi občas objeví povodňová vlna s rychlým vzestupem i poklesem hladiny, aniž dojde k nápadným vzestupům hladin na ostatních profilech proti proudu řeky (27.-29.5.2006). Ve vzácnějších případech se podobné fronty výrazně projeví i v jižní části povodí (29.-30.6.2006).

Obrázek 3: Typický srážkový projev situace při postupu atmosférické fronty od západu



(Zdroj dat: http://hydro.chmi.cz/hpps/)

Horní část povodí nad profilem Pilař a výzkumnou lokalitou je tedy silně exponována srážkám přicházejícím ze severovýchodu, což je často spojeno s postupem cyklon z jihu či jihozápadu, jejichž střed se nachází východně od povodí. Takové situace se vyskytují častěji v letním období. Jde zejména o cyklonální typy C, Ec, NEc a B (Vlasák 2006).. Od Atlantiku se do Evropy dostávají drahou Va. Pokud dojde nad severním Středomořím k prohloubení tlakových níží a cyklonální oblačnost sytí teplý a vlhký vzduch, pokračují srážkově zpravidla významné cyklony ve třech základních drahách.

Obrázek 4: Silný srážkový projev situace při severovýchodním proudění (střed cyklony na jihovýchodně od ČR)

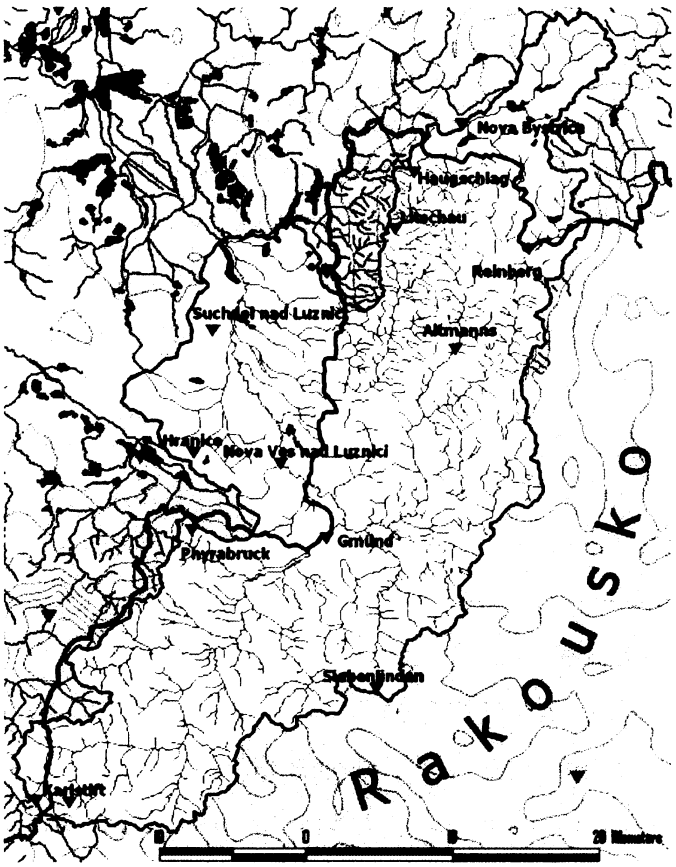
(Zdroj dat: http://hydro.chmi.cz/hpps/)

Srážky ČR zasahují zejména v případě, kdy střed tlakové níže postupuje k severu drahou Vb. Jih území (tedy i povodí Lužnice) může být zasažen i při pohybu po dráze Vc (Obr. 2). Pokud se navíc postup cyklóny zbrzdí či zastaví vlivem silných tlakových výší v jejím okolí, trvalé srážky ze severovýchodního směru v horní části povodí Lužnice zpravidla znamenají povodňovou situaci. Při takové situaci je navíc srážkami silně zasaženo jak povodí horní Lužnice, tak povodí Křemelice (Obr.4). Srážková vlna tehdy postupuje celým povodím Skřemelice (a Dračice) ve směru jejího proudu a také celým povodím horní Lužnice (proti směru jejího proudu).V případě srážek přicházejících z jiných směrů častěji nastává situace, kdy jsou pramenné oblasti těchto vodních toků srážkou zasaženy v odlišné míře a srážkové úhrny se v těchto místech (60 km od sebe vzdálených) dost liší.

Častější a vydatnější srážky do povodí Lužnice (včetně jeho horní části) přináší také oblačnost postupující od severozápadu. V případě srážek přicházejících přímo ze západu či jihozápadu se zde projevuje srážkový stín Šumavy, popř. jihozápadní části Novohradských hor a úhrny zde bývají nižší, než v sousedních oblastech (Obr.3). Západní a jihozápadní proudění má však pravidelně za následek zvýšení vodních stavů v zimě a předjaří. Toto proudění s sebou totiž často přináší výrazné oteplení, které má za následek rychlé tání sněhu

(v převážné části povodí Lužnice sníh roztává velmi rychle) a v kombinaci s dešťovými srážkami nezřídka vede i k povodňovým situacím. Z jihu či jihovýchodu proudí srážkově významná frontální oblačnost jen výjimečně. Podstatné je shrnout, že horní část povodí Lužnice nad profilem Pilař, v jejíž závěru se nachází výzkumná lokalita, patří v rámci celého povodí Lužnice k chladnější a zejména výrazně vlhčí oblasti. Průměrná roční výška srážek zde činí 748,7 mm, tedy o 59 mm více, než pro celé povodí. To souvisí i s celkově vyšší nadmořskou výškou této části povodí a výskytem horských úbočí, kde dochází k orografickému zesilování srážek (Vlasák 2006).

Obrázek 5: Místa, kde je prováděno alespoň denní měření srážek



(Zdroj dat: ČHMÚ České Budějovice)

Průměrný počet bouřkových dnů je v Táboře udáván na 26,7 za rok, v Třeboni 27,2. Větší frekvence bouřek je zaznamenávána v oblasti České Kanady a při jižním okraji třeboňské pánve (Schützner 1998). Pro vznik silných bouřek provázených srážkami přívalového charakteru v letním období nastává příhodná situace při východním proudění za vysoké labilizace zvrstvení, kdy je umožněn střih větru do výšky přes 3000 m. Nutnou podmínkou je přítomnost teplého a vlhkého vzduchu v přízemní vrstvě atmosféry. Nad Skandinávií se za těchto situací zpravidla nachází silná tlaková výše, jejíž stabilita může vést ve střední Evropě k výskytu silných bouřek po dobu několika dní. Srážky s nimi spojené však většinou na hlavním toku nevedou k extrémně silným povodním, mimořádné situace nastávají jen v dílčích povodích menších přítoků, nad kterými spadne hlavní dešťový příval (http://www.chmi.cz/hydro/pov02/index.html 2003) Tyto silné deště lokálního charakteru ovšem mohou přispět k celkové nasycenosti povodí, která znamená v povodí Lužnice významné riziko v případě brzy následujících srážek plošného charakteru (situace v létě 2002). Stejně může povodí před srážkami či v jejich průběhu nasytit tající sníh, pokud ho leží větší množství i mimo horské oblasti (situace v březnu 2006).

2.12. Srážkoodtokové charakteristiky, výskyt a kategorizace povodní

Tok Lužnice se vyznačuje zejména na svém středním toku výrazně pomalejším postupem povodňových vln, než je tomu na ostatních významných tocích povodí Vltavy. Tato vlastnost je důsledkem toho, že Lužnice na středním toku protéká plochou pánevní oblastí, v níž se nachází v rámci ČR výjimečně dlouhý úsek zachovalé přírodní říční nivy a také řada rybníků s mnohdy významnými retenčními prostory. Retardační i transformační účinek na průtok v této části toku Lužnice přesto závisí na typu povodně a situaci, ve které k ní došlo. Důležitou roli sehrává zejména nasycenost povodí (Vlasák, 2006). Díky odlišnému povodňovému mechanismu jednotlivých subpovodí se málokdy stává, že by na dolním toku Lužnice došlo k souběhu kulminací z těchto jednotlivých částí povodí, jak k tomu dochází např. na Otavě v Písku apod. Při průchodu povodňových vln vzniklých z plošných srážek v celém povodí Lužnice nastává při absenci havarijních situací (protržené hráze rybníků apod.) stav, kdy závěrovým profilem Lužnice v Bechyni nejdříve proteče voda nasbíraná v dolní části povodí, jež má převážně pahorkatinný ráz, řada toků (včetně hlavního) zde protéká v zaříznutých údolích a přítoky se vyznačují strmější spádovou křivkou. Následně dorazí voda z povodí Nežárky (nejvýznamnějšího přítoku Lužnice, který zaúsťuje ve Veselí nad Lužnicí) a až poté se uplatňuje vlna z horního toku Lužnice (po retardaci průchodem třeboňskou pánví). U mnoha rozsáhlých povodní tak dochází v Bechyni k ploché kulminaci bez vzestupu k naprostému extrému. Při povodni 2002 tudy prošel větší objem vody než závěrovým profilem na Otavě v Písku, přesto byl kulminační průtok v Bechyni o 500 m3/s nižší (666 m3/s oproti přibližně 1170 m3/s v Písku) (Vlasák 2007). Otava a Lužnice jsou jinak ve svém ústí podobně vodné toky (průměrný průtok zde činí u Lužnice 24,3 m3/s, u Otavy 26,0 m3/s). Vysoké průtoky na dolním toku Lužnice ovšem v důsledku uvedených faktů vydrží velmi dlouho. Při povodni v roce 2002 trval 2. stupeň povodňové aktivity v Bechyni dokonce o 2 dny déle než na Labi v Děčíně! Uvedené odtokové charakteristiky Lužnice sehrávají při rozsáhlých povodních, které postihnou většinu povodí Vltavy, pozitivní úlohu, neboť plošší kulminační přítok z Lužnice doráží do Orlické přehradní nádrže se zpožděním oproti Otavě a Vltavě. Při povodni v roce 2002 kulminovala Lužnice v Bechyni téměř 2 dny po kulminaci Vltavy v Praze! Díky tomu je poněkud limitována akcelarace průtoku na dolním toku Vltavy a je dán alespoň minimální prostor pro vhodnou manipulaci s hladinou na přehradách vltavské kaskády. Charakteristiky povodí Lužnice tak znamenají částečné snížení potenciální extremity povodně na dolním toku Vltavy, tedy zejména v hlavním městě Praze.

Niva řeky Lužnice tak poskytuje naprosto exemplárně to, co se v současné době prosazuje jako koncept ekosystémových služeb (Seják a Pokorný 2008).

Typickým znakem povodní na Lužnici je tedy dlouhá doběhová doba . Výjimku v rámci povodí tvoří v tomto směru překvapivě jeho dolní část, což je dost neobvyklé. Lužnice zde opouští Třeboňskou sedimentární pánev a zařezává se do krystalických hornin Táborské pahorkatiny (souvislost se změnou orientace toku v geologické historii). Zde má Lužnice výrazně rychlejší odtokovou odezvu a na závěrovém profilu v Bechyni je pak v případě silných srážek v této části povodí zaznamenán rychlý vzestup hladiny s často vysokou kulminací a následný strmý pokles hladiny a poměrně rychlý návrat do normálu. Z porovnání hydrogramů z Klenovic u Soběslavi a Bechyně je patrné, že dramatický nástup povodně v Bechyni byl způsoben přítokem právě z dolní části povodí hned v několika případech (květen 2006, červen 1960, srpen 1925, září 1888). Zbylá část povodí se však vyznačuje pomalejším postupem povodňové vlny a silnou transformací průtoků. Maximální specifické odtoky jsou při povodních zpravidla mnohem menší než například v povodí Otavy nebo Blanice (Vlasák 2007). Tento fakt způsobují především tyto vlastnosti povodí:

- nízká sklonitost střední části povodí
- vysoká propustnost písčitých půd v třeboňské pánvi
- retence vody v rybnících třeboňské pánve
- transformační účinek úseků, kde řeka meandruje v přírodní nivě (na středním, v menší míře i na horním toku a přítocích v této části)
- skutečnost, že Třeboňská pánev, kde dochází k hlavní retenci i transformaci průtoku, se nachází v poměrně vysoké nadmořské výšce (395 – 490 m) a řeka do ní vtéká poměrně brzy (v nadmořské výšce 472,5 m, 42,7 km toku od hlavního pramene).
- Z hlediska rozložení příčinných srážek povodní nelze v povodí Lužnice jednoznačně vymezit výraznou zdrojovou oblast (jako například na Otavě Šumavu a její podhůří). Odlišné fyzicko-geografické charakteristiky jednotlivých částí povodí (subpovodí) způsobují, že tvar povodňových vln se v jednotlivých profilech dosti liší. Na středním a dolním doku se ve svých vlivech mísí a povodňové vlny zde proto mají často složitý tvar s řadou vedlejších vrcholů (Vlasák 2006). Na profilu Pilař, který se nachází v horní části středního toku v úseku, kde tok protéká širokou, většinou přírodní nivou, jsou zaznamenávány většinou pozvolné vzestupy hladin. Byly však i zde zaznamenány případy

rychlého, strmého vzestupu hladiny poté, co dosáhla určité úrovně. V případě úplného přelití celé šíře nivy a jejích nerovností určitou výškou vodního sloupce se totiž rychle vytrácí její jinak vysoký retardační a transformační účinek, což vyplývá i z vlastních měření a pozorování na místě. Další přítok již pouze vtéká do vzniklého dlouhého bazénu ohraničeného svahy teras. Ten už se vysokou retenční schopností nevyznačuje. K takové situaci zde dochází v případě brzy navazující další povodňové vlny (srpen 2002 – 2.vlna, červenec 1954) či letní povodně způsobené extrémními srážkovými úhrny během krátké doby (červen 2006, srpen 2002 – 1.vlna, květen 1951 či srpen 1925) (Vlasák 2006). Povodňové vlny na Nežárce mají spíše rychlejší nástup a to i u jarních povodní způsobených z větší části tajícím sněhem. Obyčejně dochází k tomu, že přítok z Nové řeky kulminuje až s jistým zpožděním za kulminací Nežárky, což lze ověřit na profilu Hamr, nebo na profilu Klenovice u Soběslavi.

Je možno shrnout, že na Lužnici se vyskytují 4 základní typy povodní (Vlasák 2006).

1 a) první zimní povodňový typ bývá způsoben táním větších sněhových zásob v teplém a vlhkém jihozápadním proudění. Srážky nejsou pro vznik povodňové situace podmínkou, ale mohou zvýšit její mohutnost. Povodňovou vlnu charakterizuje pozvolný nástup i pokles.

1 b) druhý zimní povodňový typ se vyskytuje pouze na dolním toku Lužnice. Její příčinou bývají srážky v dolní části povodí v době, kdy sem dobíhá voda z tání v horní a střední části povodí.

2 a) povodně prvního letního typu zasahují celé povodí, neboť jsou způsobeny dlouhodobými intenzivními srážkami zasahujícími většinou celou plochu povodí. Jsou spojeny většinou s typickými cyklonálními situacemi přinášejícími do regionu výrazné srážky (synoptické typy, B, C, Ec, Nec) (Brádka a kol. 1961), které bývají v Novohradských horách orograficky zesilovány. Do této skupiny patří většina nejmohutnějších povodní. Důležitou úlohu pro výslednou extremitu povodně hraje nasycenost povodí.

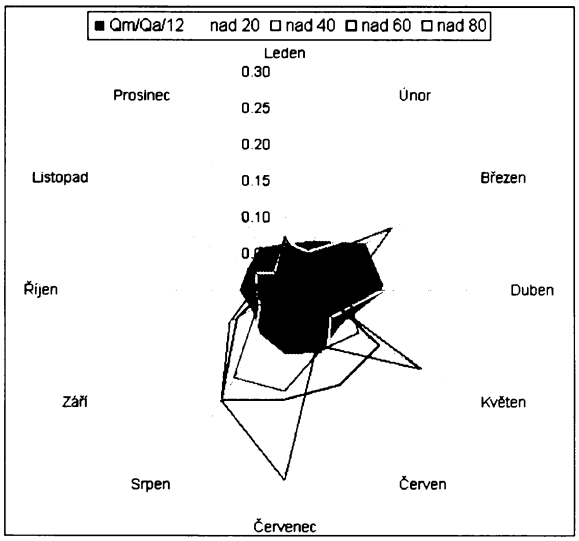
2 b) povodně druhého letního typu jsou způsobeny intenzivními srážkami v dolní části povodí, kdy dojde k rychlému vzestupu i poklesu vodních hladin.

K hodnocení sezonality povodní je možno využít grafy sezonálních růžic (Graf 4), pro které byly využity Vlasákem (2006) statistická data měrných profilů ČHMÚ i archiv jejich kulminačních průtoků při povodňových situacích. Z grafů vyplývá, že značná část povodní se vyskytuje v březnu. Jedná se nejčastěji o zimní typ 1 a). Tím se Lužnice liší v jižních Čechách např. od Vltavy, Otavy, či Blanice, kde jsou takové povodně z hlediska četnosti výskytu

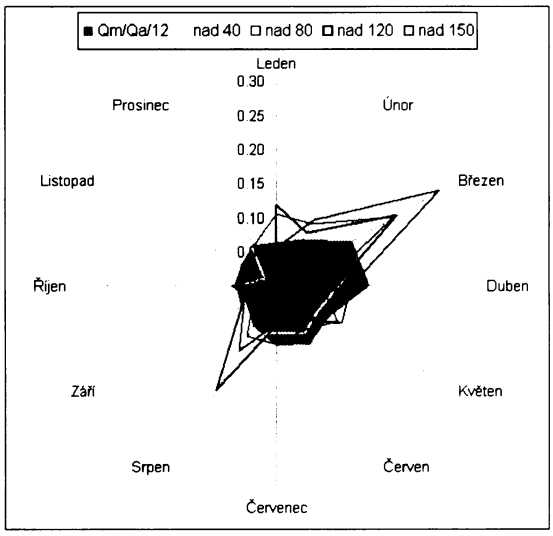
v pozadí. Povodeň v březnu 2006 názorně ukázala, že sníh při oblevě roztává selektivně pouze v cca 4 % plochy povodí uvnitř Novohradských hor, jinde roztaje téměř naráz (v tomto případě během 36 hod.) sněhová pokrývka výšky i několika desítek centimetrů (vlastní pozorování 2006). Povodně způsobené jarními oblevami bývají výraznější i u dalších toků sbírajících vodu převážně ze středních výšek mimo horské oblasti jako je Dyje či Sázava. Hlavními důvody jsou relativně malé výškové rozdíly, které způsobují, že obleva zasahuje podstatnou část povodí a relativně malé odtoky se z velké plochy mohou koncentrovat do nebezpečných průtoků. Infiltrace v písčitých půdách na malých sklonech podporuje retenci vody, která se však na promrzlé půdě při jarním tání nemůže uplatnit a odtokový koeficient může být vyšší než v letních měsících (Ložek 2003). Porovnáním grafů sezonálních růžic pro profil Pilař, který charakterizuje situaci v horní části povodí a pro profil Klenovice u Soběslavi, kde Lužnice vstupuje do svého dolního toku, zjistíme, že na Pilaři je zaznamenáno méně silných povodní vzniklých táním a vyšší je naopak zastoupení letních povodní typu 2 a). V povodí nad Pilařem je totiž vyšší relativní zastoupení horských oblastí (nad 800 m.n.m), kde sníh odtává vždy postupně a v případě letních dešťových epizod jsou srážky naopak orograficky zesilovány. V profilu Klenovice se také uplatňuje vliv Nežárky, jejíž povodí je značně citlivé na situace spojené s oblevou (leží zde často významné sněhové zásoby, které však mohou roztát naráz jako v březnu 2006). Významné přítoky v části po profil Pilař Skřemelice a Dračice se svými povodňovými charakteristikami zřejmě více blíží právě Nežárce než hornímu toku Lužnice před Gmůndem.

Graf 4: Sezonální růžice rozložení průtoku a výskytu povodní na dvou profilech na Lužnici

Pilař



Klenovice



(Zdroj dat: Vlasák 2006)

Z obou sezonálních růžic je patrné, že vyšší průtoky se v řece vyskytují především v jarních měsících, což ale především v dubnu nebývá spojeno s výskytem extrémnějších povodňových situací. Větší část průtoku se na obou profilech realizuje jednoznačně v období březen – červenec. V měsících srpen a září se většinou na toku vyskytují podprůměrné průtoky, přesto právě v těchto měsících (zejména v srpnu) dochází nezřídka k povodňovým situacím extrémnějšího rázu. Zajímavé je, že na Pilaři je zaznamenána vůbec nejvyšší četnost výskytu povodňových situací v červenci, ale tyto povodně se projevují v Klenovicích jen v malé míře, narozdíl od povodní, které se udály v srpnu. V říjnu, listopadu a prosinci se na obou profilech vyskytly povodňové situace jen výjimečně.

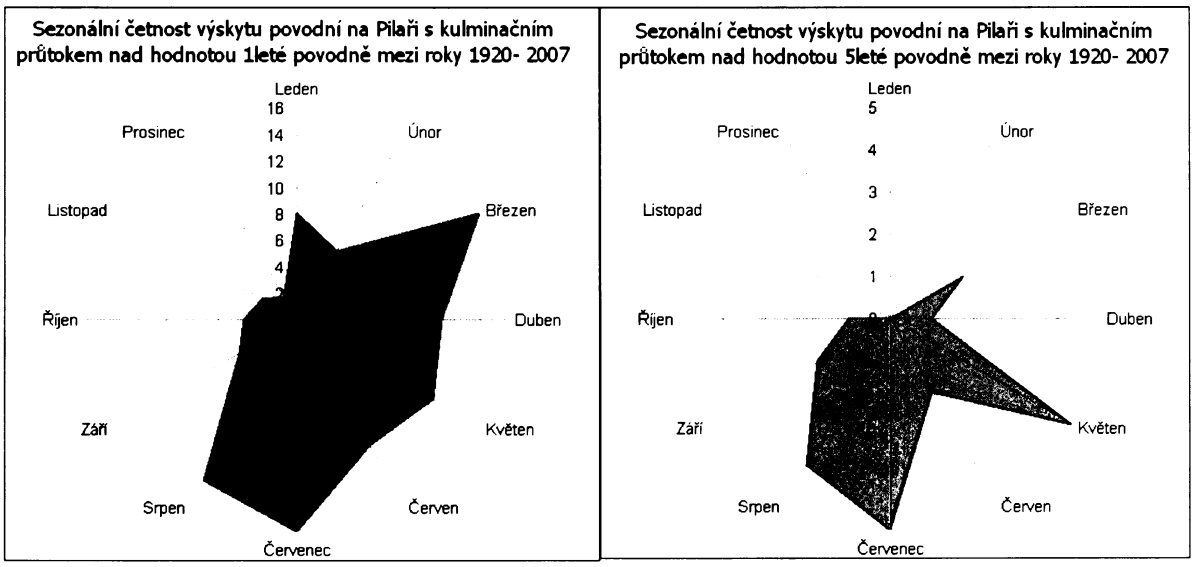
Retardaci i transformaci povodňových vln na středním toku Lužnice umožňují především dva výrazné fenomény. Jedním je zachovalá, 200 – 1300 m široká přírodní niva řeky, která se při nástupu povodně postupně plní vodou a umožňuje rozsáhlé nerizikové rozlivy. Vyskytuje se v úseku Gmünd – rybník Rožmberk (61 km). Výraznější rozlivy v přírodním území jsou dále umožněny na Nové řece v prostoru Novořeckých močálů (7 km), v nivě dolní trati Nežárky od soutoku s Novou řekou po Veselí nad Lužnicí (17 km) a pod ním na Lužnici u Dráchova (6km).

Druhým významným faktorem jsou bezesporu rybníky, jejichž hráze (pokud nápor vody vydrží) zpomalí a často i zadrží velké množství vody. Rybníky jsou z hlediska retenční kapacity vzhledem k standardnímu objemu vody při hospodářské hladině účinnějšími a vhodnějšími nádržemi_než údolní přehrady v hlubokých údolích (Římov, Orlík, Slapy aj.). Odhady zadrženého objemu vody při povodních 2002 v rybnících třeboňské rybniční soustavy (z nichž část byla provedena specialisty z Vodního Díla – TBD a.s., firmy, která se specializuje na technickobezpečnostní dohled nad vodními díly) se pohybují mezi 120 a 160 miliony m^3. Proti tomu retenční objem nad normální zásobní stav vody v přehradních nádržích Lipno, Římov a Orlík činí dohromady 76,8 miliónů m^3. Zdaleka největší objem vody z rybníků třeboňské pánve zadržel největší Rožmberk, jehož hráz se staví do cesty přímo řece Lužnici. Při kritické situaci hrozící protržením hráze dosáhla jeho hladina 420 cm nad úroveň normální hospodářské hladiny (Rameš 2003) a hráz držela téměř desetinásobné množství vody (kolem 60 miliónů m^3). Řada velkých rybníků třeboňské pánve leží na malých levostranných přítocích Lužnice, takže na nich nedošlo k vyloženě kritické situaci a mohly eliminovat přítok z těchto menších povodí. Výjimku tvoří rybníky Spolský a Svět, jež leží na Spolském potoce s rozsáhlejším a srážkami silně zasaženým povodím. Na rybníce Svět situaci vyhrotila absence bezpečnostního přelivu (přestože při povodni v září 1890 došlo k protržení rybníka), který musel být havarijně vybudován. V třeboňské pánvi dochází ke skládání účinků

přírodní široké říční nivy a rybníků. Při posuzování retence vody v této části povodí je tedy třeba vždy uvažovat oba fenomény a ani jeden účelově neopomíjet (Pithart 2003). Důležitým faktem zůstává, že retardační i transformační účinek klesá s extremitou povodně. Roli hraje také strmost jejího nástupu a předchozí nasycenost povodí.

V případě nivy dochází zřejmě k silnější retardaci nastupující povodně vlivem vyšší drsnosti povrchu a křivolakosti terénu, na druhou stranu retenční prostory vymezené říčními terasami nedosahují objemu, který mohou zachytit rybniční hráze. To vyplývá i ze zpracování 3D modelu říční nivy mezi Gmündem a Suchdolem nad Lužnicí (ústní sdělení Pithart a Žaloudík 2008). Výhodou rozlivů v přírodní nivě je, že se většinou obejdou bez jakýchkoliv hospodářských škod (Pelc 1998). Za fenomén na rozhraní nivních rozlivů a retence díky hrázím rybníků lze považovat zaplavení močálů nad Novořeckou hrází (území PR Novořecké močály a Meandry Lužnice). Rozmanité prostředí močálu, kde se vyskytují pouze menší vodní plochy (max. jednotky ha) se za povodně stává v podstatě rybníkem o ploše několika desítek ha (max. cca 250 ha – odhad na základě vlastního pozorování a leteckých snímků). Novořecká hráz, se stromořadím chráněným státem, vedoucí v délce 9,5 km podél Nové řeky nevydržela extrémní nápor vody při povodních v srpnu 2002 a došlo k jejímu protržení v délce 100 m. V současné době bylo přistoupeno ke vtlačení larsenových desek do tělesa hráze a zkapacitnění rozdělovacího objektu Staré a Nové řeky namísto alternativy v podobě opevněných průlehů v Novořecké hrázi (ústní sdělení Filip 2008).

Graf 5: Sezonální četnost výskytu kulminačních průtoků přesahujících dobu opakování 1 a 5 let v období 1920 - 2007

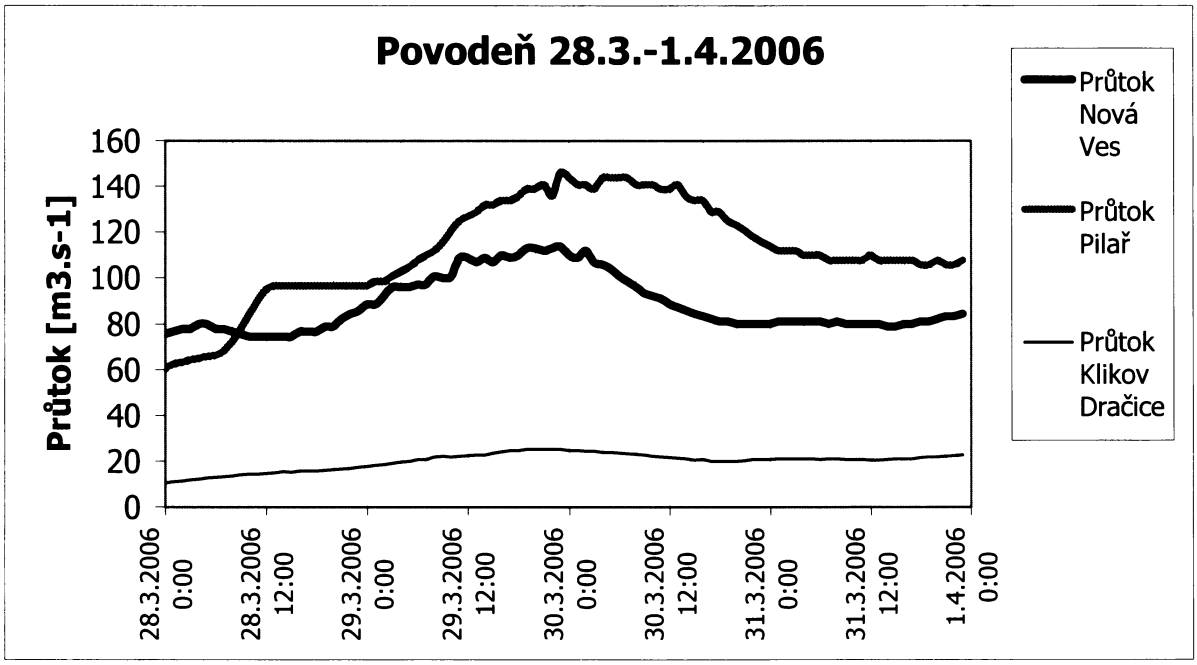


(Zdroj dat: Vlasák 2006)

Na profilu Pilař, ležícím pod dlouhým úsekem převážně přírodní nivy tak dochází k vyhlášení hydrologického sucha (průtok 0,25 m^3/s a menší) jen výjimečně (http://www.pvl.cz/portal/sap/cz/index.htm). Zadržení vody v nivě na druhou stranu způsobuje citlivost na opakující se srážkové epizody. Při povodni v roce 2002 měla v Klenovicích druhá vlna více než čtyřnásobný kulminační průtok oproti první vlně (na Otavě v Písku a na Vltavě v Budějovicích to bylo méně než dvojnásobek) (Vlasák 2007).

Při podrobnějším pohledu na horní část povodí po profil Nová Ves a Pilař (mezi nimiž leží studovaná lokalita) je možno konstatovat, že se zde pravidelně vyskytují jarní povodně, které zde však nedosahují mohutnosti, kterou nabírají dále po proudu. Pokud změníme výběr povodní podle kritéria doby opakování (N- letosti průtoku) z 1 roku na 5 let, zastoupení jarních povodní výrazně klesá (Graf 5). Zdroj těchto povodní je především v plošném tání sněhu. Ten v důležité části horního subpovodí, v Novohradských horách (Freiwaldu), zpravidla netaje naráz, ale postupně selektivně roztává. Za této situace lze tudíž před soutokem v Gmůndu předpokládat výraznější přítok ze Skřemelice, než z horní Lužnice.

Graf 6: Povodeň v předjaří 2006 na profilech Nová Ves a Pilař



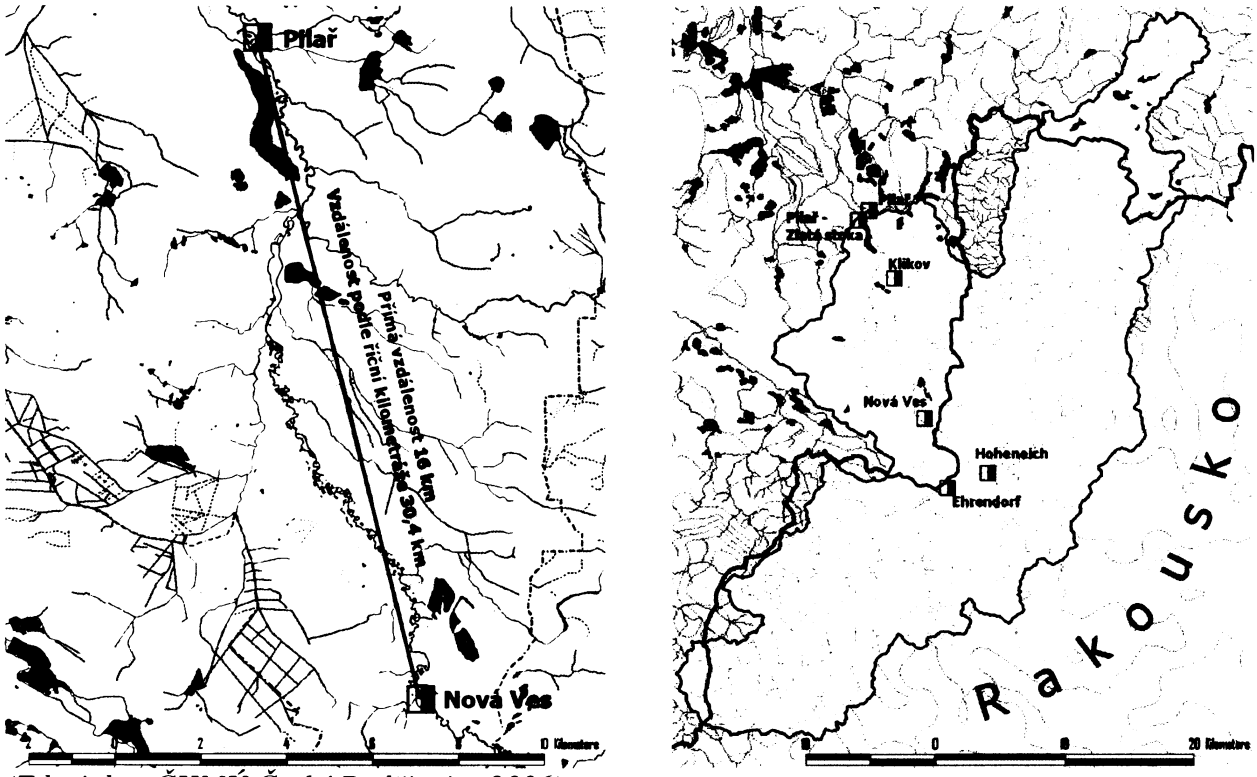
(Zdroj dat: ČHMÚ České Budějovice)

Vzhledem k poměrně významnému nárůstu plochy subpovodí mezi Novou Vsí a Pilařem (jižní část třeboňské pánve a povodí přítoku Dračice) je přes retenci vody v říční nivě (omezenou promrznutím většiny půdního horizontu) pochopitelný nárůst kulminačního průtoku (Graf 6). Ke kratší postupové době mezi profily zřejmě přispívá i rychlejší přítok z Dračice, která do Lužnice ústí 6,2 km nad Pilařem. Další důvod kratší doběhové doby tkví v

tom, že v rovinaté oblasti mezi profily sníh taje velmi rychle a bezprostředně přechází ve zvýšený průtok v profilu Pilař.

Při výskytu povodňových odtoků se voda z pramenné oblasti Lužnice (nebo Skřemelice) dostává do vodoměrného profilu Pilař (vzdálenost podél údolí řeky cca 55 km) za jeden až dva dny. Za běžné situace je to pravděpodobně ještě mnohem déle. Obdobné doběhové doby povodní má například Otava z pramenné oblasti Vydry až do Písku (vzdálenost cca 130 km, trojnásobná plocha mezipovodí) (Vlasák 2007). Nejvýznamnější zpomalení postupu se na Lužnici odehrává pod soutokem se Skřemelicí, kde řeka vtéká do pánevních sedimentů a začíná meandrovat v široké nivě. Toto zpomalení lze zčásti postihnout srovnáním hodinových průtoků z profilu Nová Ves a Pilař v určitém časovém intervalu.

Obrázek 5: Vzájemná pozice profilů Nová Ves a Pilař a umístění všech měrných profilů vodních stavů a průtoků v horní části povodí Lužnice



(Zdroj dat: ČHMÚ České Budějovice 2006)

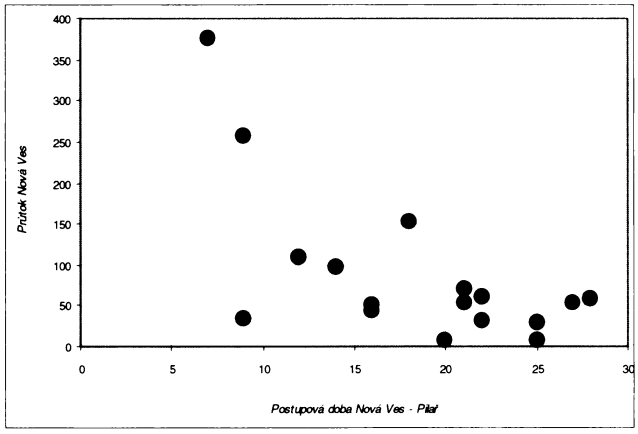
Nedostatkem tohoto srovnání je fakt, že před profilem Nová Ves již řeka protéká 9 km nivou, kde se realizuje část zkoumaného zpomalení a tomuto profilu Povodí Vltavy a.s. zatím chybí spolehlivá měrná křivka průtoků, které tak mohou být zatíženy určitou chybou (dle odborníků z ČHMÚ jsou zde průtoky mírně nadhodnocovány). Dalším nedostatkem je samozřejmě přítok z mezipovodí (třebaže průtok nejvýznamnějšího přítoku Dračice je většinou monitorován) a odbočení Zlaté stoky těsně nad profilem Pilař. Přesto lze díky těmto

datům získat základní představu o doběhových dobách kulminačních průtoků i jejich transformaci.

Tabulka 4: Doběhové doby povodňových vln a jejich charakter (1974 – 2007).

	Průtok Nová Ves	postupová doba	
7.9.2007	60	22	plochá vlna
21.7.2007	6,8	25	
26.3.2007	28,7	25	plochá vlna
8.8.2006	97,4	14	plochá vlna
30.6.2006	153	18	ostrá vlna
11.5.2006	6,2	20	
29.3.2006	109	12	plochá vlna
13.8.2002	376	7	ostrá vlna
8.8.2002	258	9	ostrá vlna
3.8.1991	53	21	ostrá vlna
2.7.1987	70	21	ostrá vlna
27.3.1987	33	9	plochá vlna
8.8.1985	32	22	plochá vlna
4.3.1977	44	16	ostrá vlna
15.11.1976	54	27	ostrá vlna
11.7.1975	57	28	ostrá vlna
9.12.1974	52	16	plochá vlna

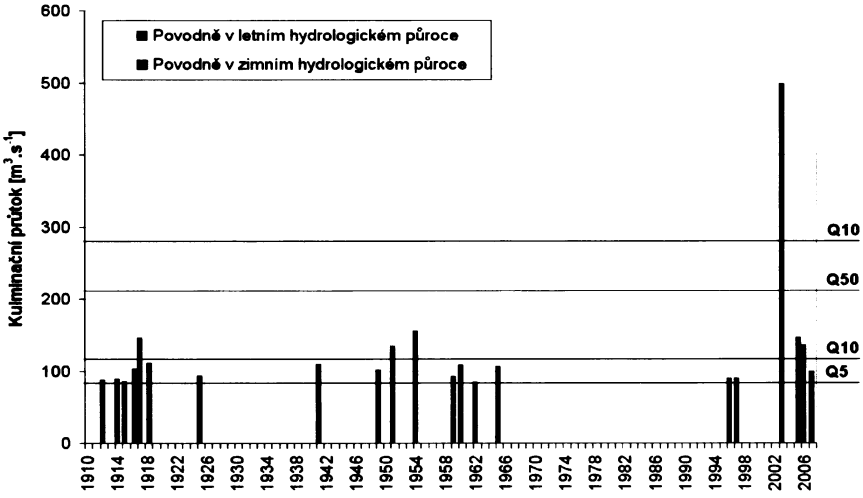
Graf 7: Doběhové doby povodňových vln a jejich charakter (1974 – 2007).



(Zdroj dat: Vlasák 2007)

Postupové doby povodňových vln se pohybují mezi 7 a 30 hodinami, vykazují tedy značný rozptyl (Graf 7). Graf dále ukazuje, že tvar povodňové vlny (ostrá x plochá) nemá pro postupovou dobu zásadní význam. Dá se však shrnout, že postupové doby kratší než 15 hodin se zde vyskytly pouze v případě jarních povodní, jejichž hlavním zdrojem je tající sníh (příčiny rychlého postupu popsány výše), nebo při letních povodních, které přesáhly určitou míru extremity (cca 100 m^3/s), nebo natekly do vodou již naplněné nivy. Niva tohoto úseku Lužnice má tedy určitou kapacitu

Graf 8: Výskyt povodní přesahujících 5-letou dobu opakování na profilu Pilař v intervalu 1910-2007



(Zdroj dat: Vlasák 2007)

danou výškou přelití jejího
povrchu vodou.

Po překročení této kapacity výrazně klesá její retardační i transformační schopnost. Tomu odpovídají krátké postupové doby u obou vln extrémní povodně v srpnu 2002. Extremitu této povodně dokumentuje graf 8, kde si dále můžeme všimnout tří period vyššího výskytu povodní během posledních 110 let. Graf potvrzuje na profilu Pilař nízký výskyt povodní, které přesáhnou dobu opakování 5 let v zimním hydrologickém půlroce (jednou z výjimek je právě 20-letá povodeň koncem března 2006).

3. Metodika

K výzkumu byla vybrána lokalita v přírodní nivě horní části středního toku Lužnice na území PR Horní Lužnice přibližně v polovině vzdálenosti mezi obcemi Nová Ves nad Lužnicí a Dvory nad Lužnicí. Jedná se o vhodnou lokalitu vzhledem k výskytu několika fluviálních jezer na poměrně malém území. Na cca 4 ha levobřežní části nivy se nalézá 9 stálých fluviálních jezer (1 mrtvé rameno a 8 tůní). Z tohoto počtu bylo sledováno 6 tůní v porovnání s řekou. Vybrané tůně jsou v různé vzdálenosti od řeky i od spodní údolní terasy, jsou různého tvaru i hloubek. Studovaná lokalita nabízí dostatečně rozmanité prostředí pro předpoklad možných rozdílů v chování hladin fluviálních jezer. Zároveň je to prostředí dostatečně reprezentativní v rámci celého sedmnáctikilometrového úseku nivy mezi Gmůndem a Tuští, v jehož středu se přibližně lokalita nachází. Lokalitu bylo vhodné vybrat také z toho důvodu, že zde v 90. letech proběhly výzkumy chemismu a oživení stojatých nivních vod (s důrazem na fytoplanktonní společenstva) prováděné Pithartem.

Hlavní metodou výzkumu bylo sledování vodních stavů na jednotlivých tůních ve srovnání se sledovaným vodním stavem řeky na jejich úrovni (141. říční kilometr Lužnice). Vodní stavy byly zaznamenávány s přesností na 0,5 cm odečítáním ze standardních vodoměrných latí, kde každý dílek představuje 2 cm. Sledování probíhalo po dobu dvou let , respektive 25 měsíců. Prvních 5 měsíců výzkumu na některých tůních ještě nebylo možné instalovat vodočetné latě, proto byly využity hluboko a pevně zabité dřevěné latě, na kterých byly úrovně hladiny zaznamenávány barevnými značkami, zářezy na hranách latí, měřením vzdálenosti od horního konce latě k hladině posuvným metrem apod. Při následné instalaci kovových latí (připevněných napevno ke kmenům stromů nebo na hluboko zatlučené lešenářské trubky) bylo pomocí totální stanice přesně zaměřeno, jaká úroveň dřevěné latě odpovídá nule kovové vodočetné latě. Hodnoty zjištěné měřením na dřevěných latích byly následně převedeny na nové kovové latě, aby nebyla narušena kontinuita získávaných dat. Vše se odehrálo ještě před prvním zamrznutím hladin, jelikož pohyb ledu by mohl snadno změnit úroveň a stabilitu dřevěných latí.

V posledních 3,5 měsících výzkumu byly naopak hladiny dvou tůní a řeky sledovány sofistikovaněji instalovaným měřícím zařízením firmy Fiedler - Mágr, které zaznamenává pomocí ponorných tlakových snímačů výšku hladiny v 30-minutovém intervalu (u řeky v 10-minutovém), měřen je i atmosférický tlak. Podobná stanice, která měří výšku hladiny pomocí ultrazvukové sondy, byla instalována již koncem roku 2006 na konstrukci mostu přes Lužnici

mezi Halámkami a Dvory nad Lužnicí (v nivě cca 3 km ve směru toku řeky). V sousedství tohoto mostu se nachází profil, kde jsem pomocí hydrometrické vrtule několikrát změřil průtok řeky při známých, ale rozdílných úrovních hladiny, změřených pomocí automatické stanice. Na základě těchto měření bylo možno sestrojit konsumpční křivku pro daný profil. Pro její úplnost schází provést měření při stavu výrazného přelití vody z koryta, což je technicky náročný problém. Data měřící stanice byla nicméně využívána také pro ověření pohybu hladiny v řece uvnitř přírodní nivy. V kombinaci s instalovanou stanicí přímo na studované lokalitě je od května 2008 také možné bilancovat např. doběhové doby různě velkých vln zvýšených průtoků mezi oběma profily, změny tvaru těchto vln. Až bude známa konsumpce na profilu při studované lokalitě, bude se moci bilancovat i retence vody v tomto úseku nivy. Další měřící profil se záznamovým zařízením byl v současné době instalován na 127. říčním kilometru, takřka přesně na konci přírodního, antropogenně minimálně ovlivněného úseku nivy mezi Gmůndem a Tuští, v němž se nachází lokalita se studovanými fluviálními jezery.

Pro zjišťování a bilancování výšky hladiny a průtoků byla využívána data měrných profilů na Lužnici, které bylo možno získat každý týden stáhnutím z internetu. Proti proudu řeky nad studovanou lokalitou se jednalo o profil podniku Povodí Vltavy a.s. v Nové Vsi nad Lužnicí. Orientačně byla v případě povodňových či suchých epizod sledována i data z profilů v Rakousku na Lužnici (Ehrendorf) i Skřemelici (Hoheneich) před jejich soutokem v Gmůndu. Nejbližší profil státní sítě spravovaný ČHMÚ se nachází až pod jezem Pilař u Majdaleny. Také odtud byla společně s Novou Vsí stahována data o denních průtocích v týdenních intervalech. Zpočátku období bylo možné touto cestou získávat i data hodinových průtoků, což je nyní možné pouze v případě posledních 24 hodin. Hodinové průtoky jsou nutné zejména při bilancování povodňových situací. Společně s číselnými hodnotami průtoků je však z internetu možno stahovat grafy znázorňující průběh výšky vodní hladiny a průtoku v posledním týdnu. Této skutečnosti bylo využíváno nejen v případě profilů na Pilaři, v Nové Vsi či na Lužnici v Rakousku, ale při výjimečných příležitostech jako jsou povodně také u dalších toků (zejména u Černé a Stropnice, které svou pramennou oblastí sousedí s Lužnicí).

Data z vodočetných latí v tůních i řece na lokalitě nebyla sbírána v pravidelných intervalech. Pokud se vyskytla vlna vyššího průtoku (či přímo povodňová vlna), bylo nutné data sbírat s větší frekvencí v co nejkratších intervalech. V některých případech to bylo i méně než 24 hodin. Pokud se vyskytnul delší časový úsek bez meteorologických situací, které by vedly k náhlé změně průtoku, byla data v periodě postupného poklesu hladin sbírána v delších intervalech, někdy až týdenních. V závěru sledování v roce 2008 bylo několik

intervalů mezi sběry dat ještě delších, protože byl kladen důraz pouze na situace, které by se mohly od již proběhlých výrazně odlišovat (na základě průtoku i situace v nivě), popř. by mohly zpřesnit již proběhlá měření v situaci, kde to bylo zapotřebí. Aby došlo k návštěvě lokality v ideálním termínu (kulminace vlny zvýšeného průtoku, vrchol sucha apod.) byly využívány aktuální údaje z profilu v Nové Vsi či v Rakousku. Pokud zanedbáme poslední půlrok sledování v roce 2008, činil průměrný interval sběru dat na lokalitě přibližně 3,81 dne, i s rokem 2008 pak 4,53 dne.

Data byla při navštívení lokality z vodočetných latí odečítána jednoduše vizuálně, což činilo potíže pouze při extrémnějších vodních stavech. V případě povodňové vlny odpovídající v Nové Vsi 2. povodňovému stupni a výše (červenec 2006, srpen 2006, září 2007) nebylo již možné využít rybářských vysokých holínek. K některým vodočetným latím se bylo možné dostat v místy silném proudu díky jištění od kolegy na laně, k některým bylo nutné připlavit se na nafukovací matraci. To bylo pochopitelně spojeno s jistými obtížemi. V případě velkého sucha (červenec a srpen 2007) hladina vody na jedné z tůní klesla až pod spodní úroveň latě a její břeh byl vzdálen přibližně 1 metr i v horizontálním směru, takže bylo nutné k lati prokopat a obnovovat kanál a hladina pak byla změřena pomocí posuvného metru od dolní hrany latě. U dřevěných latí, které se nacházely na některých tůních v roce 2006, bylo v některých případech třeba se k lati dostat ve vysokých holínkách, při nadprůměrných vodních stavech pak doplavat.

Zároveň se zjišťováním výšky vodní hladiny byly při mnohých návštěvách lokality provedeny důkladné prohlídky okolí tůní i celého terénu lokality, který ovlivňuje situaci v řece a ve studovaných tůních. Byla zjišťována výška hladiny v řece, kdy se z ní voda na konkrétních místech začíná vylévat do okolní nivy. Na základě tohoto sledování mohla být určena hladina (na studované lokalitě a v profilu Nová Ves), po jejímž překročení dochází v nivě k rozlivu. Na základě této kalibrace šlo zjistit i zpětně, ke kolika rozlivům za určité období v nivě došlo a jaké byla doba jejich trvání. Na základě pozorování byly také zjištěny a ověřeny hodnoty vodních stavů, při kterých ustává odtok vody z tůně a ta je pak povrchově izolována do doby, než dojde k dalšímu povrchovému přítoku. Bylo také sledováno, kudy dochází k povrchové komunikaci mezi dvojicemi tůní a počínaje jakým vodním stavem v tůni, ze které voda vytéká, k tomu dochází. Dále byla sledována dynamika hydrologických a geomorfologických procesů v místech, kudy voda při rozlivech nejsilněji proudí. Cenná se v těchto směrech stala pozorování nástupu povodňové vlny (to se podařilo zejména v září 2007), nebo situací takového zvýšení hladin, při kterém došlo k povrchovému přítoku pouze do některých ze sledovaných tůní. Průzkum terénu nivy na studované lokalitě je vzhledem

k její členitosti a partiím s hustými rozsáhlými porosty kopřiv a keřovitých vrb značně náročný (zejména ve vegetační sezóně).

Při sběru dat byla věnována pozornost vlivu povodní i suchých období na tvar a prohloubení tůní. Při hledání maximální hloubky tůní byl získán i základní přehled o hloubkových poměrech jednotlivých tůní. Bylo porovnáno umístění maximální hloubky vzhledem k přítoku a odtoku z tůně i vzhledem k jejímu tvaru. Během sběru dat byly zaznamenávány i údaje o průhlednosti vody v jednotlivých tůních a změnách tohoto parametru (spíše kvalitativně než kvantitativně).

Ve sledovaném období si bylo všímáno dopodrobna příčin a průběhu vyskytnuvších se povodňových situací.

Tvar fluviálních jezer na studované lokalitě, včetně jejího uspořádání, byl samostatně zmapován pomocí totální geodetické stanice. Do mapy byla zanesena i terasa ohraničující nivu nebo lokalizace a směry proudění vody při rozlivech. Před mapováním byly měřením z člunu zjištěny a lokalizovány maximální hloubky jednotlivých jezer. Z mapy se dal ověřit tvar každého fluviálního jezera a nejkratší vzdálenost jeho břehu od řeky a od svahu hlavní říční terasy.

U každého jezera byla zjištěna základní popisná statistika hodnot měřených hladin. Jako vhodnější k použití se jevil proti průměru medián, jelikož průměr je více ovlivněn extrémními hodnotami při povodních a jeho hodnota pak neznamená pro danou tůň kýženou nejběžnější situaci. Nejčastější hodnota v podobě módu nemá pro zhodnocení valný význam. Může však poukazovat na hodnotu výšky hladiny, která se v tůni déle udržuje vlivem výšky ustávání povrchového odtoku a geomorfologických vlastností bezprostředního okolí tůně.

Latě nebylo možno umístit tak, aby si zjištěné vodní stavy např. při úplném zaplavení nivy a spojení víceméně volnou hladinou odpovídaly. Tomu odpovídal i fakt, že při vrcholícím suchu se spodní okraje některých latí dostaly nad hladinu vody (bylo nutno doměřovat posuvným metrem), jiné byly ještě desítky cm ve vodě. Pro názorné grafické porovnání, při kterém dobře vynikne skutečný rozdíl mezi jednotlivými jezery, byly hodnoty na všech jezerech posunuty tak, aby při úplném přelití nivy při kulminaci povodně v září 2007 byla na všech tůních stejná hladina (což odpovídá reálné situaci). Konkrétně se jednalo o hodnotu 230 cm při kulminaci 7.9.2007 ve 20 hodin, kdy se podařilo hladiny všude změřit. Pro takto opravená data pak byly vytvořeny XY grafy, které měly ukázat specifika chování hladiny v jednotlivých jezerech a vykreslit rozdíly mezi nimi. Z hodnot hladin tůní v jednotlivých situacích vyčtených z grafu byly tůně seřazeny do pořadí podle těsnosti reakce jejich hladiny na situaci v řece (těsnosti hydrologického propojení tůně a řeky). Seřazení tůní

umožnilo porovnat závislost zjištěného pořadí na různých parametrech tůní (vzdálenost od řeky, maximální hloubka tůně, výška zastavení povrchového odtoku aj.).

Při poklesu hladin po vlně vyššího stavu vody bylo zkoumáno pořadí každé ze šesti sledovaných tůní z hlediska výše hladiny a to 7, 18 a 35 dní po kulminaci v řece v případě vysokých kulminací, kdy byl v řece na profilu v Nové Vsi zaznamenán průtok minimálně 20 $m^3.s^{-1}$. V případě nižších kulminací pak v intervalu 3, 9 a 18 dní. Časové intervaly byly zvoleny tak, aby se postihly pokud možno odpovídající si fáze opadu vody, který trvá po vyšší kulminaci zpravidla déle, než po nižší. Jednotlivé dny byly vygenerovány na základě zkušeností autora z terénu a zhodnocení poklesu v čase na vytvořených závislostních grafech. Čím vyšší hladina jezera byla v daném intervalu zaznamenána, tím došlo k výraznějšímu zpomalení poklesu hladiny a větší retenci vody v jezeře i jeho okolí. V hodnocení tůní se to projevilo nižším číslem v pořadí (nejvyšší hladina číslo 1 a nejnižší hladina číslo 6). Při kulminacích řeky, při kterých nedošlo s výjimkou Pithartovy tůně k povrchovému přítoku z toku do jezer, bylo hodnoceno pořadí výšek hladin přímo v době kulminace řeky a poté 3 dny a 7 dní po kulminaci. Hodnocení během kulminace v řece se od ostatních lišilo. Bylo zde uvažováno, jestli došlo v tůni společně s řekou k vzestupu hladiny (4-6 bodů podle strmosti), nedošlo k pohybu hladiny (3 body), či hladina ještě dále klesala (1-2 body). S pořadími namísto naměřených výšek hladin bylo počítáno z důvodu možnosti použití různě velkých kulminací. Při hodnotách hladin by pod opady po velkých povodních zcela zanikly vlivy menších kulminací v řece, které hrají z hlediska retence vody v sušším obdobím také výraznou roli. Dalším důvodem bylo snazší získání hodnot pořadí z grafů, kde by ve stanovených intervalech musely být absolutní hodnoty výšek hladin ve dnech, kdy přímo neproběhlo měření, odhadovány či složitě získávány interpolací apod.

Za sledované období bylo na studované lokalitě vyhodnoceno celkem 14 situací po kulminaci hladiny v toku Lužnice. Vypočtením sum pořadí jezer pro jednotlivé intervaly bylo možné chování jezer v příslušné fázi opadu porovnat a získat jejich definitivní pořadí. Celková suma pro všechny 3 periody pak určila i celkové pořadí tůní. U každé tůně mohl být ověřen trend jejího chování během opadu vody vynesením sum za jednotlivé intervaly do grafu. V něm vynikly odlišnosti trendů jednotlivých tůní.

Pomocí jednoduchých závislostních XY grafů byly orientačně porovnány retenční charakteristiky a několik parametrů každé z tůní. V případě nejkratší vzdálenosti od řeky, od terasy a výšky hladiny, při které ustává odtok z jezera, byly přímo k dispozici absolutní čísla zjištěných hodnot ve vhodném rozpětí pro porovnání se sumou hodnot pro jednotlivé intervaly i celkovou sumou. V případě maximální hloubek tůní za stavu hladiny odpovídající

mediánu se tůně poměrně rovnoměrně lišily, proto bylo místo absolutních čísel využito jednoduše pořadí tůní.. To muselo být využito také v případech pořadí plnění tůní při rozlivu a rozsáhlosti mokřadů provázaných s tůní. Tyto parametry nemohly být zjištěny ve formě absolutních čísel (v případě pořadí plnění tůní z povahy věci, v případě rozsahu močálů kvůli technické a metodické obtížnosti).

V závislostních grafech byly tůně na ose x seřazeny od nejméně k nejtěsněji hydrologicky svázané s řekou a do pole hodnot byla vynesena příslušná křivka. Ve stejné posloupnosti se do grafu vynesly i hodnoty vybraných parametrů. V případě, kdy křivka u parametru s výkyvy, ale přesto sledovala křivku těsnosti hydrologického propojení (přímo nebo inverzně), byla situace dále přiblížena přidáním spojnice trendu (třístupňového polynomického typu). Orientační zjištění závislosti bylo v některých případech ještě ověřeno korelačním šetřením.

Postupně byla prověřena korelace mezi jednotlivými parametry tůní a jejich retenční charakteristikou pro 1., 2. a 3. interval opadávání vody a posléze i celkově. Ke korelacím na hladině 95 % byl použit statistický program Sigma Plot. V případě zjištění průkazné závislosti nebo hraničních situací (teoretických závislostí) byl pro porovnávané veličiny sestrojen graf, na kterém byla regresní přímkou znázorněna závislost a vynikly body, které ji narušují. Síla a průkaznost zjištěných závislostí byla pochopitelně silně omezena malým počtem měření (vzorek pouze šesti tůní).

4. Výsledky terénních šetření

4.1. Charakteristika lokality

4.1.1. Popis říční nivy v PR Horní Lužnice

Studovaná lokalita se nachází přibližně uprostřed nejdelšího souvislého úseku říční nivy mezi rakouským Gmündem a Suchdolem nad Lužnicí, kterým řeka protéká 28,5 km svého toku (dvě dvousetmetrové antropogenní úpravy toku a jeho okolí v Nové Vsi a při mostu u Halámek je možno zanedbat). Lokalita již leží na území Chráněné krajinné oblasti a Biosférické rezervace Třeboňsko v přírodní rezervaci Horní Lužnice. Říční terasy jasně vymezují šířku nivy i záplavového území při tak mohutných povodních, jako byla tisíciletá voda v srpnu 2002, a mají průběh přibližně tvaru sinusoidy. Díky tomu zde šířka nivy osciluje v intervalu 150 až 1100 m.

Řeka bohatě meandruje, pravidelně svůj tok v zákrutech stáčí o více než 180°. Řeka i celé území nivy vykazuje vysokou dynamiku, při povodni tok často posouvá své koryto, popř. se větví jako na 126., či 142. říčním kilometru (Černý 2008). Vytváří se slepá a mrtvá ramena, která jsou pozůstatkem trajektorie toku v minulosti. Jejich míra komunikace se současným tokem řeky je různá, ale zpravidla vyšší, než v případě tůní. Tůně jsou dalším typem fluviálních jezer, hojně zastoupených v říční nivě.

Pod kvartérními usazeninami se v oblasti nachází mocný sedimentární pokryv senonských hornin spodního oddílu klikovského souvrství. Senonské sedimenty jsou v detailu různé zrnitostní typy slepenců, pískovců, prachovců a jílovců se vzájemnými přechody. Za zpevněné lze považovat jen část pískovců inkrustovaných sloučeninami železa. Barvy hornin se pohybují od šedé po rudohnědou, jsou pestré, často mramorované.

Během glaciálů pleistocénu vznikl složitý terasový systém řeky. Hlavní jsou sedimentární akumulační terasy s vlastní předkvartérní bází a akumulačním povrchem. Všeobecně se zde rozlišuje 6 terasových stupňů, 3 risské (6 - 18 m nad úrovní nivy) a 3 würmské (1 - 5 m nad úrovní nivy) (Chábera a kol. 1972). Často zde však dochází ke konvergenci teras - souvislý terasový svah při východním okraji nivy 2 km pod Novou Vsí je vysoký 18 - 20 m! Jednotlivé terasy jsou nesouvislé, různě přecházejí do sebe i do nivy vlivem eroznědenudačních procesů, nebo jsou vlivem hospodaření při jejich hraně zaobleny

antropogenně. V kombinaci s přirozenými terasami vznikly mnohde tzv. agrární terasy. V nivě mezi hlavními terasami se místně vytvořily ještě nízké akumulačně erozní terasy, vzniklé erozí proudící vody v kvartérních akumulacích a popř. i vložené terasy s vlastním akumulačním povrchem vytvořené akumulací v erodovaném prostoru (Kraus 1988). Materiálem pleistocénních uloženin jsou štěrkovité písky a písčité štěrky s vysokým obsahem draselných živců, které jsou také předmětem těžby na pískovnách u Halámek, 2 km jihovýchodně od lokality studovaných fluviálních jezer.

Geomorfologie prostoru nivy Lužnice je dána fluviální činností toku, erozí a akumulací. Tyto dva procesy jsou přibližně ve stavu dynamické rovnováhy, nicméně v holocénní přírodní nivě v současnosti zřejmě mírně převládá akumulace materiálu nad jeho erozí a odnosem (Kraus 1988). Zatímco fluviální činnost v pleistocénu dala nivě tvar a rozměry, holocénní činnost řeky vytvořila poslední akumulaci v nivě, ve které je povrch bohatě členěn erozní činností, která zasahuje mnohde až do pleistocénních akumulací (vyhloubené tůně apod.). K inundacím různého rozsahu dochází v nivě každý rok. Stáří jednotlivých částí nivy lze jen těžko rozlišit. Jde o nevápnitou oblast, kde chybí zoologický materiál pro stratigrafii. Akumulace a eroze materiálů je zde v prostoru i čase značně proměnlivá, dochází k různým kombinacím a překrývání v depresních i elevačních tvarech. Hrubozrnější materiál se usazuje zejména v blízkosti koryta řeky, při jejíž březích se vyskytují vyvýšené agradační valy, na kterých často nalézají oporu kořeny stromů. Častým druhem je topol, který sem byl ale vysázen a nepatří v těchto místech k autochtonním dřevinám (Lexová 1994). Ve vzdálenějších místech od řeky se usazuje jemnozrnější materiál. V mírně tekoucích a stojatých vodách ve fluviálních jezerech a močálech dochází k limnické sedimentaci, kterou vznikají okaly, hnilokaly, gyttja a slatiny. Při povodních však bývají překrývány fluviální sedimentací.

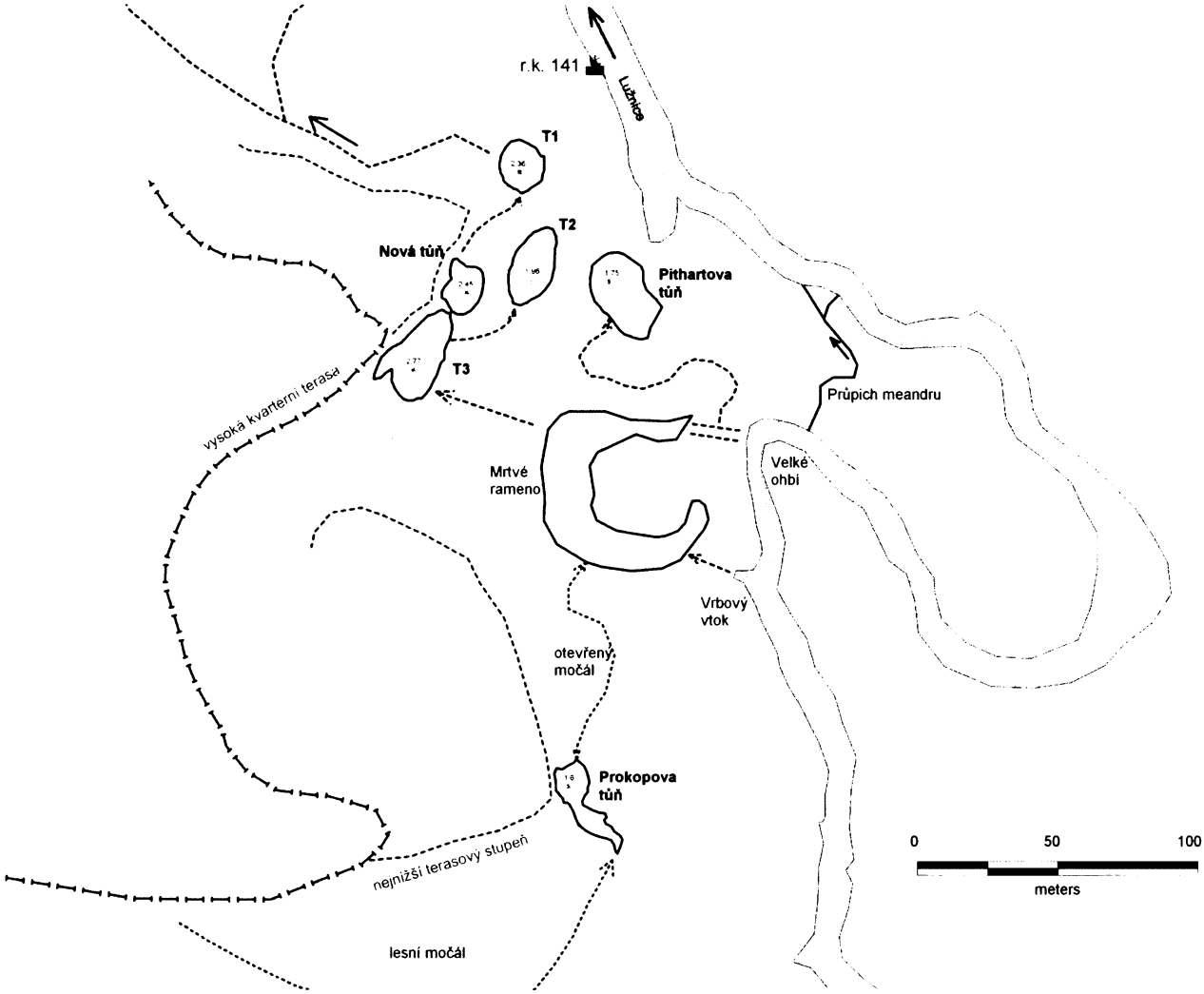
Situace v nivě je komplikovaná i z hlediska výskytu a úrovně podzemní vody. Střídání a změny v zrnitostním složení zemin holocénního náplavu vytváří relativní kolektory a izolátory. Se zvyšováním obsahu jílových částic klesá rychlost komunikace a proudění podzemní vody, snižuje míra hydraulického propojení s povrchovými vodami, celý systém ztrácí spojitost (Krásný 1980). Podle veškerých hydrogeologických sondáží provedených v 80. letech v nivě se zdá, že se zde nachází dostatečně spojitý rozsah dobře propustných štěrků umožňujících významný hyporeický odtok. Jílové vložky však tento odtok zpomalují a usměrňují (White 1993). Obvyklá hladina podzemní vody se v nivě pohybuje mezi 0,5 – 1,5 m pod povrchem, což je často v místech přechodu holocénních a pleistocénních náplavů. Kapilární výška nivních hlín se v nivě Lužnice pohybuje mezi 0,5 – 2,5 m, takže můžeme na

většině míst předpokládat vzlínání vody až k povrchu. Celková mocnost kvartéru je různá a málokde přesahuje 10 m. V místě starokvartérního koryta, kde dnes leží Halámecké pískovny je však mocnost kvartérních štěrkopísků až 30 m. V akumulacích současných teras se vytváří obzor freatické vody s volnou hladinou, po větší část roku nad úrovní hladiny v řece, takže je tato voda drenována do nivy a dotuje místní kolektory (Kraus 1988). Vzhledem k propustnosti pánevních sedimentů pro dešťové srážky a rozsahu drenážních oblastí při terasách může být tato dotace poměrně významná. K obrácení proudu mezi terasou a nivou dochází pouze krátkodobě při vysoké hladině vody v nivě. Pithartem a Prachem bylo v letech 1987 – 1994 a znovu v letech 2000 – 2002 sledováno chemické složení podzemních vod na 150 m dlouhém transektu mezi horní hranou terasy a řekou . Byl zaznamenán pokles koncentrací iontů ve směru infiltrace od terasy i od řeky směrem do středu nivy, způsobený podle autorů zejména ředěním podzemní vodou a jejími samočisticími schopnostmi. Zvlášť výrazně se tento trend projevil v případě dusičnanů, kde se kromě ředění výrazně uplatňují i denitrifikační procesy a příjem vegetací. V letech 2000 – 2002 byl zaznamenán již výrazný celkový pokles koncentrací iontů (zejména dusičnanů) v souvislosti se změnou způsobu obhospodařování pozemků nad terasou (přeměna polní kultury na ovsíkovou louku). (Pithart 2003). Hydrogeologický systém nivy Lužnice a jejího okolí je předmětem dalšího výzkumu, který byl zahájen v roce 2008 v rámci projektu NAZV „Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení".

Kvartérní uloženiny Lužnice představují v průměru silně propustné prostředí, koeficient transmisivity se pohybuje nejčastěji kolem $n.10^{-2}$ $m^2.s^{-1}$ (Krásný 1980). Vysoká je i zásobnost a hydraulická difuzivita prostředí. Tím se liší od senonských souvrství pod kvartérem, kde je propustnost řádově nižší. Je to dáno vyšším zastoupením mocných jílových izolátorů, pod nimiž se místy nachází i napjatá hladina podzemní vody s různou výtlačnou výškou. Podzemní voda z těchto hlubších vrstev se však dá identifikovat podle odlišného chemického složení, především podle podstatně vyššího obsahu bikarbonátové složky či železa. Výrazné obohacení freatických vod ve vrtu pod Dvory nad Lužnicí (od lokality studovaných jezer 5 km dále po proudu) těmito složkami nasvědčuje metamorfóze vod výrazným příronem artéské vody z hlubších senonských vrstev (Kraus 1988).

Celkově se dá shrnout, že Lužnice v okolí lokality sledovaných fluviálních jezer tvoří dobře vyvinutou přírodní nivu s mnoha generacemi tvarů erozní i akumulační fluviální činnosti. Jsou zde nacházeny tvary čerstvé i zanikající, jsou zde všechna stádia zazemňování ramen, tůní a bažin. Systém je silně propojen s hladinou podzemní vody, kterou dotuje i příron z terasových uloženin. Nivní série se plně vytváří i v současnosti.

Obrázek 6: Mapa studované lokality s vyznačenými směry proudění vody při rozlivu



(Zdroj dat: mapování geodetickou totální stanicí, na měření a zpracování dat pro mapový výstup se podílel Mgr. J. Česák)

4.1.2. Charakteristika jednotlivých fluviálních jezer

Nová T (Nová tůň) : Jedná se o menší mladou tůň, která byla podstatně vyhloubena (v podstatě vznikla) při povodni v srpnu 2002 a zřejmě se dále výrazně prohloubila při prudkém nástupu povodně na konci června 2006. Nachází se v bezprostředním sousedství T3 (konvalinkové tůně), která však vznikla podstatně dříve. Mezi těmito sousedními tůněmi je malá, v některých místech jen 1,5 m široká hrázka. Nová T (nová tůň) se nachází při malé (zřejmě vložené) terase, vystupující nad terén přibližně o 0,75 m. Svah hlavní říční terasy ohraničující prostor nivy nedosahuje na žádném místě až ke břehu této tůně, narozdíl od sousední T3. Nejkratší vzdálenost od Nové T k hlavní terase je cca 20 m. Tůň je téměř

kruhového tvaru, který je narušen výstupkem, který drží kořenový systém mohutného dubu, který se vypíná nad tůní a jehož koruna ve vegetační sezoně tůň z větší části zastiňuje.

T1 (Kruhová tůň) : Menší tůň téměř přesného kruhového tvaru, vzniklá klasickým vířivým pohybem. Ze stupňovitého okraje při části břehu se zdá, že už se tůň začíná pomalu zanášet sedimenty. Voda se sem při rozlivu nicméně dostává poměrně silným proudem od Nové T, z bližší T 2 sem přitéká voda až při vysoké hladině. Tůň se nachází uvnitř nivy, nejbližší vzdálenost k hlavní terase je mírně větší než nejbližší vzdálenost k řece. Tůň není zastíněna žádnými stromy.

T2 (Oválná, popř. Šimkova tůň) : Větší tůň elipsového tvaru, která se sice nachází přibližně v polovině vzdálenosti mezi řekou a terasou, komunikuje ovšem více s tůněmi pod terasou (T3, Nová T), než s Pithartovou tůní, která je od ní vzdálena jen 10 m směrem k řece. Na jejím břehu se opět nachází mohutný dub, zastíněna je ale méně než z 50 %. Tůň se zřejmě pomalu zanáší a hloubka od podstatné části břehu neklesá příliš strmě. Na této tůni byly zjišťovány orientačně výšky hladiny z instalované vodočetné latě už Pithartem v 90. letech.

T3 (Konvalinková tůň) : Nadprůměrně velká tůň ležící bezprostředně pod hlavní terasou ohraničující nivu. Voda se sem dostává, když začne přetékat nedaleké Mrtvé rameno. Na tůň podél terasy navazuje v lužním lese mokřad, kde se objevují periodické malé tůně, jejichž hladina je s touto tůní při zvýšených stavech propojená a T3 tak má podstatně větší plochu hladiny, než při průměrných vodních stavech či při suchu. Tůň je z velké části zastíněná a je značně hluboká.

Pithartova T (Pithartova tůň) : Tůň ležící v sousedství řeky, se kterou je již při průměrných stavech vody v řece povrchově propojena. Poměrně velkou tůň přibližně oválného tvaru je možno rozdělit na výrazně hlubší a mělčí polovinu. Mělčí část je zarostlá přesličkami. Zastínění tůně stromovým patrem je přibližně třicetiprocentní.

Prokopova T (Prokopova tůň) : Tůň leží poněkud stranou ostatních sledovaných tůní, z hlediska ovlivnění vodou při rozlivech je však se zbylými tůněmi zřetelně spjata. Rozlohou je menší a její hlubší část tvoří jen cca 40 m^2. S tůní sousedí močál v lužním lese pod terasou, i otevřený močál mezi tůní a Mrtvým ramenem (odkud sem poté, co řeka opustí břehy proudí voda nejdříve). Již při průměrném vodním stavu je tůň se jmenovanými močály (u kterých došlo narozdíl od tůně během sledovaného období k vyschnutí) povrchově propojena. Se vzrůstajícím vodním stavem se díky tomu výrazně zvětšuje plocha této tůně. Od hlavní vysoké terasy až je břehům tůně vybíhá nízká vložená terasa. Přestože tůň neleží bezprostředně pod hlavní terasou, je zde možno předpokládat vyšší vliv podpovrchového sycení od terasy, než u ostatních sledovaných tůní (Pithart ústní sdělení).

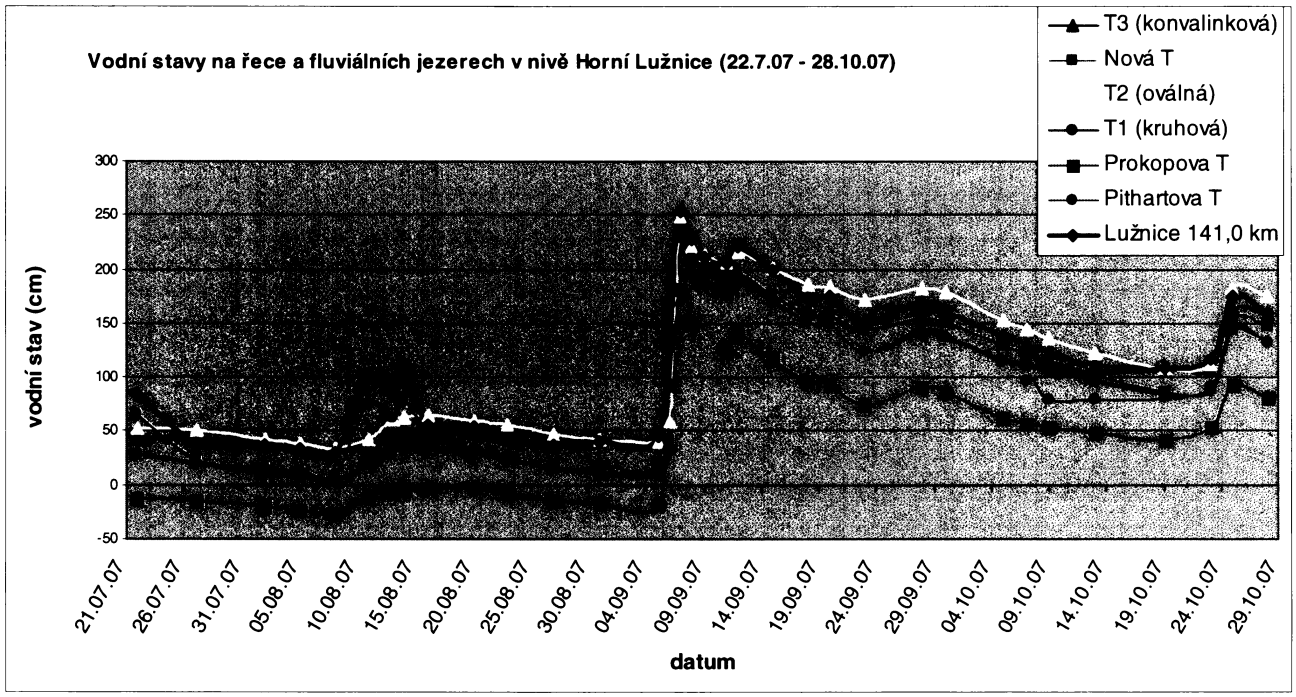
Řeka při uvedené lokalitě vytváří velký meandr s poměrně ostrým ohybem nazvaným Velké ohbí, odkud voda vytéká při vyšších stavech z řeky do Mrtvého ramene (a odtud do některých sledovaných tůní), nebo vyhloubeným kanálem do Pithartovy tůně (Obr. 6). Již při průměrném průtoku si voda zkracuje cestu úzkým průpichem zmiňovaného velkého meandru, který v oblasti vytváří vyšší spádové poměry. Větší průtokové rychlosti vody tekoucí mimo říční koryto přispívají k vyšší dynamice procesů v nivě na studované lokalitě. Uvedené fakty dokumentují, že studovaná lokalita se ukázala pro daný výzkum jako ideální.

4.2. Záznam měřených hodnot a jeho vyhodnocení

4.2.1. Záznam z vodočetných latí

Výšky vodní hladiny odečítané z latí pro období srpen 2007 – listopad 2007 jsou znázorněné v grafu 9. Datové řady pro jednotlivé tůně jsou v grafu barevně odlišeny. Čím větší byl počáteční předpoklad komunikace tůně s řekou, tím je barva v barevném spektru blíže sytě modré, tj. k barvě náležící toku řeky Čím byl předpoklad komunikace tůně s řekou menší, tím je barva blíže k červené části.

Graf 9: Neupravené výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě



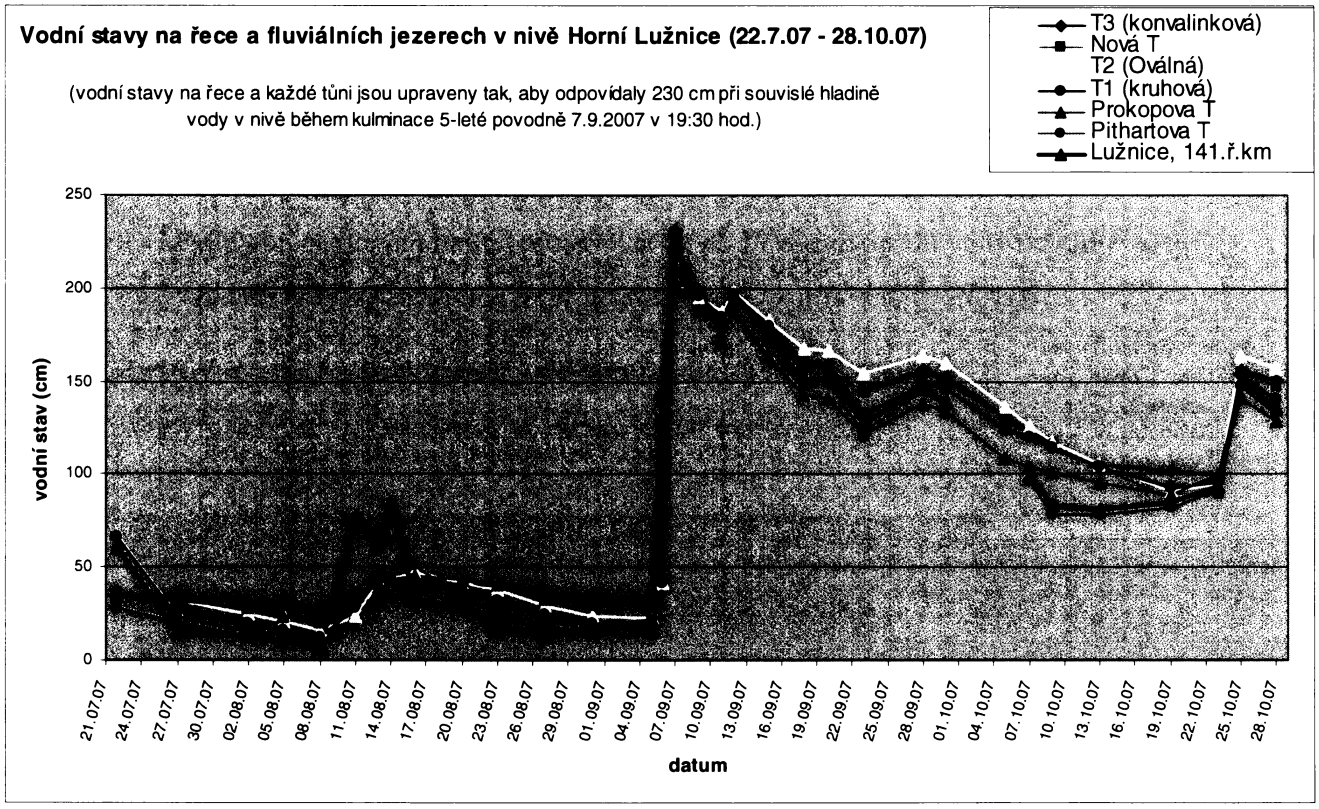
(Zdroj dat: vlastní měření)

Pro porovnatelnost úrovní hladin bylo potřeba hodnoty odečtené z latí ne některých tůních mírně posunout. Jakým způsobem to bylo provedeno a co nehlavním důvodem je podrobně popsáno v metodice (kapitola 3). Graf 10 již znázorňuje upravené hodnoty pro stejné období jako graf 9.

Z grafu je vidět, že na počátku tohoto intervalu vrcholilo suché období a na všech tůních i řece byly velmi nízké stavy vody. Při měření 8.8.2007 byly všude zaznamenány nejnižší hladiny v průběhu celého měření. Přesto je patrné, že především u T3 a Prokopovy tůně klesala hladina pomaleji a její úroveň se udržela výše než v případě ostatních tůní (20 cm nad úrovní hladiny řeky). Rozdíly tedy již nejsou vzhledem k dlouhotrvajímu suchu a horku příliš velké. Na srážky kolem 9.8. reagovala řeka a spolu s ní také Pithartova tůň, mezi nimiž

došlo k propojení hladin. Ostatní tůně reagovaly závisle na dotaci podzemním přítokem s různým zpožděním. Největší zpoždění oproti řece a Pithartově tůni vykazuje v tomto směru T3, která ještě mírně stoupá v situaci, kdy již ostatní tůně po dosáhnutí plochého vrcholu hladiny klesají! Koncem srpna a začátkem září r. 2007 klesá hladina v řece a jen s malým

Graf 10: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (22.7.-27.10.07)



(Zdroj dat: vlastní měření)

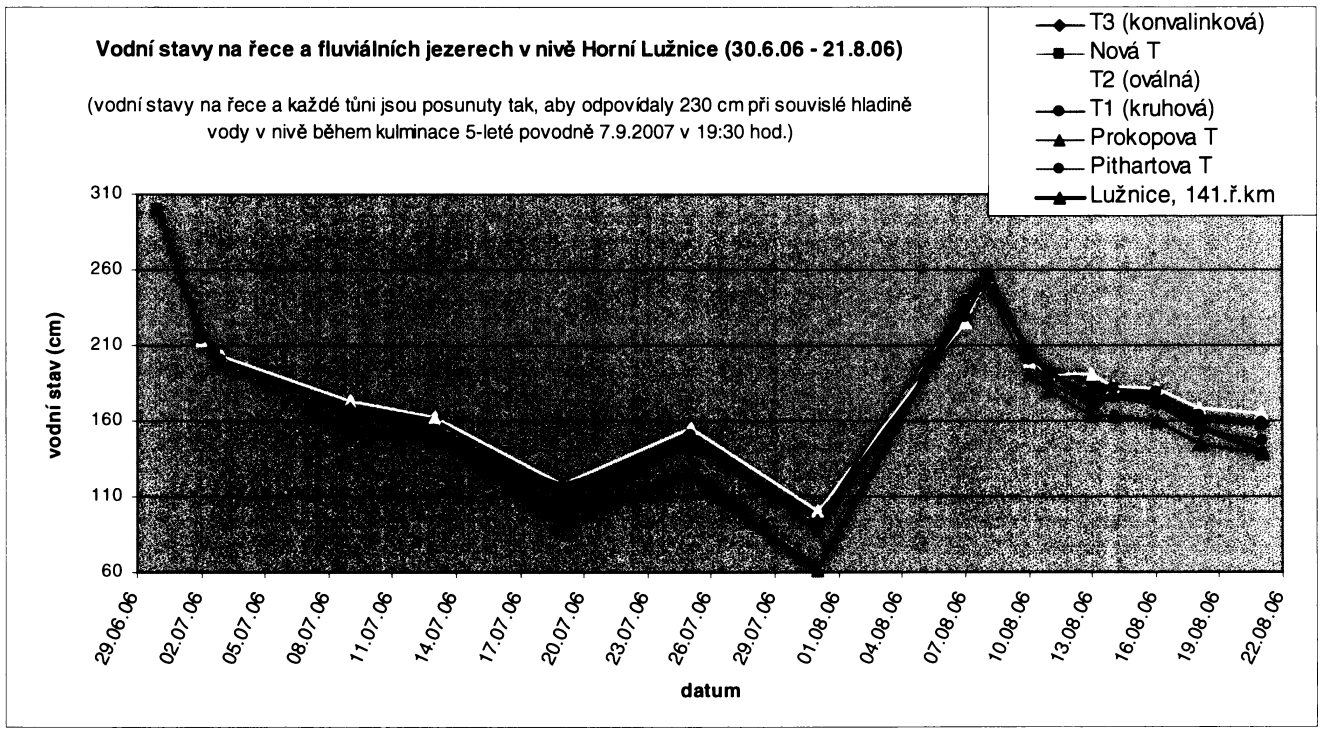
zpožděním také v Pithartově tůni. Na T3 a Prokopově tůni klesá hladina naopak velmi pozvolna. Na Nové tůni, která sousedí s T3 naopak dochází k poměrně rychlému poklesu. Na sousedních tůních se brzy liší úroveň hladiny o 20 cm. Hladiny T1 a T2 klesají v relacích vymezených T3 na jedné straně a Pithartovou nebo Novou tůní na straně druhé.

Výrazná změna situace na lokalitě přichází v souvislosti s intenzivními vytrvalými srážkami 5.-7.9. 2007, které zde způsobily příchod přibližně 5-leté povodňové vlny (horní hranice 2. stupně povodňové aktivity na profilu v Nové Vsi). Podrobněji se pozorování nástupu povodňové vlny v nivě věnuji v kapitole 4.4.1. Při kulminaci 7.9. 2007 ve večerních hodinách je již niva souvisle přelita různě hlubokým sloupcem vody, což dokumentuje i vyrovnaná hladina tůní. Při opadávání vody se ukazuje, že nejrychleji zpočátku klesá hladina v řece, Pikhartově a Prokopově tůni. Zpomalení poklesu je v prvních patnácti dnech opadu vody nejvíce znát na T2. Postupně se pokles hladiny zpomaluje i v dalších tůních, nejvýrazněji v T3. Při úrovni hladiny kolem 105 cm se pohyb hladiny v Prokopově tůni

odpoutává od řeky a začíná klesat velmi zvolna (v této fázi nejpomaleji ze všech tůní). Na výraznější zvýšení hladiny v řece po srážkách na konci října reagují všechny tůně, neboť se do všech dostává voda i povrchově a niva je vodou po zářijové povodni stále značně nasycena.

Ještě mohutnější povodňové vlny než v září 2007 prošly studovanou lokalitou v létě 2006 (Graf 11). Vůbec nejvyšší vodní stavy byly zaznamenány 30.6.2006, kdy nivou prošla ostrá vlna povodně s dobou opakování přibližně 20 let. Podle předpokladů se po přepočtení ukázalo, že hladiny na tůních byly při vyšším zatopení celé nivy vyrovnané. Vzhledem k vysoké úrovni vody v nivě, která dlouho umožňovala povrchové propojení tůní a řeky, se začal pokles hladiny na některých tůních projevovat až po 17 dnech opadu vody od kulminace

Graf 11: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (30.6.-21.8.06)

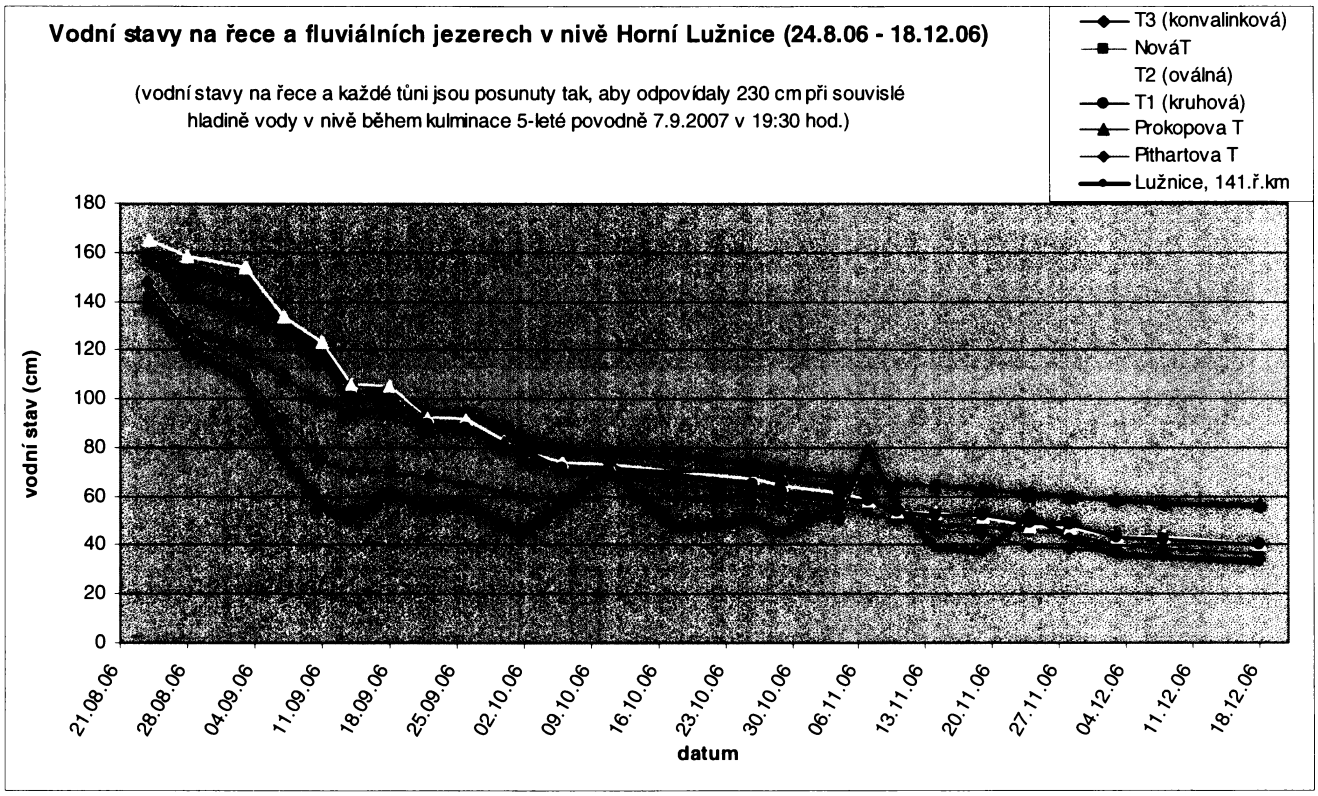


(Zdroj dat: vlastní měření)

povodně. Zpomalení poklesu hladiny bylo výraznější v případě T2, T3, Prokopovy a Nové tůně. Měsíc po kulminaci povodně na počátku srpna již byla na všech tůních kromě Pithartovy hladina oproti řece o 30 až 40 cm výše. Poté se začaly hladiny v souvislosti s deštivým obdobím v prvním týdnu srpna opět zvedat až ke kulminaci 8.8. na úrovni přibližně desetileté vody. Na profilu v Nové Vsi byl v roce 2006 již potřetí dosažen 3. stupeň povodňové aktivity (ohrožení). Vzhledem k pozvolnějšímu nástupu povodně se vzestup hladiny v tůních oproti řece znatelněji opožďoval. Voda po této ploché povodňové vlně opadávala zvolna. Přesto bylo již 5 dní po kulminaci zaznamenáno zpoždění poklesu T2, T3 a Nové tůně oproti řece. V další fázi poklesu hladin (10 a více dní po kulminaci) se k nim přidala i T1.

Při pokračujícím opadu T2, T3 a Nová tůň zřetelně zpomalují pokles hladin mezi 160 a 140 cm, což může souviset s tím, že se nachází na úrovni přerušení povrchového odtoku, který je ke konci velmi pomalý. Tomu odpovídá fakt, že T1 klesá rychleji a ke zpomalení poklesu u ní dochází až při výšce hladiny mezi 140 a 125 cm, kdy ustává povrchový odtok zde (Graf 12). Pod úrovní přerušení povrchového odtoku, začíná v tůních voda klesat opět o něco strměji. V Prokopově tůni dochází ke zpomalení poklesu vlivem hranice povrchového odtoku později, ale je zde trvalejšího charakteru. Pithartova tůň má hladinu dále propojenu s řekou a proto její hladina souvisí přímo s říční až k hodnotám mezi 85 a 70 cm, kdy se i její pokles zpomaluje.

Graf 12: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (23.6. – 18.12.06)

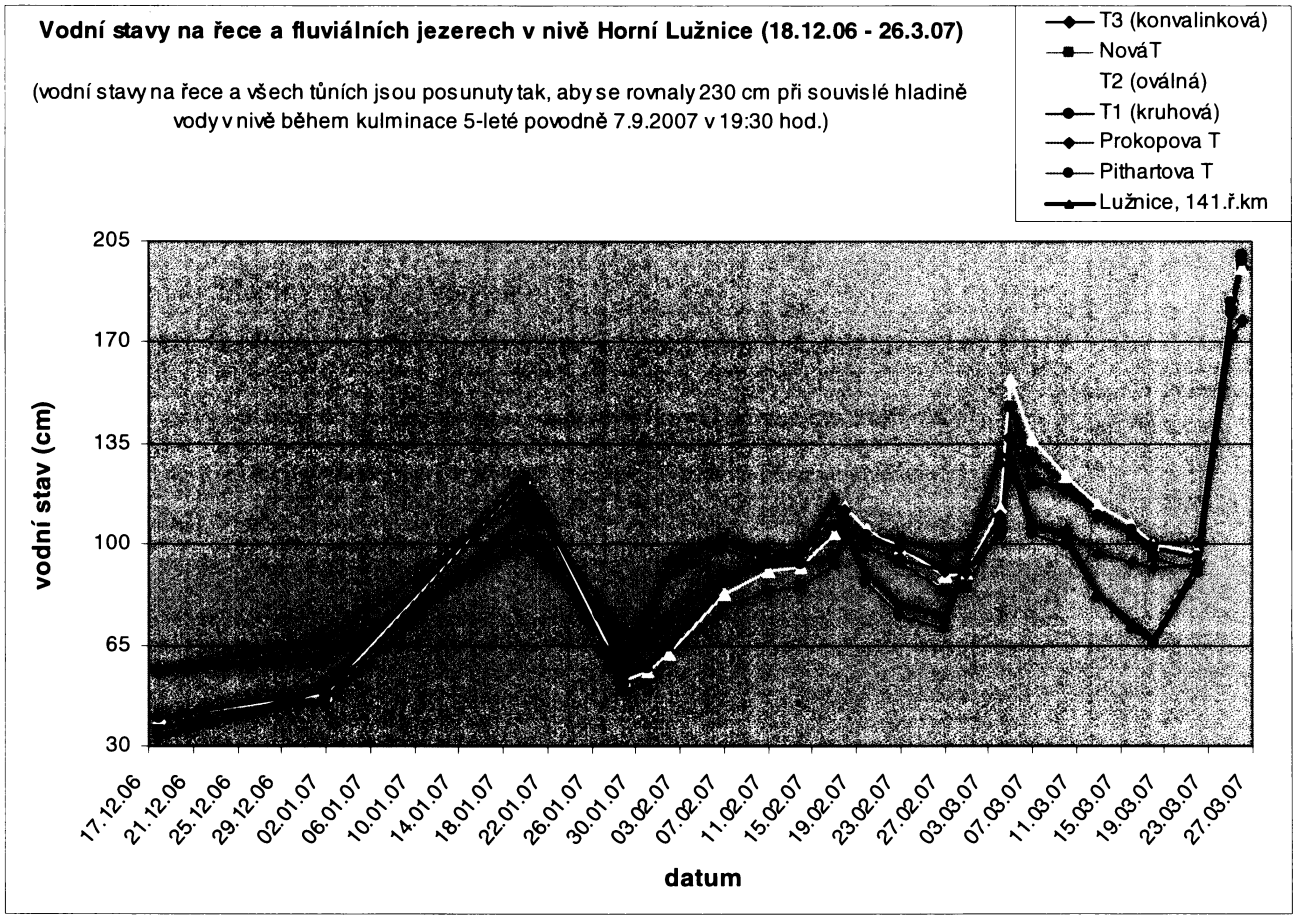


(Zdroj dat: vlastní měření)

K největšímu rozdílu hladin tůní oproti řece došlo 36 dní po kulminaci povodně. Hladiny tůní se pohybují okolo 45 - 55 cm nad úrovní říční hladiny (kromě Pithartovy). Zářím 2006 začíná období výrazně nadprůměrných teplot a podprůměrných srážek, které trvá až do třetí dekády srpna 2007. V průběhu podzimu 2006 v souvislosti s menšími srážkovými úhrny došlo jen k oscilacím hladiny v řece. Dvakrát se přitom voda z řeky přelila do Pithartovy tůně, ale nikoliv dál do nivy. Došlo nicméně krátkodobě k situaci, že hladina řeky a Pithartovy tůně je na vyšší úrovni, než hladina ostatních jezer. Ta reagují na tyto oscilace v řece dalším zmírňováním pomalého poklesu hladiny či její stagnací. Postupně se však zmenšuje rozdíl hladin oproti řece, který byl v září tak výrazný (z 50 cm na 20 cm). Postupně

se výrazně drží na nejvyšší úrovni hladina T3 a Prokopovy tůně. Naproti tomu hladina v Nové tůni dál klesá, takže se její hladina dostává o 20 cm níže, než v bezprostředně sousedící T3.

Graf 13: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (18.12.06. – 26.3.07)



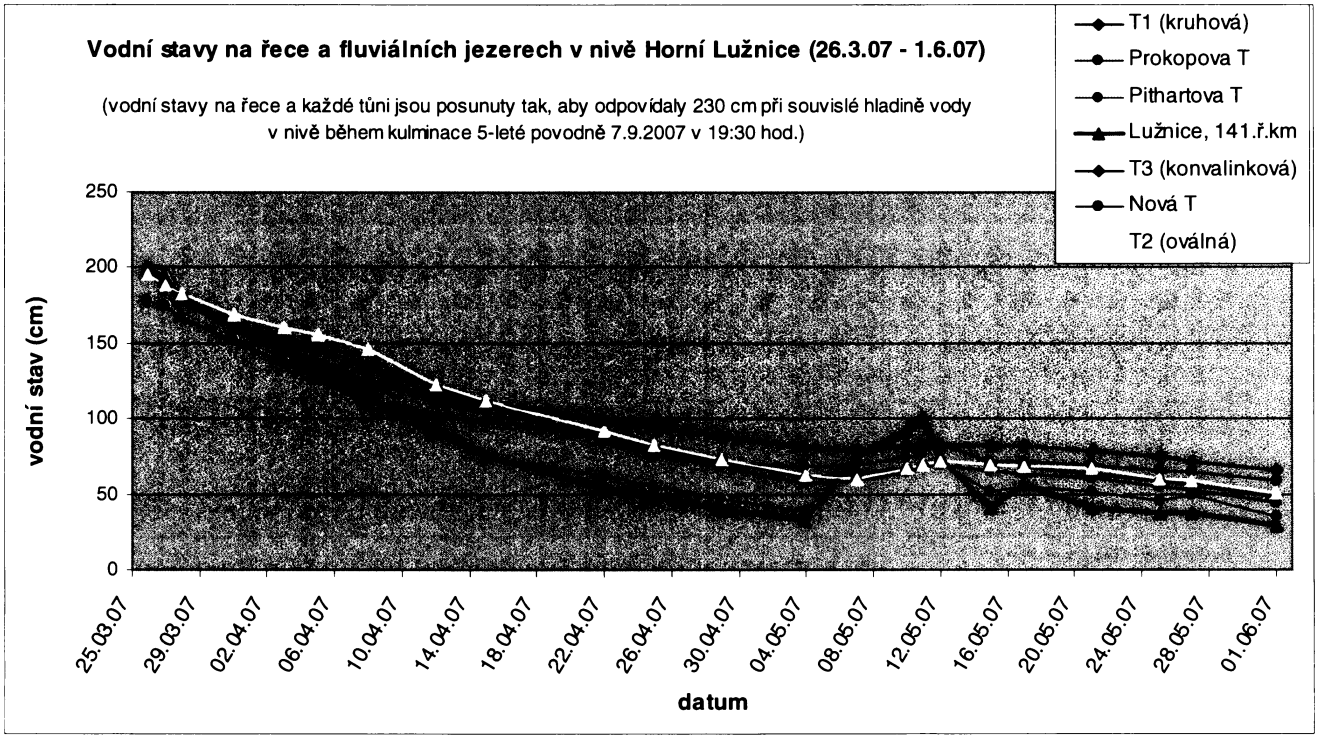
(Zdroj dat: vlastní měření)

V lednu 2007 možná v souvislosti s přítokem od terasy došlo na Prokopově tůni k poněkud výraznějšímu vzestupu hladiny (Graf 13). Markantní zvýšení hladiny na všech tůních i v řece nastalo po srážkách, které doprovázely orkán Kyrill. Po únorovém oteplení a roztání sněhové pokrývky o výšce cca 20 cm došlo k nasycení nivy vodou a k postupnému vzestupu hladin ve všech tůních. Na pokles vody v řece koncem února reagovala výrazně pouze Pithartova tůň (s řekou od začátku února až do poloviny dubna stále povrchově propojená). Po chladnější periodě kolem poloviny února se hladina pokryla ledem pouze na T1. Po kulminaci vody v řece po smíšených srážkách v první dekádě března reagují všechny tůně s malým zpožděním, nicméně vystupuje jejich hladina trvaleji výše než v řece. Po další (Zdroj dat: vlastní měření)

podobné, ale intenzivnější srážkové epizodě nastává na sledované lokalitě povodňový rozliv (v Nové Vsi 28 $m^3.s^{-1}$). Vzhledem k předchozí relativně vysoké hladině, tůně reagují bezprostředně a retence vody v nivě se omezuje hlavně na periodické vodní plochy,

rozlehlejší mírné deprese a mokřady. Při opadu vody v průběhu dubna, kdy nebyly zaznamenány prakticky žádné srážky se hladiny jezer chovaly nápadně podobně, jako při opadu vody po povodni v srpnu 2006 (viz výše). Rozdíl tkvěl pouze v tom, že opad vody byl mírně kratší, což je vzhledem k nižší kulminační výšce povodně logické. Stejné chování hladin tůní dokazuje obecnou platnost tohoto patternu na sledované lokalitě při opadávání vody neovlivněném dalšími srážkami. Maximální rozdíl výše hladin byl po povodni koncem března 2007 dosažen za 31 dní a činil 49 cm (Graf 14). Nejvýše se udržela opět hladina T3, postupně se v tomto ohledu dostávala do popředí také Prokopova tůň, ostatní tůně (kromě Pithartovy) měly hladiny pouze o kousek níže.

Graf 14: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (26.3. – 1.6.07)

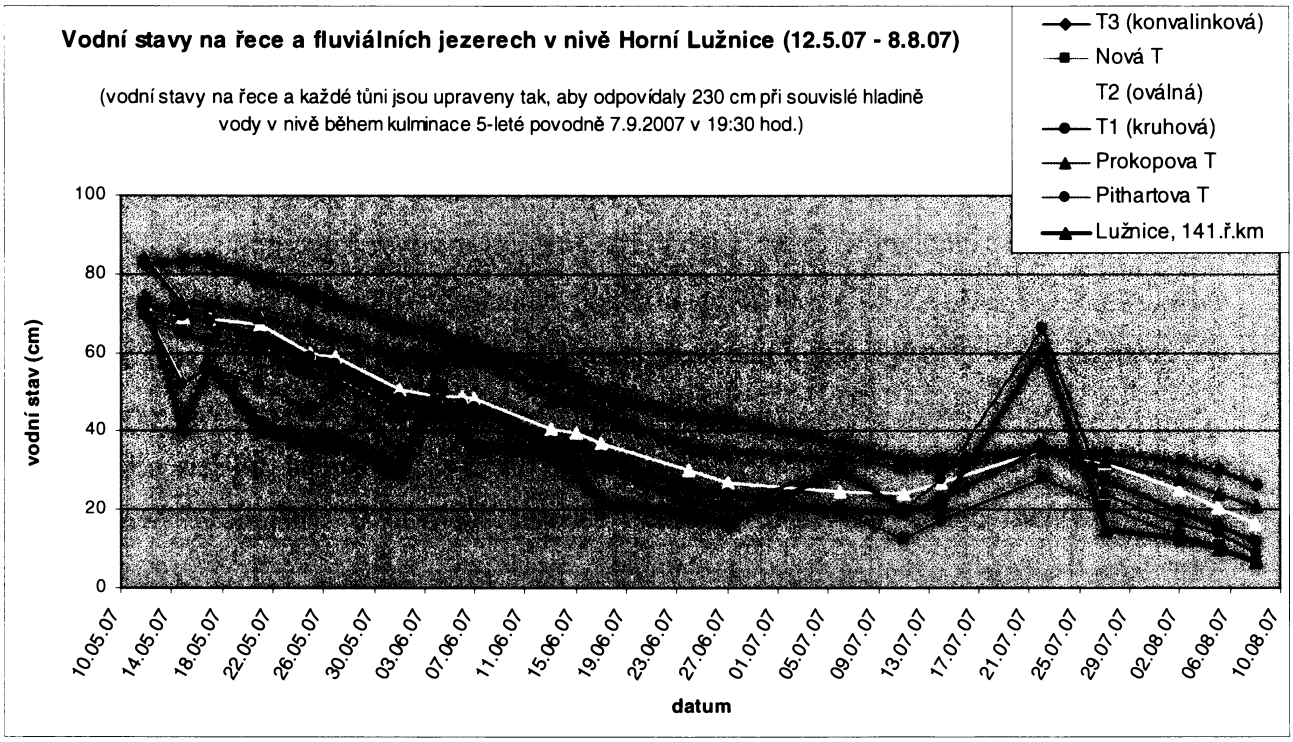


(Zdroj dat: vlastní měření)

Po vydatnějších srážkách v první půli května stoupla dočasně hladina řeky a Pithartovy tůně nad úroveň hladiny ostatních jezer. Jejich hladiny na tuto situaci reagovaly se zpožděním pouze pozvolným vzestupem a následnou stagnací (u T1, T2 a T3 až týdenní délky). Po povrchové separaci udržovala oproti řece poněkud vyšší hladinu i Pithartova tůň. V pokračujícím suchu během VI – VII 2007 se hladiny Pithartovy tůně, Nové tůně, T1 a T2 postupně snižovaly až k úrovni hladiny řeky. Pouze hladiny T3 a Prokopovy tůně se udržovaly o 15 – 25 cm výše. Zvýšení průtoku v řece po velké bouřce v Rakousku 21.7.2007 vedlo ke zvýšení hladiny T1, T2 a Nové a Pithartovy tůně, přestože voda v řece nepřesáhla její břehy a do žádné z tůní se nemohla dostat povrchově (Graf 15). Hladiny se však rychle

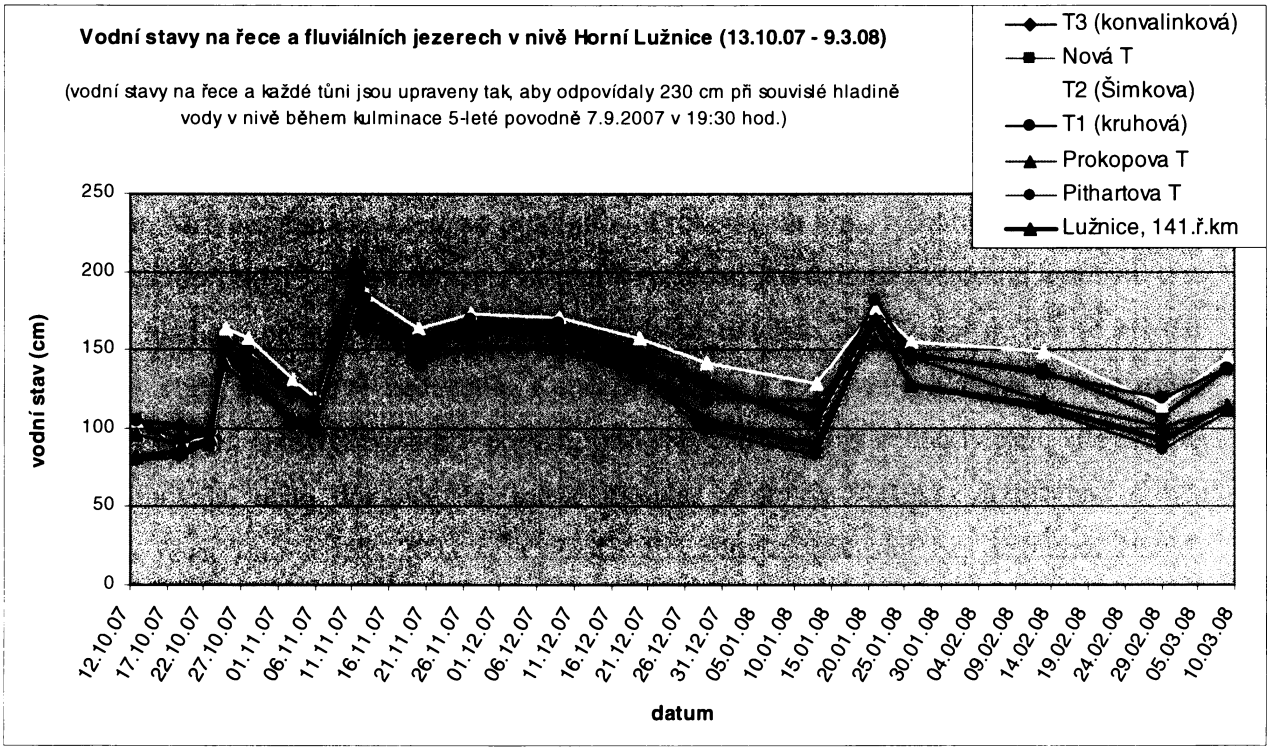
vrátily do situace před bouřkou a dále klesaly tak, že 8.8. byla na všech tůních i řece změřena nejnižší hladina zaznamenaná v průběhu sledování.

Graf 15: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (12.5. – 8.8.07)



(Zdroj dat: vlastní měření)

Graf 16: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (13.10.07 – 9.3.08)



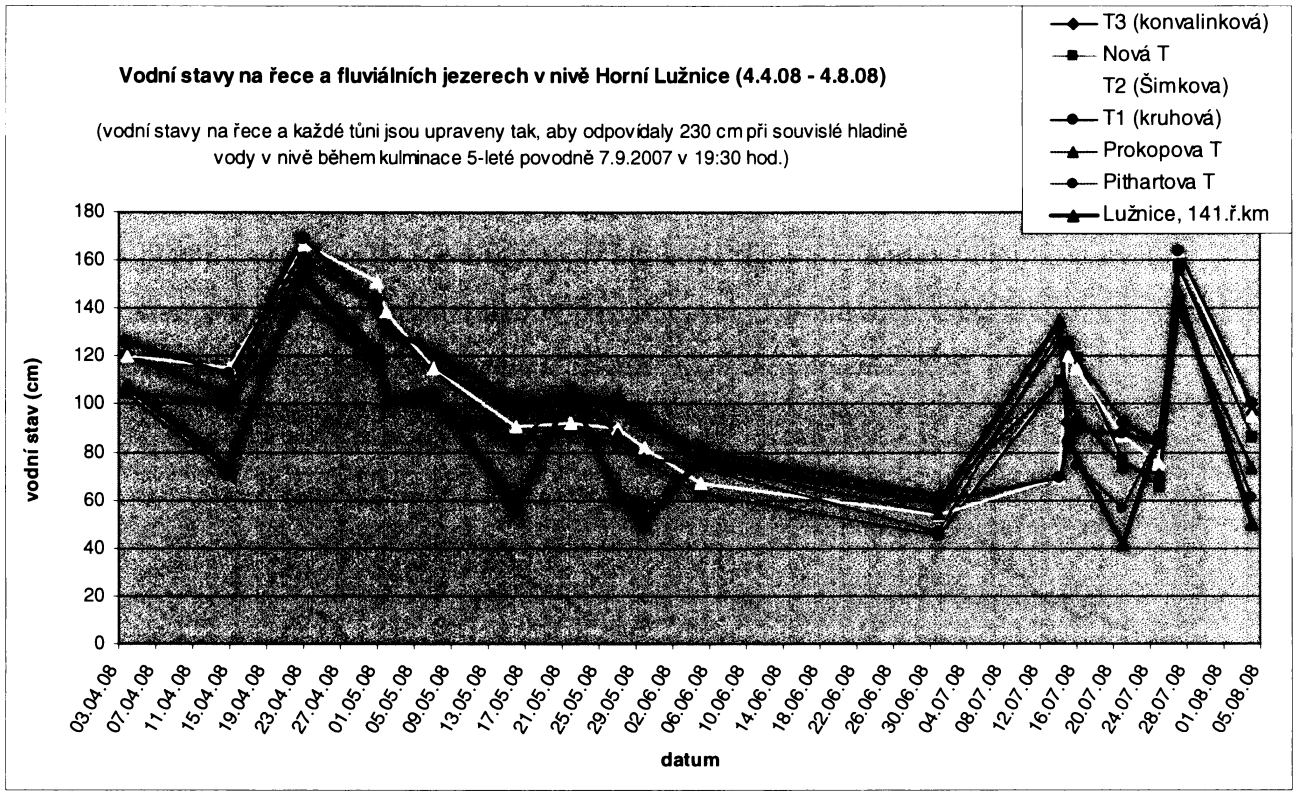
(Zdroj dat: vlastní měření)

Povodňová vlna v první dekádě září byla již popsána na začátku této kapitoly. Při opadu vody po této povodni se projevil výskyt dalších dešťových srážek. Hladiny klesaly pomaleji a pohyb vody ve všech tůních kopíroval pohyb v řece. Až po cca dvaceti dnech po kulminaci došlo ke zpomalování poklesu hladin většiny tůní. Největší rozdíl byl zjištěn 32 dní po kulminaci, ale byl tentokrát menší – všechny tůně kromě Pithartovy a Prokopovy měly hladinu okolo 33 cm výše než řeka. Vzestup hladiny po srážkách koncem října a následný ještě výraznější vzestup ve srážkově bohaté první dekádě listopadu 2007 způsobil v nivě mělký ale dlouhotrvající rozliv (Graf 16). Až v době vánoc a přelomu roku říční hladina (společně s Pithartovou tůní) významně poklesla, přičemž největší rozdíl byl zaznamenán proti T2 (rovných 40 cm). Nejkratší vzdálenost mezi tůní a řekou je přitom jen 32 metrů, od Pithartovy tůně dokonce jen 12 metrů.

Po dalším lednovém zvýšení hladiny zůstaly všechny tůně a řeka opět dlouho povrchově propojeny. Z důvodu absence sněhové pokrývky mimo nejvyšší polohy Novohradských hor a žádné výraznější srážkové činnosti, nedošlo v předjaří roku 2008 k výraznějšímu rozlivu. V polovině dubna zůstaly po sušším období hladiny tůní znatelně výš než v řece a Pithartově tůni (o 25 – 40 cm). Po příčinných srážkách 15 – 40 mm došlo od ledna poprvé k výraznému rozlití vody v nivě, mezi tůněmi voda povrchově proudila celý týden. Během následujících 23 dnů rychle klesala hladina řeky, tůně klesaly opět pomaleji, zvláště T3 a T1, které se pak lišily od řeky o 42 - 45 cm (Graf 17).

Při měření dne 2.5.2008 byla zaznamenána vzácná situace, kdy díky pomalejšímu poklesu T3 voda z této tůně tekla malým pramínkem přítokovým kanálem zpět do Mrtvého ramene, kde voda klesá rychleji. Místo přítoku do tůně se tak stalo na chvíli i místem odtoku. V poslední dekádě května došlo po zvednutí hladiny řeky k přítoku nejen do Pithartovy tůně, ale také do Mrtvého ramena které se propojilo s Prokopovou tůní. Několik málo hodin z něj slabě přetékalo i do T3. Nová tůň se z ní plnila rychlostí jen 0,5 cm za hodinu a nebylo u ní dosaženo hladiny, při níž by voda začala povrchově odtékat. Do T2 ani do T1 se při této situaci již voda povrchově nedostala. Koncem května a v červnu hladina v řece mírně oscilovala vlivem četných bouřek v povodí, tyto oscilace se příliš nedotkly tůní, kde hladina vody stagnovala, nebo dokonce dál mírně klesala, přesto se většinou držela nad úrovní hladiny v řece. Jaro a léto 2008 se vyznačovalo mírným počasím bez extrémů. Nebyly zaznamenány žádné mimořádné srážkové úhrny, ale déletrvající sucho se také neobjevilo. Výšky hladin neklesaly na tak nízkou úroveň, jako před rokem.

Graf 17: Výšky hladin řeky a fluviálních jezer na studované lokalitě (4.4. – 3.8.08)



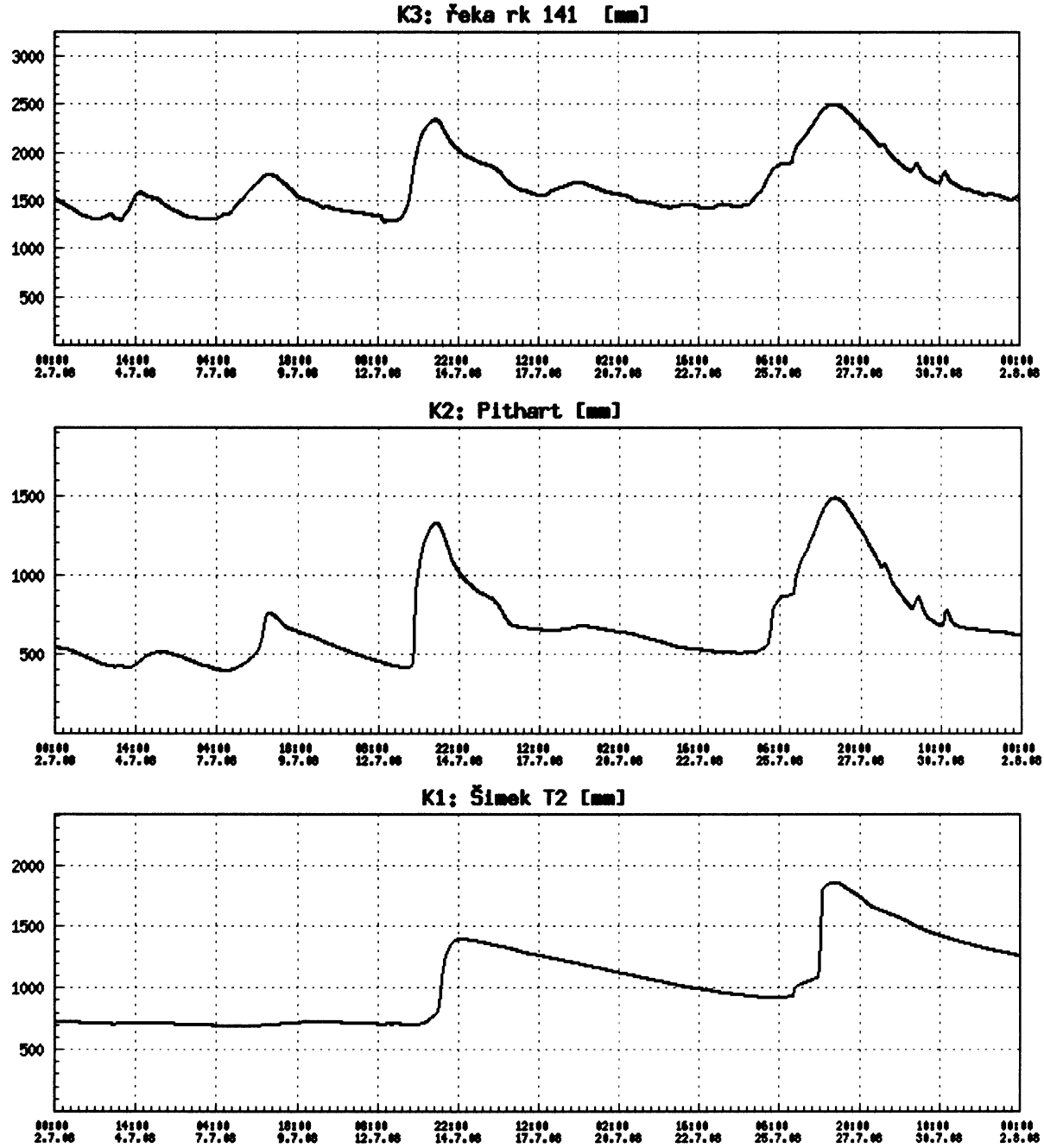
(Zdroj dat: vlastní měření)

Po přívalové srážce před polovinou července došlo ke kulminaci, při které se voda dostala z řeky kaskádovitě do všech sledovaných tůní kromě T1. Spojená Nová tůň a T3 se totiž naplnily do té míry, že došlo k povrchovému přítoku do T2, ale do koridoru přivádějícímu vodu do T1 se odtud voda nedostala. Odlišná situace T1 od zbytku tůní se projevila nejen menší změnou výšky hladiny, ale i větší průhledností vody, která se sem při této epizodě dostávala pouze podpovrchovým průsakem. Za necelých 14 dní voda v řece vystoupila ještě o několik cm výše a dostala se postupně do všech tůní, tentokrát i do T1. Hladina vody v řece i tůních poté poměrně rychle poklesla, takže tůně byly povrchově propojeny pouze krátkodobě. Během týdne však činil rozdíl hladin T1, T2 a T3 proti řece znovu přes 40 cm, stejně jako těsně před touto poslední zaznamenanou kulminací.

4.2.2. Záznam automatické stanice

Fakt, že v některých tůních se pokles vody po kulminaci oproti řece výrazně opožďuje a zpomaluje, dokládají i záznamy o vodní hladině v půlhodinových intervalech. Ty se mohly získávat až po aplikaci příslušné techniky na studované lokalitě v dubnu 2008. Sledována takto byla hladina v řece, v T2 (Oválné, popř. Šimkově tůni) a Pithartově tůni. Zde uvádím alespoň některé případy po menších (nikoliv povodňových) kulminacích v létě 2008.

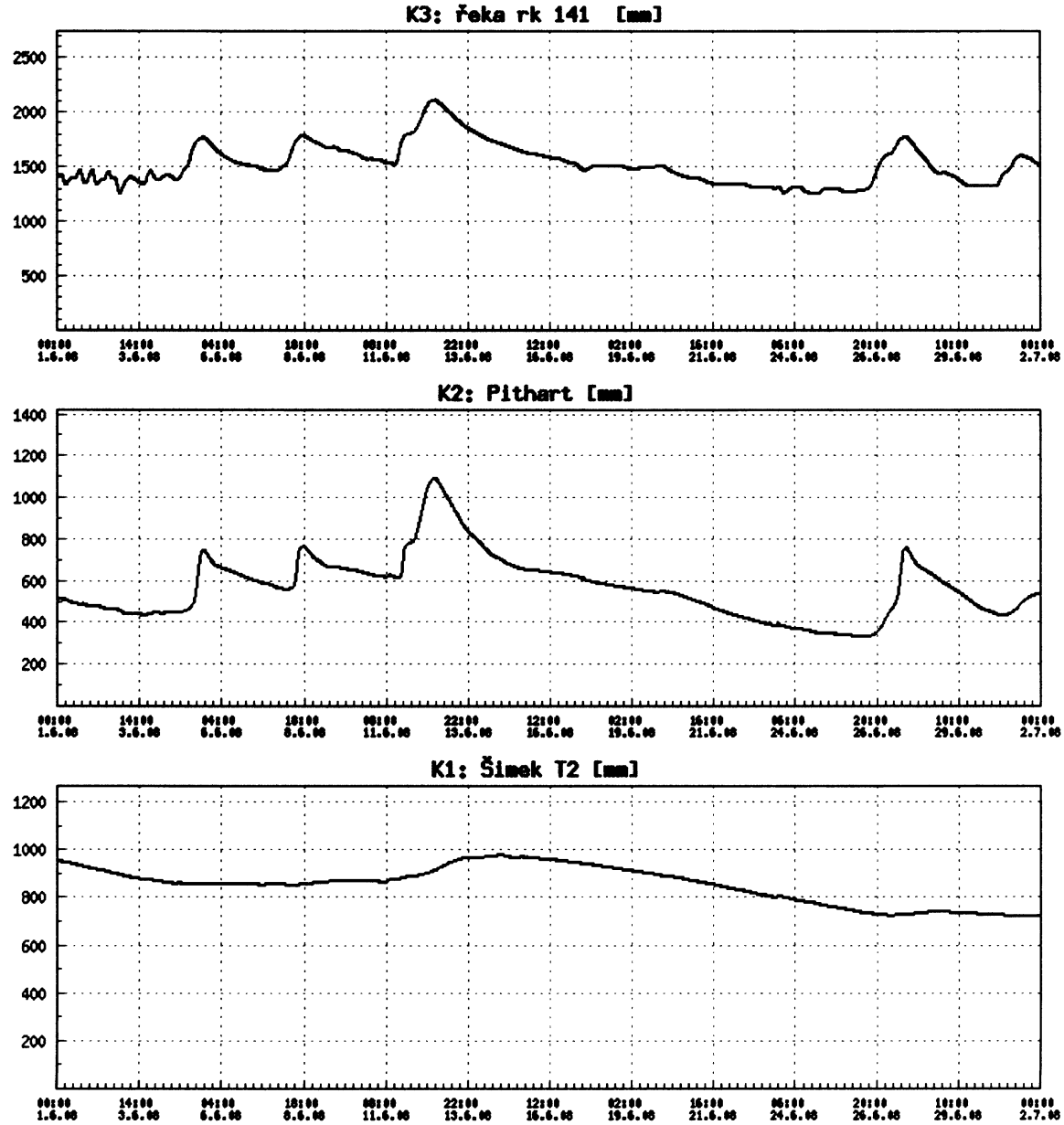
Graf 18: Záznam hladinoměru na zkoumané lokalitě za měsíc červenec 2008



(Zdroj dat: vlastní měření)

Jak je patrné, hladina Pithartovy tůně se pohybuje v těsné souvislosti s řekou, neboť je s ní i při průměrných průtocích povrchově spojena. Přehlednost grafů pro jejich porovnání je bohužel snížena různým rozsahem hodnot hladin na ose y. Tůň T2 reaguje skokově až na vyšší kulminace, které jsou spojené s rozlivem vody do nivy (viz kapitola o retenci při povodních). Voda v této tůni klesá mnohem pomaleji, než v řece a Pithartově tůni. To je pozitivní z hlediska zmírňování účinků sucha v povodí. Jak se dá při detailním pohledu zjistit, v případě další kulminace s rozlivem, která přijde po kratším časovém intervalu, hladina v T2 vystoupí při druhé vlně méně, (T2 předtím tolik nepoklesne), oproti období před prvním rozlivem však vystoupí naopak o pár cm výše, než je tomu v případě Pithartovy tůně. To podporuje tvrzení, že rozlivy v nivě mohou v někdy dokonce zvýšit kulminaci povodňové vlny a to právě v případě, kdy dorazí v malém časovém odstupu po vlně předchozí.

Graf 19: Záznam hladinoměru na zkoumané lokalitě za měsíc červen 2008



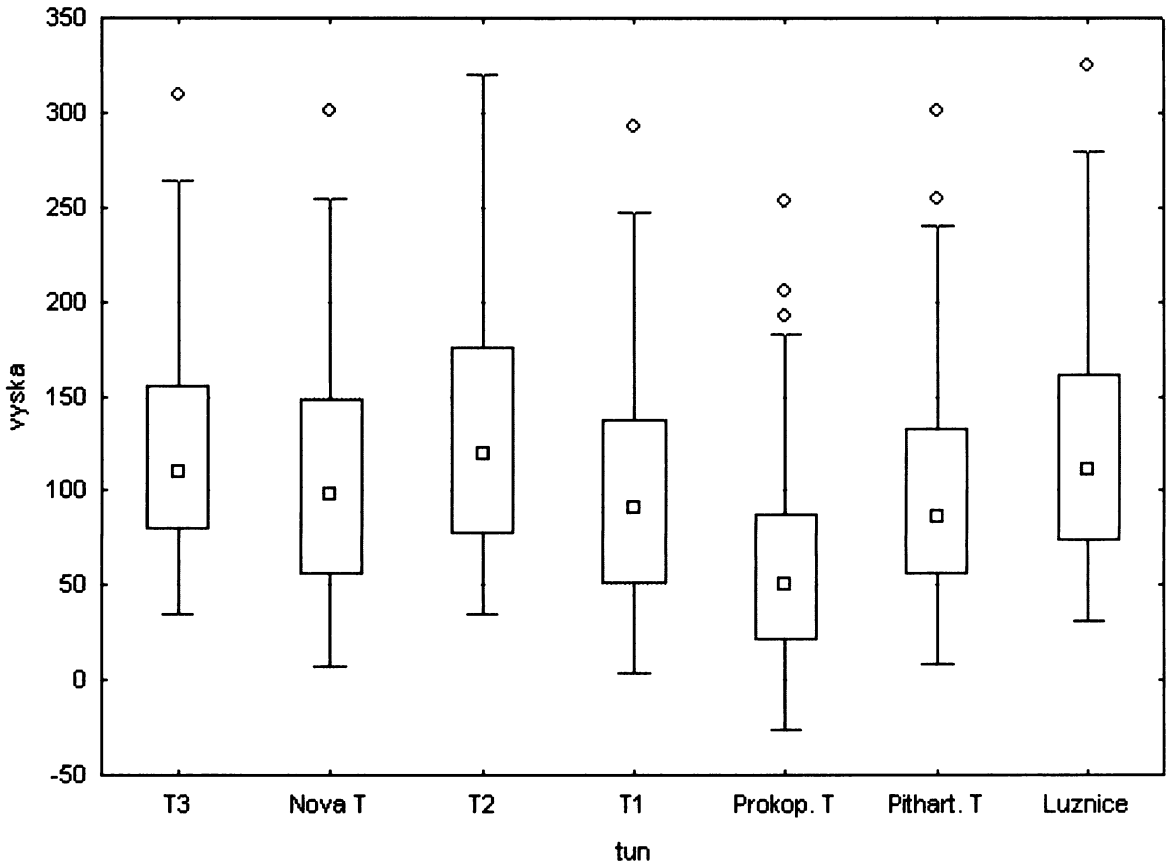
(Zdroj dat: vlastní měření)

V případě měsíce června s menšími kulminacemi z bouřek, se vyskytly natolik nízké průtoky, že došlo několikrát i k oddělení Pithartovy tůně od řeky, jak je patrné z absence některých fluktuací, které byly v řece zaznamenány. Nejnápadnější je, že hladina T2 je oproti řece i Pithartově tůni (jejich břehy jsou vzdálené jen 10 m) mnohem vyrovnanější. Její pomalý pokles narušuje pouze zvýšení zřejmě vlivem podpovrchového sycení po nápadnější kulminaci v řece dne 12.6. Toto zvýšení se zde projevilo ve srovnání s řekou a Pithartovou tůní opožděně a jen velmi nenápadně. Hladina se v porovnání s nimi držela v T2 po většinu měsíce na vyšší úrovni (z hlediska výše hladiny v nivě si odpovídají např. hodnoty 800 mm v T2 a 620 mm v Pithartově tůni).

4.3. Základní popisná statistika naměřených dat

Základní popisnou statistiku z měření na jednotlivých tůních ukazují přehledně grafy typu Box plot. Je na nich znázorněn medián a také směrodatné odchylky měření. Na každé tůni bylo nejprve ověřeno, zda naměřené hodnoty odpovídají normálnímu rozdělení, což se podle předpokladu všude potvrdilo. Obdélník (krabice) znázorňuje oba střední kvartily hodnot, v rámci jejichž rozpětí proběhlo 50 % měření. Vertikální úsečky vybíhající z krabic znamenají směrodatnou odchylku. Samostatné kruhové body znázorňují odlehlá měření, která se svou hodnotou výrazně liší od zbylého vzorku měření. Ve všech případech odlehlých pozorování (měření) se evidentně jedná o povodňové situace, zejména o nejvyšší povodeň během doby sledování, která kulminovala na začátku července 2006.

Graf 20: Popisná statistika z hodnot odečtených na latích v jednotlivých tůních řece

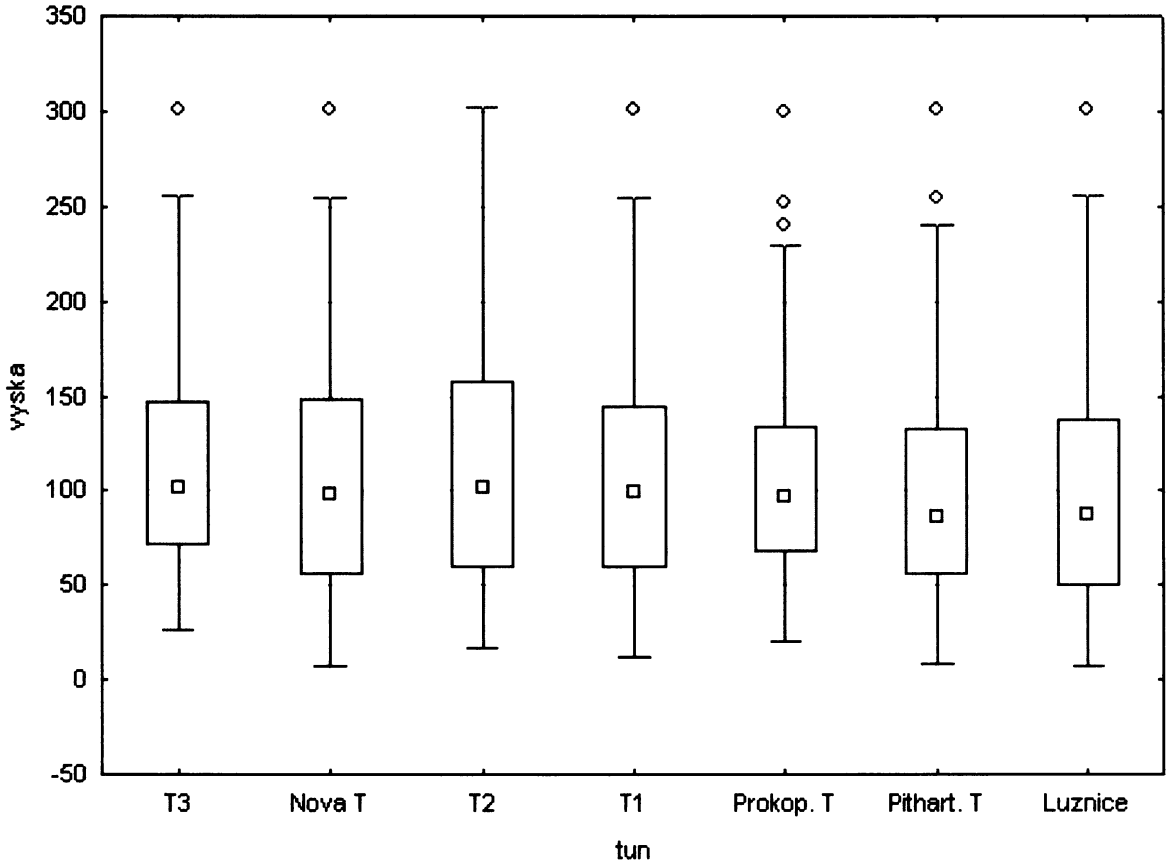


(Zdroj dat: vlastní měření)

Z grafů je patrné, že rozptyl měřených hodnot se na jednotlivých tůních liší. Porovnání grafů pro jednotlivé tůně však znesnadňuje jejich rozdílné umístění ve vertikálním směru. Proto byly tyto grafy vytvořeny také pro posunuté hodnoty na úroveň shodného stavu při spojení

hladin (viz metodika), kde vynikají rozdíly v rozptylu (na němž závisí směrodatná odchylka), čili rozkolísanosti vodních stavů jednotlivých tůní (Graf 21).

Graf 21: Popisná statistika z hodnot odečtených na latích v jednotlivých tůních řece



(Zdroj dat: vlastní měření)

Rozdíly nejsou nijak dramatické, přesto je možno konstatovat například to, že hladina v Nové tůni kolísá více, než v bezprostředně sousedící T3. V T2 byl zjištěn také vysoký rozptyl a setrvání hladiny na vyšších hodnotách. Tůň T1 svými charakteristikami leží mezi Novou tůní a T3, popř. Prokopovou tůní. Prokopova tůň se vyznačuje nižší rozkolísaností vodní hladiny (respektive rozkolísanosti s nižším rozpětím). Kvartilové rozpětí (výška krabice) je v jejím případě nejmenší. Pithartova tůň je v častém kontaktu s řekou, přesto je rozptyl na ní naměřených výšek hladin o něco nižší než na řece. Z hlediska hodnocení hodnoty mediánu je nejvýraznější zjištění, že v řece a Pitharově tůni je nižší, než na zbylých tůních. Na těch se tedy častěji udržovala vyšší úroveň hladiny vody, než v řece a Pithartově tůni, což je podstatné. Na některých tůních (T3, Pithartově a Prokopově) se medián nachází výrazně ve spodní části obdélníku představujícím 50% měření. Dolní kvartil je tedy užší, než horní. Při rozdělení obdélníku (krabice) na poloviny by se v těchto případech větší část měření pohybovala v dolní polovině, kde tedy můžeme předpokládat největší nahloučení hodnot

zjištěných měřením. Tůně se také liší pozicí nejnižší naměřené hodnoty, kde se projevuje retence vody v některých tůních (T3, Prokopova tůň) při suchých obdobích. U jiných tůní se pokles vody při suchu tolik nezpomaluje a voda v nich klesá v podstatě až na úroveň řeky (Nová tůň).

Vhodnost využití mediánu pro toto vyhodnocení oproti průměru byla vysvětlena v metodice. Ovšem i průměr a modus mají svojí vypovídající hodnotu, minimálně pro srovnání s mediánem. Modus se mezi tůněmi liší natolik výrazně, že se dá předpokládat, že jeho hodnota je dána náhodou, někde může souviset s morfologií tůně a jejího bezprostředního okolí. U průměru se potvrdilo, že jeho hodnoty jsou vyšší vlivem extrémnějších měřených stavů při povodních (ve sledovaném období měřenou lokalitou prošla přibližně dvacetiletá, desetiletá a pětiletá povodeň).

Tabulka 5: Medián, průměr a modus z dat, získaných měřením na jednotlivých tůních a řece

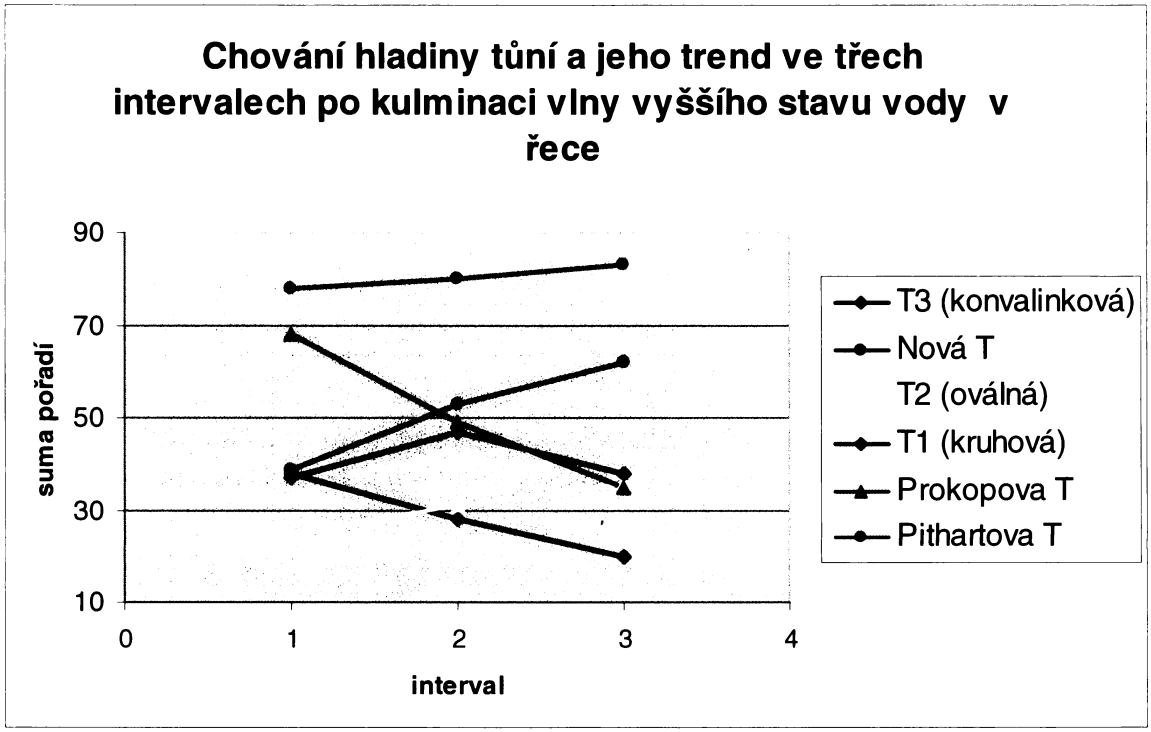
	T3	Nová T	T2	T1	Prokop.T	Pithart.T	řeka
Medián	110	98	120	92	50	87	113
Průměr	118	103	127	98	55	100	121
Modus	99	112	121	104	98	75	67

(Zdroj dat: vlastní měření)

4.4. Retence při poklesu průtoku a její závislost na vybraných parametrech tůní

V případě hodnocení retence vody v tůních, která by vedla ke zmírňování projevů sucha v nivě i samotném toku řeky, byla v úvahu brána výška hladiny ve třech různých fázích opadu vody po kulminaci v řece. V tomto směru se potvrdilo, že by bylo zjednodušující a zavádějící z tohoto hlediska tůně hodnotit pouze celkově, neboť chování konkrétních tůní se v jednotlivých fázích dost liší a v průběhu poklesu hladiny tak mohly být na některých tůních identifikovány výrazné trendy. Ty jsou dobře patrné z grafu, kde je vynesena suma pořadí v dané fázi (intervalu) zjištěná pro jednotlivé tůně (čím nižší hodnota této sumy), tím vyšší retence). Spojnice hodnot pro jednotlivé tůně jsou v grafu barevně odlišeny.

Graf 22: Retenční chování tůní v různých fázích opadu hladin po kulminaci v řece



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

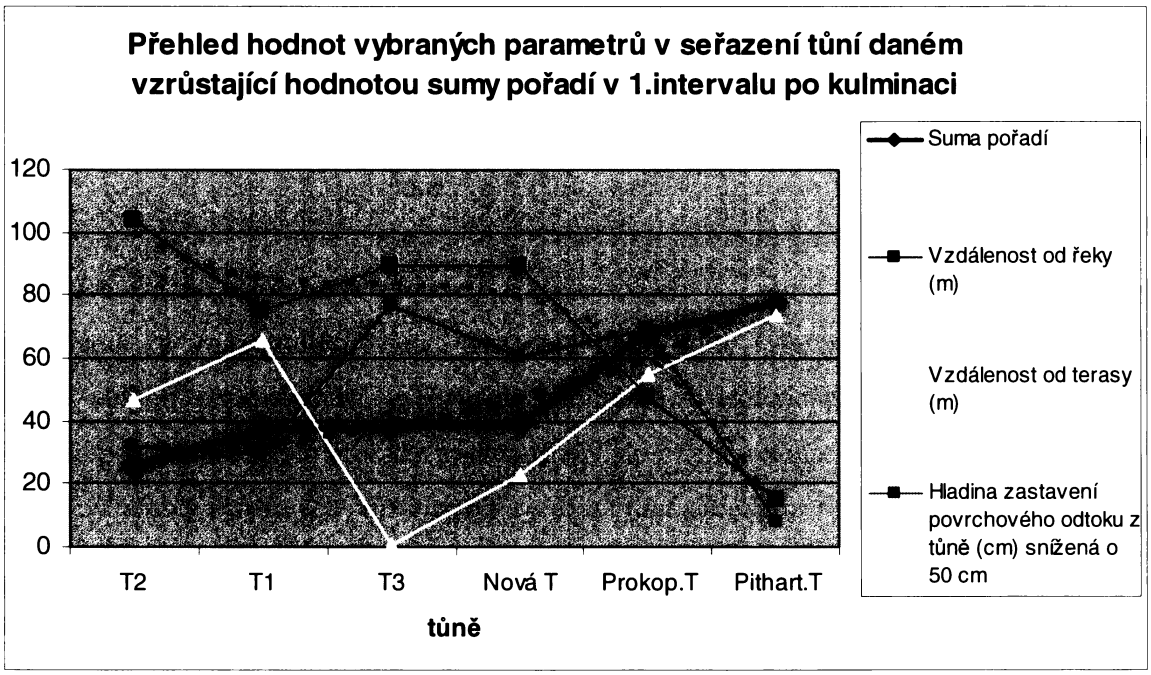
U T3 a Prokopovy tůně se retenční význam zvyšuje s postupem času od kulminace. V závěrečné fázi opadu vody zde hladina klesá nejpomaleji. Brzy po kulminaci je naproti tomu zejména v Prokopově tůni retence vody nízká. V případě T2 a Nové tůně je trend přesně opačný. Po významnější retenci v první fázi opadu vody u nich dochází plynule k poklesu hladiny, takže retence v závěrečných fázích opadu vody je již nižší (zejména u Nové tůně). T1 si udržuje přibližně vyrovnanou, mírně nadprůměrnou retenční schopnost po celou dobu opadu. Stejně tak není zřejmý trend v případě Pithartovy tůně, u které zjištěné sumy pořadí prokazují malou retenční schopnost.

Zároveň graf poukazuje na slabiny hodnocení pomocí prostého pořadí (nikoliv sumy pořadí) dané jednoduchým porovnáním hodnot v každé z fází pro jednotlivé tůně. Tůně se mohou lišit výrazně, nebo neznatelně (Graf 22), což použitím pořadí zanikne. Při celkovém hodnocení chování tůní při opadu vody (suma za všechny 3 fáze) se nicméně kriticky malé rozdíly v sumách pořadí nevyskytly, takže lze tůně seřadit sestupně podle retenčních schopností:

T3 (konvalinková), T2 (oválná), T1 (kruhová), Prokopova tůň, Nová tůň, Pithartova tůň

Hodnoty parametrů pro jednotlivé tůně seřazené z hlediska retence do jednoduchých grafů, vypovídají orientačně o tom, jestli hodnoty parametrů stoupají podobně jako suma pořadí, popř. inverzně klesají, nebo jsou proti ní naprosto rozkolísané. Lze tak předpokládat parametry a intervaly s větší pravděpodobností korelace se sumou pořadí, respektive přímo s pořadím. V takových situacích bylo využito zobrazení spojnice trendu (polynomického třístupňového typu). Pro přehlednost grafu byly upraveny hodnoty hladin, při kterých na tůních ustává povrchový odtok, pro jednotlivé fáze odečtením 50 cm, aby se pohybovaly v relacích sumy pořadí a vzdáleností k řece a terase. V důsledku toho byl na ose y optimální rozsah hodnot a trendy spojnic mohly v grafu lépe vyniknout.

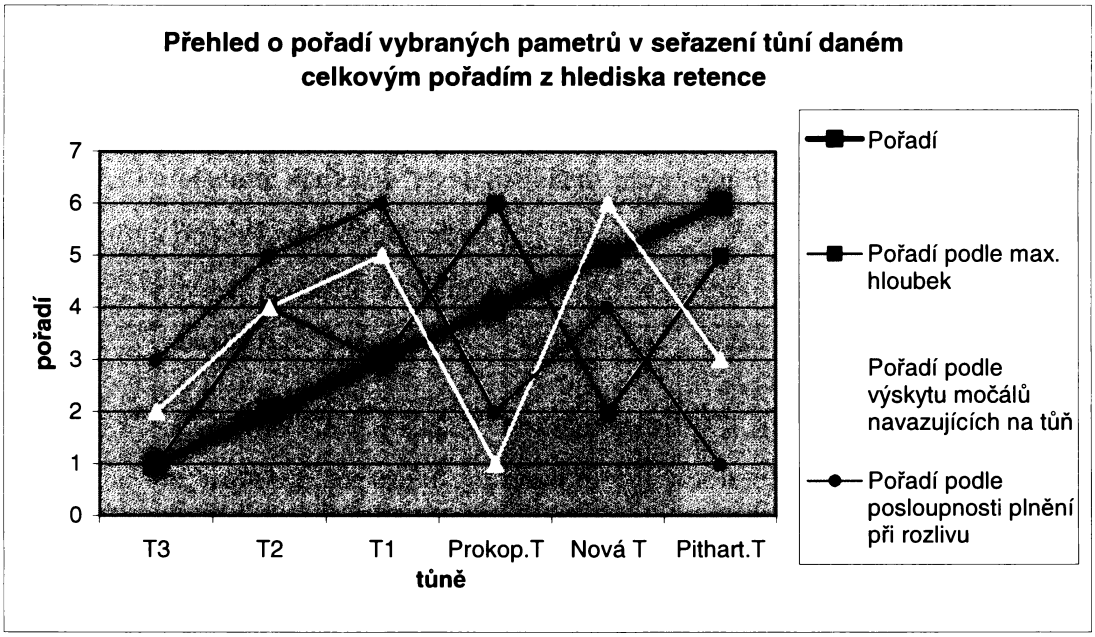
Graf 23: Hodnoty vybraných parametrů v seřazení tůní z hlediska retence (sestupně) v 1.fázi



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Chování třech parametrů v 1. intervalu po kulminaci v řece ukazuje Graf 23. Zatímco spojnice hodnot vzdálenosti k řece a terase nepoukazují na žádný trend, spojnice hladiny zastavení povrchového odtoku prozrazují přibližně opačný trend proti sumě pořadí, což potvrzují i spojnice trendů pro obě řady.

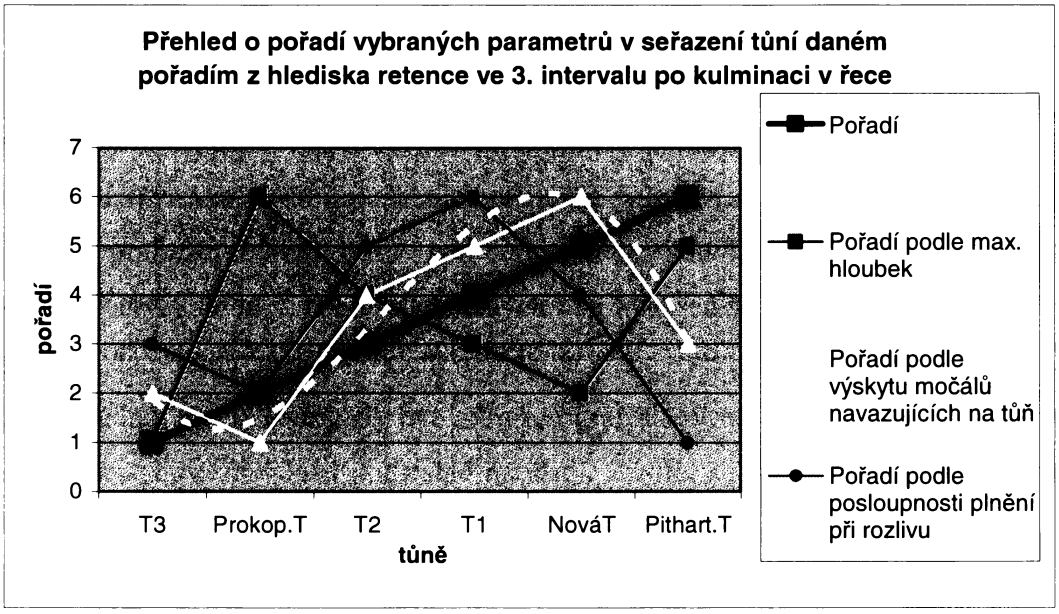
Graf 24: Hodnoty vybraných parametrů v celk. seřazení tůní z hlediska retence (sestupně)



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Graf 24 znázorňující situaci pro celý opad vody (všechny intervaly dohromady) ukazuje velkou rozkolísanost vybraných parametrů v uspořádání z hlediska retence. Při korelačním šetření se těžko prokáže průkazná závislost celk. retence na těchto parametrech.

Graf 25: Hodnoty vybraných parametrů v seřazení tůní z hlediska retence (sestupně) ve 3.fázi



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Ve třetím intervalu po kulminaci v řece vykazuje z vybraných parametrů teoreticky nějaký trend snad jen pořadí podle výskytu močálů navazujících na tůň. Spojnice trendu však ukazuje, že proti plynule rostoucí spojnici pořadí tůní podle retence jsou výrazné rozdíly. Už z grafu se tedy dá usuzovat na jistou závislost, která zřejmě nebude dostatečně průkazná.

Závislost zjištěné retenční charakteristiky tůní (dané sumou jejich pořadí či prostým pořadím) na hodnotách či pořadí vybraných parametrů a průkaznost případné závislosti byla zjišťována korelačním šetřením ve statistickém programu Sigma Plot 9.0 . Přehled výsledků tohoto šetření podává následující tabulka :

Tabulka 6: Korelační šetření retenčních vlastností a vybraných parametrů

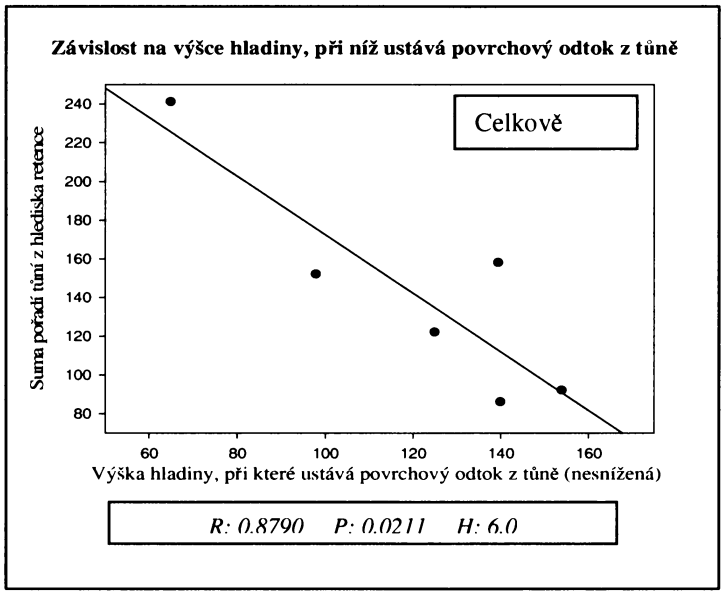
	(m) od řeky	(m) od terasy	konec odtoku (cm)	pořadí max. hloubky	pořadí dle nav. močálů	pořadí plnění při rozlivu
I. interval	R: 0,2204 P: 0,6747	R: 0,2656 P: 0,6110		R: 0,4857 P: 0,3287	R: 0,3714 P: 0,4685	
II. interval	R: 0,5921 P: 0,2156	R: 0,6463 P: 0,1655		R: 0,4857 P: 0,3287	R: 0,2000 P: 0,7040	R: 0,4857 P: 0,3287
III. interval	R: 0,6441 P: 0,1675	R: 0,5022 P: 0,3100	R: 0,6330 P: 0,1773	R: 0,2000 P: 0,7040	R: 0,6000 P: 0,2080	R: 0,0857 P: 0,8170
Celkově	R: 0,5239 P: 0,2860	R: 0,5849 P: 0,2227		R: 0,4857 P: 0,3287	R: 0,2000 P: 0,7040	R: 0,4857 P: 0,3287

(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Závislost je charakterizována hodnotou R. Čím je tato hodnota blíže 1, tím je závislost větší. Na jistou závislost poukazují dle konvence všechny hodnoty R větší 0,5, hodnoty nad 0,8 již lze považovat za zjištění poměrně silné závislosti. Pro její hodnocení je však naprosto podstatná její průkaznost, která je dána hodnotou p. Pro průkaznou závislost (při obvyklé hladině 95 %) musí být hodnota tohoto ukazatele menší nebo rovna 0,05. Pokud k takovému potvrzení závislosti došlo je v tabulce příslušné pole označeno červeně (Tab. 6). Na možnost zjištění průkazných závislostí měl určitě negativní dopad příliš malý počet dvojic porovnávaných hodnot, neboť sledovaných tůní bylo jen šest. Bylo si všímáno i případů, kdy byla zjištěna určitá závislost, která nebyla na stanovené hladině průkazná, ale přesto nebyla zanedbatelná. Pro tyto případy byl zobrazen graf, který může odhalit body (jednotlivé tůně), které průkaznost závislosti podstatně narušují. Zjistilo se, zdali je takových bodů více nebo pouze jeden a v kombinaci s místní znalostí situace se pak dospělo k názoru, jestli se dá o určité závislosti mluvit, či nikoliv. Teoretická závislost se šetřila v případech, kdy hodnota p nepřesahovala 0,25 (žlutá pole v tabulce).

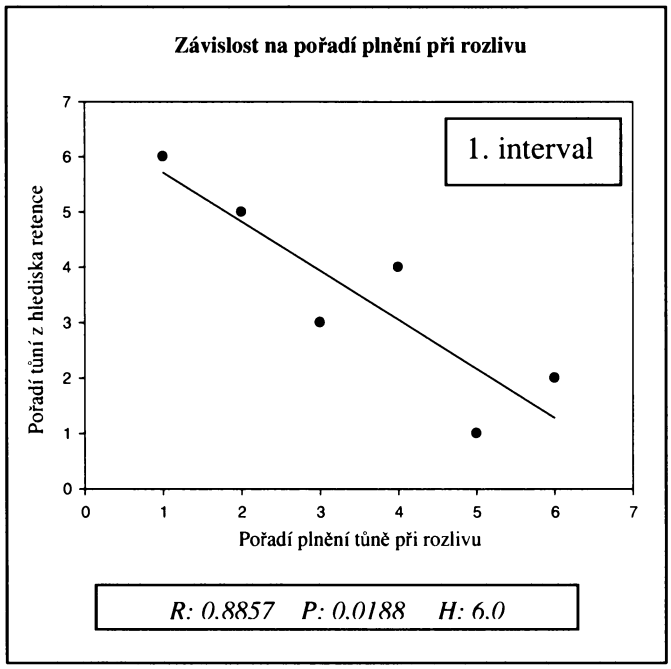
Následující grafy (Graf 26 – 32) ukazují umístění hodnot (jako body) a přímku charakterizující zjištěnou závislost retenční vlastnosti tůně na vybraném parametru. Na nejsilnější závislost poukazuje při stejném rozpětí a měřítku hodnot na obou osách úhel 45°, který tato přímka svírá s osami. První dva vyobrazené grafy ukazují situaci průkazné negativní závislosti. Zvyšující se hodnota parametru (v druhém případě pořadí) je spojena s poklesem sumy pořadí. To znamená, že se zvyšující se hodnotou parametru stoupají retenční schopnosti tůně.

Graf 26: Závislost retenčních vlastností tůní na výšce hladiny, kdy se přerušuje povrch. odtok



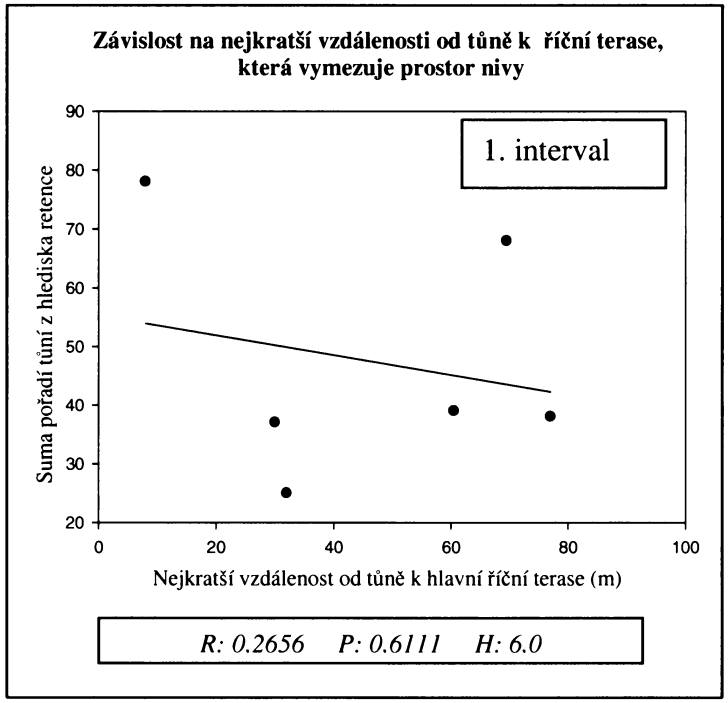
(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Graf 27: Závislost retenčních vlastností na pořadí plnění tůně při rozlivu (1. fáze)



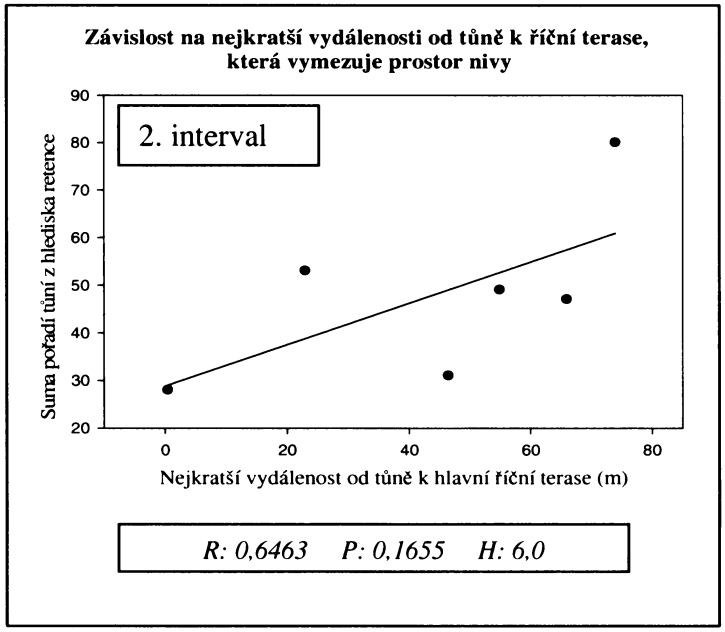
Na průkaznost závislosti poukazuje ve výše zobrazených grafech také to, že žádné body nejsou od přímky charakterizující závislost výrazně vzdáleny a jejich menší odchylky jsou obdobné. To v případě grafu 28 je vidět nízká závislost a naprostá neprůkaznost díky velkému rozptylu mnoha bodů na obě strany. Tůně s podobnou vzdáleností od terasy se v uvedeném intervalu měření vyznačují zcela odlišnými retenčními vlastnostmi.

Graf 28: Závislost retenčních vlastností na nejkratší vzdálenosti tůně od terasy (1. fáze)



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Graf 29: Závislost retenčních vlastností na nejkratší vzdálenosti tůně od terasy (2. fáze)

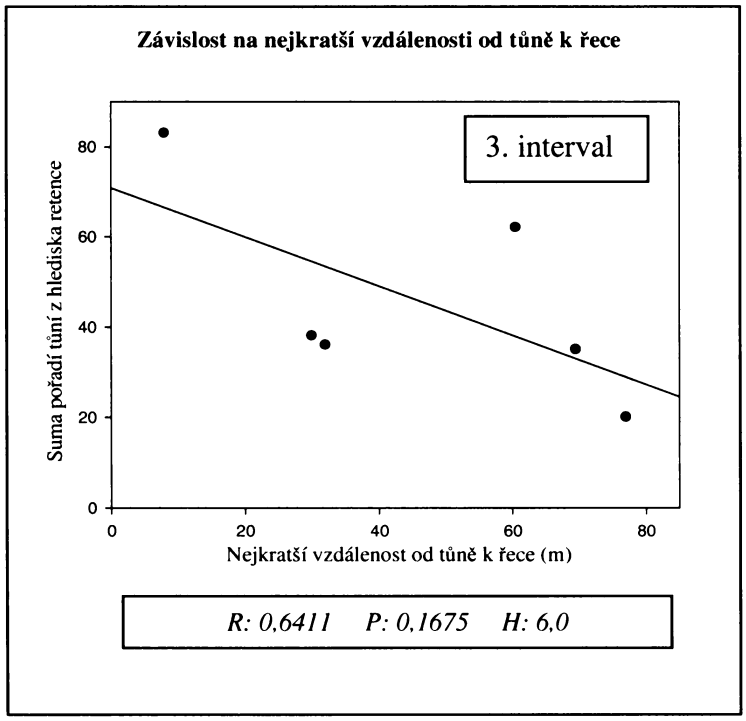


(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Při hodnocení ve 2. intervalu po kulminaci v řece se projevila teoretická závislost na vzdálenosti od řeky i vzdálenosti od terasy (v metrech). Tyto 2 parametry spolu do jisté míry souvisí (inverzně), ale ne zcela. Závislost na vzdálenosti od terasy byla identifikována jako mírně průkaznější než v případě řeky (Tab. 6). Odlehlý bod hluboko pod přímkou patří Prokopově tůni, která je od hlavní terasy vzdálenější, vybíhá k ní však od hlavní terasy říční terasa, takže jejím prostřednictvím může být hlavní terasou ovlivněna více, než např. Nová tůň, která je od terasy vzdálena méně, ale z hlediska retence je méně významná (druhý bod zleva) (Graf 29). V důsledku toho se domnívám, že se zde dá s jistou závislostí počítat a že je tímto korelačním šetřením mírně podhodnocena. Jako výrazný faktor nejistoty zde každopádně figuruje (jako ve všech případech) malý vzorek pro hodnocení, který může způsobit, že se nezjistí ve skutečnosti existující a prokazatelná závislost.

Ve 3. intervalu od měření nebyla zjištěna žádná prokazatelná závislost, pouze několik teoretických. Větší průkaznost než u vzdálenosti od terasy se tentokrát vyskytnula u vzdálenosti od řeky (Tab. 6). Dva body, tůně T2 a T1, patří mezi ty s menší vzdáleností od řeky, přesto je jejich suma hodnot pořadí mírně podprůměrná (a retence v nich tedy mírně nadprůměrná). Retencí v tomto období málo významná Nová tůň má naopak poměrně velkou vzdálenost od řeky (Graf 30). Uvedené důvody vedou spíše k závěru, že v tomto případě se nedá počítat se závislostí (jistě ne průkaznou ani při větším vzorku tůní).

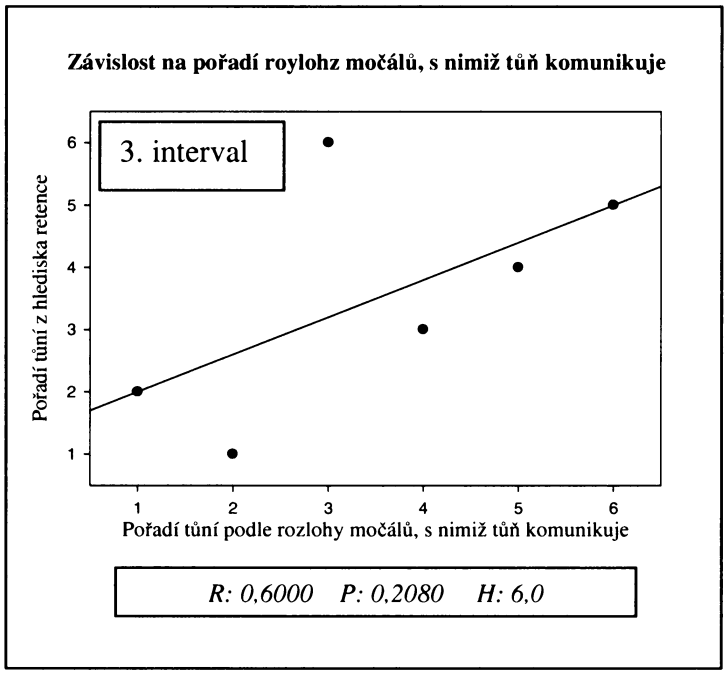
Graf 30: Závislost retenčních vlastností na nejkratší vzdálenosti tůně od řeky (3. fáze)



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

V parametru výšky hladiny zastavení povrchového odtoku, na němž byla prokázána v 1. i 2. intervalu silná závislost, byla tentokrát zjištěna závislost spíše teoretická. To je logické, neboť ve 3. intervalu opadu vody už je hladina tůní většinou pod úrovní tohoto výtoku a jeho výška tak nemá na opadávání vody v tůni podstatný vliv. Přesto jeho hodnota signalizuje do jisté míry určitou izolaci tůně od okolí vedoucí ke zpomalení poklesu vody proti okolnímu prostředí. Z tohoto pohledu je zjištěná teoretická závislost pochopitelná.

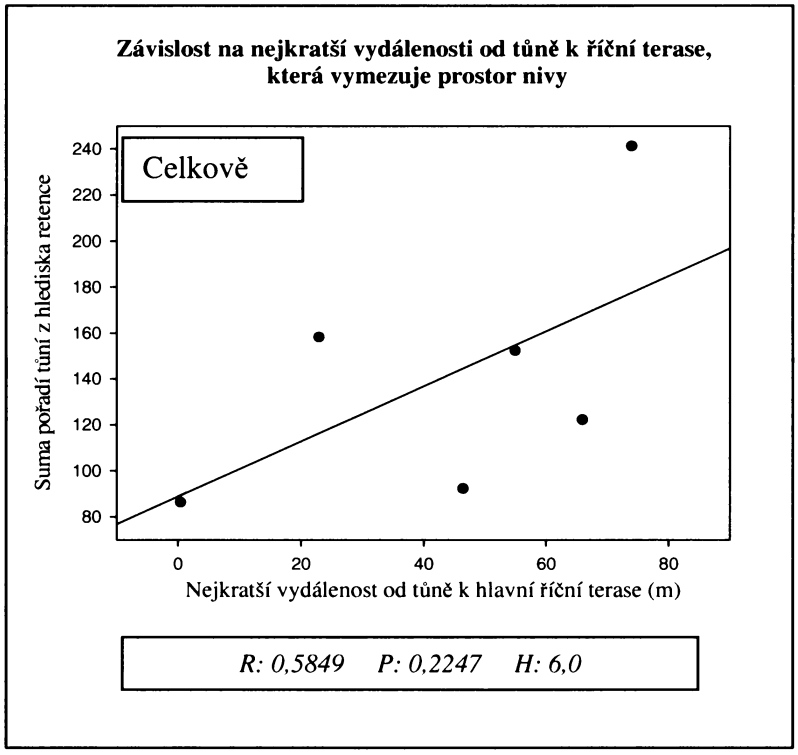
Graf 31: Závislost retenčních vlastností na nejkratší vzdálenosti tůně od řeky (3. fáze)



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

Teoretická závislost byla v případě 3. intervalu zaznamenána také na rozloze močálů, které komunikují s tůní, respektive s pořadím daným touto rozlohou (Graf 31). Zde je potřeba říci, že již nebylo v technických a časových silách autora změřit přesnou rozlohu močálů. Při průzkumu lokality je však na první pohled zřetelné, že rozloha močálů komunikujících s tůněmi na prvním a druhém místě dle tohoto kritéria (Prokopova tůň a T3) je řádově vyšší, než u zbylých tůní. Bod v pořadí třetí tůně (Pithartovy) je sice výrazně vychýlený, ale ve skutečnosti se rozloha močálů při této tůni výrazně neliší od dalších tůní, co jsou v pořadí na ose x až za ní. Zjednodušení tím, že bylo počítáno pouze s pořadím, vedlo v případě tohoto parametru určitě k výraznějšímu zkreslení.

Graf 31: Závislost celk. retenčních vlastností na nejkratší vzdálenosti tůně od terasy



(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

V případě hodnocení pro celé opady se zjistila pouze jedna průkazná korelace (na výšce zastavení odtoku) a jedna teoretická. Na průkaznost závislosti na nejkratší vzdálenosti od hlavní terasy má negativní vliv poměrně vysoká retence (nižší celková suma pořadí) v případě tůní T2 a T1, které jsou od terasy vzdálenější.

Z výsledků korelací je možno shrnout, že jako parametr s největším vlivem na retenci vody v jezerech při opadávání vody se projevila výška hladiny, při které dochází k zastavení povrchového odtoku. V případě tohoto parametru byla třikrát zjištěna průkazná závislost (i při zhodnocení celých opadů za všechny 3 fáze dohromady), jednou teoretická. Retence tedy závisí na tom, jak vysoká je tato hladina v konkrétní tůni. Další průkazná závislost byla zjištěna v první fázi po kulminaci v řece na pořadí, v němž se tůně při rozlivu zaplňují vodou. Čím dříve se tůň plní vodou, tím menší je její retenční význam. Tato retence je důležitá nejen pro zmírňování sucha, ale i extremity povodní. Tomu odpovídá i zjištěný fakt, že tato závislost se v dalších fázích poklesu hladiny již neprojevuje. V případě nejkratších vzdáleností od řeky a od terasy byla zjištěny pouze teoretické závislosti. Vzhledem k tomu, že se vyskytnula i při celkovém hodnocení opadů, za výraznější lze považovat závislost na vzdálenosti od terasy. Maximální hloubka tůní byla shledána jako parametr nemající s retenčními vlastnostmi tůní téměř žádnou souvislost.

4.5. Retence při nástupu povodní a retardace jejich postupu

4.5.1. Rozlivy a nástup povodní

Pozitivní efekt říční nivy s výskytem četných fluviálních jezer, jako se nachází při Lužnici kolem studované lokality, tkví především ve zpomalení průchodu povodňových vln. Tvar povodňové vlny se v důsledku tohoto zpomalení stává plošší a kulminační výška se o něco sníží. Voda se také díky tomu v některých částech povodí zdrží a nedojde ke střetnutí kulminací povodňových vln na soutoku významnějších toků. Samotná retence, tedy objem vody, který se zadrží v nivě a nestane se součástí průtoku během povodně, je pouze omezená a její relativní významnost klesá s výškou přelití nivy (Vlasák 2006).

Rozhodně však není zanedbatelná např. v případě, kdy povodni předchází suché období. Určitý objem zadrží půda (pokud není zmrzlá), také transpirace rostlin vlivem vláhy po suchém období probíhá naplno (ve vegetační sezóně). Všechny periodické tůně a deprese v nivě jsou vyschlé a může být využit celý jejich retenční prostor, který v případě některých mělkých sníženin činí až jednotky hektarů. Většina slepých a mrtvých ramen je téměř vyschlých (Pithart a kol. 2003). Z fluviálních jezer v nivě dosahují největší retenční kapacity dlouhá mrtvá ramena, která se místy rozšiřují v laguny. Voda se do nich dostává brzy a řeka se tak dělí na několik křivolakých toků, což zmírňuje nástup povodňové vlny. Při nízké hladině zahloubených oválných a kruhových tůní také chvíli trvá než se jednotlivé tůně naplní a voda přeteče dál. Vznikají tak kaskádové systémy, jejichž retenční i retardační schopnost závisí především na mohutnosti a strmosti nástupu povodně.

Na lokalitě jsem měl možnost sledovat nástup povodňové vlny v noci z 6. na 7.9. 2007. Tato vlna kulminovala 7.9. navečer na úrovni pětileté vody při přelití nivy v celé šíři. Příčinným srážkám povodně předcházelo tříměsíční suché období. Následuje popis postupu rozlivu z tohoto pozorování a některé souvislosti a závěry, které šlo z chování vody v této situaci vyvodit.

Ze stoupající řeky se voda nejdříve dostává do depresí, které od vlastního toku bývají odděleny jen při podprůměrných vodních stavech. Voda již v průběhu odpoledne pronikla např. do Pithartovy tůně a začíná živě proudit také průpichem meandru. Rychlost vzestupu říční hladiny se zvětšuje a voda se při stavu hladiny 127 cm (103 cm - po posunutí vysvětleném v metodice) začíná dvě hodiny před půlnocí přelévat ve Velkém ohbí z řeky do poloprázdného Mrtvého ramene. Na profilu v Nové Vsi tomu odpovídá stav hladiny 84 – 85 cm. Během půlhodiny voda přesáhne hladinu 138 cm (114 cm), kdy začíná voda do Mrtvého

ramena skrz vyvýšené agradační valy silně proudit kanálem nazvaným Vrbový vtok. To urychlí vzestup hladiny Mrtvého ramene, odkud voda zaplaví i Otevřený močál a po chvíli i Prokopovu tůň. To je situace, která již znamená rozliv. Na profilu v Nové Vsi této hraniční situaci odpovídá stav hladiny 88 cm a průtok 6,32 $m^3.s^{-1}$. První povodňový stupeň se zde přitom vyhlašuje až dosažením 130 cm (23,5 $m^3.s^{-1}$). Z uvedených faktů vyplývá, že rozliv je v nivě skutečně běžnou (a nutnou) záležitostí a nemusí být zdaleka vždy spojen s povodní (dosažením minimálně prvního povodňového stupně na měrných profilech) (Jeník a Prach 1988). Z grafů výšek vodní hladiny na profilu v Nové Vsi, stahované ze stránek Povodí Vltavy a.s byl určen počet a doba trvání rozlivů. Ověřit skutečnost rozlivu se dala také ve vytvořených XY grafech, kdy na vzestup hladiny v řece musel bezprostředně a strmě navazovat také vzestup hladiny v dalších tůních, než pouze v Pithartově (minimálně také v Prokopově tůni). Výsledky sledování počtu rozlivů řeky do nivy podává tabulka 7, ve které jsou doby trvání rozlivu (delší než týdenní jsou zvýrazněny modře) pod obdobím, kdy došlo k rozlivu (zvýrazněna oranžově, pokud byl rozliv povodňový).

Tabulka 7: Počet a doba trvání rozlivů na studované lokalitě (a v nivě v širokém okolí)

	VII 06		I 07	II 07	III 07		X 07		X 07	XI-XII 07	I-II 08	III 08	IV 08	VII 08	VII 08
19	2	24	2	2	6	17	1	32	7	42	20	2	8	1	3

	Celkově	2007	VII-XII 06	I-VII 08
Počet rozlivů	16	8	3	5
Celková doba trvání rozlivů (dny)	188	109	45	34

(Zdroj dat: vlastní měření a hodnocení)

V nivě na studované lokalitě došlo během 25 měsíců sledování k šestnácti rozlivům. Pouze ve čtyřech případech bylo dosaženo povodňového stavu. Je pozoruhodné, že nejdelší rozliv v listopadu až prosinci 2007 (42 dní) nebyl spojen s povodňovou situací. Právě vysoké vodní stavy ve vlhké poslední třetině roku 2007 způsobily (společně s rozlivem v předjaří), že se vyskytl nemalý počet rozlivů a především dlouhá doba jejich celkového trvání, ač byla tento rok zaznamenána výrazná sucha. Ta však byla vázána především na řadu měsíců v první polovině tohoto roku společně s podzimem 2006. Podzimy 2006 a 2007 se tedy navzájem hydrologicky velmi lišily. Všechny 3 rozlivy zaznamenané během sledované poloviny roku 2006 proběhly v létě). V roce 2008 byly zaznamenány spíše kratší a nepříliš silné rozlivy.

Poté, co při pozorování nástupu povodně v září 2007 došlo k rozlivu do Prokopovy tůně a rozsáhlých močálů v mělkých depresích, které ji obklopují, voda pomalu stoupala dál (ač průtok řekou stoupal v této chvíli exponenciálně, jak vyplývá z měření na profilu v Nové Vsi) až k přelití do T3, kam voda přitékala vyhlobeným kanálem. V něm rychle stoupal průtok až bylo dosaženo silného proudu, kterým se T3 poměrně rychle plnila. Brzy došlo k tomu, že pramínek vody začal přetékat do sousední Nové tůně. Ten se však brzy změnil v pořádný splav. Podpovrchovým průsakem přibývalo vody jen pomalu a tak činil rozdíl hladin těchto sousedních tůní před přelitím z T3 celý metr! Hlučný proud vody na splavu, kterým se přelévala voda do této tůně měl velkou sílu. Menší zahloubená Nová tůň, která nesouvisí s žádnými sníženinami se plnila velmi rychle. Hladina zde stoupala rychlostí okolo šesti cm za minutu, takže hladina se s T3 vyrovnala za necelých 15 minut! Stoupání společné hladiny jmenovaných tůní se trochu zbrzdilo v okamžiku, kdy z nich přes vrbové porosty začala voda odtékat do T2. Až po dalších dvaceti minutách začala voda z Nové tůně přetékat i do koridoru směrem k T1, v němž dochází k prohlubování nově vznikajících tůní. Po další půlhodině již tímto koridorem proudil silný proud, který naplňoval T1 také poměrně velkou rychlostí (okolo 3 cm za minutu), takže se naplnila až po okraj rychleji, než T2, do které začalo přitékat dříve. Přítok do T2 není tolik silný a tůň má navíc oproti T1 přibližně dvojnásobnou plochu.

Poté došlo v nivě k zaplavování výše položených depresí. Voda zalila velký močál pod konkávním obloukem terasy, odkud pak voda přitékala k Prokopově tůni z opačného směru, než dosud. Voda z řeky plošně překonala vyvýšené agradační valy podél jejích břehů. Všechny deprese byly již zaplněny, rychlost proudění byla ovšem značně proměnlivá, zejména v místech, kde se dosti mění hloubkové poměry. V takových místech vznikají různé turbulentní proudy. Víry a zákruty v proudění tak přispívají k určité retardaci povodňové vlny i v situaci, kdy již voda proudí celou šíří nivy, k čemuž došlo až v pátek 7.9. 2007 ráno.

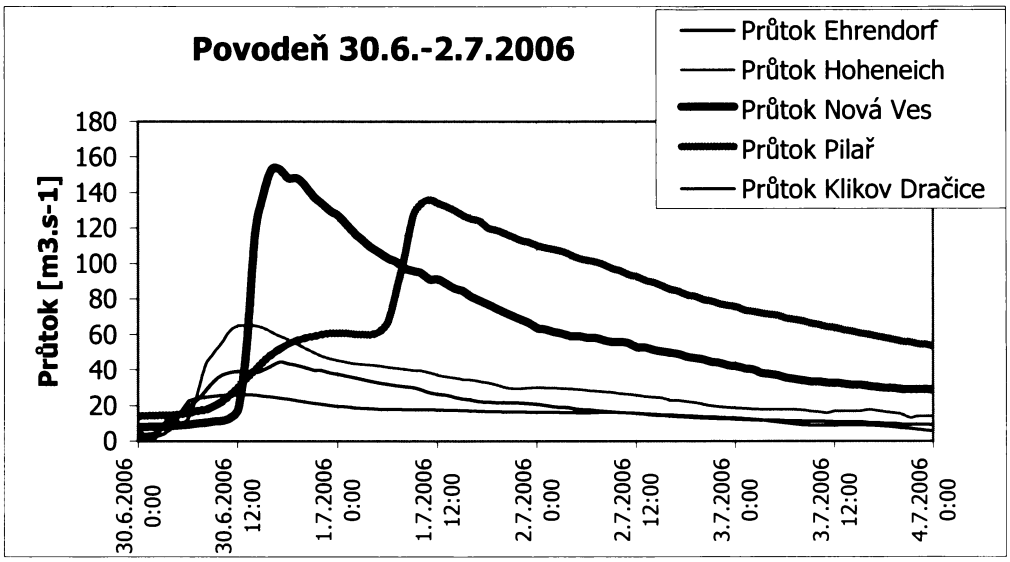
Při pomalejším nástupu méně mohutných rozlivů probíhá celý proces daleko pomaleji. V případech menších rozlivů někdy ani nedojde k přelití vody do všech tůní. V některých se jen opožděně zvýší hladina vlivem podpovrchového průsaku (případ T1 při prvním rozlivu v červenci 2008 aj.). Rozliv tedy rozhodně pokaždé nedostoupí do fáze přelití nivy v celé šíři. Na druhou stranu, extrémní nástup povodně na konci června 2006 musel na lokalitě probíhat ještě rychleji a dynamičtěji, než popsaný případ ze září 2007. Při strmém nástupu povodně je časová úroveň retardace určitě menší, přesto hraje svou roli. Extrémní dynamika takové situace, která má v osídlených a upravených oblastech ničivou sílu, však v nivě působí spíše tvořivě, neboť silná eroze a akumulace způsobí zvýšení diverzity prostředí nivy (Ložek 1998).

Dojde k uložení lavic unášeného materiálu, k vývratům, k prouhloubení řady kruhových tůní, či dokonce jejich vzniku. Mohutná povodeň touto velkou dynamikou procesů, které způsobuje, poněkud zpomaluje sebe samu, především ale zvyšuje retenční kapacitu nivy pro další povodně (Pelc 1998). K těmto pozitivním vlivům mohutných povodní na retenci vody v nivě však nelze počítat výrazná propíchnutí meandrů řeky apod. (Černý 2008). Na závěr je ještě třeba upozornit, že na retenci a retardaci povodní v nivě má vliv i půdní pokryv. Rozsáhlé porosty kopřiv či chrastice rákosovité v proudící vodě lehnou a vytvoří jakýsi koberec, po kterém voda klouže a zpomalení či zadržení vody je tím značně omezeno (ústní sdělení – Dostál 2008), což potvrdila i vlastní pozorování.

4.5.2. Analýza příčin a průběhu povodňových situací v období sledování

V období sběru dat se na studované lokalitě vyskytly 3 výrazné povodňové situace, všechny v letním období. V zimním období se projevila jen jedna slabá povodeň. Díky vlastním pozorováním a datům poskytnutým ČHMÚ v Českých Budějovicích je možno analyzovat formování i průchod povodňového průtoku horním subpovodím Lužnice a zaznamenat i intervaly výrazného sucha během dvouletého období sběru dat.

Graf 33: První letní povodeň roku 2006 na měrných profilech v horní části povodí Lužnice



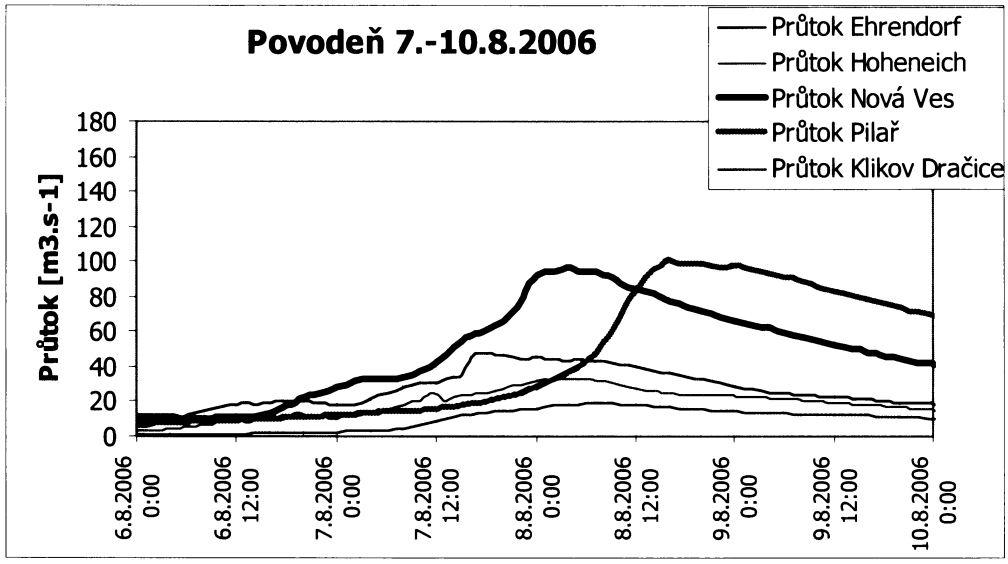
(Zdroj dat: Tomáš Vlasák, ČHMÚ České Budějovice 2008)

Povodeň na přelomu června a července 2006 byla způsobena extrémními srážkovými úhrny, které spadly během přibližně patnácti hodin v noci z 29. na 30.6.2006. Jejich příčinou byla dost netypicky ze západu pomalu postupující konvektivní jádra s velmi intenzivními srážkami. Nejvyšší srážkové úhrny spadly v jižní a střední části třeboňské pánve (154,3 mm v Třeboni) a při východní hranici povodí, zejména v povodí Skřemelice (168 mm

v Altmanns). Na některých stanicích byly zaznamenány rekordní 12-ti hodinové srážkové úhrny. Na stanici v Českém Rudolci, která se nachází v oblasti České Kanady již v povodí Dyje, ale nedaleko pramene Dračice a Skřemelice, byl 29.6. zaznamenán mimořádný denní srážkový úhrn 227,6 mm! Díky tomu, že srážky zasáhly tentokrát s podstatně menší intenzitou pramennou oblast Lužnice v Novohradských horách, nedošlo na Lužnici k tak mohutné povodni, jako v sousedním povodí Dyje, na které byl překročen stoletý průtok. Výrazně extrémní průtoky byly v rámci povodí Lužnice zaznamenány na Skřemelici, (kulminační průtok v Hoheneich přes 65 m^3/s). Průměrná příčinná srážka v jejím povodí odvozená z úhrnů na stanicích v povodí či jeho bezprostředním okolí činila 113,9 mm, kdežto v povodí horní Lužnice nad Gmůndem nepřesáhla 80 mm. V prostoru Třeboňské pánve na středním toku Lužnice činil vypočtený srážkový úhrn 105,7 mm. Na profilu Nová Ves byl zaznamenán velmi ostrý nástup povodně (vzestup o 98 m^3/s během dvou hodin!). Strmý nárůst mohla niva zachytit jen v omezené míře (přestože pravděpodobně došlo díky silné dynamice k prohloubení mnoha tůní a depresí). Účinek nivy je zkreslen situací, kdy došlo k přelití vody do pískovny u Tušti a k protržení oddělovací hrázky. Voda postupně plnila prostor kolem pískovny, než došlo k přelití přes silniční násep dále do nivy. Tato havarijní situace jistě o něco prodloužila doběhovou dobu mezi Novou Vsí a Pilařem, která činila nakonec 18 hodin. Na druhou stranu přelití z pískovny mělo za následek náhlý strmý nárůst průtoku na Pilaři a pravděpodobně i dosažení vyššího průtoku při kulminaci. Přes tyto skutečnosti došlo v úseku ke snížení hodnoty kulminačního průtoku zaznamenaného v profilu Nová Ves (v případě 10% nadhodnocení průtoku v Nové Vsi k jeho udržení na stejné hodnotě). Na profilu Nová Ves dosáhla tato povodeň vyššího průtoku, než jarní povodeň před třemi měsíci, ale na profilu Pilař byla dosažená kulminace nižší. Je tedy předpoklad, že k jisté omezené retenci a transformaci v nivě došlo i v případě této povodně, u které byla na profilu Nová Ves přesáhnuta doba opakování 20 let. V Třeboňské pánvi byla díky vhodné manipulaci s hladinami na rybnících povodeň ještě ztlumena. V povodí Nežárky navíc srážky nedosáhly tak vysoké intenzity, takže na profilu Klenovice byla zaznamenána méně než 5-letá povodeň.

Rok 2006 byl mimořádně bohatý na povodňové situace. V měsíci srpnu se vyskytla ještě jedna povodeň, kterou způsobila typická situace, kdy se cyklona se středem na jihovýchod od nás pomalu posouvala po dráze Vc. Plošné srážky zasáhly tentokrát nejintenzivněji oblast Novohradských hor a byly poměrně rovnoměrně rozloženy do doby pěti dnů. V důsledku toho se jednalo i na horním toku a přítocích o plochou povodňovou vlnu, kdy došlo v porovnání s předchozí povodňovou vlnou na přelomu června a července k odtoku většího objemu vody za dosažení nižšího kulminačního průtoku.

Graf 34: Druhá letní povodeň roku 2006 na měrných profilech v horní části povodí Lužnice

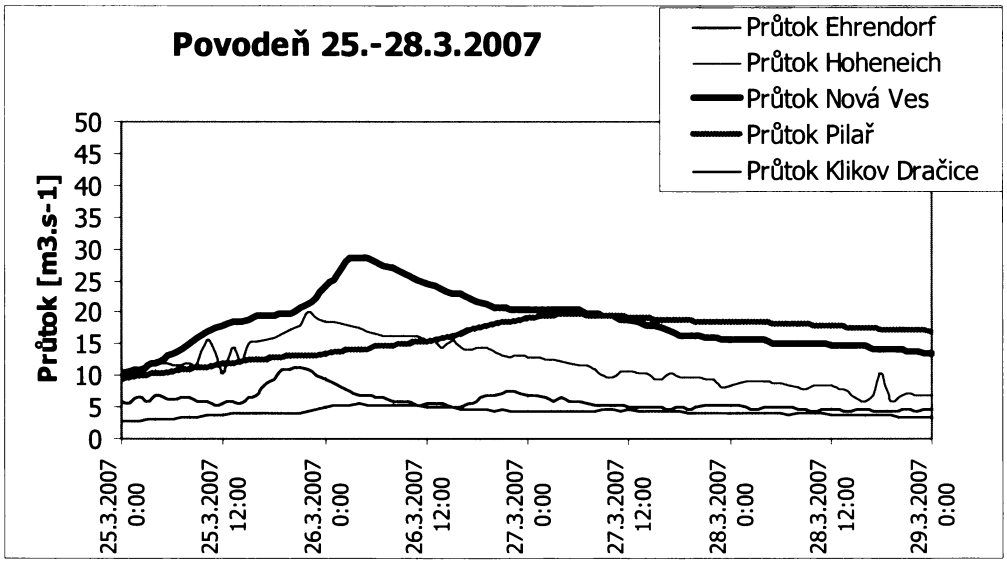


(Zdroj dat: Tomáš Vlasák, ČHMÚ České Budějovice 2008)

Přestože v povodí Skřemelice a nejbližším okolí činil průměrný srážkový úhrn 125,2 mm a v povodí horního toku Lužnice dokonce 137,2 mm (stanice Staré Hutě 163,1 mm), kulminační průtok v Nové Vsi dosáhl hodnoty 97,5 m^3/s, což odpovídá přibližně úrovni desetileté vody. V důsledku pozvolného nástupu povodně, který dokumentuje profil Nová Ves, byly retenční prostory v nivě již zaplněny a postupová doba kulminace mezi profily Nová Ves a Pilař je poměrně krátká (12 hodin). Retenční schopnost nivy tentokrát stačila na udržení kulminačních průtoků a zabránila jejich akceleraci. Hodnoty průtoku kolem 100 m^3/s znamenají na profilu Pilař již pouze cca 5-letou vodu. Směrem po proudu se mohutnost povodně dále snižovala.

Během extrémně teplé zimy 2006/2007 se nevytvořily žádné trvalejší a výraznější sněhové zásoby. Povodeň koncem března tak byla způsobena především srážkovou epizodou 23-24.3., kdy povodí od severovýchodu zasáhly intenzivnější smíšené srážky (úhrny všude do 40 mm). Nejvýraznější odtokovou odezvu zaznamenala Skřemelice, neboť podél východní hranice povodí srážky setrvaly delší dobu. V Gmůndu přítok z Lužnice obvykle kulminuje s jistým zpožděním za Skřemelicí, tentokrát se kulminace setkaly. Z grafu 35 je nicméně patrné, že k retenci vody v nivě a transformaci povodňové vlny došlo již před profilem v Nové Vsi. Díky teplé zimě nebyla zamrzlá půda, což zvyšovalo retenční potenciál nivy.

Graf 35: Malá jarní povodeň roku 2007 na měrných profilech v horní části povodí Lužnice

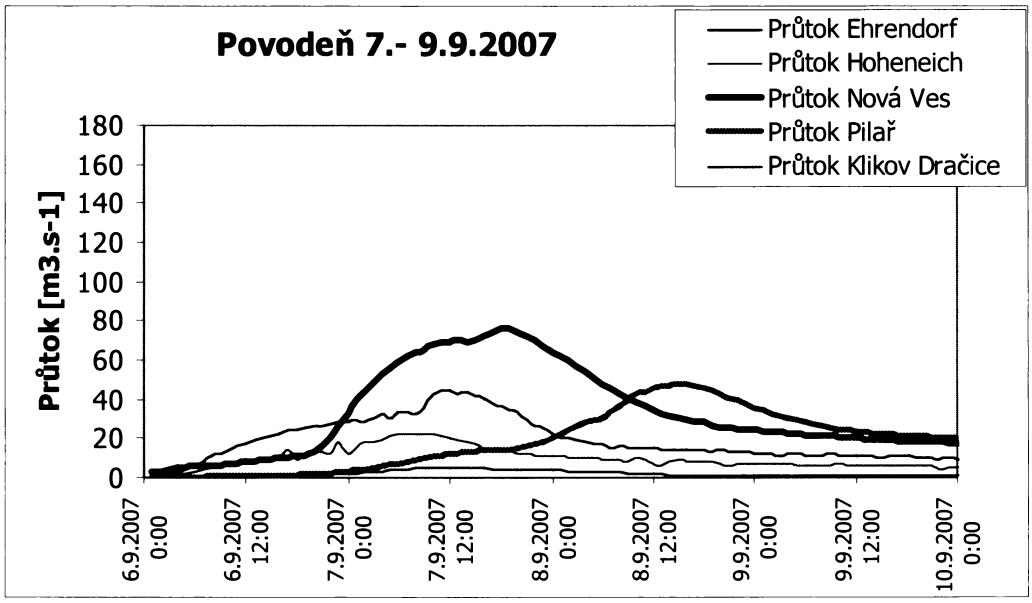


(Zdroj dat: Tomáš Vlasák, ČHMÚ České Budějovice 2008)

Z Nové Vsi na Pilař byla v případě této ploché povodňové vlny zaznamenána postupová doba plných 25 hodin a mezi profily došlo ke snížení kulminačního průtoku téměř o třetinu (z 28,7 na 19,8 m^3/s).

Po suchém létě 2007 přišly na začátku září dvoudenní vytrvalé intenzivní srážky, způsobené typickou cyklonální situací B, kdy jsou srážky proudící ze severovýchodu výrazně orograficky zesilovány v Novohradských horách, kde byly v případě této epizody zaznamenávány nejvyšší úhrny po severních svazích Jeseníků a Beskyd.

Graf 36: Povodeň v září roku 2007 na měrných profilech v horní části povodí Lužnice



(Zdroj dat: Tomáš Vlasák, ČHMÚ České Budějovice 2008)

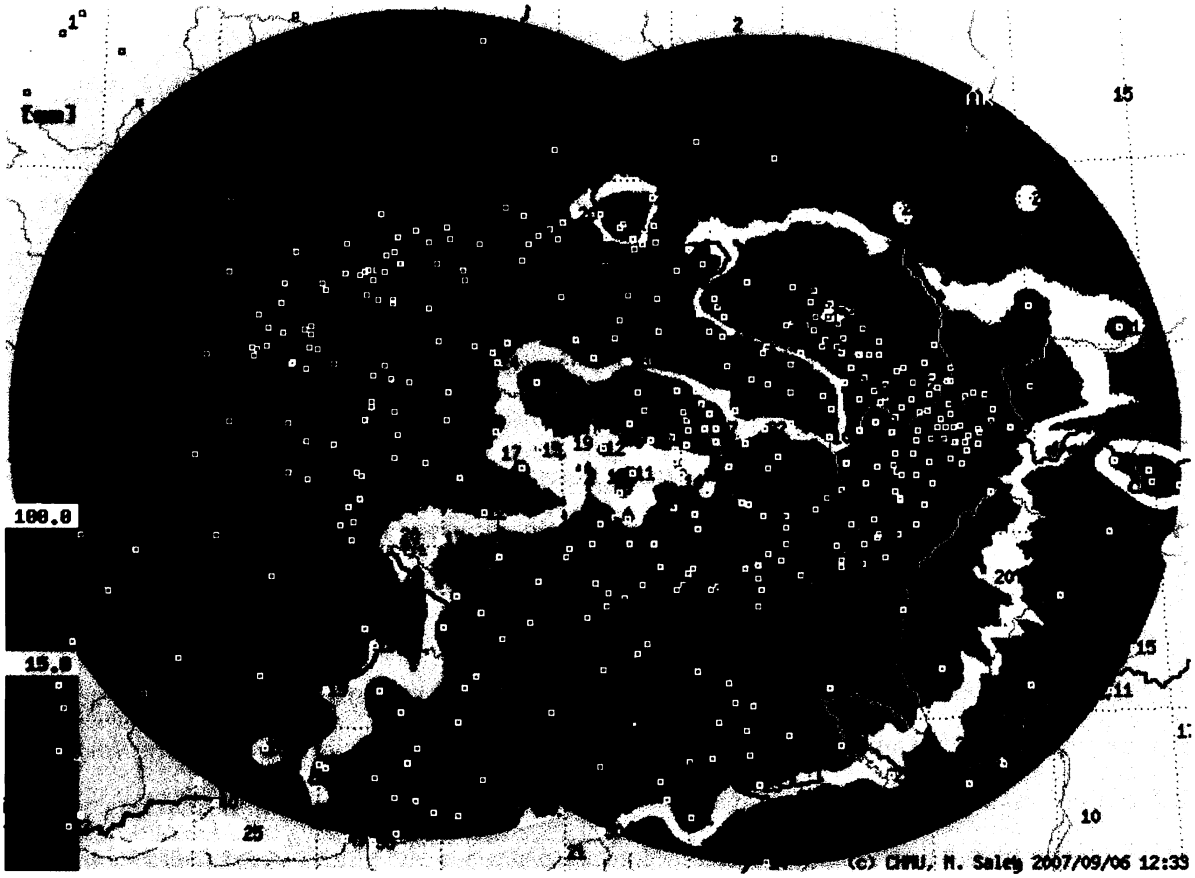
Přestože činila průměrná příčinná srážka pro povodí horní Lužnice tekoucí z Novohraských hor (Freiwaldu) 113,6 mm (nejvyšší úhrn byl zaznamenán v obci Pohoří poblíž pramene Lužnice: 141,8 mm) a pro povodí Skřemelice 105,8 mm, kulminační průtok v Nové Vsi (75,8m^3/s – odpovídá přibližně 5-leté vodě) ani nedosáhl třetího stupně povodňové aktivity. Na soutoku v Gmůndu byla tentokrát výraznějším tokem Lužnice. V Třeboňské pánvi napršely poněkud menší úhrny (průměrně 89,1 mm). V nivě mezi profilem Nová Ves a Pilař se sice vytvořila téměř souvislá hladina vody, došlo však přitom ke zdržení i retenci vody do té míry, že postupová doba činila v tomto případě 22 hodin a došlo i k výraznému snížení kulminace a ještě většímu zploštění vlny. Tento trend pokračoval i dále po toku.

V období sběru dat bylo vlhké období léta 2006 s výraznými srážkovými epizodami vystřídáno velmi suchým podzimem. Všechny měsíce v intervalu září 2006 – červenec 2007 byly teplotně nadprůměrné a většinou dost suché (mimo leden, březen a květen). Nejnižší hladiny za sledované období byly naměřeny 8.8.2007. Při pozvolném poklesání hladin v suchém období jsou rozdíly v rychlosti poklesu patrné spíše v příčném profilu nivou, než v podélném profilu sledujícím říční tok. Na podzim 2007 a v zimě 2008 častější srážky udržovaly v povodí nadprůměrné průtoky bez výrazných výkyvů. Tentokrát nebyla zaznamenána téměř žádná vlna v předjaří. Sledovaná část roku 2008 se vyznačovala jen menšími oscilacemi průtoků kolem průměrné hodnoty. Občasné silné bouřky nevyvolaly na toku ani I. povodňový stupeň.

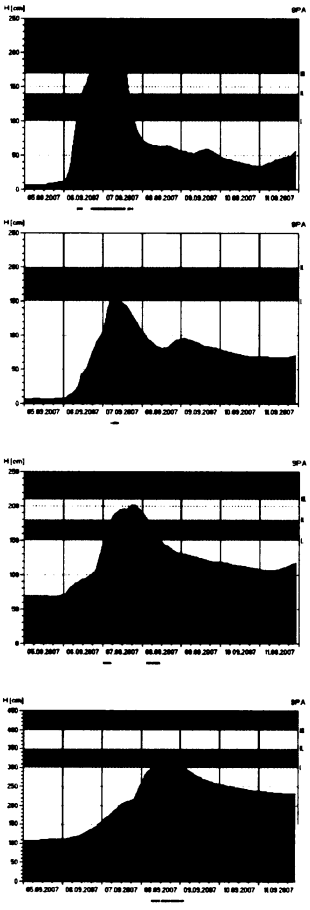
4.5.3. Transformace povodňových vln

Pro zhodnocení retenčních a transformačních charakteristik Lužnice je jistě vodné porovnání s ostatními toky. To by ovšem znamenalo podrobné sledování jejich hladin, hydrologického režimu a charakteristik, které prováděno nebylo. Bylo možno použít týdenní grafy vodních stavů a průtoků z měrných profilů z webových stránek Povodí Vltavy a.s., pro situaci povodňové vlny ze srážek, které zasáhly pokud možno podobnou silou všechna srovnávaná povodí. Z toho důvodu byla k tomuto účelu vybrána povodeň v září 2007, kdy největší množství srážek spadlo v Novohradských horách, kde s pramennou oblastí Lužnice sousedí na západě pramenná oblast Černé a Stropnice, což jsou 2 nejvýznamnější přítoky Malše. V horní části povodí Lužnice i Černé byly podle dat ČHMÚ zaznamenány podobné srážkové úhrny, v pramenné oblasti Stropnice zřejmě o cca 15 mm nižší (Obr. 7) Srážky pokračovaly i příští den, kdy bylo jejich rozložení v podstatě stejné, pouze srážkové úhrny byly všude ještě o 30 – 40 mm vyšší (viz Obr. 4 v kap. 2.11.3).

Obrázek 7: Rozložení srážek 1. den příčinných srážek povodně v září 2007



(Zdroj dat: http://hydro.chmi.cz/hpps/)



Graf 37: Průběh povodňové vlny v září 2007 během stejného časového intervalu na 1) Černé v Líčově, 2) Stropnici v Borovanech, 3) Lužnici v Nové Vsi a 4) Lužnici na Pilaři.

Toky porovnávaných řek, se svým charakterem dost liší. Zejména Černá je dravou horskou říčkou, která je většinou zakleslá v hlubokém údolí, které se jen místy nakrátko rozšiřuje a dává možnost vzniku úzké říční nivy. Říčka Stropnice podobně jako Lužnice pospíchá rychle z kopců a brzy vtéká do širší nivy. Ta je však zpočátku pod Novými hrady upravena napřímením koryta a přeměněním části její plochy na pole. Přírodní úsek nivy se nachází až po cca deseti kilometrech na území národní přírodní rezervace Brouskův mlýn. Niva Lužnice je proti tomu od samého počátku v přírodním, nebo přírodě blízkém stavu.

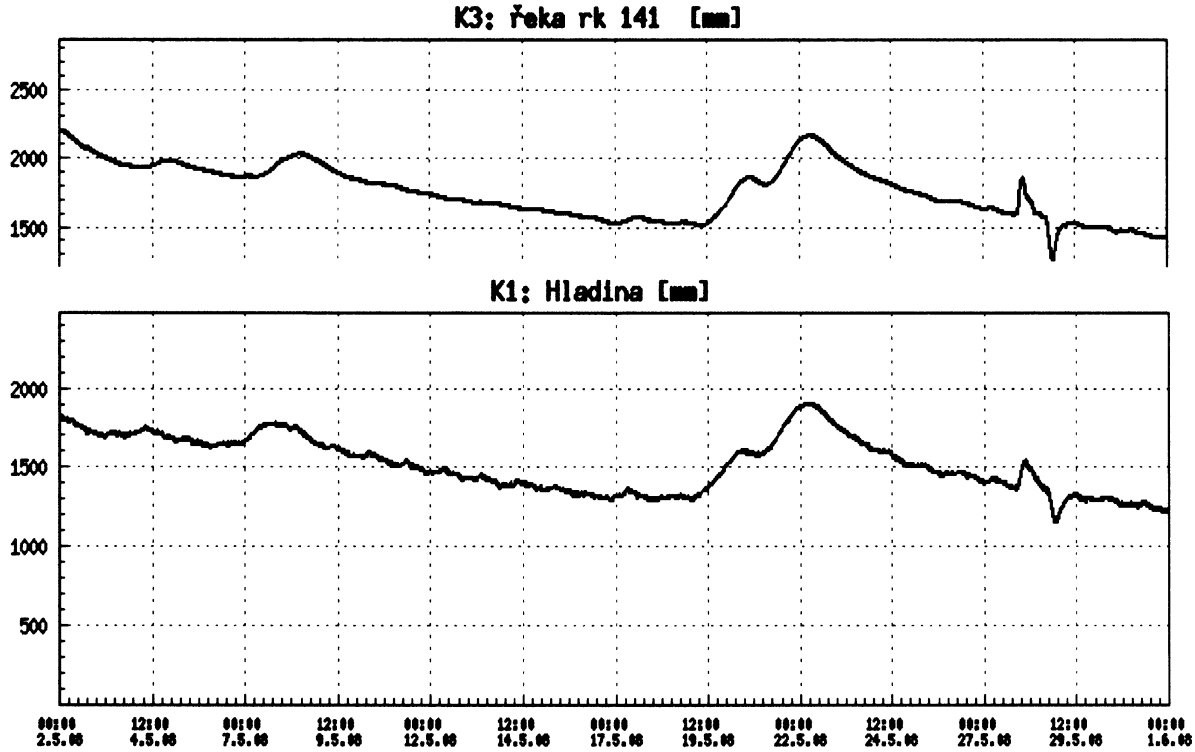
(Zdroj dat: http://www.pvl.cz/portal/sap/cz/index.htm)

K vyhodnocení byly použity údaje z měrných profilů na jmenovaných tocích, které se nachází přibližně ve stejné vzdálenosti od pramene (33 – 43 km). Černá i Stropnice (Graf 37) dosahují kulminace 3. zobrazeného dne již v ranních hodinách (bezprostředně po ustání srážek), kdežto Lužnice v Nové Vsi dosahuje kulminace až v odpoledních hodinách. Na Černé v Líčově prudce stoupala hladina již během srážek ráno a dopoledne druhého dne (srážky všude trvaly od 1. dne večer do 3. dne ráno). Kulminace zde byla vysoká (výrazné přesáhnutí hranice 3. povodňového stupně) a ostrá. Na Lužnici (3. graf) byla kulminace mnohem plošší a nebylo dosaženo 3. povodňového stupně. Na Stropnici byla extremita kulminace o poznání nižší (pouze 1. povodňový stupeň) z důvodu o něco nižších srážkových úhrnů (za celou srážkovou epizodu o cca 25 mm), což však mohlo sehrát výraznější roli z důvodu velkého vláhového deficitu před povodní, kdy byly prázdné retenční prostory (i v půdě) a první desítky mm srážek tak mohly být účinně zadrženy. Ostrost povodňové vlny byla na Stropnici mezi Černou a Lužnicí. Hladina Stropnice v Borovanech začala výrazněji stoupat až 2. den odpoledne, na Lužnici dokonce až v noci na 3. den. Markantní rozdíl je také v opadu povodňové vlny. Na Černé klesá hladina rychle a strmě, než dosáhne úrovně mírně nadprůměrného stavu, na kterém se dále (i vlivem nižších následných srážek) udržuje. Na Stropnici klesá zprvu rychle, ale o poznání pomaleji, než stoupala. Pokles se brzy přibržďuje a hladina se udržuje na vysokých hodnotách. Ještě výraznější je tento efekt na Lužnici, která zůstává v nivě dlouho rozlitá. Poslední 4. graf náleží profilu Pilař, který se nachází na Lužnici po třiceti kilometrech toku říční nivou. Je vidět, že nástup povodně je zde ještě pozvolnější, pokles hladiny rovněž a ke kulminaci došlo až čtvrtý den po poledni na úrovni 1. povodňového stupně. To Malše, do níž ústí Černá i Stropnice, přivedla do Českých Budějovic (kde ústí do Vltavy) kulminační průtok na úrovni 2. povodňového stupně o tři čtvrtě dne dřív. A to přesto, že od těchto profilů k prameni (když uvažujeme v případě Malše pramen Černé) je to podobný počet říčních kilometrů (cca 80).

K představě o retenci vody v přírodním úseku říční nivy od dubna 2008 může přispět porovnání průběhu výšek hladin Lužnice v profilu na sledované lokalitě (141. říční kilometr) a u mostu mezi Dvory nad Lužnicí a Halámkami (135. říční kilometr).

Křivky na grafu 38 znázorňují, že průběhy kolísání hladin jsou téměř shodné, pouze při detailním pohledu lze vysledovat, že spodní křivka grafu (profil u Dvorů nad Lužnicí) se pohybuje v předstihu 1 až 3 malé dílky osy x. Vrchní křivka grafu pro řeku při sledované lokalitě však nezačíná jako spodní 2.5. v 0:00 hod., ale již 1.5.v 0:00 hod. Jeden malý dílek na ose x představuje 6 hodin. Ve skutečnosti tedy trval pohyb vody mezi profily 6 – 18 hod., což v 3,5 km dlouhém úseku nivy znamená podstatné zdržení vody.

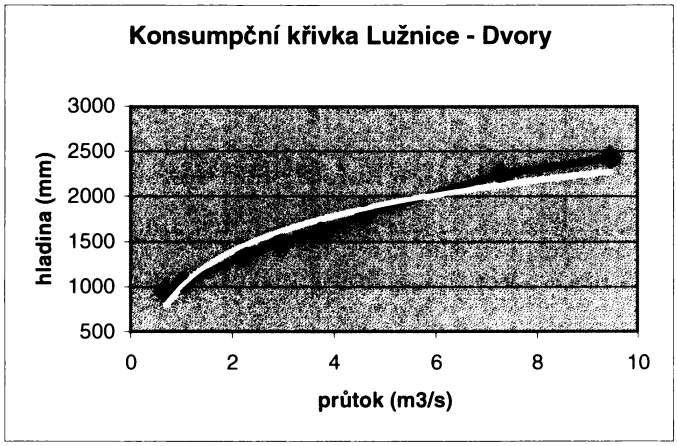
Graf 38: Průběh výšky hladiny zaznamenaný automatickým hladinoměrem 1) na studované lokalitě, 2) u mostu mezi Dvory nad Lužnicí a Halámkami



(Zdroj dat: vlastní měření)

Při vlně vyššího průtoku však bude doba jistě o něco kratší. K vyhodnocení retence je nutné znát hodnoty průtoků, které se získají na základě jejich měření při známých výškách hladin, které umožňuje sestrojení konsumpční křivky daného profilu. Ta je zatím k dispozici v neúplné formě pouze pro profil u Dvorů nad Lužnicí. Získávání dat porovnáváním profilů bude součástí dalšího výzkumu v nivě.

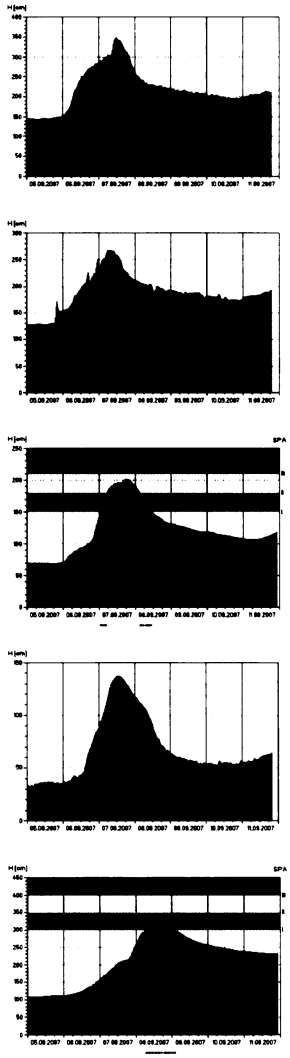
Graf 39: Neúplná konsumpční křivka pro profil Lužnice u Dvorů nad Lužnicí



(Zdroj dat: měření Šimek, Janský, Šobr, Česák)

Graf 40: Průběh povodňové vlny v září 2007 během stejného časového intervalu na 1) Lužnici před Gmůndem, 2) Skřemelici před Gmůndem, 3) Lužnici v Nové Vsi, 4) Dračici u Klikova a 4) Lužnici na Pilaři.

(Zdroj dat: http://www.pvl.cz/portal/sap/cz/index.htm)



K transformaci povodňových vln na Lužnici po profil Pilař však nepřispívá pouze retence v nivě, ale také to, že kulminace jednotlivých toků přicházejí často s menšími časovými posuny (to však souvisí s retardací postupu vlny v nivě, která provází jednotlivé toky v různé míře). Tento fakt lze dokumentovat znovu na případu pětileté vody v září 2007. Před soutokem v Gmůndu kulminovala Skřemelice již v ranních hodinách, kdežto Lužnice až kolem poledne. To se projevuje i na tvaru povodňové vlny na profilu Nová Ves, 9 km pod jejich soutokem, kde Lužnice kulminovala až pozdě odpoledne v souvislosti s vlnou z Lužnice. Mezitím už během dne do Lužnice dorazil kulminační průtok z Dračice, která ústí do řeky 7 km nad profilem Pilař. Tímto profilem tedy nejdříve protekla voda z Dračice a až poté se začala uplatňovat hlavní vlna přicházející po Lužnici. Při zvolené povodňové vlně příčinné srážky v celém subpovodí Lužnice nad Pilařem začaly i skončily ve stejnou dobu. Při jiných srážkových epizodách tomu tak být nemusí a kulminace některých toků se mohou naopak střetnout.

4.6. Dílčí poznatky získané terénním šetřením

V průběhu měření byly zaznamenány i některé změny povrchu nivy. Došlo ke třem vývratům větších stromů, přičemž jeden z nich částečně zahradil vtok do průpichu meandru, který se tak díky tomu v průběhu sledování výrazně nerozšířil a jen mírně prohloubil. V řádu jednotek cm došlo k prohloubení míst, kterými z řeky dochází k rozlivům (např. v tzv. Vrbovém vtoku). K větší dynamice dochází při rozlivech blíže u terasy v koridoru v němž se nachází T3, Novou tůň, T1 a po straně také T2. Místa výtoků z tůní však byla erozí za dobu sledování snížena maximálně o 5 cm. Tuto odolnost nejspíš způsobují méně propustné a

pevnější sedimenty na těchto místech pod povrchem (především jíly). Měřením maximální hloubky bylo zjištěno, že tůně z koridoru patří ve sledovaném vzorku k nejhlubším. Jejich maximální hloubka je dokonce níže, než úroveň dna řeky (s výjimkou lagun, které řeka vytváří – např. v ohybu vedle Pithartovy tůně). K usazování erodovaného materiálu dochází po levé straně koridoru v místech, kde se směrem od něj k hlavní terase stáčí vložená terasa, která ho předtím zleva vymezuje. K vyšší sedimentaci dochází také v kanálu přivádějícím vodu od Velkého ohbí do Pithartovy tůně (Obr. 6, kap. 4.1.1.).

Při měření maximálních hloubek jezer byly autorem orientačně zjištěny i hloubkové poměry celých tůní. Potvrdilo se, že nejrychleji stoupá hloubka od břehů v případě tůní kruhového tvaru (T1, Nová tůň). U T2, která je oválného tvaru, stoupá hloubka strmě při jedné straně (rozdělíme-li jezero nejdelší osou), při protější straně o poznání mírněji. Maximální hloubka jezera, jak vyplývá z měření, se nachází většinou jen několik metrů od hlavního povrchového vtoku do tůně při rozlivu. Tam se při vtoku soustřeďuje největší erozivní síla vody (vyplývá i z pozorování nástupu povodně v září 2007). V případě vytváření víru v kruhových tůních se zde zřejmě nachází jeho střed. Vzájemné umístění hlavního vtoku a výtoku je zřejmě důležité pro celkové hloubkové poměry tůně. U tůní, kde tyto body neleží přibližně proti sobě, se v tůni většinou nachází mělčí a hlubší část, zvláště pokud jsou členitějšího tvaru (Pithartova tůň, Prokopova tůň, částečně T3). V případě orientačního měření v Mrtvém rameni se potvrdilo, že je sice plochou větší, ale mělčí než sledované tůně. Maximální hloubka při běžné úrovni hladiny s v něm pohybuje kolem 1,3 m. Přehled hodnot maximálních hloubek podává tabulka 8

1) H_{max} při úplném vyplnění prostoru jezera, než dojde k jeho výraznému přelévání
2) H_{med} při úrovni hladiny odpovídající mediánu,
3) H_{min} při nejnižším zaznamenaném stavu hladiny (všude 8.8.2007).

Tabulka 8: Maximální hloubky tůní za vybraných vodních stavů

	T3	Nová T	T1	T2	Pithart.T	Prokop.T
[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]

(Zdroj dat: vlastní měření)

Při sledování tůní byla orientačně sledována také průhlednost jejich vodního sloupce a oživení. Vysokou početností vodních bezobratlých se po většinu roku vyznačovaly všechny

tůně, vynikala zvláště nezastíněná T1. Větší změny jsou jistě v druhovém složení fyto a zooplanktonu, což bylo potvrzeno výzkumem, (Pithart 1999). Velké rozdíly v diverzitě druhového osídlení tůní potvrzují i další výzkumy (Skácelová 2004). Při měřeních byl na tůních či řece několikrát pozorován konipas horský, skorec vodní, ledňáček říční, kachna divoká, hohol severní a vodouš kropenatý (vlastní pozorování). V tůních byla spatřena štika obecná, z dalších druhů ryb byl identifikován lín a cejn. V porostech při tůních došlo několikrát k vyplašení srnců obecných a prasat divokých. Na řece byl prokázán trvalý výskyt norka amerického a vydry říční nálezy pobytových značek, či přímým pozorováním.

Vysokou průhledností vodního sloupce (často více než 1 m) se vyznačovala T1, nižší průhlednost byla většinou v Pithartově a především Prokopově tůni. V té se překvapivě průhlednost zvětšila při stagnaci hladiny v průběhu června 2008. Při nízkých stavech v létě 2007 zde byla naproti tomu velmi zakalená a zapáchající voda (a malé oživení). Zbylé tůně se pohybují z hlediska průhlednosti mezi T1 a výše jmenovanými. V T3, Nové a Prokopově tůni mívají častěji nachází voda působící i při průhlednosti nad 0,5m černě, což je známka vyčerpání kyslíku. To odpovídá vysokému zastínění těchto tůní a vyššímu přísunu tlejícího listí. Průhlednost se často překvapivě mění v T2 a Pithartově tůni. V Pithartově tůni byla několikrát zaznamenána odlišná průhlednost vody oproti řece, se kterou přitom byla povrchově propojena skrz sedmimetrový kanál ve vrbovém porostu. Propláchnutí tůní při rozlivech bývá spojeno se změnou průhlednosti. V některých případech dochází k jejímu vzrůstu, většinou se však jedná o pokles. Dá se shrnout, že nejvyšší průhlednost vody byla zjišťována 2 až 3 týdny po skončení rozlivu, kdy je tůň sycena vodou pouze podpovrchově.

5. Diskuze

Jedním z hlavních poznatků, získaných pozorováním na místě i analýzou provedených měření, je pozitivní vliv vysoké heterogenity prostředí na retenci vody. V důsledku této heterogenity hladina v jednotlivých fluviálních jezerech i občasně se naplňujících depresích klesá různou rychlostí a při nástupu povodně se voda v členitějším mikroreliéfu s vyšší drsností více zpomalí a do určité míry i zadrží. Heterogenita povrchových tvarů v nivě bezesporu souvisí s prostorovou proměnlivostí stavby a petrologickým složením sedimentárního pokryvných útvarů říční nivy. Vyšší výskyt tůní v rámci nivy na studované lokalitě je dle našeho názoru spjat hlavně se dvěma faktory.

První příčinou je menší šířka nivy na příčném profilu, zejména v levostranné části, kde se nacházejí studovaná fluviální jezera. Voda zde při povodních proudí díky zúžení vyšší rychlostí, což zvyšuje dynamiku procesů, při kterých např. vznikají tůně. To dokládá i nápadné prohloubení (vymletí) některých depresí během dvouletého sledování. Menší šířku nivy zde způsobuje fakt, že sem směrem dovnitř nivy vybíhá vysoká říční terasa ohraničující nivu (a také PR Horní Lužnice). Říční terasy se svým průběhem v oblasti zpravidla vlní v konkávních a konvexních obloucích.

S tím souvisí i druhý důležitý faktor. Dá se očekávat, že konvexní oblouky terasy vybíhající do nivy a tudíž více odolávající náporu vody, jsou tvořeny pevnější geologickou strukturou, kterou je v této sedimentární oblasti málo propustný jíl. Dost možná zde v pleistocénu došlo k ukládání materiálu právě ve vazbě na elevaci tvořenou vodě odolnějším materiálem. Konkávní oblouky teras jsou naproti tomu tvořeny spíše propustnějším, méně kompaktním materiálem. Tento teoretický předpoklad potvrzovaly i vrty provedené na terase a v nivě na jaře 2008 v souvislosti s hydrogeologickým výzkumem, který zde bude navazovat v rámci projektu NAZV. V konvexním oblouku se v terase nacházely kompaktní jíly, díky kterým byla hladina podzemní vody identifikována ve větší hloubce, než v nivě pod terasou. V terase na úrovni konkávních oblouků se naopak nacházel propustný, snadno proniknutelný materiál štěrků a písků, ve kterém byla hladina podzemní vody naopak identifikována ve vyšší úrovni, než v nivě. Na studované lokalitě při konvexním oblouku terasy se tedy zřejmě v propustných sedimentech nachází vložky jílů. Místa, kde se střídají snadno erodovatelné sedimenty s pevnějšími jíly, musí být velmi vhodná pro vznik a prohlubování tůní a jiných depresí.

Je tedy zřejmé, že geologické podloží ovlivňující proudění podzemních vod i tok říčního hyporeálu hraje v nivě skrytou, ale podstatnou úlohu. Právě na tuto oblast se zaměřuje další výzkum v nivě, který provádějí členové katedry fyzické geografie a geoekologie UK v Prazeve spolupráci s partnery v projektu „Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení".

Heterogenitu nivy dále zvyšují i vývraty stromů, které mnohdy akcelerují, nebo naopak zbrzdí erozivní činnost toku řeky (viz průpich menadru u Velkého ohbí v kapitole o rozlivech) či proudu vody rozlité v nivě. Ležící stromy někdy přispívají ke vzniku vířivého proudění, které je základem vzniku kruhových hlubokých tůní. Kořeny stojících zdravých stromů naopak zpevňují sedimenty v okolí nezpevněné, což také pomáhá vzniku depresí a tůní. Také husté porosty keřovitých vrb poněkud zpomalují rychlost proudění rozlité vody. Středoevropská džungle v české části nivy Lužnice tak má pro retenci vody všechny předpoklady. Na druhou stranu je však třeba uznat, že velké množství mrtvého dřeva v nivě a příliš rozsáhlé neproniknutelné vrbové porosty mohou působit negativně v místech menší šířky nivy, kde může vzniknout hradba z unášeného materiálu (větve, tráva apod.), voda se může otáčet zpět, nebo vystoupí do výšky, až se vytvořená hradba protrhne a může vzniknout sekundární kulminační vlna. S vracením se vody obloukem zpět mají negativní zkušenosti např. někteří obyvatelé Nové Vsi nad Lužnicí, jejíž starosta je velkým kritikem absence zásahů do prostoru nivy. Domnívám se , že na některých místech (zejména v zúženích nivy) mají zásahy typu odstraňování mrtvého dřeva a redukce vrbových porostů své opodstatnění. Určitá míra hospodaření, především lučního, ekosystém a funkci nivy nijak nenarušuje a naopak přispívá k redukci místy rozsáhlých porostů kopřivy a chrastice, které sehrávají při rozlivu vody z hlediska retence spíše negativní roli. Zdá se tedy, že ideální niva se nalézá svými charakteristikami a využitím někde mezi českou a rakouskou částí nivy Lužnice. V Rakousku je většina nivy využita jako louky a pastviny, chybí zde více roztroušených stromů a složitých kaskád tůní. Na druhou stranu se zde nenalézají ekologicky i retenčně málo hodnotné plochy zarostlé chrasticí či kopřivami. Na české straně už se také začíná hospodařit. Převažuje však využití formou pastvin, na kterých má půda oproti loukám zpravidla horší sorpční schopnosti. Členitá místa nivy s větším počtem fluviálních jezer je ovšem nejlepší ponechat přírodě bez zásahu.

Vzhledem k rozdílné hladině bezprostředně sousedících tůní T3 a Nové tůně v pokročilých fázích opadu vody lze mít pochybnost o tom, jak úzce na sobě závisí hladina vody v tůni a hladina podzemní vody v jejím okolí. Domníváme se, že dno některých tůní je značně zakolmatované a tudíž málo propustné. Proto se zřejmě drží hladina v T3 déle na vyšší úrovni. Jedná se asi převážně o starší tůně, které se již pomalu zazemňují. Tomu však

neodpovídá zjištění, že T3 má vůbec největší maximální hloubku ze všech tůní (mohla ji však dříve mít větší). Ještě výraznější vliv než stáří tůně má pravděpodobně přísun organického materiálu, především opadaného listí, který je u T3 poměrně vysoký. Naproti tomu sousední Nová tůň vznikla nedávno a při vyšší průhlednosti vody je patrné, že její dno je dosud převážně štěrkovo - písčité. U této tůně se vysoká komunikace s hladinou podzemní vody v okolí dá předpokládat. Pokud je u některých tůní skutečně dána jejich vyšší zadržovací schopnost kolmatací (ucpáním) dna, je otázkou, zda voda z těchto tůní alespoň mírně dosycuje podpovrchový horizont a můžeme tak mluvit o zmírňování účinků sucha.

Na základě výsledků měření, kdy hladina v Pithartově tůni, která silně komunikuje s řekou, se chová výrazně jinak, než ve zbylých tůních, je možné nivu rozdělit na 2 části. Jedna je průtokem v řece ovlivňována bezprostředně i při průměrných stavech. Druhá je jím ovlivňována méně a se zpožděním. K větší provázanosti s řekou zde dochází až v případě rozlivu. Tato druhá část zujímá v nivě větší plochu a hraje výraznější úlohu z hlediska retence.

V případě korelací retenčních projevů a vybraných parametrů tůní je třeba získat podrobnější informace o hydrologickém vlivu blízké terasy. Použitá nejkratší přímá vzdálenost břehu jezera a terasy zřejmě není příliš vhodná. Retenční projevy jezera závisí spíše na poloze jezera vzhledem k průběhu terasy.

K vysvětlení retenčních (popřípadě i dalších) vlastností jsem navrhl následující hypotézu: Pokud je podzemní voda v nivě dosycována z terasy, děje se tak zřejmě více v jejích konkávních obloucích. Pokud se jezero nachází poblíž terasy v druhé polovině konkávního oblouku, nebo v první polovině konvexního výběžku (ve smyslu proudu řeky), dochází u něj k dosycování přítokem z terasy spíše, než u zbylých jezer pod terasou. V takové pozici se ze sledovaných jezer nacházela pouze Prokopova tůň, jejíž chování v období pokročilého poklesu hladiny dosycování z terasy odpovídá. U této tůně také popisná statistika ukázala nejmenší rozptýlenost měřených hodnot. Hladina v tůni po rozlivu rychle klesá , ale od určité úrovně se drží na vyrovnané úrovni a dlouho klesá velmi pomalu, až při dlouhotrvajícím suchu se pokles hladiny opět trochu zvýší (zřejmě ustává dosycování z terasy). K Prokopově tůni od hlavní terasy také vybíhá nízká (0,5 – 1 m vyvýšená), vložená nivní terasa. Ta však může usměrňovat směřování podzemní saturace od hlavní terasy právě směrem k tůni. Předpokládáme tedy, že návaznost jezera na terasu hraje z retenčního hlediska významnější roli, než bylo výzkumem zjištěno. K opravdovému zhodnocení by bylo třeba použít komplexnější parametr, než je nejkratší přímá vzdálenost od jezera k terase. Hydrogeologický výzkum v nivě v rámci projektu „Retence v říční nivě a možnosti jejího zvýšení“ by mohl uvedenou hypotézu potrdit, i vyvrátit.

Tam, kde je předpoklad dosycování nivy z terasy se pod ní často nachází mělké mokřady a bažiny. Proto se sycením z terasy také částečně souvisel zvolený parametr pořadí podle rozlohy močálů, které komunikují s tůní. Jistá závislost retence na tomto parametru se u tůní projevila až v pokročilé fázi opadu vody. Kdyby byla namísto pořadí zjištěna skutečná rozloha močálů, mohla být závislost ještě výraznější.

Nedostatek při použití pořadí pro hledání závislosti je také v jeho aplikaci na hodnocení retenčních vlastností tůní. Zjištěné sumy pořadí se v některých případech lišily jen velmi málo a prosté pořadí (1 až 6) skutečné rozdíly mezi tůněmi zkresluje. Například v první fázi poklesu hladiny je mezi druhým a třetím místem v pořadí ve skutečnosti mnohem menší rozdíl, než mezi čtvrtým a pátým místem v pořadí, což v pořadí zcela zaniká. Podobné případy se vyskytují i v dalších fázích opadu vody (viz Graf 22).

V prvních fázích poklesu vody se pochopitelně prokázala silná závislost retence na výšce hladiny, při které ustává povrchový výtok z tůně. Ideální je, když se jezera v tomto parametru liší a rychlost odtoku při a těsně po rozlivu je mezi nimi odlišná. To opět souvisí s heterogenitou nivy a zejména její vertikální členitostí.

Na Lužnici bezesporu dochází ke zpomalení a transformaci povodňových vln. Z hlediska snižování povodňového nebezpečí je pozitivní, že řeka vtéká do široké přírodní nivy již brzy, což souvisí s tím, že sedimentární povrch třeboňské pánve se nachází při jižním okraji v poměrně vysoké nadmořské výšce 450 – 530 m.n.m. Při studiu postupu povodňových vln na Lužnici se ukazuje, že k jisté nezanedbatelné retardaci a možná i transformaci povodní dochází již na horním toku nad Gmůndem (kap. 4.5.3.). Tento fakt se většinou opomíjí. Lužnice totiž protéká asi desetikilometrovým úsekem s vyvinutou širší nivou již nad tímto městem. Na soutoku se Skřemelicí v Gmůndu bývá kulminační přítok z Lužnice proti Skřemelici mírně opožděn, přestože oba toky jsou přibližně stejně dlouhé a Lužnice má prvních 15 km od pramene daleko větší sklon dna.

V nivě středního toku dochází díky rozsáhlým rozlivům k velkému ztlumení malých povodní. Voda se v nivě mělce rozlévá i při mnohem menších, než povodňových průtocích. Z porovnání počtů a dob trvání rozlivů zjištěných za sledované období a těmi zjištěnými v první polovině 90.let Pithartem (viz Úvod), vyplývá, že sledované období bylo v průměru vlhčí s větším počtem a delším trváním rozlivům. Z Pithartem sledované řady, která náležela pravděpodobně celkově suššímu období, by se situací v červenci 2006 až červenci 2008 snesl srovnání jen rok 1992 a 1995.

Z analýz jednotlivých povodní vyplývá (kap. 4.5.2.). že výraznější tlumivé účinky si niva mezi Gmůndem a Tuští uchovává přibližně do průtoku 90 $m^3.s^{-1}$ v případě ostrých vln a

110 $m^3.s^{-1}$ v případě plochých vln. Při mohutnějších povodních už dochází k takové výšce přelití celé šíře nivy, že vliv drsnosti povrchu i horizontální členitosti je již malý. Mohutné povodně, zejména ty s ostrým nástupem však zvyšují heterogenitu nivy, což vede k vyšší retenci běžných povodní a alespoň částečně i těch mohutných. Pro účinnější retenci mohutných povodní by se omezeně některé vhodné části nivy mohly využít i jako poldry. Vhodné by k tomu zřejmě byly „nivní zálivy" v konkávních obloucích teras, kde by se dal pomocí vhodně umístěné hráze zvýšit objem vody zadržené v těchto místech. Teoreticky by na některých místech nivy mohl fungovat i boční poldr, který by zadržoval vodu, jež by sem proudila podél terasy. Pod terasami se totiž často nachází sníženiny, kam se při mohutných rozlivech koncentruje velký proud, který by směřoval vodu právě do těchto poldrů. Poldry by bylo každopádně účelné a vhodné stavět do fungující přírodní nivy jen ve velmi malé míře a sloužit by měly pouze k retenci vody při mohutných povodních.

Jak již bylo zmíněno, problémem z hlediska retence v nivě je brzy následující další povodňová vlna. Aby nedošlo k její akceleraci, musí se vodě rozlité v nivě umožnit rychlejší návrat do koryta z míst, kde dlouho stagnuje v rozlehlých plochách. K tomu účelu byly v devatenáctém století a první polovině dvacátého století v nivě vyhloubeny a udržovány malé stoky, které odváděly vodu z míst, kde voda dlouho zůstávala, především k účelu, aby se zde dalo lépe provozovat luční hospodářství (Pithart a kol. 2003). Stav a funkci těchto kanálů by bylo účelné a vhodné znovu obnovit. Před vtokem do řeky by tyto stoky mohly být opatřeny jednoduchým výpustním zařízením a s vodou v nivě by se tak mohlo do jisté míry manipulovat podle potřeby a aktuální meteorologické situace.

Dokud nebudou dokončeny úplné konsumpční křivky pro profil u Dvorů nad Lužnicí a při sledované lokalitě, nelze na základě změn výšek vodních hladin přímo bilancovat retenci v nivě mezi těmito profily. Např. : od kulminace vlny 22.5. do 1.6. poklesla hladina na 141. říčním kilometru o 76 cm, kdežto na profilu u Dvorů jen o 65 cm. Nemusí to souviset s retencí, ale s jinými tvary příčného profilu na místě měření., je třeba znát bezpodmínečně průtoky. Změřit je při vysokých vodních stavech (což je právě potřebné) představuje technicky náročnou záležitost.

Postup povodňové vlny na Lužnici byl porovnáván se sousedními toky. Černá je však svým charakterem naprosto odlišnou řekou. Zajímavější by bylo porovnat postupy povodňových vln i vývoj průtoku v době sucha na Lužnici s toky, kde se také nachází delší úsek přírodní, či přírodě blízké nivy, nejlépe na středním toku. Mohlo by se ukázat jestli mají nivy, v nichž se nachází větší množství fluviálních jezer (první polovina středního toku Lužnice, Morava na území CHKO Litovelské Pomoraví) vyšší retenční schopnosti. To ovšem

naráží na jiný problém. Vhodné řeky pro porovnání se totiž nachází v odlišných oblastech ČR, přičemž jejich pramenné úseky jsou značně vzdálené a tudíž zasažené odlišnými srážkovými situacemi. Porovnat vývoj průtoku např. po situacích, kdy v povodích a zejména pramenných oblastech toků spadly téměř stejné srážkové úhrny bylo svou pracností z hlediska získávání dat již nad rámec této magisterské práce. Bylo by vhodné, kdyby se to stalo součástí dalšího výzkumu a údaje z jednotlivých niv mohly být kvantifikovány a porovnány. Problémem je, že zde hraje roli celá řada proměnných, jako je intenzita a trvání srážky, roční období apod., které zapříčiňují, že ani stejný srážkový úhrn neznamená totožnou situaci vzniku vlny vyššího průtoku.

6. Závěr

Fluviální jezera, která se hojně nacházejí v nivě středního toku Lužnice (zejména na území přírodní rezervace Horní Lužnice) jsou významným hydrologickým fenoménem hrajícím důležitou roli v nivě i celém povodí. Jejich retenční možnosti jsou v případě povodní omezené jejich menší rozlohou a objemem. Retence vody se však netýká jen povodní, ale také období sucha. Právě v takových, jak vyplývá z výzkumu, se prokázala významná retenční schopnost těchto poříčních jezer, neboť v nich dochází ke zpomalování poklesu hladiny. Říční niva je velmi komplexním systémem, jehož složky jsou navzájem silně provázané. Týká se to se také fluviálních jezer, která jsou provázaná např. s hladinou a prouděním podzemní vody, často přímo s hyporeálem řeky. To se projevuje reakcemi jejich hladiny na pohyb hladiny v řece i v situacích, kdy nedojde k povrchovému přítoku vody do jezer. Hladina vody v jezerech je v dynamické rovnováze s úrovní volné hladiny podzemní vody v nivě (Křížek 2007). V případě vyšší úrovně hladiny v jezeře tedy lze počítat také s vyšší hladinou podzemní vody v jeho okolí oproti místům sousedícím s řekou. Na základě potenciálu daného rozdílem úrovní hladiny podzemní voda pomalu dosycuje oblast kolem řeky a zpomaluje a zmírňuje klesání hladiny i v samotném říčním toku. To dokládá fakt, že na měrných profilech na středním toku Lužnice bývá jen výjimečně vyhlášen stav hydrologického sucha a to jen v případech, kdy na okolních řekách již tento stav, kdy průtok klesne pod určitou kritickou hodnotu, několik dní trvá (např. na horní a střední Dyji a jejích přítocích, Sázavě a jejích přítocích, ale často i na některých přítocích Lužnice, jako je Nežárka nebo Smutná). Tyto vlastnosti středního toku mají pozitivní vliv i na dolní tok Lužnice, pakliže nedojde při suchu k přílišnému odčerpávání říční vody pro doplňování rybníků.

Na studované lokalitě při 141. říčním kilometru se nachází dostatečné množství fluviálních jezer různého tvaru a umístění, především typu tůní. Zároveň je to prostředí vhodně reprezentující oblast nivy v přírodní rezervaci Horní Lužnice. Podstatným zjištěním z měření hladin tůní a řeky po dobu více než dvou let byla diverzita pohybu hladin jednotlivých tůní. Toto zjištění vyplývá ze zobrazení průběhu naměřených výšek hladin pro jednotlivé tůně a řeku v čase. Vyplývá to též z vyhodnocování poklesů hladin jednotlivých tůní po různě vysokých kulminacích vody v řece ve třech různých fázích poklesu i celkově. Některé tůně projevují významnější retenci v první fázi poklesu vody po kulminaci, jiné až mnohem později. Dosud nepopsaným zjištěním, patrným při návštěvě studované lokality již

vizuelně, byl například rozdíl úrovně hladin v době déletrvajících nízkých průtoků u dvou tůní, které spolu bezprostředně sousedí. Hladina jezera T3 byla za této situace o 20 až 35 cm výše než u sousední Nové tůně a o 40 až 60 cm nad úrovní říčního koryta. Zpoždění poklesu hladiny v některých tůních v pozdějších fázích opadu vody má zřejmě souvislost s kolmatací dna, jejíž míru ovlivňuje stáří tůně, její morfologie a charakter jejího okolí (podobně jako u vodních nádrží) (Pithart a kol. 2003). Diverzita chování tůní je pro saturaci vysychající řeky také pozitivní, jelikož každá z tůní může hrát z tohoto hlediska významnější úlohu v jiné fázi poklesu hladiny. Z hlediska celkové úrovně retenčních vlastností je možné sledovaná fluviální jezera sestupně seřadit v následujícím pořadí : T3 (Konvalinková tůň), T2 (Oválná tůň), T1 (Kruhová tůň), Prokopova tůň, Nová tůň a Pithrtova tůň.

Pro popisnou statistiku naměřených řad hodnot pro jednotlivé tůně a řeku bylo využito mediánu, neboť na tůních odpovídá běžnějšímu vodnímu stavu, než průměr, který je více ovlivněn vysokým vodními stavy při povodních. Grafy ukázaly odlišný rozptyl hodnot jednotlivých tůní, který byl například u Prokopovy tůně zřetelně menší, než v případě řeky či T2.

Ze zjišťovaných parametrů tůní byla s jejich vlastnostmi z hlediska retence zjištěna největší korelace v případě výšky hladiny tůně, při které z ní ustává povrchový odtok. Čím je tato výška větší, tím výrazněji se uplatňuje retence vody v jezeře. Pouze v pozdních fázích poklesu vody klesá průkaznost této závislosti. Pouze kolem kulminace rozlivu a v první fázi po něm se prokázala závislost na pořadí plnění tůní při rozlivu. Čím později se tůň plní, tím větší vykazuje retenci. Z dalších parametrů je překvapivá malá a ve všech případech neprůkazná pozitivní závislost na nejkratší vzdálenosti tůně od řeky. Některé z tůní se nacházejí poměrně blízko od řeky (T1 a T2 kolem 30 m), ale těsnost jejich hydrologické komunikace je malá, dokonce menší, než u některých vzdálenějších tůní. Plochu nivy lze rozdělit na oblast, kterou řeka bezprostředně ovlivňuje i při průměrném průtoku a na oblast, kam se voda povrchově dostává pouze při rozlivu. Druhá oblast zaujímá větší plochu (na studované lokalitě a zřejmě i jinde v nivě). K rozlivům však v nivě dochází běžně. Například v kalendářním roce 2007, kdy celý rok probíhalo sledování, došlo k osmi rozlivům o celkové délce trvání 109 dní. Zdaleka ne všechny rozlivy přitom znamenají povodňový stav. Mírně vyšší závislost než na vzdálenosti od řeky se prokázala, i když neprůkazně (p= 0,1655), u vzdálenosti od říční terasy, jež vymezuje prostor nivy. Platí v tomto případě samozřejmě nepřímá úměra. V pokročilé fázi opadu vody se ukázala jako poměrně významná jistá pozitivní závislost na rozsahu močálů, které navazují na tůň a s nimiž tůň povrchově a podpovrchově komunikuje. Zjišťování (ne)závislostí korelačním šetřením při vzorku pouze

šesti tůní jistě ovlivnila i náhoda. Její vliv by účinněji eliminoval až podstatně vyšší počet tůní, pro které by se korelace prováděly.

Jak vyplývá z přímých pozorování, tůně sehrávají úlohu také při nástupu povodňových vln . Jejich výskyt činí povrch nivy drsnější. Postupné kaskádovité plnění tůní a různých prohlubní, které bylo podrobně sledováno při nástupu pětileté vody v září 2007, způsobuje zpomalení postupu povodňové vlny. Voda proudí i při plošném rozlití vody v nivě v různých jejích částech odlišnou rychlostí, což dále přispívá k tomu, že kulminace povodňové vlny je plošší a tudíž i o něco nižší. Retardační a transformační možnosti nivy jsou tedy kromě meteorologické situace předcházející povodni, šířky nivy aj., významně ovlivněny heterogenitou nivy, zejména její výškovou členitostí. Pokles vody při opadu povodňové vlny se zde postupně zpomaluje. Účinnost těchto efektů ovšem klesá s extremitou povodně. Na druhou stranu, mohutné povodně v nivě způsobují akceleraci dynamických procesů vedoucích k rozrůznění nivy a tím pádem k většímu retenčnímu potenciálu. Zadržení vody v nivě ale může někdy sehrát negativní roli a ještě přispět k akceleraci povodně v případě, kdy po první vlně, která se rozlije v nivě, brzy následuje vlna druhá. To se při porovnání naměřených výšek hladin potvrdilo i v případě rozlivů, které neznamenají povodeň. Hladina v jezerech, ve kterých voda klesala po prvním rozlivu nejpomaleji, při brzy navazujícím druhém rozlivu vystoupila ještě o pár centimetrů výš, než hladina v ostatních tůních a řece.

Analýza povodňových situací, které proběhly ve sledovaném období potvrdila, že větším rizikem pro vznik povodní jsou pro oblast cyklonální situace typu B a C (Vlasák 2006), kdy cyklony se středem na východ od povodí postupují přibližně z jihu na sever a jejich postup se přibrzdí či zastaví (povodeň v srpnu 2006, březnu 2007 a září 2007). Mohou nastat i situace, kdy velmi vysoké srážky spadnou v souvislosti se západním prouděním (konec června 2006). V takových situacích jsou nejvyšší srážky zaznamenávány spíše v oblasti České Kanady, kde pramení pravostranné přítoky jako Skřemelice, Dračice aj. Pozoruhodné je generelní směřování těchto toků naproti Lužnici, proti směru jejího toku. To souvisí se složitým paleogeografickým vývojem povodí, kdy se v pliocénu v souvislosti s vrásněním změnil směr toku Lužnice i úmoří, do kterého povodí náleží.

Na snížení výšky kulminace povodně díky plošší vlně se ve zkoumané části povodí může podílet i různá doba kulminačního přítoku jednotlivými vodními toky. Záleží zde na časovém rozložení a intenzitě srážek a různé míře výskytu říčních niv u jednotlivých toků. K ideální situaci časového rozložení (a tím pádem i účinné transfomace kulminačního průtoku povodňové vlny) došlo např. při povodni v září 2007, která směrem dále po toku výrazně snižovala svoji mohutnost. Při porovnání s toky, které s Lužnicí sousedí svojí pramennou

oblastí (zejména přítoky Malše – Černá a Stropnice) a jsou tedy srážkovými vlnami srovnatelně zasaženy, projevila Lužnice vyšší retardaci a plochost povodňové vlny. Retardace byla nejmenší u Černé při níž se vyskytuje říční niva jen omezeně. Větší byla u Stropnice, kterou doprovází dlouhou dobu niva, která je však zčásti antropogenně upravena, a největší u Lužnice, která disponuje nivou přírodního charakteru (Drbal a kol. 1988, Jeník a Prach 1988).

Při sledování byl na lokalitě identifikován koridor vyšší dynamiky erozněakumulačních procesů při rozlivech, který se nachází dále od řeky, naopak blízko terase. Existující tůně nacházející se v tomto koridoru patří k nejhlubším a nalézají se tu i tůně ve fázi vzniku. Největší hloubka každé z tůní byla zjištěna zpravidla poblíž místa, kudy do nich při rozlivech vtéká hlavní proud vody. S hloubkovými poměry tůní souvisí jejich tvar (kruhové jsou celkově hlubší) a vzájemná lokalizace hlavního povrchového vtoku a výtoku (neleží-li proti sobě, mohou v tůni vznikat mělčí místa). Průhlednost vody v tůních se často mění, největší je zpravidla při průměrných vodních stavech v situaci, kdy se do jezera voda dostává delší dobu jen podpovrchovým sycením. Kyslíkové poměry v některých tůních jsou negativně ovlivňovány zastíněním a vysokým přísunem organické hmoty, při jejímž rozkladu se spotřebovává kyslík. Četná pozorování živočichů na tůních a v jejich okolí i pozorovaný vysoký a rychlý rozvoj vegetace, jsou v souladu se zjištěními, že říční nivy jsou důležitým rezervoárem biodiverzity a místem vysoké primární produkce.

- Fluviální jezera se účinně podílí na zadržování vody v krajině v období sucha a část z nich dosycuje podpovrchové zvodně v nivě, které zřejmě nadlepšují průtok v řece.
- Fluviální jezera jsou rozmanité nejen svými tvary, chemismem, oživením apod., ale také rychlostí reakce jejich hladiny na stav v řece a průběhem poklesu jejich hladiny.
- Úroveň retence u nich pozitivně závisí na výšce hladiny, při které ustává povrchový odtok (zvláště v prvních fázích opadu), do jisté míry je negativně korelována se vzdáleností od terasy a v pokročilých fázích poklesu hladiny také s rozlohou močálů navazujících na tůň (pozitivně).
- Při nástupu povodně se jezera kaskádovitě plní (nejdříve většinou říční ramena, poté tůně) a tento mechanismus přispívá ke zpomalení postupu povodňové vlny.
- V kombinaci s časovými posuny kulminací jednotlivých přítoků tak může dojít na Lužnici před profilem Pilař k poměrně významné transformaci povodňové vlny.
- Mohutné povodně je niva schopna zbrzdit a ztlumit pouze v omezené míře, na druhou stranu jsou tyto povodně zdrojem vysoké prostorové heterogenity nivy, probíhá díky nim prohlubování, vznik nových tůní, což pomáhá vyšší retenci (negativ. zpětná vazba).

7. Použitá literatura

Amoros, C. a kol. (1987): A Metod for applied ecological studie sof fluvial hydrosystems. Regulated revers 1: *s. 17-36.*

Bejček, V., Šťastný, K. (1996): Vertebrates of Lužnice river floodplain. In: Prach, K., Jeník, J., Large A.R.G. (eds.), Floodplain ekology and management, Academic publishing bv., *Amsterdam, 1996, s. 113 – 124*

Brádka, J. a kol. (1961): Počasí na území Čech a Moravy v typických povětrnostních situacích. *ČHMÚ, Praha s. 126*

Bridge, J.S. (2003): Rivers and floodplains: forms, processes and sedimentary records. Blackwell Publishing, *491 s.*

Culek, M.(ed.) (1996): Biogeografické členění České republiky. *ENIGMA s.r.o.,Praha, 346 s.*

Černý, R. (2000): Makrofyta tůní nivy Lužnice – jejich vztah k hydrodynamice řeky. In: Pithart, D. (ed.), Ekologie aluviálních tůní a říčních ramen. *Botanický ústav AV ČR, Třeboň, s. 123-129.*

Černý, R. (2008): Dynamika změn koryta a tůní v nivě řeky Lužnice po povodních v r. 2002 a 2006. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (eds.), Ekosystémové služby říční nivy. *Ústav systémové biologie a ekologie AVČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 24-27.*

Demek a kol. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR – Hory a nížiny. Academia, *Praha, 584 s.*

Dostál a kol.(2008): Vliv stavu koryta toku na retenci vody a transformaci povodňové vlny. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (eds.), Ekosystémové služby říční nivy. *Ústav systémové biologie a ekologie AVČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 37–43.*

Drbal, K. a kol. (1988): Základní charakteristika řeky Lužnice a biotických faktorů v oblasti horní Lužnice. Sborník AF České Budějovice, řada fytotechnická, 2, *s. 17-36*

Dvořák, J., Pechar, L. (2000): Funkce allochtonní organické hmoty v tůni aluvia horní Lužnice. In: Pithart, D. (ed.), Ekologie aluviálních tůní a říčních ramen. *Botanický ústav AVČR, Třeboň, s. 34-36.*

Eiseltová, N. (ed.) (1996): Obnova jezerních ekosystémů – holistický přístup. Wetlands International publ. č. 32, *190 s.*

Elleder, L. (2007): Historické extrémní případy povodní v povodí Labe a Vltavy. In: Langhammer (ed.), Povodně a změny v krajině. *MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 51-74.*

Flašar, J. (2001): Revitalizace potoka Borová. Propagační leták SCHKO Blanský les. *Správa CHKO Blanský les, Český Krumlov*

Guth, J., Prach, K. (1996): Scenarios of possible future floodplain development. In: Prach, K., Jeník, J., Large A.R.G. (eds.), Floodplain ekology and management. SPB Academic publishing, *Amsterdam, 1996, s. 237-243.*

Hátle, M. a kol. (1996): Biosférická rezervace Třeboňsko. Český národní komitét programu UNESCO Člověk a biosféra – MAB, *Praha, 24 s.*

Hartvich, P. a kol. (1998): Diverzita ichtyofauny a migrační průchodnost řeky Lužnice. Biodiverzita ichrtyofauny ČR (II), *s. 137-148.*

Havlíková, P. (2008): Srovnávací studie fluviálních jezer středního Polabí, Horní Lužnice a Horní Svratky. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (eds.), Ekosystémové služby říční nivy. *Ústav systémové biologie a ekologie AVČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 64-69.*

Havlová, J. (ed.) (1998): Ekologická studie Lužnice. Hydroprojekt, *Praha, 423 s.*

Hladný, J.,Chalušová, J. a Vlasák, T. (2002): Hydrosynoptic approaches for identification of flood mechanisms. *Acta* Universitatis Carolinae - Geographica. 2002 č.2, *s.3-12.*

Holub, M., Dvořák, P., Hartvich P. (2008): Ichtyocenóza v lentických vodách horní Lužnice. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (eds.), Ekosystémové služby říční nivy. *Ústav systémové biologie a ekologie AVČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 74 – 84.*

Chábera, S., Vojtěch, S. (1972): Terasy řeky Lužnice (I). Terasy Lužnice v kotlině Třeboňské. Sborník Jihočeského muzea v Českých Budějovicích, přír. vědy *12: s 1-10.*

Chytil, J. a kol. (1999): Mokřady České republiky. Přehled vodních a mokřadních lokalit České republiky – Český ramsarský výbor při MŽP ČR, *JAVA Třeboň, 327 s.*

Janský, B., Kocum, J. (2007): Retention potential in river headstream areas. Sborník příspěvků mezinárodního kurzu UNESCO Ecohydrologiva Approaches to Wise Use, Restoration, Management and Conservation od Wetlands, *Třeboň, s. 8-16.*

Janský, B., Šobr, M. a kol. (2003): Jezera České republiky. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, *Praha, 199 s.*

Jeník, J., Prach, K. (1988): Funkce řeky a říční nivy v krajině. Sborník Agronomické fakulty VŠZ v Č.Budějovicích, 2, *s. 5-15.*

Just, T. a kol. (2003): Revitalizace vodního prostředí. Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky, *Praha, 144 s.*

Kolejka, J. (2003): Geoekologické aspekty zmírňování povodňových škod. Geografie – Sborník ČGS, roč. 108, č. 1, *Praha, s 1-13.*

Krásný, J. (1980): Hydrogeologie jihočeských pánví. Sb. Geol. věd 14, *UUG, s. 25-35*

Kraus, J. (1988): Geologie, geomorfologie a hydrogeologie oblasti horní Lužnice. *Správa CHKO Třeboňsko, 32 s.*

Kroupa, M. (1988): Chemické vlastnosti vod horní Lužnice a přítoků. Dílčí závěrečná správa VŠZ České Budějovice, *38 s.*

Křížek, M. (2007): Údolní niva jako geomorfologický fenomén. In: Langhammer (ed.), Povodně a změny v krajině. *MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 217-243.*

Langhammer, J. (2004): Analýza vlivu antropogenních změn v krajině na průběh a následky extrémních povodní. Acta Facultatis Retům Naturalium Universita Ostraviensis, Geographia-Geologia, 216, 9, *s. 97-116.*

Langhammer, J. (2007): Úpravy toků údolní nivy jako faktor ovlivňující průběh povodní. In: Langhammer (ed.), Povodně a změny v krajině. *MŽP ČR a PřF UK, Praha, s. 271-294.*

Langhansová, M. (1998): Přirozená jakost vody. In: Havlová, J. (ed.), Ekologická studie Lužnice, Hydroprojekt a.s., *Praha, s. 109-124*

Lexová, R. (1994): Plán péče o přírodní rezervaci Horní Lužnice na období 1994 – 2004. *Správa CHKO Třeboňsko, 47 s.*

Lipský, Z. (2008): Změny ve využívání krajiny v údolních nivách. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (eds.), Ekosystémové služby říční nivy. *Ústav systémové biologie a ekologie AVČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 132-141*

Ložek, V. (2003): Povodně a život nivy. Bohemia Centralis (Praha) 26, *Agentura ochrany přírody a krajiny, s. 9 - 24*

Malanson, G.P. (1993): Riparian landscapes. Cambridge University Press, *296 s.*

Malecha, A., Suk, M. a Zikmund, J. (1964): Stavba podloží jihočeských pánví. Sb. Geol. věd G.4, *UUG, s. 97-120*

Malíšek, J. (1975): Režim splavenin v povodí Vltavy. *VÚV TGM, Praha, 166 s.*

Mlčoch, S. (2003): Legislativní rámec ochrany říčních niv. In: Prach, K., Pithart, D. a Francírková, T. (eds.), Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách, *Botanický ústav AV ČR, s. 89-90.*

Netopil, R. (1970): Základy hydrologie povrchových a podpovrchových vod, *SNP, Praha, 223 s.*

Odum, E.P. (1977): Základy ekologie, *Praha, 733 s.*

Pechar, L., Hrbáček, J., Pithart, D., Dvořák, J. (2004): Ecology of pools in the floodplain. In: Prach, K., Jeník, J., Large A.R.G. (eds.), Floodplain ekology and management, Academic publishing bv., *Amsterdam, 1996, 285 s.*

Pelc, F. (1998): Význam velkoplošných chráněných území pro ochranu mokřadů a záchyt vody v krajině. In: Němec, J. (ed.). Krajina a voda, *AOPK ČR, MŽP a Mze, Praha, 176 s.*

Penka, M., Vyskot, M., Klimo, E. a Vašíček, F. (1985): Floodplain forest ecosystem. Academia, *Praha, 466 s.*

Pithart, D. (1999): Phytoplankton and water chemistry of several alluvial pokos and oxbows after the flood ebeny – a process of diversification. Algological studies 95, *s. 93-113.*

Pithart, D., Pechar, L., Černý, R. a kol. (2003): Vodní ekosystémy v nivě. In: Prach, K., Pithart, D. a Francírková, T. (eds.), Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách, *Botanický ústav AV ČR, s. 37-52.*

Pithart, D., Simon, O. a kol. (2003): Fenomén přirozených rozlivů v nivách řek. In: Prach, K., Pithart, D. a Francírková, T. (eds.), Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách, *Botanický ústav AV ČR, s. 53-59.*

Pokorný, J. (1998): Povodně a sucha, následek lidské činnosti, In: Krajina, voda, povodeň, Sborník Správy chráněných krajinných oblastí ČR, Ročník 2, *Praha 1998, s. 9-20.*

Prach, K. (1992): Vegetation, microtopography and water table in the Lužnice river floodplain. Preslia 64, *s. 357-367*

Prach, K. (2003): Údolní niva jako specifický ekosystém. In: Prach, K., Pithart, D. a Francírková, T. (eds.), Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách, *Botanický ústav AV ČR, s. 7-11.*

Rauch, O. a kol. (1993): Floodplain as a bufferzone for ater duality. In: Prach, K., Jeník, J., Large A.R.G. (eds.), Floodplain ekology and management, SPB Academic publishing, Amsterdam, *s. 201-209.*

Rameš, V. (2003): Velká voda na Lužnici, *Nakladatelství DONA s.r.o., České Budějovice, 126 s.*

Rychnovská, M. (1996): Ekosystémové funkce nivních luk. *Příroda 4, s. 25-33.*

Seják, J. a Pokorný, J. (2008): Oceňování ekosystémových služeb na příkladu říční nivy. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (ed.), Ekosystémové služby říční nivy. *Ústav systémové biologie a ekologie AVČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 183-190.*

Simon, O., Rauch, O. a Rosendorf, P. (1998): Metodika hodnocení činností v mikropovodí Včelničky (povodí Lužnice) z hlediska vlivu na odtékající vody. *VÚV T.G.M., Praha. 38 s.*

Simon, O. a Pithart, D. (2003): Revitalizace niv v České republice. In: Prach, K., Pithart, D. a Francírková, T. (eds.), Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách, *Botanický ústav AV ČR, s. 73-88.*

Schlott, G. a Idl, K. (1993): Ökoprojekt Lainsitz und Nebengewasser. Bern. Ökol. Station Waldviertel, 4, *s. 33-56.*

Schützner, J. (1998): Paleogeografický vývoj povodí a hydrografické sítě. In: Havlová, J. (ed.), Ekologická studie Lužnice, Hydroprojekt a.s., *Praha, s. 17-22*

Straškrabová, J., Prach, K., Joyce, Ch. a Wade, M. (eds.) (1996): Aluviální louky – jejich současný stav a možnosti obnovy. Příroda 4, *Praha, 176 s.*

Valachovič, D., Holubová, K. a Šíbl, J. (2000): Obnova vodného režimu na dolnom úseku rieky Moravy. In: Kovařík, P. a Machar, I. (eds.), Mokřady 2000, *Správa CHKO Litovelské pomoraví a Český ramsarský výbor, s. 198 – 209*

Vlasák T. (2006): Přehled a klasifikace povodní na Lužnici In: Vlasák, T. (ed.), Hodnocení vlivu změn přírodního prostředí na vznik a vývoj povodní, *PřF UK, Praha, s. 19-26.*

Vlasák T. (2007): Povodňové režimy Otavy a Lužnice, *ČHMÚ České Budějovice, 9 s.*

Vlasák, T. (2006): Přehled a klasifikace povodní na Lužnici. Zpráva z dílčího úkolu projektu VaV SM/2/57/05 Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami, *ČHMÚ České Budějovice, 32 s.*

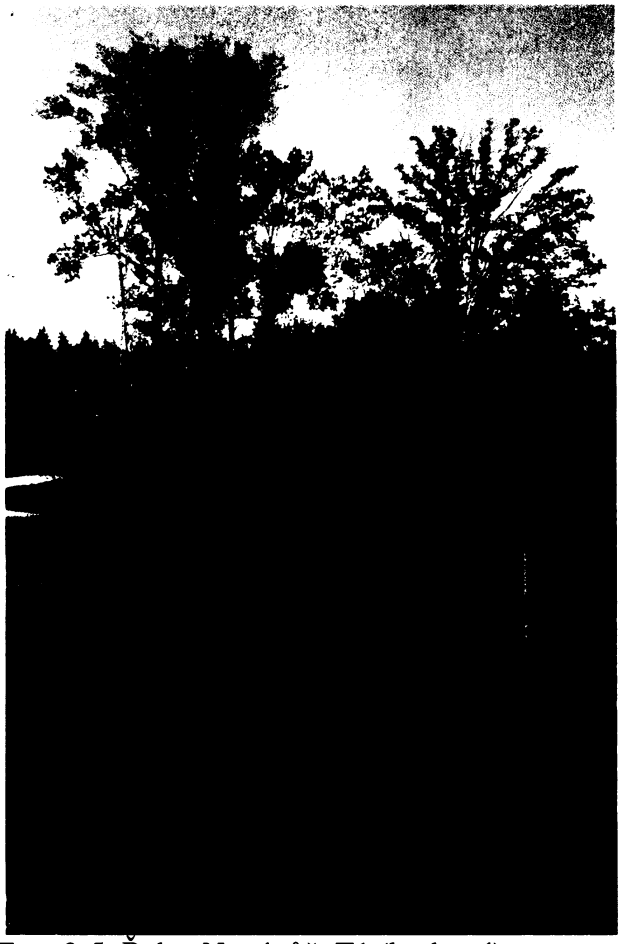
White, D.S. (1993): Perspectives on defining and delineating hyporheic zones. Journal of the North American Benthological Society 12(1), *s. 61-69*

Williams, D.D. (1987): Environmental constraints in temporary fresh waters and their consequences for the insect fauna. Journal of The North American Benthological Society 15, *s. 634-650.*

Diagramy aktuálních srážek na webových stránkách Českého hydrometeorologického ústavu http://hydro.chmi.cz/hpps/

ČHMÚ a MŽP ČR (2003): Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. http://www.chmi.cz/hydro/pov02/index.html

Stavy a průtoky na vodních tocích (v posledním týdnu) ve správě Povodí Vltavy a.s. http://www.pvl.cz/portal/sap/cz/index.htm



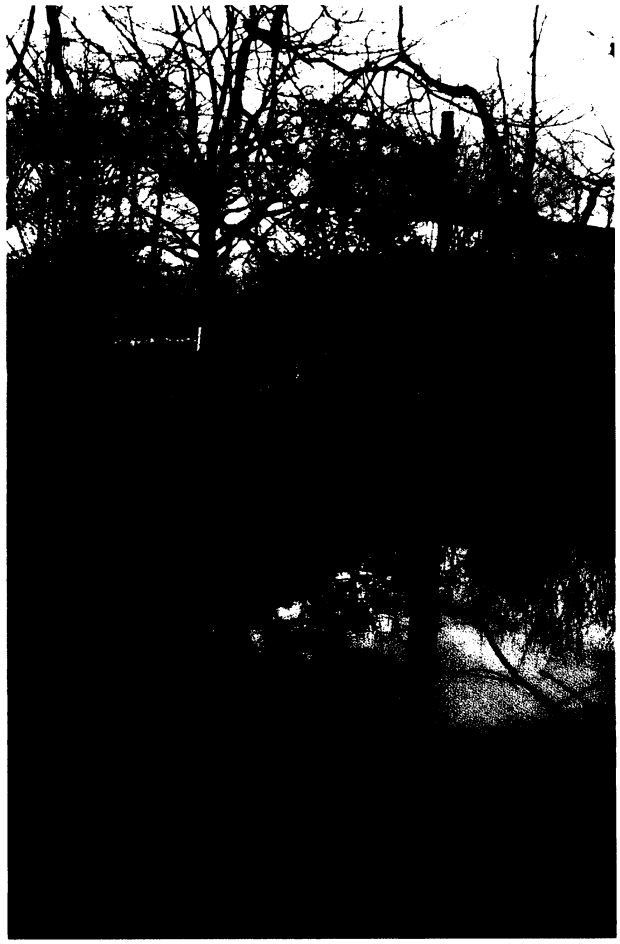


Foto 2-5: Řeka, Nová tůň, T1 (kruhová) a Pithartova tůň

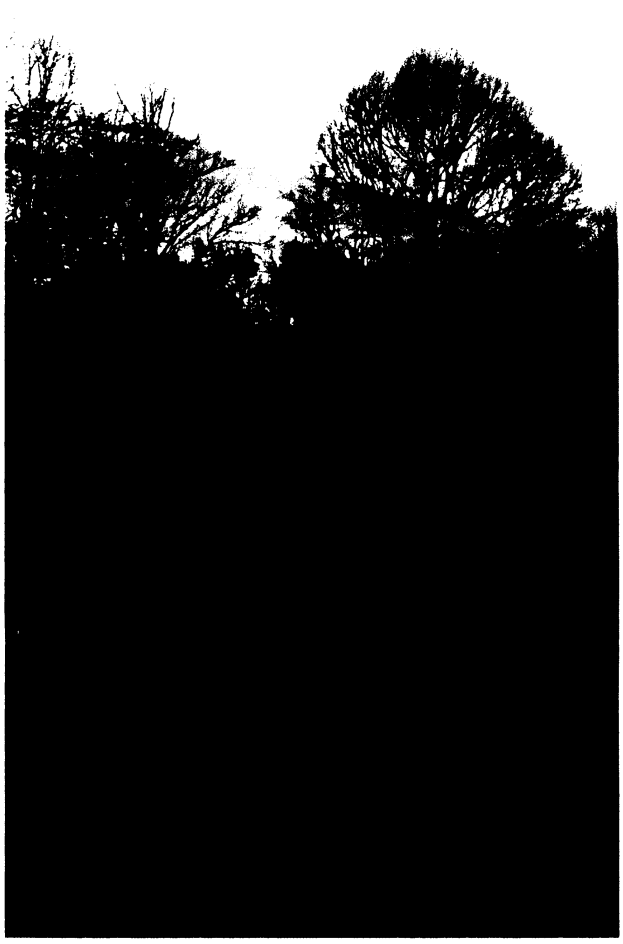


Foto 6: Vysoká průhlednost v T1

Foto 7: Nízká průhlednost v Prokopově tůni (velké sucho)

Foto 8: Mrtvé dřevo v nivě

Foto 9: Průzkum hloubek

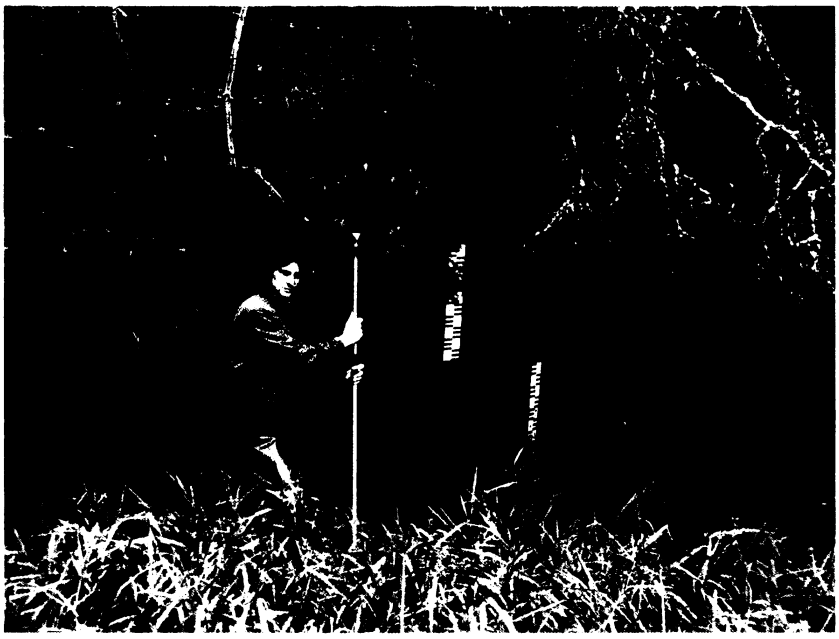


Foto 10: Mapování studované lokality

Foto 11: Mapování studované lokality

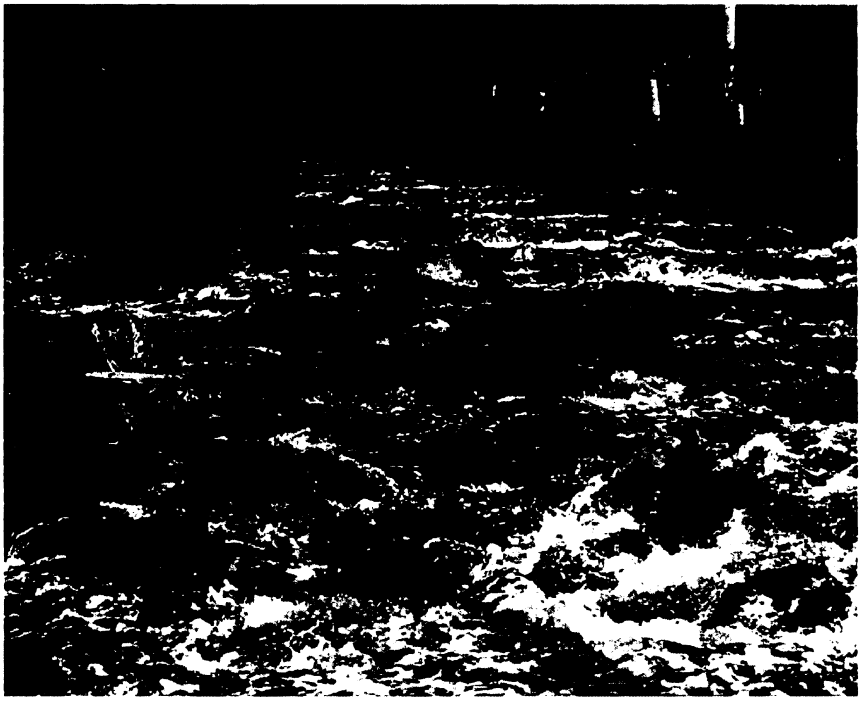


Foto 12: Bystřinný charakter Dračice na okraji Třeboňska

Foto 13: Novořecké močály (autor Jan Ševčík)

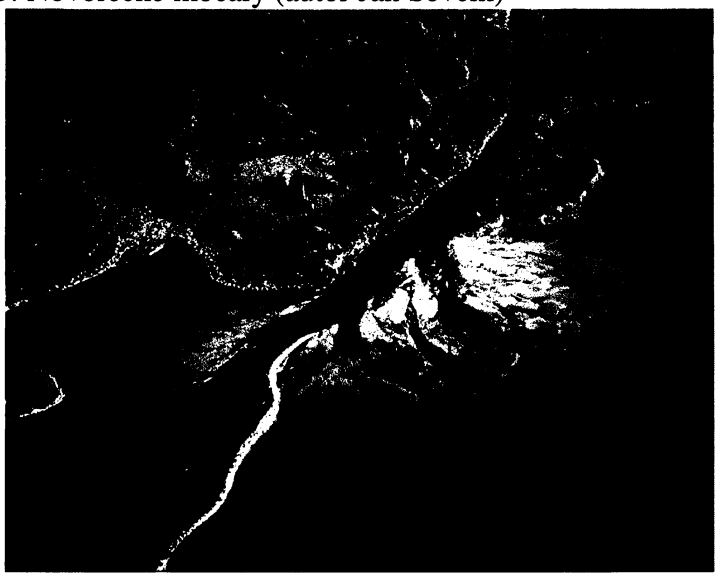


Foto 14: Vnitrozemská delta – ústí Staré řeky do Rožmberka

Foto 15: Povodeň v červenci 2006 na Nové tůni

Foto 16: V lese uvnitř nivy těsně při ustupující povodni

Foto 17: Rozliv v lužním lese uvnitř nivy

Foto 18: Skalní stupeň kombinovaný s jezem v Gmůndu při povodni v září 2007

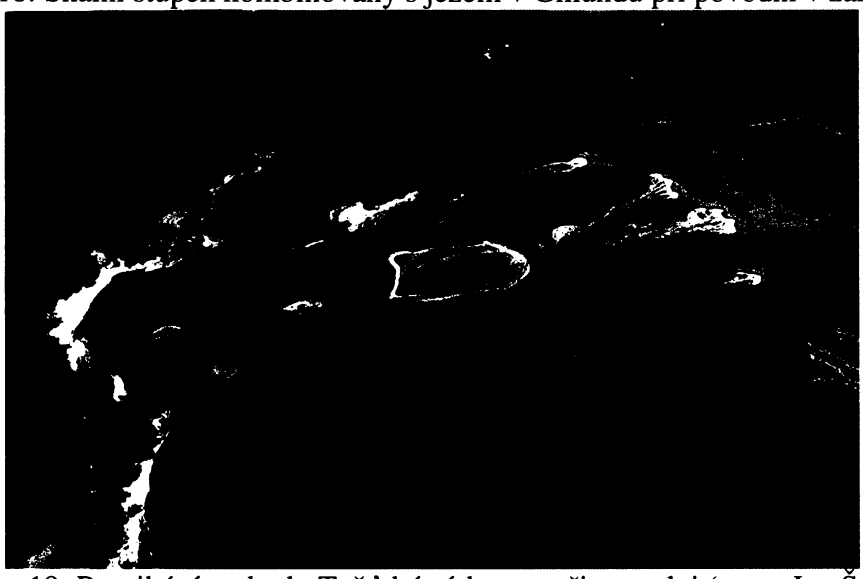


Foto 19: Pronikání vody do Tušťské pískovny při povodni (autor Jan Ševčík)

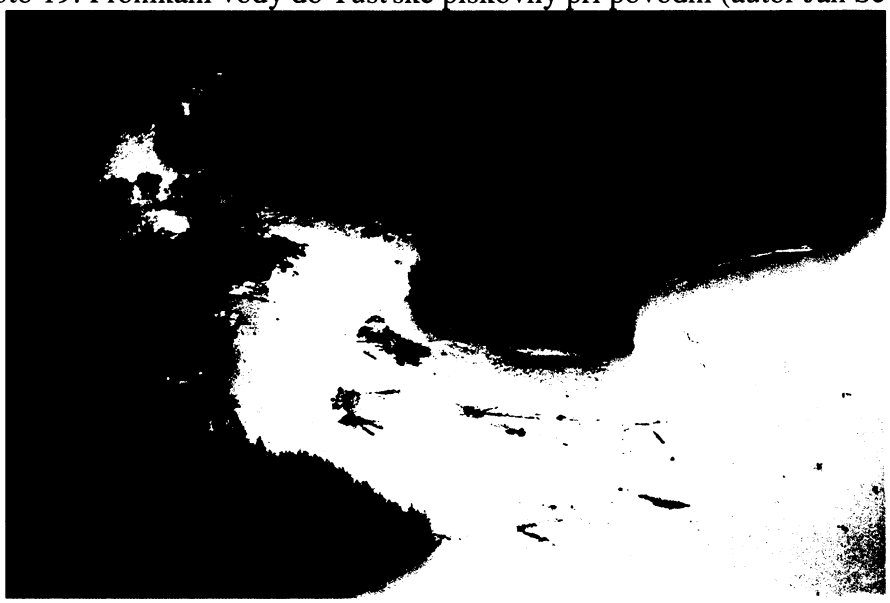


Foto 20: Provalení ochranných hrází velké majdalenské pískovny při povodni 2002 (J.Ševčík)

Foto 21: Povodeň na rozdělovacím objektu Staré a Nové řeky

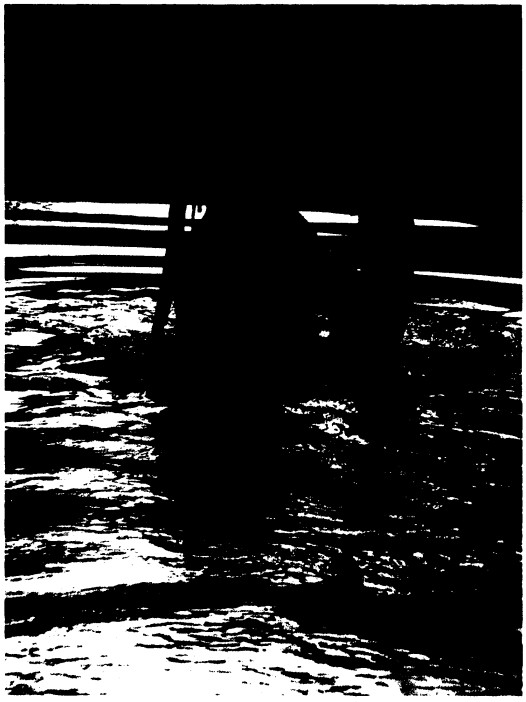


Foto 22: Práce v nivě při povodni

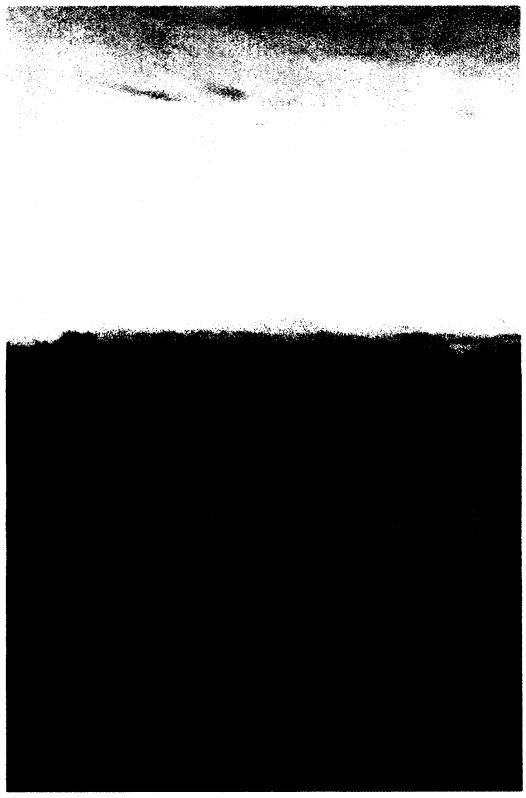


Foto 23: Kouzlo rozlivů

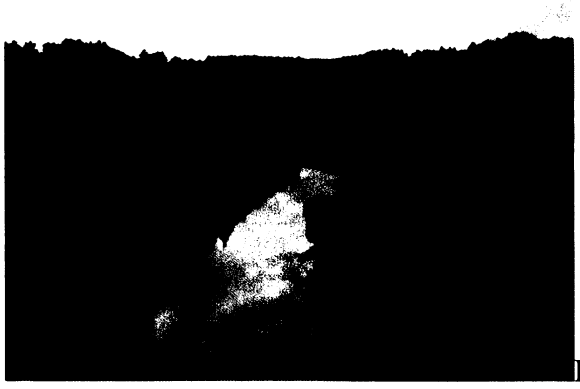


Foto 24: Kaňon dolní Lužnice

Foto 25: Ledňáček říční (autor Jiří Bohdal)

Foto 26: Vodouš kropenatý (autor Jiří Bohdal)

Foto 27: Okoun říční, častý rybí druh Lužnice (autor Jiří Bohdal)