

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Biologie

Studijní obor: Učitelství biologie a geografie pro střední školy



Bc. Petra Fialová

**Interakce podzemní a povrchové vody za extrémních
hydrologických situací v nivě horní Lužnice**

INTERACTION OF GROUNDWATER AND SURFACE
WATER UNDER EXTREME HYDROLOGICAL CONDITIONS IN
THE FLOODPLAIN OF THE UPPER LUŽNICE RIVER

Diplomová práce

Praha 2015

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

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně a že jsem použité zdroje řádně citovala. Žádná z částí této práce nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Zároveň svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a souhlasím s tím, že má práce bude řádně vedena ve fondu knihovny PřF UK.

V Praze dne: 20. dubna 2015

.....
Petra Fialová

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu práce Prof. RNDr. Bohumíru Janskému, CSc. za čas a cenné rady, které mi věnoval během konzultací. Velké díky patří i RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. za významnou pomoc při práci v terénu a mnoho věcných rad týkajících se zpracování dat. Zvláštní poděkování patří mým rodičům za všestrannou podporu během celého studia.

ABSTRAKT

Předmětem této práce je analýza vlivu extrémních hydrologických událostí (povodní a sucha) z hlediska interakce podzemní a povrchové vody v říční nivě. Cílem této práce je také zhodnocení hydrologického režimu vybraného povodí a důkaz retenčního potenciálu zachovalé přírodní nivy.

Zvolené cíle práce byly řešeny na základě sledování chodu hladin podzemní a povrchové vody v zájmové lokalitě. Na základě dat z vrtů a digitálního modelu reliéfu, bylo možné vytvořit představu o kolísání hladiny podzemní vody v oblasti říční nivy ve vybraných hydrologických situacích. Data z povrchového toku byla získána z několika stanovišť ve směru toku Lužnice. Tím bylo umožněno graficky znázornit jednotlivé povodňové vlny a charakterizovat jejich velikost, rychlost a transformaci po průchodu zachovalou přírodní nivou Lužnice.

Provedeným výzkumem byla potvrzena retenční schopnost nivy, která je nejvýznamnější při průtocích mírně převyšujících průtočnou kapacitu koryta řeky. V dobách extrémních povodní či v období se zvýšeným počtem kulminací v relativně krátké době za sebou se však retenční potenciál nivy snižuje. Naproti tomu se v období sucha gradient proudění podzemní vody otáčí a hladina v tocích je vodou z nivy nadlepšována.

Na základě zjištěných údajů je možné konstatovat, že přítomnost přírodně zachovalé nivy zmírňuje následky extrémních hydrologických situací, ať už povodní, nebo sucha. Výsledky práce tedy podpořily původní pracovní hypotézu, která se opírala o poznatky z domácí i zahraniční literatury.

Klíčová slova:

říční niva, řeka Lužnice, povodeň, hydrologické sucho, transformace povodňové vlny, retence vody.

ABSTRACT

The object of this work is an analysis of the influence of extreme hydrological events (floods and droughts) in terms of interaction between groundwater and surface water in the river floodplain. The aim of this thesis is also the evaluation of the hydrological regime of the upper Lužnice basin and evidence of retention potential preserved natural floodplain.

The selected objectives of the work were resolved on the basis of the values of groundwater levels and surface water in the area of interest. Based on data from underground wells and a digital terrain model, it was possible to create an image of the distribution of groundwater levels in river floodplains during selected hydrological situations. Data from surface flow was obtained from several habitats in the flow direction Lužnice. This has enabled graphically illustrate individual flood waves and characterize their size, speed and transformation after the passage of a preserved natural floodplain of Lužnice river.

Carried out research has been confirmed retention capacity of the floodplain, which is most significant at flow rates slightly in excess of the flow capacity of the river bed. However, extreme floods or in periods with many culminations in a relatively short time leads to reduces water retention capability of the floodplain. In contrast, dry season leads to turning of groundwater flow gradient, and floodplain begins to subsidize the river.

Based on the obtained data it can be concluded that the presence of naturally preserved floodplain ameliorates the effects of extreme hydrological situations, whether floods or droughts. The results of this thesis supports original working hypothesis, which was based on findings from Czech and foreign resources.

Keywords:

floodplain area; Lužnice river; flood, hydrological drought, transformation of flood wave, water retention

OBSAH

1. ÚVOD	1
1.1 Cíle práce.....	2
1.2 Struktura práce	2
1.3 Extrémní hydrologické situace	3
1.3.1 Sucho.....	3
1.3.2 Povodně.....	5
1.4 Interakce a proudění podpovrchových vod	6
1.4.1 Podzemní voda.....	7
1.5 Hydrologická funkce říční nivy.....	10
1.6 Interakce mezi řekou, nivou a podzemní vodou	11
2. FYZICKOGEOGRAFICKÝ PŘEHLED	13
2.1 Základní charakteristika zájmového území.....	13
2.2 Hydrologická specifika horní Lužnice	15
2.3 Morfologie koryta toku, nivy a říčních teras.....	15
2.4 Geologické a geomorfologické poměry	19
2.4.1 Hydrogeologická charakteristika	20
2.5 Půdní a vegetační pokryv	21
2.6 Klimatické podmínky	23
2.6.1 Srážkové poměry	23
3. VSTUPNÍ HYDROLOGICKÁ DATA.....	25
3.1 Data z limnigrafické stanice	25
3.2 Automatické hladinoměry PřF UK	26
3.3 Hydrometrování průtoků	27
3.4 Data z pozorovacích vrtů.....	30
3.5 Data z digitálního modelu reliéfu.....	33
4. HYDROLOGICKÝ REŽIM	35
4.1 Odtokové charakteristiky	35
4.1.1 Chod denních a měsíčních průtoků.....	35
4.1.2 Roční chod průtoků.....	38
4.1.3 Povodňový režim	41

4.2	Interakce mezi Lužnicí, nivou a podzemní vodou	43
4.2.1	Hydrologická funkce nivy Lužnice.....	45
4.2.2	Analýza nové datové řady.....	46
4.2.2.1	Povodňové události	46
4.2.2.2	Období sucha	54
4.2.2.3	Variabilita hladin	61
5.	DISKUSE.....	65
6.	ZÁVĚR	72
7.	REFERENCE.....	75
8.	SEZNAM GRAFŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ	80

1. ÚVOD

Zachovalé přírodní říční nivy jsou jedním z nejproduktivnějších ekosystémů u nás a plní řadu významných funkcí z hlediska retence vody v krajině, čímž zmírňují následky sucha i povodní (Pithart, Křováková, 2012).

Právě povodí horní Lužnice tvoří mimořádně zachovalou přírodní oblast, a to především díky údolní nivě, která se rozprostírá v jeho střední části. V této oblasti dochází k vysoké retenci vody a případné transformaci povodňové vlny. Tato vlastnost je velmi důležitá především z důvodu hrozby globálních klimatických změn, které vedou k vyšší rozkolísanosti klimatu, a tedy k větší pravděpodobnosti výskytu extrémních hydrologických událostí (Diffenbaugh et al., 2005).

Povodí horní Lužnice nám nabízí možnost zkoumat hydrologický režim toku, který je jen zřídka ovlivněn lidskou činností. Takto zachovalý fluvialní systém je na území naší republiky jen výjimečný. Většina toků již prošla výraznými antropogenními změnami, které naopak urychlují odtok vody z krajiny, místo toho, aby umožnily vylití vody z koryt toků a zmírnily tak povodňové škody níže po proudu (Langhammer, 2007a).

Nejen povodně sužují naši krajinu. Čím dál častější jsou i výskyty a projevy sucha, jehož následky jsou s povodněmi srovnatelné. Díky vysoké schopnosti retence jsou přírodně zachovalé nivy schopny mírnit dopady i této extremity, a to především díky vysoké hladině podzemní vody, která dotuje koryta toků v období nízkých vodních stavů.

Znalosti interakce podzemní a povrchové vody v říčních nivách jsou tedy důležité z hlediska snižování rizik spojených s extrémními hydrologickými situacemi. Získané poznatky jsou také využitelné pro efektivní vodní hospodářství, jelikož nivy středních toků řek tvoří přechodné pásmo mezi pořičním prostředím a zemědělsky využívanou půdou (Janský, Turek, 2012).

1.1 Cíle práce

Práce si klade za cíl přispět k získání nových znalostí, popřípadě potvrdit nebo vyvrátit dosavadní poznatky, o hydrologické funkci říční nivy. K dosažení tohoto úmyslu je zapotřebí vytyčení menších podcílů.

Prvním z nich je sumarizace výsledků předchozích studií, zabývajících se stejnou lokalitou. A to ať už z hlediska konkrétních kvantitativních hydrologických a fyzickogeografických údajů, tak i hypotéz o interakci povrchové a podzemní vody v zájmové lokalitě. Druhým takovým cílem je zhodnocení hydrologického režimu vybraného povodí za využití nové datové řady získané z vodoměrného profilu Pilař. Jedním z ústředních cílů práce je zhodnocení vybraných extrémních hydrologických událostí, jež se v povodí vyskytly po roce 2010, se zvláštním zřetelem k analýze retenčního a transformačního potenciálu říční nivy. Dalším záměrem práce je zhodnocení vlivu těchto extrémních situací z hlediska interakce povrchové a podzemní vody v říční nivě horní Lužnice. V neposlední řadě je také cílem přehledné zpracování výsledků pomocí obrázků, tabulek a grafů.

1.2 Struktura práce

Práce je rozdělena do několika částí. Na začátku je uvedena teoretická pasáž, která se zabývá obecnými zákonitostmi extrémních hydrologických situací, popisuje proudění podzemních vod a charakterizuje obecné předpoklady o funkci říční nivy.

V dalším úseku následuje charakteristika zájmového území, ke kterému se vztahuje experimentální část práce.

Následuje kapitola o vstupních datech a poté samotná praktická část, která navazuje na již proběhlý výzkum ve stejné lokalitě. Součástí je tedy i krátký souhrn výsledků dosažených v předchozích pracích.

Nakonec přichází diskuse nad vlastními výsledky práce, které jsou s předešlými studii porovnávány. Celá práce je následně ukončena shrnutím vyslovených hypotéz.

1.3 Extrémní hydrologické situace

Hydrologicky extrémní jevy vznikají zpravidla jako důsledek působení výjimečného průběhu určitých přírodních procesů. Tyto procesy jsou ovlivněny geografickými podmínkami, ale také lidskou činností. Hlavní příčinou jejich vzniku je nejčastěji výskyt abnormálních meteorologických situací. V přírodních podmínkách Česka jsou hlavním činitelem atmosférické srážky, které rozhodují o vodnosti českých toků. Nepřímý vliv však mají i další klimatické faktory a celá řada faktorů fyzickogeografických (Čurda, Janský, Kocum, 2011).

Mezi extrémní hydrologické jevy patří nejen povodně, ale také hydrologické sucho. Stejně jako povodně, je i sucho přirozenou součástí koloběhu vody na Zemi.

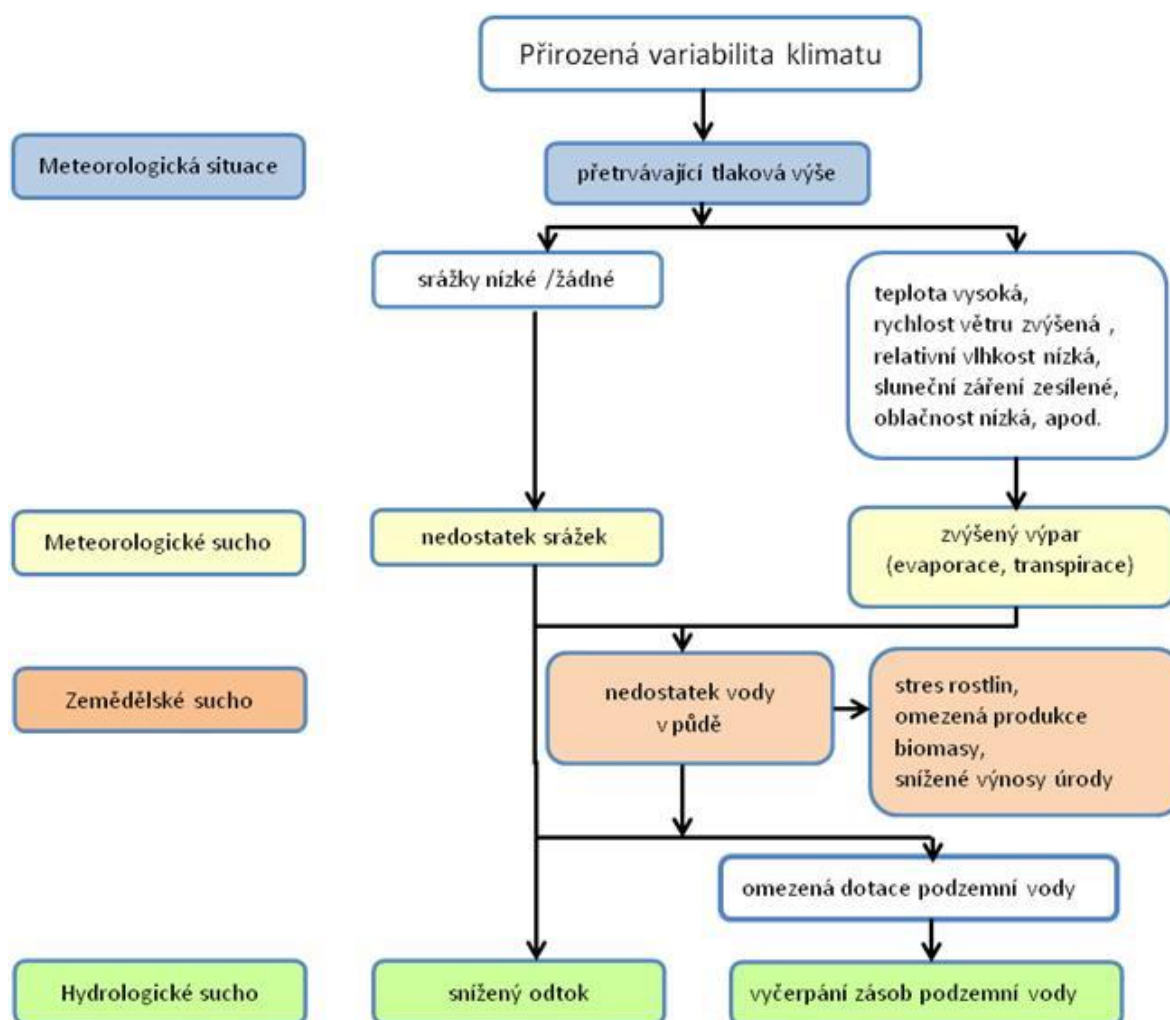
1.3.1 SUCHO

Sucho patří mezi extrémní hydrologické jevy, které zasahují naše území poměrně nepravidelně. Při hodnocení přírodních katastrof je sucho řazeno mezi katastrofy klimatického původu, spolu s extrémními teplotami (Elleder, 2013). Definice sucha není jednoduchá, protože se jedná o komplexní jev a dá se na něj nahlížet z několika pohledů (např. meteorologicky, hydrologicky, zemědělsky, pedologicky, socioekonomicky, atp.). Regionální diferenciace projevů sucha a množství příčin, které se na jeho vzniku podílejí, znemožňují vytvoření jednotné definice. Sucho však vždy představuje nedostatek vody oproti množství, které je v dané lokalitě očekáváno. Na rozdíl od aridity je sucho přechodným jevem (Šachová, 2010).

Můžeme rozlišovat několik typů sucha (obr. 1). Primárním typem je meteorologické sucho, které je výsledkem nepříznivého stavu atmosféry. Vlivem atmosférických činitelů je snížena dotace srážek. Takové sucho je definováno na základě odchylek od dlouhodobých průměrů srážkových úhrnů nebo jako řada dní s deficitním srážkovým úhrnem pro daný region. Meteorologické sucho vede ke snížení vody v půdě a nedostatku půdní vláhy. Takovému suchu se pak říká agronomické, nebo také zemědělské. Pokud sucho přetrvává dál, dochází k nedostatečnému zásobení podzemních vod, dále pak ke snížení hladin podzemních vod a ke snížení odtoku. Následně dochází k hydrologickému suchu, které je definováno jako počet za sebou jdoucích měsíců s průtoky nižšími než za normálních podmínek (Šachová, 2013). Hydrologickým suchem se podrobněji zabývali zahraniční autoři Stahl (2001), Tallaksen & van Lanen (2004) nebo Wada et al. (2013).

Při hodnocení hydrologického sucha jsou posuzovány ukazatele, jako je velikost odtoku z povodí nebo zásoby vody ve vodních nádržích. Často je hydrologické sucho definováno pomocí ukazatele Q_{355} , což je hodnota průměrného denního průtoku, která je (z hlediska dlouhodobého průměru) dosažena nebo překročena 355 dní v roce. Podle Němce, Hladného a kol. (2006) nastává hydrologické sucho tehdy, dosáhne-li průměrný denní průtok ve třech po sobě jdoucích dnech hodnoty Q_{355} nebo menší.

Pokud začne nedostatek vody ovlivňovat společnost a hospodářství, je sucho označováno jako socioekonomické. Takové sucho může nastat kdykoli. Jedná se především o nedostatek pitné vody pro obyvatele a užitkové vody pro průmysl (Rožnovský a kol., 2012). Pokud je nedostatkem vody postižen celý ekosystém, pak mluvíme o suchu ekologickém (Šachová, 2013).



Obr. 1: Vývoj sucha v hydrologickém cyklu (Stahl, 2001), upraveno

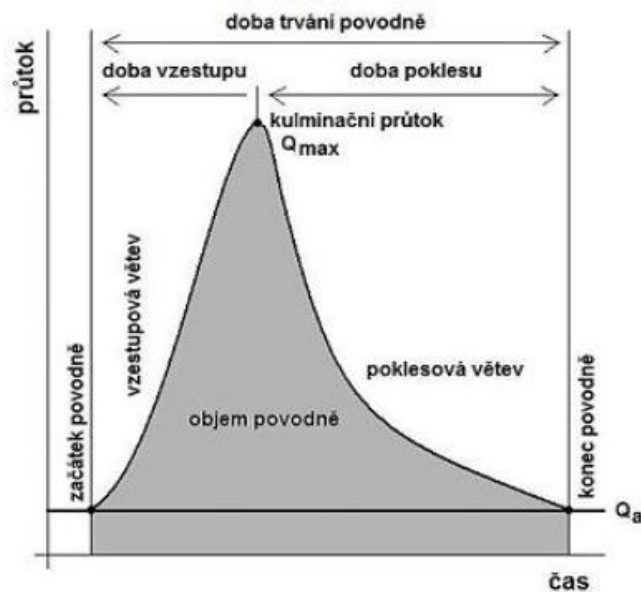
1.3.2 POVODNĚ

Vzhledem k tomu, že za posledních 16 let zažila Česká republika tři extrémní povodně (v letech 1997, 2002 a 2013), jejichž rozsah a následky nemají v moderních dějinách země obdoby, bylo téma a problematika povodní zpracována mnoha českými autory, příkladem může být Langhammer (2007a) Janský (2007), Čurda, Janský, Kocum (2011), Grecmanová (2011), Elleder (2013). Mezi zahraniční autory, kteří se zabývají povodněmi, patří například Langbein (1949), Becker, Grünwald (2003). Z tohoto důvodu se v této kapitole zabývám povodněmi jen ve stručnosti.

Povodní se podle vodního zákona (č. 254/2001 Sb. ve znění zákona č. 150/2011 Sb.) rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Hydrologicky je možné povodeň definovat jako jev, při kterém množství protékající vody překročí průtočnou kapacitu koryta (Langhammer, 2007b).

Samotná povodeň je charakterizována povodňovou vlnou. Její vlastnosti a tvar se vyjadřují pomocí hydrogramu, tedy křivky, znázorňující kolísání průtoku v čase (obr. 2). Z hydrogramu je možné vyčíst kulminační průtok povodně (Q_{max}), tvar vlny a celkový objem vody, který daným místem při povodni protekl. Kulminační průtok připadá na vrcholení povodně, tedy na moment, kdy daným profilem protéká maximální množství vody. Po kulminaci dochází k poklesu povodně. Jednotlivé etapy charakterizuje tvar povodňové vlny, kde je pomocí hodnot průtoků vyjádřen jak počátek kulminace, tak průběh i konec povodně.

Povodeň je nejčastěji způsobena přírodními jevy, zejména táním sněhu, či dešťovými srážkami. Při takových situacích dochází ke kulminaci průtoku. Při nízké retenční schopnosti krajiny pak dochází až ke zmiňovaným povodňovým situacím. (Jeníček, Langhammer, 2013, *online*). Podle příčin vzniku můžeme povodně dělit na určité typy. V létě jsou v Česku povodně nejčastěji způsobeny dešťovými srážkami, v zimě naopak oteplením a táním sněhové pokrývky. Na jaře se vyskytují smíšené povodně, kdy se mísí tající sníh s deštěm (Grecmanová, 2011).



Obr. 2: Hydrogram povodně (Svoboda, 2011)

1.4 Interakce a proudění podpovrchových vod

V krajině se setkáváme s vodou povrchovou, ať už tekoucí nebo stojatou, a s vodou podpovrchovou. Podpovrchové vody jsou všechny vody, které se infiltrací (vsakováním) dostaly pod zemský povrch (Šilar, 1996).

Pásmo blízké zemskému povrchu se označuje jako zóna aerace (provzdušnění). Toto pásmo není zaplněno souvislou hladinou vody. Pod ním leží zóna saturace (nasycení), neboli zvodeň. Jedná se o vrstvu hornin, jejichž póry jsou vodou zcela zaplněny. Hranici mezi oběma zónami tvoří hladina podzemní vody (obr. 3). Souhrn půdní vláh v zóně aerace a podzemní vody v zóně saturace se nazývá podpovrchová voda (Ruda, 2013, *online*). Všechny tyto jednotlivé složky vody (povrchové i podpovrchové) jsou součástí oběhu vody v krajině a vzájemně se ovlivňují.

Výskyt podpovrchových vod, jejich pohyb i kvalita jsou podmíněny prostředím, ve kterém se vyskytují (Šilar, 1996). Pohyb podzemní vody je zpravidla vyvolán gravitační silou a přenáší hydrostatický tlak. Při vyšším hydrostatickém tlaku se podzemní voda pohybuje puklinami i póry. Podzemní voda se přitom může pohybovat různými směry. Ve vertikálním směru se rozlišují tři pásma (svrchní, střední a spodní). Spodní pásmo je charakteristické nízkou interakcí a velmi zpomalenou výměnou povrchové a podzemní vody, která podmiňuje silnou mineralizaci. Vyskytují se zde vody slané s vysokým obsahem chloridů. Střední pásmo charakterizuje pomalá výměna vody. Pro svrchní pásmo je typická intenzivní výměna vody povrchové a podzemní. Voda je v něm převážně sladká a slabě mineralizovaná (Ruda, 2013, *online*).

1.4.1 PODZEMNÍ VODA

Podle zákona č. 254/2001 o vodách, jsou podzemními vodami takové vody, které se přirozeně vyskytují pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami. Za podzemní vody se také považují vody protékající drenážními systémy a vody ve studních (Šilar, 1996).

Podzemní vodou je tedy voda, která vyplňuje souvisle mezery mezi zrny říčních náplavů a vytváří z nich nádrž se souvislou hladinou, stejně tak jako voda, která do této nádrže prosakuje z povrchu v důsledku srážek (Otieno et al., 2012). Podzemní vodou však není voda, která je fyzikálně či chemicky vázána na částice minerálů a hornin, např. krystalová voda. Ve srovnání s půdní vodou (která se nachází pouze v půdním profilu, je dosažitelná pro půdní organismy a zahrnuje vodu bez ohledu na skupenství) jsou podzemní vody charakterizovány pouze skupenstvím kapalným (Khublaryan, 2009).

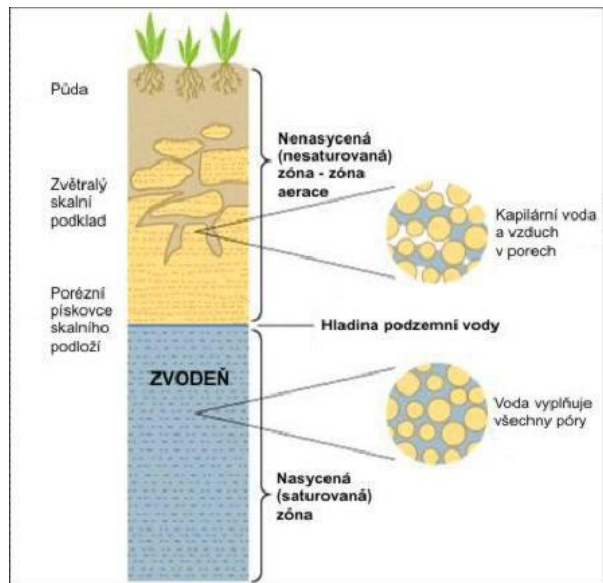
Výskyt podzemní vody je vázán na horniny (šterky, šterkopísky, pískovce, slepence, aj.), které mají schopnost vodu nejen pojmout, ale i předávat ji dále. Musí tedy obsahovat pukliny a póry větší než kapilární. V horninách s malými póry (jíly, jílovité hlíny a jílnaté písky) se nachází pouze půdní vláha (Ruda, 2013, *online*).

Změny objemu podzemní vody lze přibližně vypočítat ze změn hladiny podzemní vody a poměrného objemu gravitační vody (voda, pohybující se účinkem gravitační síly) v hornině. Při vhodné volbě pozorovacího období (např. 1 hydrologického roku), lze změnu objemu během roku vyloučit, pokud lze na konci období předpokládat stejný stav jako na jeho začátku (Šilar, 1996). V průběhu roku však hladina podzemní vody značně kolísá a to vlivem přirozených i umělých činitelů. Během jarního období dochází k doplňování zásob podzemních vod, a to díky jarnímu tání sněhu a malému výparu. Voda ze srážek tak může snadno infiltrovat do horninového prostředí, popřípadě odtéct do vodoteče a připojit se k povrchovému odtoku. V letním a podzimním období se většina srážek vypaří, nebo je zachycena ve svrchních vrstvách půdy. Z tohoto důvodu dochází (zpravidla v létě) ke snižování zásob podzemní vody. Naopak k doplňování zásob podzemních vod během letního období nastává pouze po vydatných deštích. Ve výsledku se tak nejnižší výška hladiny podzemní vody vyskytuje na podzim a v zimě (Kříž, 1983).

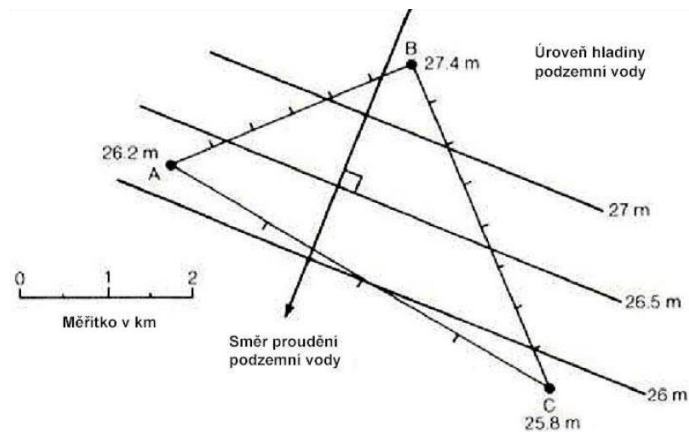
Hladina podzemní vody je ukazatelem energie, tj. hydraulického potenciálu podzemní vody, z něhož lze odvodit závěry o jejím proudění. Vedle toho lze ze změn o poloze hladiny a jejího kolísání v závislosti na čase usuzovat na různé přírodní i uměle způsobené změny v hydrogeologických poměrech (Šilar, 1996). U mělkých podzemních vod lze rozlišovat různé typy režimu, např. meziříční režim, který se vyskytuje na širokých rozvodích a který je charakterizován sezónními změnami hladiny podzemní vody s maximem v období po maximální infiltraci. Jiným příkladem může být tzv. přířční režim, který se vyskytuje podél vodních toků (např. v říčních nivách) a je charakterizován změnami hladiny podzemních vod v závislosti na kolísání průtoku v řekách. Dalším příkladem je krasový režim, který se vyskytuje v krasových oblastech a je obdobný jako u povrchových vodních toků nebo smíšený režim, který se vyskytuje zejména v podhůří a je závislý jak na režimu vodních toků vytékajících z pohoří, tak i na infiltraci srážkové vody (Ruda, 2013, *online*).

Svislá vzdálenost hladiny podzemní vody od terénu se nazývá hloubka hladiny podzemní vody. Pokud známe nadmořskou výšku hladiny podzemní vody ve třech vrtech rozmístěných ve tvaru trojúhelníku, můžeme po interpolaci na spojnici každých dvou vrtů stanovit místa stejných nadmořských výšek hladiny podzemní vody. Jejich spojením můžeme sestavit přímky, zvané hydroizohypsy (*obr. 4*). Následně můžeme odhadnout směr proudění podzemní vody, která se vždy pohybuje ve směru hydraulického sklonu, tj. ve směru sklonu hladiny podzemní vody, který je kolmý k hydroizohypsám (Šilar, 1996). Přičemž čím je větší sklon, tím proudí voda rychleji. Při takovémto určování proudění podzemní vody se předpokládá, že pohyb podzemní vody je laminární a že voda proudí celým průtočným profilem horninového prostředí. Horniny však v přírodních poměrech mají v různých místech různou propustnost (nejsou homogenní, ale heterogenní). Horninové prostředí má navíc i odlišnou propustnost v různých směrech (je anizotropní). Např. sedimentární horniny mají laterální propustnost ve směru vrstev několikanásobně vyšší než ve směru kolmém k vrstvám (MŽP, 2010). Podzemní voda se v horninovém prostředí dostává do pohybu účinkem vnějších sil, které na ni působí (především účinkem gravitace) a proudí propustnými polohami hornin z míst s vyšší mechanickou energií do míst s nižší mechanickou energií.

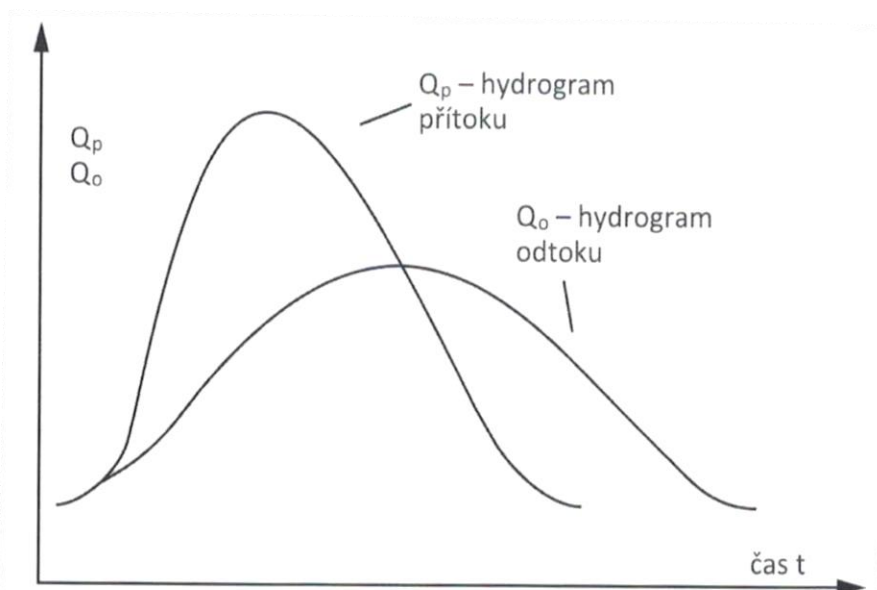
Protože hladina podzemní vody v místě infiltrace i v místě odvodnění kolísá vlivem přírodních i antropogenních příčin (např. srážek nebo závlah), mění se obecně mechanická energie vody s časem a tím kolísá i rychlost proudění. Pohyb podzemní vody je tedy neustálý. V době vysokých srážek nebo jarního tání jsou proto rychlosti proudění podzemní vody jiné než v době sucha. Podle okolností však můžeme pro kratší časové období, zejména je-li bez srážek, považovat pohyb za ustálený a rychlost za konstantní (Šilar, 1996).



Obr. 3: Základní pojmy související s existencí podzemních vod (Grygar, Jelínek, *online*).



Obr. 4: Sestrojení hydroizohypsy a stanovení směru proudění podzemní vody (MŽP, 2010)



Obr. 5: Schéma transformace povodňové vlny (Valenta a kol., 2012)

1.5 Hydrologická funkce říční nivy

Říční niva představuje prostor, který zásadně ovlivňuje odtokový proces v krajině. Na pojem říční niva můžeme nahlížet z několika pohledů.

Údolní niva představuje z geomorfologického hlediska část údolního dna, které je tvořené akumulacemi nezpevněných sedimentů a zaplavované při povodních (Demek, 1987). Z hlediska pedologie je niva vymezena především podle rozsahu půdních typů fluvizem, mladých půdních typů bez výraznějších diagnostických znaků a doplňkově glejů. Zrnitost je přitom proměnlivá a závisí na vzdálenosti od koryta (Šefrna, 2007). Z hydrologického hlediska je niva chápána ve vazbě k povodňovým událostem. Jedná se o území přilehlé k vodnímu toku, které je periodicky zaplavováno řekou při vyšších průtocích (Bren, 1993). Na nivu se dá nahlížet také z ekologického hlediska, které vymezuje nivu podle existence funkčního propojení vodního toku a říční nivy (Langhammer, 2012).

Na svazích říčních údolí se často vyskytují stupně vytvořené říční činností, které nazýváme říčními terasami. Svým vznikem to jsou bývalá údolní dna, která byla proříznuta vodním tokem ve fázi prohlubování údolí. Říční terasy mají tedy tvar stupně tvořeného jak srázným svahem, tak rovným povrchem terasy (Ruda, 2013, *online*).

Říční niva má mnoho funkcí. Dochází zde k významné interakci mezi povrchovou a podzemní vodou. Je zásobárnou podzemní vody pro obce a města v širokém okolí. V dobách s nízkými srážkami navíc dodává vodu do samotných řek. Velký význam má také při povodňových událostech díky výrazné retenci vody (Turek, Grill, 2011), která spočívá v zachycení části objemu povodňové vlny. Voda je následně převedena na výpar formou evaporace či transpirace, nebo se vsakuje do půdy a stává se součástí podzemní vody či hypodermického odtoku. V takových případech je tedy vyřazena z bilance vlastní povodňové vlny. V důsledku toho dochází k tlumení průtokových extrémů a k transformaci povodňové vlny (obr. 5). Transformace spočívá ve zpomalení odtoku díky vyrovnáváním podélného profilu hladiny v rámci povodňové vlny, ale také díky drsnostním charakteristikám nivy. Odtok se tak významně zpomalí díky vyššímu tření (Dostál a kol., 2012b). Hrubost povrchu nivy je podstatně vyšší než hrubost povrchu říčního koryta. Čím strukturovanější je niva (čím více je v původním přírodním stavu), tím se tento efekt projevuje výrazněji (Janský, Turek, 2012).

Říční nivy se tedy dají vnímat jako přírodní složka protipovodňové ochrany. Vlivem říční nivy na retenci vody se ze zahraničních autorů zabývají mj. Bayley (1991), Plate (2002) nebo Brigde (2003).

1.6 Interakce mezi řekou, nivou a podzemní vodou

Pro nivu je typická zvýšená hladina podzemní vody. Dokonce i nad hladinou podzemní vody je půda téměř plně nasycena kapilární vodou. Z tohoto důvodu může niva zásobovat vodou i samotou řeku. Při běžných vodních stavech se tedy očekává, že voda v nivě bude mít vyšší potenciál než voda v řece a proudění tak bude směřovat z nivy do řeky (Woessner, 2000).

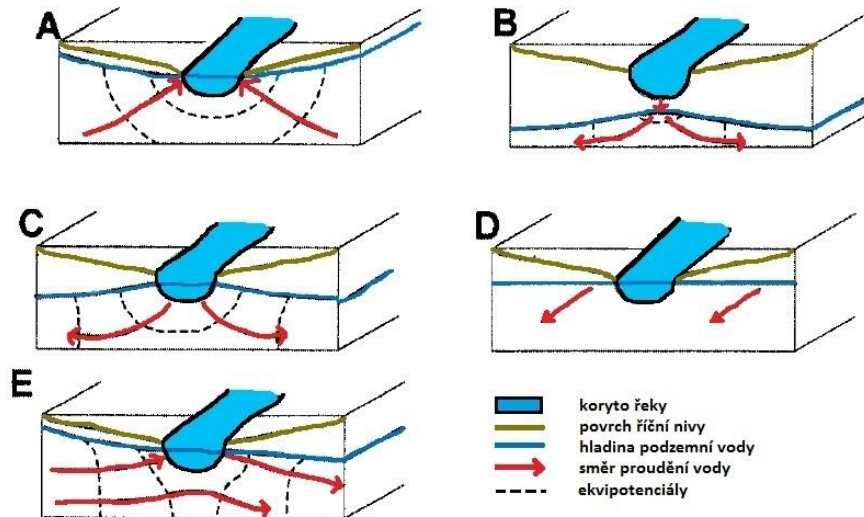
Gradient proudění se však může i otočit, a to například během léta nebo podzimu, kdy hladina podzemní vody klesá v důsledku snížení dotace vody z okolních svahů. Navíc se zvyšující se evaporací v období sucha klesá ještě níž. Za takových podmínek pak řeka naopak začne dotovat nivu (Burt, 2002). Naproti tomu při vyšších vodních stavech se nejprve potenciál v řece začne vyrovnávat s okolním a posléze také zpravidla dojde k otočení směru proudění a voda tak sytí nivu a její okolí. Po kulminaci se voda z nivy opět vrací do říčního toku (Slabá, 2011).

Z detailnějšího pohledu je směr proudění podzemní vody v nivě řízen několika faktory. V první řadě je to rozložení koeficientu hydraulické vodivosti v dané oblasti. Dále pak vztahem mezi hladinou vody v toku a gradientem podzemní vody v jeho okolí. V neposlední řadě také geometrií a pozicí koryta toku v nivě (Woessner, 2000).

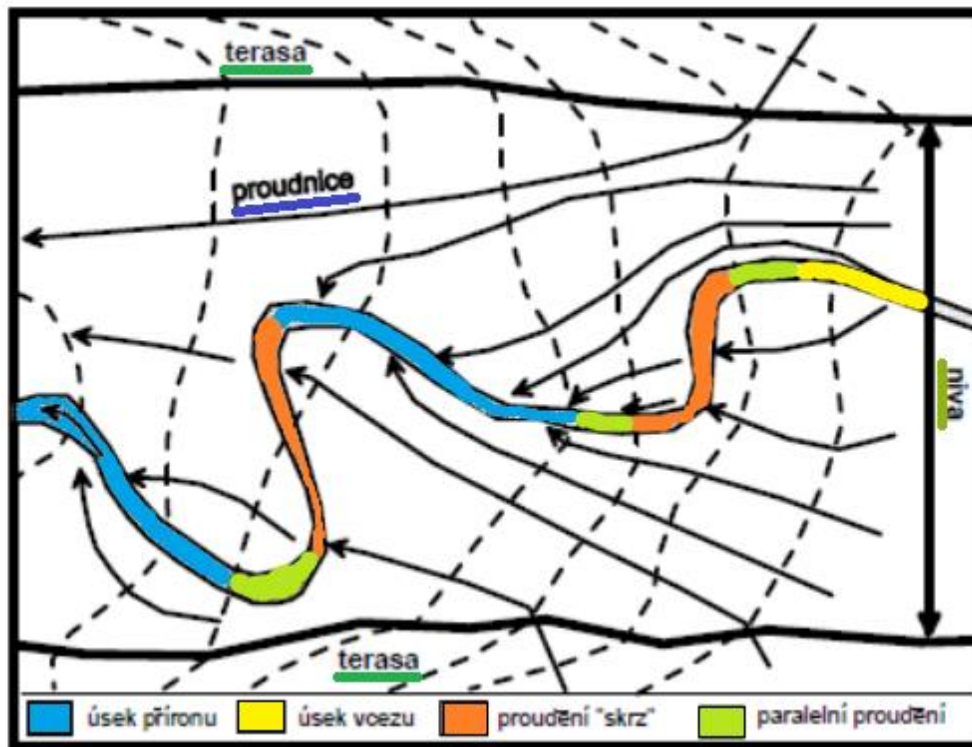
Směr proudění mezi nivou a řekou (obr. 6) se dá odhadovat z výšky hladiny v nivě a v řece. V případě, že je hydraulická výška podzemní vody v prostoru vyšší než tlaková výška hladiny v řece, tak voda proudí z nivy do řeky (A). V opačném případě voda z řeky dotuje nivu (C). Směr proudění z řeky do nivy je i v případě, že hladina podzemní vody je pod úrovní dna koryta toku (B). Pokud je na jednom břehu potenciál hladiny podzemní vody vyšší a na druhém nižší, dochází k tzv. transientnímu proudění napříč nivou (E). Pokud je hydraulická výška v obou prostředích stejná, dochází k paralelnímu proudění (D) – tento případ se nazývá „zero exchange channel“, tzn. že nedochází k žádné výměně vody v toku (Woessner, 1998). Pokud je koryto řeky a okolní niva orientována stejně, převažují varianty A, B, C a D. K transientnímu proudění (E) dochází, pokud koryto řeky kolmo protíná proudové pole podzemní vody. Kombinace všech zmíněných systémů proudění (obr. 7) se objevuje pouze v případě, že podélný sklon nivy a sklon koryta toku jsou prakticky stejné a příčný sklon nivy je zanedbatelný.

Interakce mezi podzemní a povrchovou vodou je ještě komplikovanější. Při vzezování vody z řeky do horninového prostředí dochází k tzv. kolmataci (naplavování, a tím snižování propustnosti zemin) v takzvané hyporheické zóně (oblast pod korytem toku). V této oblasti

dochází k výměně vody mezi povrchem a podzemím. Pokud není dno koryta zakolmatované, bude vztah mezi změnou hladiny toku, příronem do toku a vzezem do nivy lineární. S rostoucí kolmatací dna se však bude vzez do nivy vzhledem k rostoucí změně hladiny v toku zmenšovat. V extrémním případě nebude k vzez do nivy vůbec docházet (Slabá 2011).



Obr. 6: Interakce mezi podzemní vodou v nivě a vodním tokem, klasifikace proudění v průřezu (Woessner, 2000), vlastní zpracování
 (A) voda proudí z nivy do řeky (B) voda proudí z dna toku do nivy, (C) voda proudí z řeky do nivy, (D) paralelní proudění (model nulové výměny), (E) transientní proudění



Obr. 7: Střídání úseků příronu a vzez v korytě toku (Woessner, 1998), vlastní zpracování

2. FYZICKOGEOGRAFICKÝ PŘEHLED

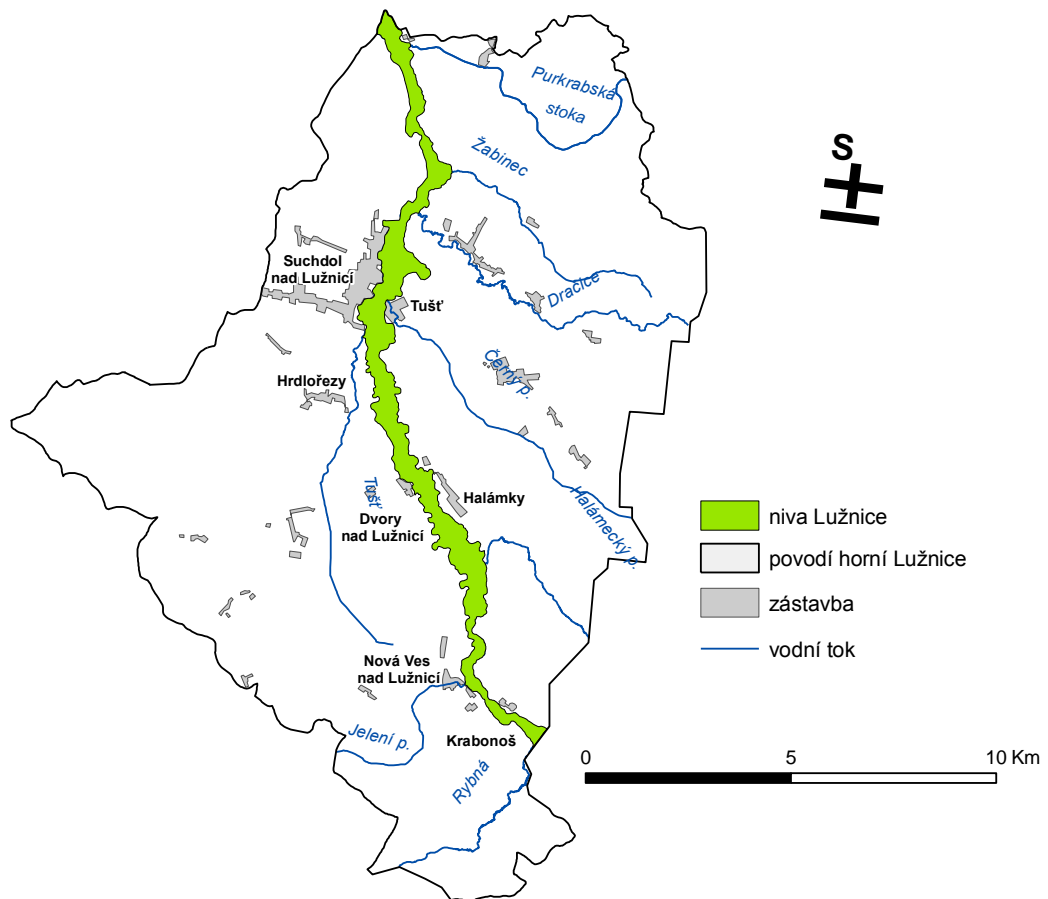
Tato kapitola se věnuje komplexní charakteristice fyzickogeografického prostředí zájmového území, které se nachází v horním povodí řeky Lužnice. Charakteristika této lokality již byla zpracována v rámci předchozích univerzitních prací zabývajících se touto oblastí, např. v DP Váňové (2008), Šimka (2008), nebo Svobody (2011). Z tohoto důvodu je v této práci provedena pouze souhrnná charakteristika oblasti s přihlédnutím na její důležitost v rámci tématu této studie. Zvláštní důraz je pak kladen na složky, které nejvíce ovlivňují hydrologické poměry zájmové oblasti.

2.1 Základní charakteristika zájmového území

Zájmové území se nalézá v chráněné krajinné oblasti Třeboňsko. Významná část území se rozprostírá v přírodní rezervaci Horní Lužnice a PR Na Ivance. Zkoumaný úsek začíná v jižních Čechách u obce Nová Ves nad Lužnicí a končí závěrovým profilem Pilař (obr. 8). Přesněji na 116,4 říčním kilometru, kde Český hydrometeorologický ústav provozuje limnigrafickou stanici (asi 400 m pod jezem Pilař). Přestože se lokalita Pilař nachází spíše ve středním toku Lužnice, je pro tuto část povodí vžitý název horní Lužnice.

Délka takto vymezeného území činí přibližně 16 km (vzdušnou čarou). Šířka zájmové oblasti se pohybuje v rozmezí 150 až 1100 m a je jasně vymezená údolními terasami, mezi kterými se rozprostírá zachovalá přírodní niva horního toku Lužnice (obr. 9). Koryto řeky zde často meandruje, a tak se zde vyskytuje velké množství mrtvých ramen a terénních depresí.

Součástí zájmové oblasti je území mezi obcemi Nová Ves nad Lužnicí a Dvory nad Lužnicí osazené piezometry. Zde probíhá měření režimu hladin podzemních vod. Toto území je situováno v plochem reliéfu nivy Lužnice, kde se nadmořská výška pohybuje od 457 do 463 m n. m. (Slabá, 2011).



Obr. 8: Vymezení nivy horní Lužnice (Svoboda, 2008)



Obr. 9: PR Horní Lužnice, (Ševčík, *online*)

2.2 Hydrologická specifika horní Lužnice

Podrobný rozbor hydrologických poměrů horní Lužnice zpracovali ve svých diplomových pracích Šimek (2008) a Svoboda (2011). Z tohoto důvodu zde bude stručně uvedena jen základní hydrologická charakteristika zájmového povodí.

Tvar a uspořádání říční sítě má rozhodující vliv na chování odtoku, zvláště při extrémních hydrologických situacích. Zatímco celé povodí Lužnice lze charakterizovat jako mírně protáhlé, tak povodí horní Lužnice je značně asymetrické a vějířovitého typu. Většina přítoků přitéká zprava. Takovýto tvar povodí může mít za následek eskalaci povodně, jelikož vodnost jednotlivých přítoků se často střetává v jednom uzlovém bodě (Ruda, 2014, *online*). Z tohoto důvodu se vějířovitý typ říční sítě často vyznačuje rychlým nárůstem odtoku a rychlou kulminací.

Nejvýznamnější přítok Lužnice ve studované oblasti je Halámecký potok v horním profilu povodí. Dále Tušť, ústící do Lužnice na začátku obce Suchdol nad Lužnicí, Černý potok, Dračice a Žabinec (*obr. 10*). Podrobnější charakteristika jednotlivých přítoků Lužnice je popsána v práci Pavla Svobody (2008 a 2011).

Průměrný průtok Lužnice v zájmové oblasti dosahuje přibližně $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a její sklon je okolo 0,08% (Turek, Grill, 2011). V závěrovém profilu Pilař je průměrný roční průtok $6,21 \text{ m}^3/\text{s}$ a u hlásného profilu Nová Ves nad Lužnicí je průměrný průtok $5,14 \text{ m}^3/\text{s}$ (ČHMÚ, 2015). Charakteristika N-letých průtoků pro jednotlivé profily je uvedena v *tab. 1*.

Pro celý tok Lužnice je typická vysoká křivolakost. Od státní hranice po závěrečný profil Pilař dosahuje hodnoty 2, což dokazuje výrazné meandrování toku (Hastíková, 2012).

2.3 Morfologie koryta toku, nivy a říčních teras

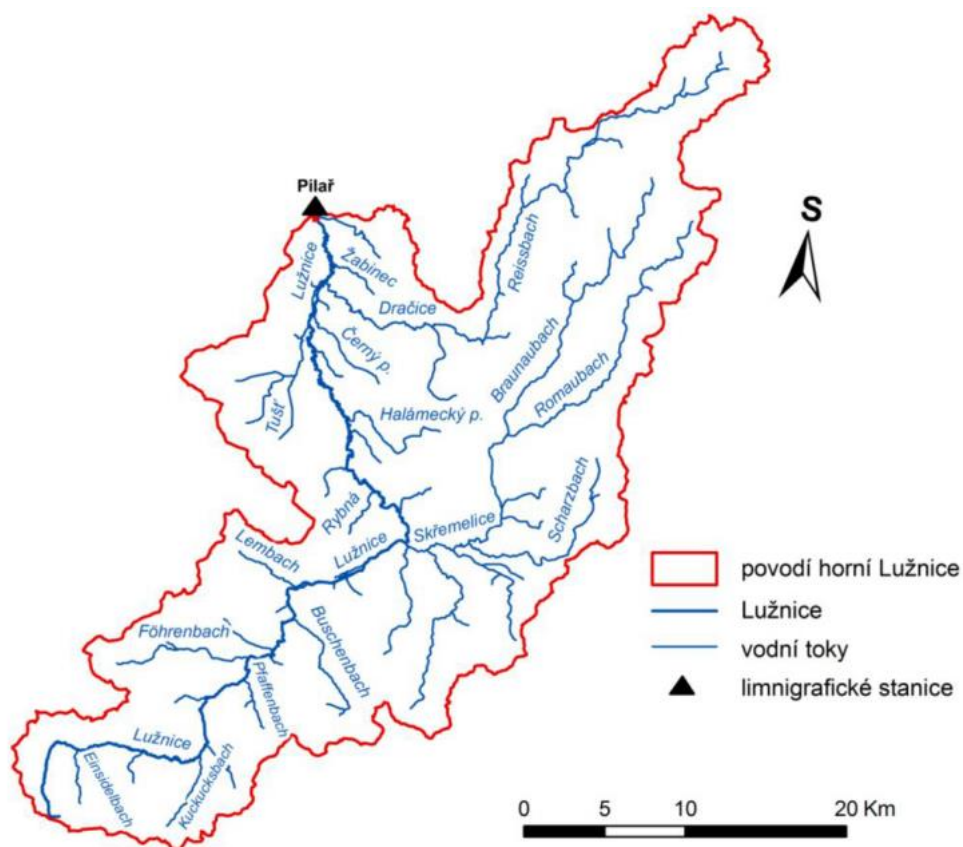
Plocha průtočného profilu určuje kapacitu koryta, a tak ovlivňuje množství vody, které je schopné koryto pojmout, aniž by došlo k rozlivu do okolní nivy. Podle výpočtů Musilové (2010) má koryto Lužnice (v úseku Nová Ves n. L. – Suchdol n. L.) největší plochu průtočného profilu právě v oblasti Suchdola.¹ U obce Suchdol nad Lužnicí byla totiž provedena regulace toku narovnáním, což vyvolalo vlnu zpětné eroze, která rozšířila profil koryta, a tím zvýšila jeho průtočnou kapacitu (Máčka a kol., 2011). Nejmenší plocha průtočného profilu koryta je v oblasti u Halámek, kde také dochází nečastěji k rozliti říční

¹ Lokalizace jednotlivých studijních oblastí Musilové (2010) jsou znázorněny na *obr. 11*.

vody do nivy. Přestože je v oblasti Halámek koryto s nejnižší průtočnou kapacitou, dochází zde k velké variabilitě šířky koryta, způsobené meandrováním toku. Největší rozdíly byly naměřeny mezi vrcholy meandrů a inflexními body. Hloubka koryta se v průběhu toku také mění. Její variabilita kolísá mezi 0,8 – 3,0 m (Musilová, 2010). Příčný profil koryta je často asymetrický v důsledku meandrování toku. V oblasti inflexních bodů meandrů je koryto většinou stejnoměrně hluboké. Naproti tomu ve vrcholech meandrů je koryto zpravidla hlubší u výsepního břehu. Jesevní břeh je výrazně mělký, jelikož zde dochází k akumulaci materiálu. Tento jev byl podle Musilové (2010) nejvíce rozvinut v úseku nivy v blízkosti Suchdola nad Lužnicí, kde jsou nejlépe vykrouženy meandry toku. Podrobnější charakteristika morfologických veličin koryta je uvedena v [tab. 2](#).

Lidskou činností je tedy významněji ovlivněna niva v oblasti Suchdola, kde došlo k přirozenému zvýšení kapacity koryta. Přírodně bližší jsou však úseky v horní části zájmového území, kde povodňovou vlnu zachytí niva a její vegetace. Významným přírodním protipovodňovým opatřením jsou zde bujné porosty vrb, které zpomalují povodňovou vlnu a snižují tak následné škody dále po proudu.

Morfologie terénu je znázorněna na [obr. 11](#), kde je vykreslen příčný profil celým údolím skrz nivu v jednotlivých úsecích zájmového povodí.



Obr. 10: Hydrografie povodí horní Lužnice včetně rakouské části povodí (Svoboda, 2008)

Tab. 1: Charakteristika N-letých průtoků pro profily Pilař a Nová Ves nad Lužnicí

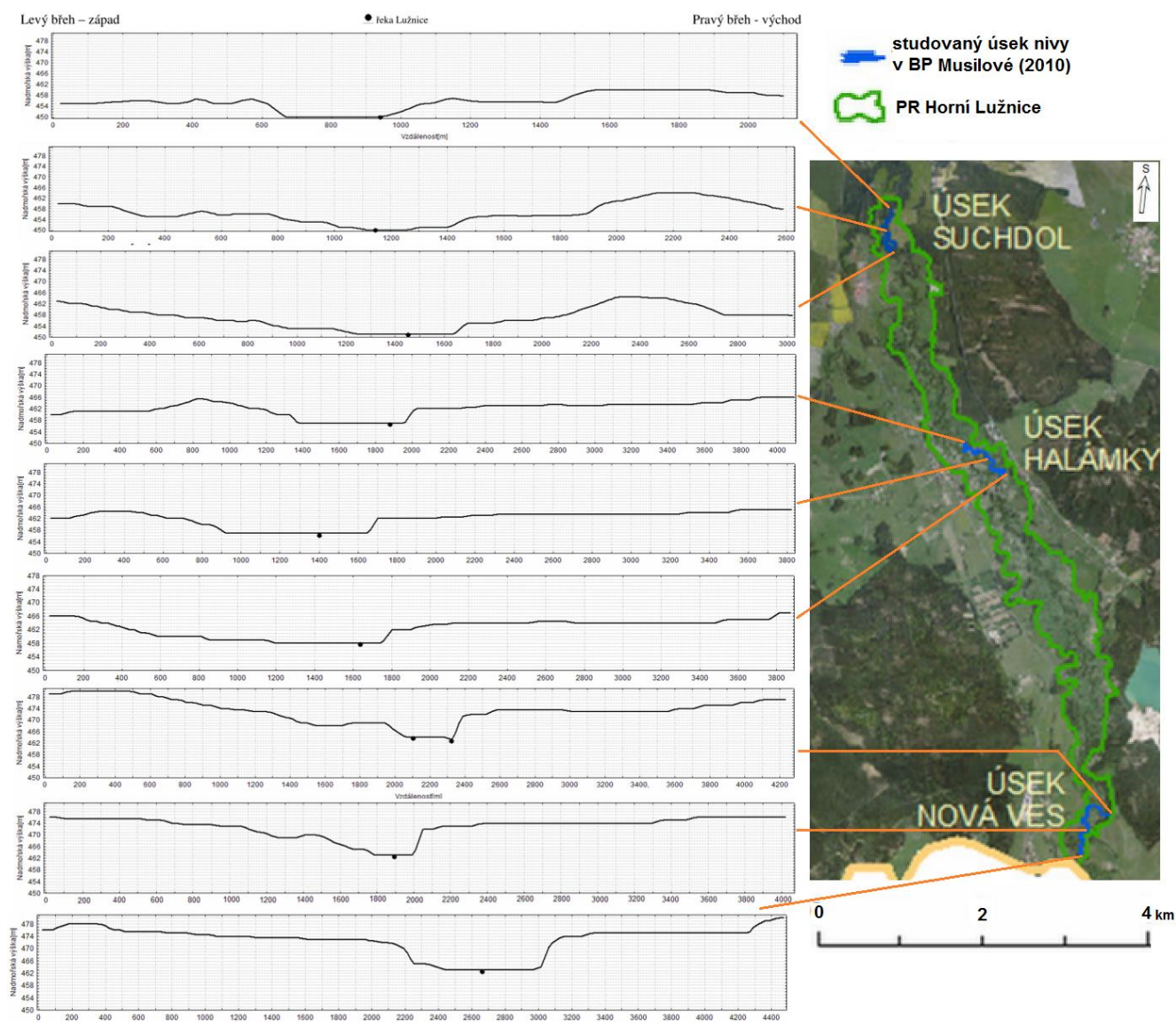
	N-letost	Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
Pilař	Q_N	33	51	84	115	154	215	270
Nová Ves	(m^3/s)	23	41	65	88	122	152	185

Zdroj: ČHMÚ (2015, *online*) vlastní zpracování

Tab. 2: Charakteristika koryta v jednotlivých úsecích toku v září 2009,

Úsek	Plocha průtočného profilu (m^2)		Průměrná šířka (m)		Průměrná hloubka (m)	
	inflexy	vrcholy	inflexy	vrcholy	inflexy	vrcholy
Suchdol	32,33	25,82	16,56	18,09	1,78	1,34
Halámky	18,00	23,00	12,13	16,00	1,41	1,45
Nová Ves	22,50	24,50	15,08	16,75	1,44	1,40

Zdroj: Musilová (2010), vlastní zpracování



Obr. 11: Příčné profily údolní nivy v zájmovém území. Zdroj Musilová (2010), vlastní zpracování

Tab. 3: Variabilita mocnosti říčních sedimentů.

	Mocnost [m]	Suchdol	Halámky	Nová Ves
niva - povodňové hlíny	min	0,1	0,1	-
	max	1	2,3	-
	průměr	0,5	0,9	-
	modus	0,2	1	-
niva - fluvialní sediment	min	5	4,8	-
	max	9,2	28	-
	průměr	7,5	17,4	-
	modus	6,5	18	-
říční terasy - fluvialní sedimenty	min	1,5	1	1
	max	17,4	26,4	14,5
	průměr	10,1	11,2	4,9
	modus	8	9	2,6

Zdroj: Musilová (2010), upraveno

2.4 Geologické a geomorfologické poměry

Z hlediska regionálního členění reliéfu České republiky spadá zájmové území do provincie Česká Vysočina, subprovincie Česko-moravská soustava, oblasti Jihočeská pánev IIB, Třeboňská pánev IIB-2. Pod jednotku Třeboňská pánev (s plochou 1360 km², střední výškou 457 m a středním sklonem 1°17') patří akumulární roviny pánve Lomnické. Součástí Lomnické pánve je tektonicky podmíněný okrsek Českovelenická pánev (tab. 4) se strukturně denundačními plošinami, plochými hřbety a odlehlíky. V tomto okrsku se nachází studovaná lokalita (Demek, Mackovčín, 2006).

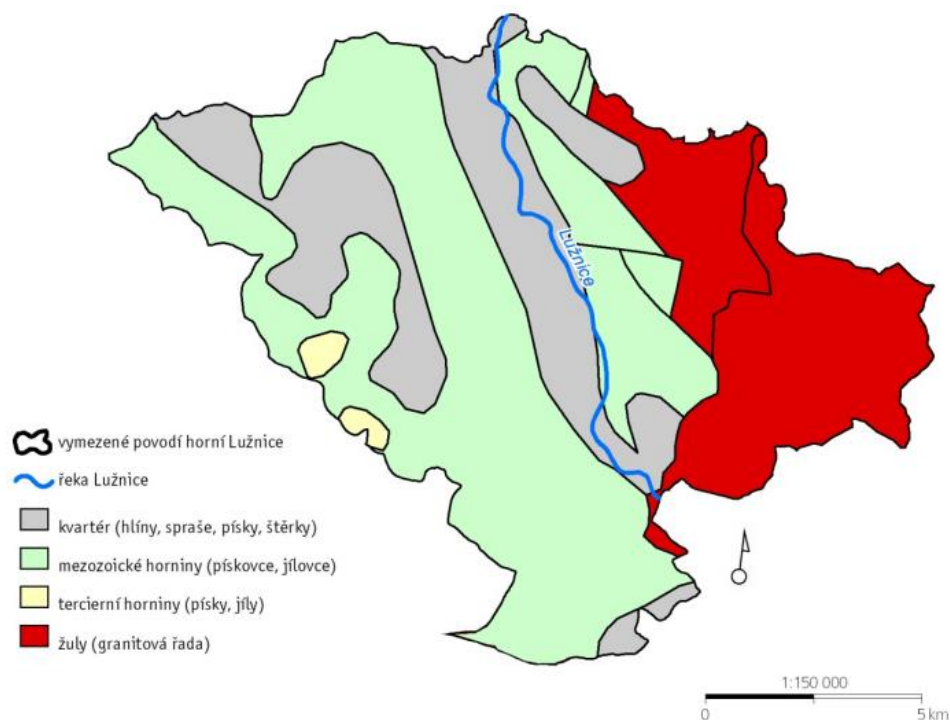
Třeboňská pánev vznikla při procesech saxonské zlomové tektoniky během křídového a terciéru. Výplň této pánve tvoří sladkovodní svrchnokřídové sedimenty klikovského souvrství a sedimenty terciérní. Údolní niva povodí horní Lužnice je vyplněna fluviálními písčými a písčivými štěrky holocenního a pleistocenního stáří (Slabá, 2011). Nejvíce jsou kvartérní sedimenty vyvinuty právě v pruhu širokém přibližně 3 km táhnoucím se podél řeky Lužnice od Nové Vsi po Pilař. V této oblasti dosahují mocnosti okolo 5–7 m. V přehloubeném korytě pod Novou Vsí však mohou fluviální sedimenty dosahovat mocnosti až 23 m (Hastíková, 2012). V zátopových oblastech jsou obvykle tyto říční sedimenty překryty holocenními povodňovými hlínami o mocnosti přibližně 2 m (Němeček, Puchta, 1964 cit. dle Slabá, 2011, s. 6). Materiál sedimentů pochází především z okolních svahů, které se ovšem navzájem liší (obr. 12). Zatímco říční terasy na západ od nivy (levý břeh) jsou pokryty deluviálními sedimenty, místy sprašemi a sprašovými hlínami, tak terasy východně od nivy (pravý břeh) mají v podloží neogenní jemnozrný granodiorit s vložkami hrubozrných žul (Geologická mapa 3311 Třeboň, *online*). Mocnost říčních sedimentů v jednotlivých úsecích nivy je znázorněna v tab. 3.

V oblasti mezi Halámkami a Dvory nad Lužnicí byly ve vrtech nalezeny terciérní sedimenty. Z litologického hlediska se jednalo o nazelenalý jílovitý písek, podle kterého lze usuzovat, že pod kvartérním kolektorem je nepropustné podloží.

Tab. 4: Postavení zájmového území v rámci geomorfologického členění ČR

Systém	Subsystém	Provincie	Subprovincie	Oblast	Celek	Podcelek	Okrsek	Kód
Hercynský systém	Hercynská pohoří	Česká vysočina	Česko-moravská soustava	Jihočeské pánve	Třeboňská pánev	Lomnická pánev	Českovelenická pánev	IIB-2A-2

Zdroj: Demek, Mackovčín (2006).



Obr. 12: Geologické poměry v povodí horní Lužnice od státní hranice po Suchdol n. L. (Hastíková, 2012)

2.4.1 HYDROGEOLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA

Třeboňská pánev je bohatým zdrojem podzemních vod, které jsou dotovány srážkami (v nivě a jejím okolí i řekou). Dotace z rybníků je méně významná, jelikož mají zpravidla kolmatované dno kalovými splachy (Krásný, 1980 cit. dle Šimek, 2008, s. 30). Sedimenty Třeboňské pánve tvoří celek, jehož zvodnění je vázáno na pefito-psamitické polohy kolektorů s převážně průlinovou propustností. Podél toku dochází k užší spojitosti povrchových a podzemních vod. Z hlediska pórovitosti a transmisivity (průtočnosti) však zde existují charakteristické výkyvy maxim a minim, neboť pískové kolektory a jílovité izolátory materiálu se tu střídají a prolínají. Zvodně při tektonických poruchách s mocnějšími krytem nepropustných jílu dokonce místně vytváří artéské zvodně (Šimek, 2008). Nejvyšší hodnoty transmisivity byly zjištěny v oblasti mezi Suchdolem n. Lužnicí a Majdalenou (Krásný, 2012), tedy v severní části zájmového území.

Kvartérní fluvialní sedimenty mají v nivě přímou hydrodynamickou souvislost s hladinou Lužnice. Ovšem s daným časovým zpožděním, jelikož koloběh podzemní vody podléhá změnám pomaleji než povrchový oběh. Při vyšších vodních stavech dochází k infiltraci do přilehlých aluvionů. Z opačné strany sem pak drenují i vzdálenější zvodnělé struktury pánve. (Šimek, 2008).

2.5 Půdní a vegetační pokryv

Niva horní Lužnice je poměrně málo ovlivněna lidskou činností. Půdy v zájmovém území jsou formovány vysokou hladinou podzemní vody a trvalým zamokřením. Dominantní zastoupení v zájmové oblasti má půdní typ fluvizem oglejená (Pithart a kol., 2012). V místech s jílovitým materiálem v půdním profilu a v terénních depresích se objevují především oglejené, glejové formy i pseudogleje. Na dně trvalých tůní se nalézají hydromorfni sapropelové půdy (Dostál a kol., 2012a).

V akumulacích současných teras se vytváří obzor freatické vody s volnou hladinou, která je po větší část roku nad úrovní hladiny v řece. Po většinu roku tak dochází k drénování do nivy a k dotaci místních kolektorů. Z hydroopedologického hlediska jsou holocénní náplavy v nivě horní Lužnice v přímé hydraulické spojitosti s říčním tokem a vyznačují se výbornou průlinovou propustností. Kapilární výška nivních hlín se v nivě Lužnice pohybuje mezi 0,5 – 2,5 m, z čehož lze předpokládat, že na většině míst dochází ke vzlínání podzemní vody až k povrchu (Kraus, 1988).

Z hlediska vegetace je většina nivy porostlá trávami a podél toku se nachází především vrby a topoly. Břehová vegetace je důležitá při stabilizaci říčního koryta a při ovlivňování odtoku při vyšších vodních stavech (Svoboda, 2008). Výskyt břehových porostů je také důležitý z hlediska ekologie. Např. mrtvé dřevo vytváří nová stanoviště, která v potocích a řekách posilují biodiverzitu (Siemens et al., 2006). Rozložením říčního dřeva přímo v oblasti horního toku Lužnice se věnovala Musilová (2010) a Máčka (2011).

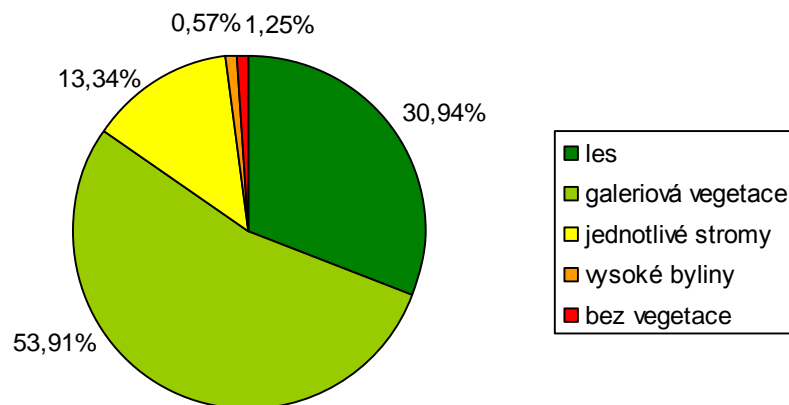
Podle terénního výzkumu Pavla Svobody (2008) je převládajícím prvkem břehového porostu galeriová vegetace (souvislý pás stromů a keřů podél toku) a to z 54% délky toku. Jednotlivý podíl kategorií břehové vegetace znázorňuje [graf 1](#).

Tůně, které se nacházejí v nivě horní Lužnice, jsou také ekologicky důležité, jelikož hostí ohrožené a vzácné druhy jako např. stulík malý (*Nuphar pumila*), nebo stulík žlutý (*Nuphar lutea*), kosatec sibiřský (*Iris sibirica*) nebo kosatec žlutý (*Iris pseudacorus*), leknín bělostný (*Nymphaea candida*), žebratka bahenní (*Hottonia palustris*), žabník kopinatý (*Alisma lanceolatum*) a podobně (Pithart a kol., 2012). Studovaná lokalita je také unikátní z algologického hlediska, díky výskytu mnoha druhů řas.

Niva Lužnice hostí i řadu cenných biotopů. Část z nich je zachycena na leteckém snímku viz [obr. 13](#). Nejcennějším biotopem je měkký a tvrdý lužní les (Pithart, Křováková, 2012). Lužní lesy reprezentují závěrečné stádium sukcese (klimax) a vyznačují se specifickou druhovou skladbou (Chuman, Matějček, Lipský, 2007). Hodnota biodiverzity v úseku nivy

Lužnice byla stanovena pomocí tzv. hesenské metody. Postup hodnocení touto metodou je srozumitelně popsán v publikaci Pithart a kol. (2012).

Graf 1: Podíl jednotlivých kategorií břehové vegetace horní Lužnice (Svoboda, 2008)



Obr. 13: Charakteristické biotopy území nivy Lužnice (Pithart, Křováková, 2012)

2.6 Klimatické podmínky

Klimatické podmínky v povodí Lužnice jsou ovlivněny geografickou polohou v mírném klimatickém pásu střední Evropy, kde se projevuje vliv oceánského i pevninského podnebí. Dále se také uplatňuje geomorfologická členitost terénu a expozice terénu vůči proudění vzduchu. Hlavní dynamickou silou jsou cyklonální tlakové níže, které přicházejí obvykle od oceánu ze západu či severozápadu (Havlová, 1998).

Širší okolí zájmového území patří podle ČHMÚ do mírně teplé oblasti. V jihočeském kraji je dlouhodobá průměrná roční teplota 7,1 °C a průměrný úhrn srážek 659 mm za rok (tab. 5).

Ovšem jižní část Třeboňské pánve, kde se nachází studovaná lokalita, je poněkud vlhčí a chladnější. Průměrný roční úhrn srážek činí 748,7 mm, což je o 59 mm více než pro celé povodí Lužnice. V pramenných oblastech Skřemelice a Dračice klesá průměrná roční teplota pod 6°C a v pramenné oblasti Lužnice, v Novohradských Horách, již panuje horské podnebí (Šimek, 2008). Klimatické podmínky Lužnice jsou tedy úměrně závislé na nadmořské výšce.

2.6.1 SRÁŽKOVÉ POMĚRY

Na množství srážek spadlých v povodí mají nejvýznamnější vliv příčinné meteorologické situace v interakci s morfologií terénu. Klima a tedy i množství srážek je ovlivněno nadmořskou výškou. Proto je severní část Třeboňské pánve nejsušší (průměrně 650 mm/rok) a směrem k jihu množství srážek stoupá. V nejjižnější části povodí dosahuje až 800 mm/rok (Chábera, 1985).

Povodí horní Lužnice je silně exponováno srážkám, jež přináší oblačnost z východního, severovýchodního a severního směru. Takovéto srážky jsou navíc v části Novohradských hor silně orograficky zesilovány. Častější a vydatnější srážky přináší do horního povodí Lužnice oblačnost jdoucí od severozápadu. Ovšem v případě srážek přicházejících přímo ze západu, popřípadě jihozápadu, se zde projevuje srážkový stín Šumavy a Novohradských hor. Výsledné úhrny srážek v povodí Lužnice pak bývají nižší než v sousedních oblastech. Západní a jihozápadní proudění zase často přináší výrazné oteplení v zimě a předjaří. Dochází tak k rychlému tání sněhu, což v kombinaci s dešťovými srážkami často vede k povodňovým událostem. Významná frontální oblačnost z jihu a jihovýchodu ovlivňuje povodí Lužnice jen výjimečně (Šimek, 2008).

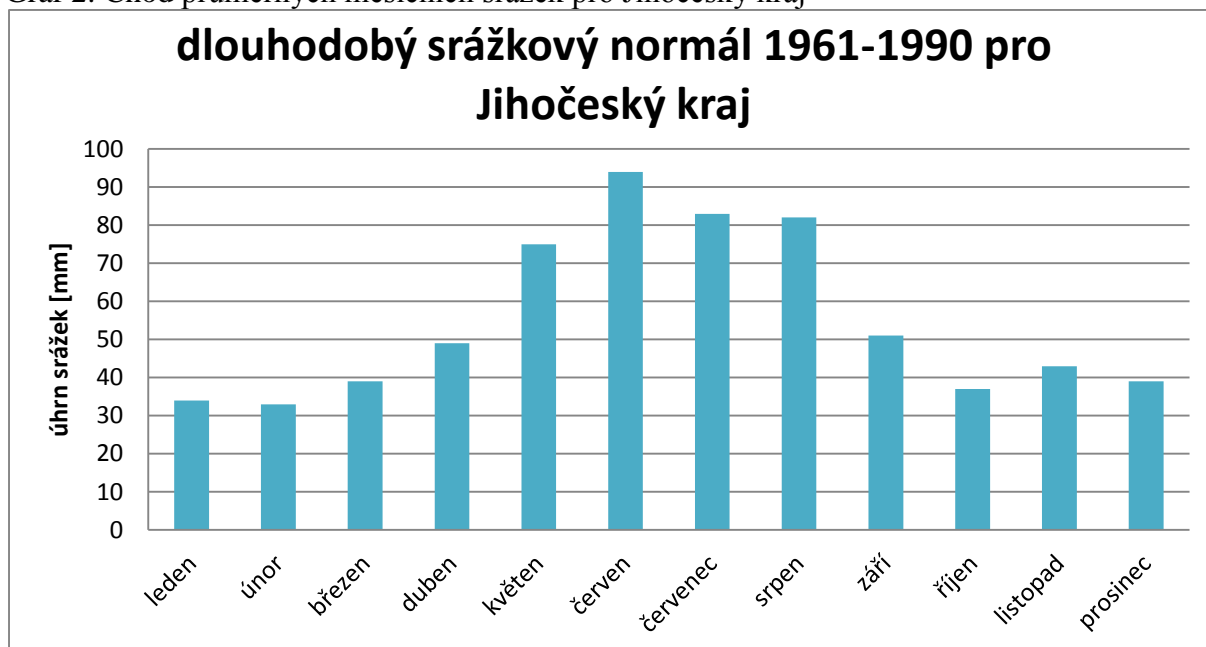
Z **grafu 2** lze vyčíst, že nejdeštivějším obdobím pro Jihočeský kraj je jednoznačně léto, což odpovídá i povodňovým událostem na Lužnici (např. léto 2002, 2009 nebo 2013). K povodním v zájmovém území však dochází i v obdobích, kdy je na našem území poměrně málo srážek, protože voda přitéká z rakouského Waldviertelu (Němeček, Puchta, 1964 cit. dle Slabá, 2011, s. 5).

Tab. 5: Průměrné roční srážky a průměrné denní teploty pro Jihočeský kraj

rok	místo	Roční úhrn srážek (mm)	Průměrná denní teplota (°C)
2008	Jihočeský kraj	598	8,3
2009	Jihočeský kraj	828	8,0
2010	Jihočeský kraj	792	6,8
2011	Jihočeský kraj	641	8,0
2012	Jihočeský kraj	765	7,8
2013	Jihočeský kraj	760	7,5
2014	Jihočeský kraj	688	8,6

Zdroj: ČHMÚ (2015, *online*)

Graf 2: Chod průměrných měsíčních srážek pro Jihočeský kraj



Zdroj: ČHMÚ (2015, *online*)

3. VSTUPNÍ HYDROLOGICKÁ DATA

K hodnocení hydrologického režimu jsou zapotřebí měření, na základě kterých se dají charakterizovat hydrologické poměry v daném toku. V české části povodí horní Lužnice se nachází dvě limnigrafické stanice spravované Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) a státním podnikem Povodí Vltavy. Jedna je umístěna v závěrovém profilu zájmového území – Pilař, druhá je v horní části studovaného povodí, v obci Nová Ves nad Lužnicí.

Pro účely detailnějšího monitoringu průtoků byly v rámci projektu Niva, v roce 2008, v úseku mezi Novou Vsí n. L. a Suchdolem n. L., nainstalovány čtyři automatické tlakové hladinoměry firmy Fiedler-Mágr. Přibližné umístění jednotlivých čidel (pracovní názvy: Nová Ves, Niva, Dvory a Suchdol) je znázorněno na [obr. 14](#). V jednotlivých profilech pak v rámci monitorovací sítě PřF UK byla v zájmovém území pravidelně prováděna hydrometrická měření průtoků a získané hodnoty sloužily k sestavení konsumpčních křivek pro jednotlivé profily. S pomocí konsumpčních křivek ([graf 3](#)) lze převést hodnoty vodních stavů, zaznamenaných hladinoměry na hodnoty průtoků.

Pro analýzu interakce podzemní a povrchové vody je kromě dat z povrchových toků zapotřebí i datová řada o podzemních vodách v dané lokalitě. Z toho důvodu byly v zájmové lokalitě vyhloubeny kolektivem katedry FGG PřF UK pozorovací vrty, sloužící ke snímání výšky hladiny podzemní vody.

Tato práce je tedy založena na vstupních datech, která lze rozdělit do několika skupin:

- 1) Data z limnigrafických stanic
- 2) Datové řady z automatických hladinoměrů PřF UK
- 3) Data získaná hydrometrováním průtoků ve vybraných profilech PřF UK
- 4) Data z podzemních vrtů (leveloggerů)
- 5) Data z digitálního modelu reliéfu
- 6) Data získaná z prací předchozích autorů, zabývajících se podobnou problematikou v dané lokalitě

3.1 Data z limnigrafické stanice

V zájmovém území se nacházejí dvě limnigrafické stanice spravované ČHMÚ a Povodí Vltavy, a.s. Stanice Pilař je umístěna na 116,4 říčním kilometru a slouží i jako závěrový profil zájmového území. Druhá limnigrafická stanice je v obci Nová Ves nad Lužnicí a to na 146,8 říčním kilometru. Svoboda (2011) však ve své práci uvádí, že stanice Nová Ves se jeví

nepřesná, chybí jí spolehlivá měrná křivka průtoku a podle pracovníků ČHMÚ tento profil průtoky spíše nadhodnocuje. Pro hodnocení hydrologického režimu horní Lužnice byla tedy využita pouze řada denních průměrných průtoků ze stanice Pilař a to pro období od 1. 1. 1965 do 31. 10. 2014.

Zpracování dat proběhlo v programu MS Excel 2010, kde z průměrných denních průtoků byly vypočteny další charakteristiky odtoku, jako jsou průměrné měsíční průtoky (Q_m) či průměrné průtoky za jednotlivé roky a roční období. Přehled o maximálních denních průtocích v jednotlivých letech ([graf 8](#)) byl sestaven výběrem vždy nejvyššího průměrného denního průtoku v konkrétním roce.

3.2 Automatické hladinoměry PŘF UK

Kontinuální monitoring výšky hladin je založen především na systému tenzometrických automatických měřicích zařízení od firmy Fiedler-Mágr. Automatický transfer dat na server umožňuje operativní prohlížení, editaci a konfiguraci měřených hodnot i parametrů včetně operativního řešení nastalé extrémní hydrologické situace a kontrolu funkčnosti celých měřicích sestav. Rozmístění jednotlivých hladinoměrů je znázorněno na [obr. 14](#). Přístroje provádí kontinuální měření, avšak pokaždé v jiném intervalu. Stanice Nová Ves stahuje data vždy v 15minutovém kroku, na rozdíl od stanic Niva a Dvory, které měří data v intervalu 10 minut. Data jsou po přenosu dále zálohována na serveru výrobce, na kterém mají oprávnění klienti umožněn přístup k datům.

Další hladinoměr, měřící kolísání výšky hladiny, je nainstalován ve stanici Suchdol a měří data vždy po 30 minutách. Stejný typ hladinoměru je dále umístěn v toku Lužnice na dolním profilu území osazeného piezometry a na vybraných hladinách jezírek a tůní. Tyto hladinoměry jsou osazeny tenzometrem s dataloggerem od firmy Solinst a jejich data je zapotřebí stahovat manuálně.

Zpracování dat hladinoměrů firmy Fiedler-Mágr proběhlo v programu MS Excel 2010. Datová řada z jednotlivých hladinoměrů byla promítnuta do grafu a následně analyzována. Nespolehlivé hodnoty (např. skokový nárůst hladiny o 4,5 m během 10 min.) byly vymazány. Zpracování dat z hladinoměrů od firmy Solinst je totožné s postupem popsáním u pozorovacích vrtů. Výjimkou je, že stanice Suchdol byla kompenzovaná na základě barologgeru umístěného v Nových Dvorech (tedy nikoli barologgeru Základna, jako u podzemních vrtů).

Datová řada, která byla k dispozici pro tuto práci, je uvedena v [tab. 8](#).

3.3 Hydrometrování průtoků

Hydrometrováním toků (obr. 18) byla získána data, jež sloužila k sestavení konsumpční křivky neboli měrné křivky průtoků pro jednotlivé profily (graf 3). Při měření průtoků byly používány různé přístroje. Jednalo se buď o hydrometrickou vrtuli typu OTT C 31, popřípadě C 2, nebo o přístroje využívající Dopplerovský princip měření rychlostí: Flow Tracker a ADCP (Acoustics Doppler Current Profiler).

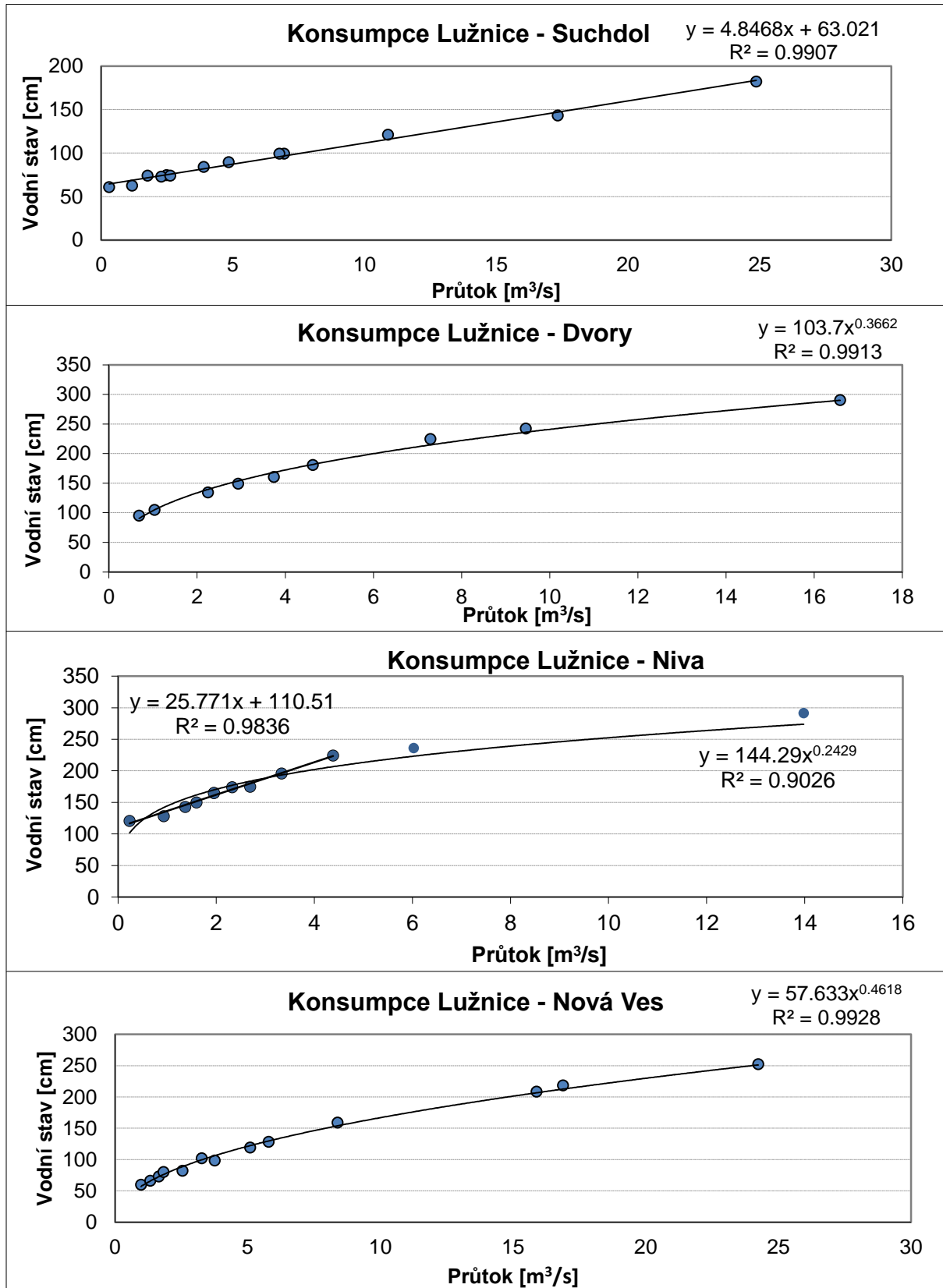
Naměřená data byla dále zpracována v počítačovém programu MS Excel 2010. Samotné sestavení konsumpční křivky bylo provedeno pomocí aplikace spojnice trendu mezi změřenými průtoky a vodními stavu.

Přestože byly konsumpční křivky sestaveny na základě relativně dostatečného množství měření, projevuje se absence naměřených povodňových průtoků. Pro profil Suchdol a Niva nejlépe odpovídá lineární spojnice trendu, která u obou profilů vykazuje spolehlivost přes 96%. Je však nezbytné počítat s tím, že při sestavování těchto konsumpčních křivek chybí data vyšších vodních stavů. V době vysokých průtoků se voda vylíje z koryta řeky a charakter křivky se radikálně změní. Navrhovaná konsumpční křivka pro Suchdol tak platí s 99% spolehlivostí do vodního stavu 182 cm, což odpovídá přibližně 24,9 m³/s. Pro profil Niva je konsumpční křivka spolehlivá přes 98%, a to do hodnoty vodního stavu 224 cm, což představuje průtok přibližně o hodnotě 4,4 m³/s.

Konsumpční křivka pro Dvory a Novou Ves má průběh mocninné funkce a v obou případech se spolehlivostí přes 99%. Přestože by bylo vhodné získat data při vyšších průtocích, lze očekávat, že spolehlivost těchto křivek při povodňových událostech je mnohem vyšší než už u profilů s konsumpčními křivkami s lineární závislostí.

V následující tab. 6 jsou uvedeny vzorce, které byly v této práci použity pro výpočet průtoků v jednotlivých profilech s určením jejich platnosti. Největší komplikace vznikly u profilu Suchdol, kde je obtížné určit zlomový bod, tedy hodnotu vodního stavu, která bude přepočítávána na průtok podle předpisu lineární funkce a kdy už bude použita funkce mocninná. Vzhledem k tomu, že při extrémních průtocích, které se odehrály v červnu 2013, byl hladinoměr v Suchdole mimo provoz, tak nevyšší naměřená hladina byla dne 31. 1. 2013, a to 259,6 cm. Po grafickém znázornění průběhu této kulminace za pomoci jak lineární (graf 16), tak i mocninné funkce jsem výsledky porovnála s průběhem průtoků v dalších stanicích (Niva, Dvory, Pilař). Nakonec jsem dospěla k názoru, že při takovémto vodním stavu bude přepočet přes lineární funkci stále ještě spolehlivější než použití funkce mocninné.

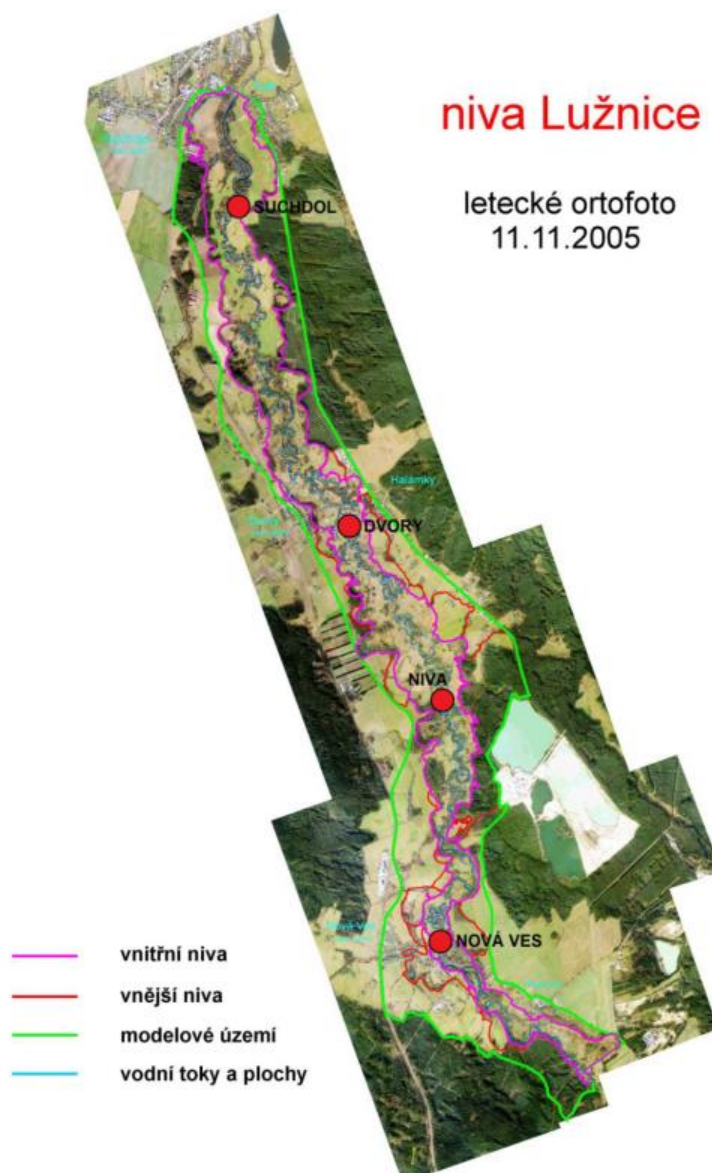
Graf 3: Konzumpční křivky jednotlivých profilů



Tab. 6: Použité funkce k sestavení konsumpčních křivek

profil	funkce	vzorec	hodnota spolehlivosti	poznámka
Nová Ves	mocninná	$y = 57,633x^{0,4618}$	$R^2 = 0,9928$	
Niva	lineární	$y = 25,771x + 110,51$	$R^2 = 0,9836$	Platná do hodnoty 224 cm vodního stavu
	mocninná	$y = 144,29x^{0,2429}$	$R^2 = 0,9026$	Platná od hodnoty 224 cm vodního stavu
Dvory	mocninná	$y = 103,7x^{0,3662}$	$R^2 = 0,9913$	
Suchdol	lineární	$y = 4,8468x + 63,021$	$R^2 = 0,9907$	Platná do hodnoty 260 cm vodního stavu

Zdroj: vlastní zpracování



Obr. 14: Lokalizace měrných profilů Přf UK (úsek od státní hranice po Suchdol n. Lužnicí)
 Zdroj: Svoboda (2010), pokladový snímek a vymezení nivy: RNDr. Jiří Žaloudík, CSc., Hydrobiologický ústav - BC AV ČR, České Budějovice (2006). Zdroj primárních geodat: letecké snímkování - ARGUS GeoSystém, Hradec Králové (© 2005), ortofoto a digitální model reliéfu - Georeal Plzeň (© 2006).

3.4 Data z pozorovacích vrtů

Pozorovací vrty s čidly, sloužící k měření hladiny podzemní vody, jsou vyhloubeny ručním motorovým vrtákem a mají průměr 50 mm. Každý vrt je vystrojen PVC pažnicí, která je po celé své délce perforovaná. Kolem pažnic není aplikován žádný obsyp. Čidla, která měří povrchové vody, jsou umístěna v plastových trubkách, které jsou připevněny k železné tyči, jež je zatlučena do podloží viz [obr. 17](#). Ve všech případech se jedná o tenzometrická čidla Levelogger od kanadské firmy Solinst.

Podrobná lokalizace podzemních vrtů včetně čidel měřících povrchovou hladinu je vyobrazena na [obr. 15](#). Geodetické zaměření a přesné umístění těchto vrtů je popsáno v DP Zdenky Slabé (2011). Hloubka vrtů se pohybuje mezi 1,2 a 4,7 m. Konkrétní hodnoty jsou uvedené v [tab. 7](#), a to současně s další charakteristikou jednotlivých vrtů.

Naměřené hodnoty z pozorovacích vrtů se zaznamenávají podle nastavených intervalů vždy po 30 anebo 60 minutách. Data z vrtů umístěných na horním profilu lze stáhnout přes satelit. Ostatní data z čidel je nutné stahovat manuálně, a to přibližně jednou za půl roku. Všechna čidla jsou nastavena tak, aby po zaplnění paměti začala data od nejstaršího odmazávat. Opatření vychází z předpokladu, že v době povodně nebude území přístupné a nejcennější data tak nebudou moci být stažena. Proto jsou aktuální data vždy zachována na úkor těch starších. V konečném důsledku není časový interval kontinuální. V následující [tab. 8](#) jsou uvedena data, která byla pro tuto práci k dispozici.

Stažená data se dále kompenzují hodnotou atmosférického tlaku, která je snímána z barometru umístěného v místě zvaném Základna. Kontrolní barometr je pod mostem v Nových Dvorech nad Lužnicí a opět obsahuje čidlo od stejného výrobce. Kompenzace dat proběhla v programu Levelogger 4. 1. 0, který je volně dostupný na stránkách firmy Solinst.

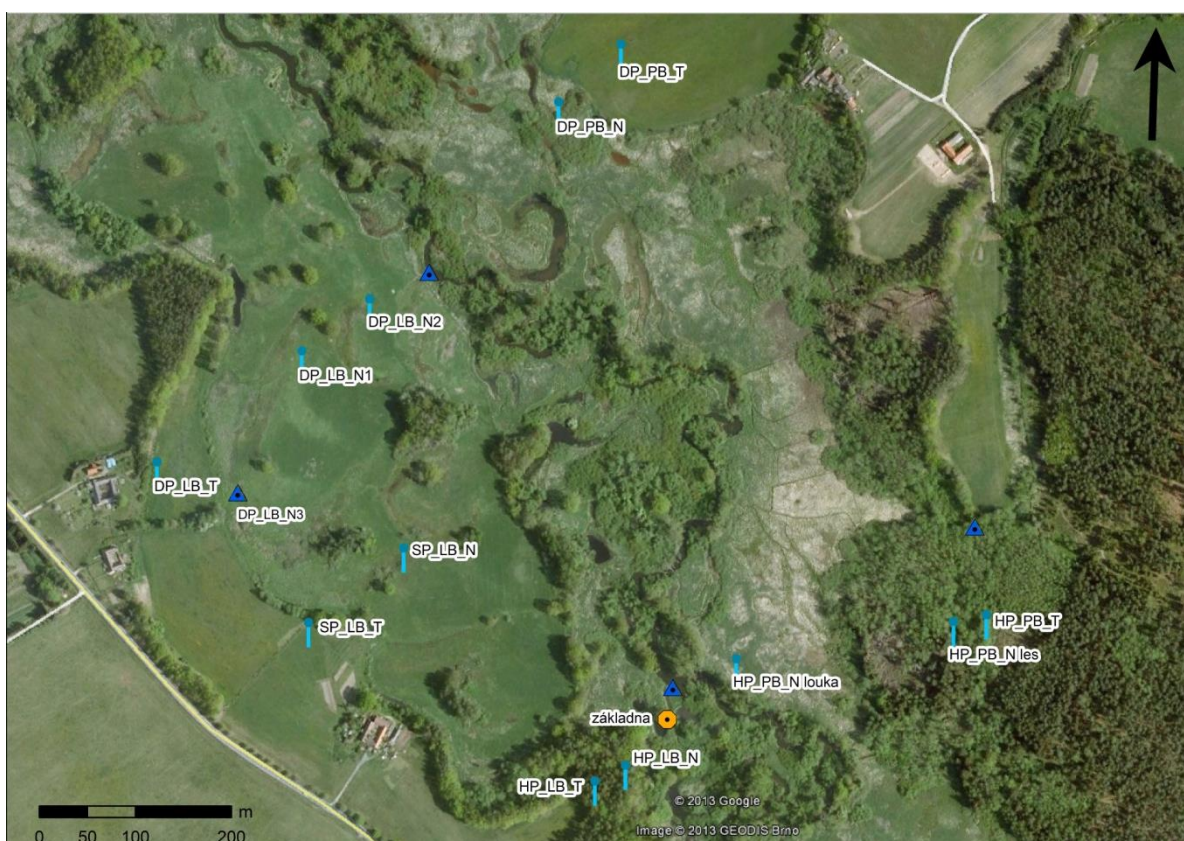
Data z leveloggerů byla využita při vizualizaci výšky hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice ([graf 12](#), [graf 15](#), [graf 21](#) a [graf 25](#)). Jednotlivé hodnoty v těchto grafech jsou vybrány na základě výšky hladiny v toku. Nejprve tedy byla zvolena hodnota výšky hladiny řeky, a to v konkrétním čase. Poté byly vybrány hodnoty z jednotlivých vrtů, a to v nejbližším možném čase zvolené hodnoty toku. Uvedený čas u každé křivky je tedy pouze orientační, jelikož levelogger nesnímají hladinu přesně ve stejné minutě.

Tab. 7: Základní charakteristika jednotlivých vrtů

název vrtu	rok vyhloubení	Zhlaví (m n. m.)	Terén (m n. m.)	hloubka čidla od zhlaví vrtu (m)	poznámka	segment
HP_PB_T	2008	462,86	462,86	3,15		B
HP_PB_N_les	2008	460,55	460,4	2,72	podmáčené	B
HP_PB_N_louka	2008	459,71	459,46	3,09	podmáčené	A
HP_LB_T	2008	462,26	462,26	4,63		C
HP_LB_N	2008	459,86	459,86	2,85	k zatopení dochází jen při povodních	B
DP_PB_T	2008	460,6	460,6	2,46	suchá louka	B
DP_PB_N	2008	458	457,8	2,35	voda se drží zpravidla několik cm nad terénem	A
DP_LB_T	2008	459,56	459,56	3,17		C
DP_LB_N1	2008	458,44	458,44	1,26	podmáčené	A
DP_LB_N2	2008	458,52	458,52	2,3	podmáčené	A
DP_LB_N3			457,884	0,934	hladina jezera	
SP_LB_T	2009	460,5	460,45	3,88		B
SP_LB_N	2009	458,82	458,82	2,55	podmáčené	A

Zdroj Slabá (2011), vlastní zpracování,

vysvětlivky: HP = horní profil, DP = dolní profil, SP = střední profil, LB = levý břeh, PB = pravý břeh, N = niva, T = terasa



Obr. 15: Rozmístění jednotlivých vrtů

Zdroj: Slabá (2011), podklad google maps 2013, vlastní zpracování

Tab. 8: Přehled datových řad (vlastní zpracování)

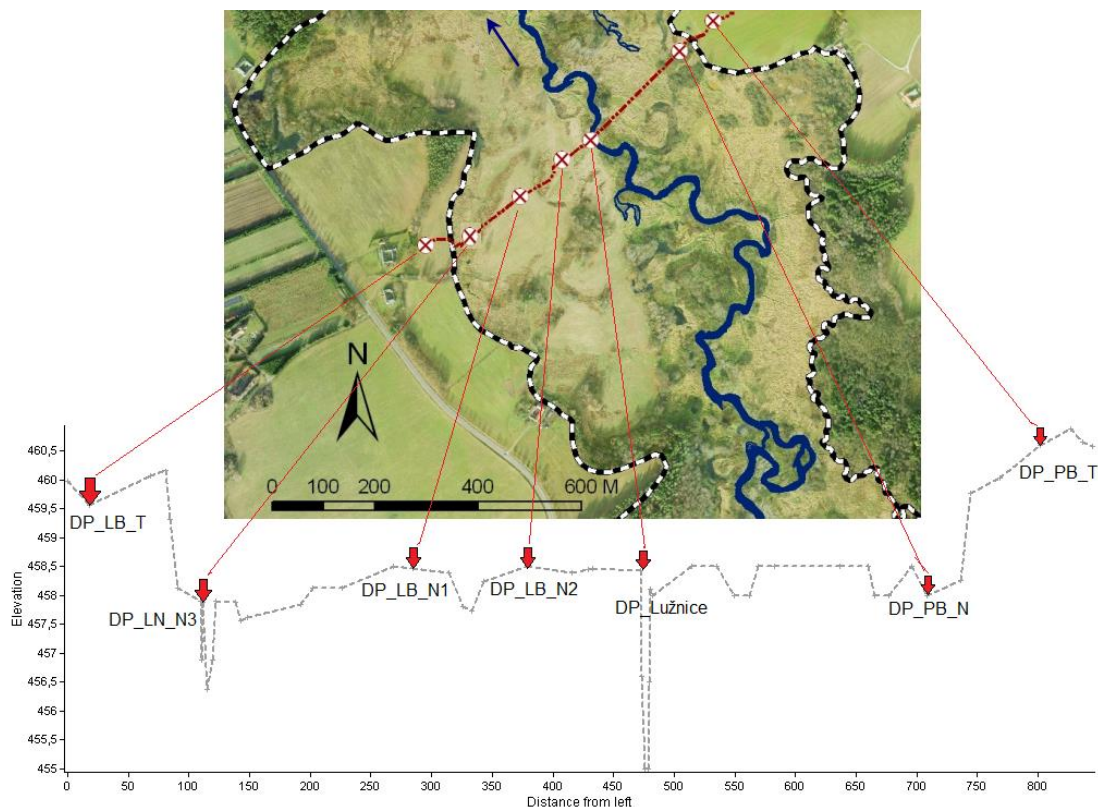
Umístění čidla	Časová řada	Poznámka
Baro - Základna	20. 2. 2011 – 1. 12. 2011	Nespolehlivá data
	2. 12. 2011 – 24. 6. 2014	Do 9. 4. 2013 interval po 30 min., poté po 60 min.
Baro - Dvory	1. 12. 2011 – 9. 4. 2013	Interval po 60 min.
	25. 10. 2013 – 24. 6. 2014	Interval po 60 min.
DP_PB_T	11. 4. 2011 – 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 24. 6. 2014	Interval po 60 min.
DP_PB_N	12. 4. 2011 - 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 24. 6. 2014	Interval po 60 min.
DP_LB_T	12. 4. 2011 - 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 24. 6. 2014	Interval po 60 min.
DP_LB_N1	12. 4. 2011 - 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	9. 4. 2013 – 1. 12. 2014	Interval po 60 min.
DP_LB_N2	12. 4. 2011 - 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 24. 6. 2014	Interval po 60 min.
DP_LB_N3	20. 2. 2011 – 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 9. 4. 2013	Interval po 60 min.
DP_Lužnice	20. 2. 2011 – 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 9. 4. 2013	Interval po 60 min.
	29. 11. 2013 – 24. 6. 2014	Interval po 60 min.
Suchdol	20. 2. 2011 – 1. 12. 2011	Data nelze zkompenzovat
	2. 12. 2011 – 9. 4. 2013	Interval po 30 min.
	25. 10. 2013 – 24. 6. 2014	Interval po 30 min.
NIVA	1. 2. 2010 – 10. 6. 2013	Interval po 10 min.
	10. 6. 2013 – 24. 10. 2013	Data jsou k dispozici, ale hodnoty jsou nedůvěryhodné
	Od 25. 10. 2013	Interval po 10 min.
Nová Ves	Od 25. 10. 2013	Interval po 15 min.
Dvory	24. 2. 2010 – 21. 3. 2013	Interval po 10 min.
	Od 23. 5. 2013	Interval po 10 min.
Pilař	1. 1. 1965 – 31. 10. 2014	Průměrný denní průtok

3.5 Data z digitálního modelu reliéfu

Díky práci Martina Turka a Stanislava Grilla byla oblast osazená piezometry podrobně zmapovaná na základě digitálního modelu reliéfu. Autoři se především zabývali oblastí dolního profilu, kde pomocí totální geodetické stanice zpřesnili polohu instalovaných měřicích přístrojů. Dále zmapovali a proměřili terén v oblasti vrtů na dolním profilu, které jsou vyhloubeny podél transektu přibližně kolmého na osu toku (obr. 16).

Konkrétně se jedná o dva vrty umístěné na údolních terasách (DP_LB_T, DP_PB_T) a tři vrty, které jsou umístěny mezi nimi v okolní nivě (DP_LB_N1, DP_LB_N2, DP_PB_N). Pro možnost srovnání výšky hladin podzemní a povrchové vody jsou instalovány a zaměřeny další 2 čidla pro snímání hladiny povrchové vody. Jedno je umístěno v tůni (DP_LB_N3), která je v nivě pod terasou na levém břehu Lužnice. Druhý hladinoměr s dataloggerem je nainstalován na toku Lužnice, dostupný z jejího levého břehu. Rozmístění všech čidel v celém profilu je znázorněno na obr. 15.

Naměřená data o vrtech a terénu zpracovali autoři pomocí softwaru Arc GIS, kde v atribuční tabulce přiřadili každému bodu popisek a informaci o vertikální i horizontální poloze. Z výsledné tabulky je možné vytvořit graf reliéfu transektu, a to buď přímo v Arc GIS, či v jiném programu, např. MS Excel.



Obr. 16: Reliéf transektu

Zdroj: Janský, Turek (2012), vlastní zpracování



Obr. 17: Umístění čidla DP_Lužnice. Zdroj: fotoarchiv autora



Obr. 18: Hydrometrování v profilu Niva. Zdroj: fotoarchiv autora

4. HYDROLOGICKÝ REŽIM

Hodnocení hydrologického režimu toků je důležité jak z hlediska dlouhodobých změn a trendů v odtoku, tak i z hlediska jednotlivých hydrologických událostí, a to zejména při extrémních hydrologických situacích jako jsou povodně a období sucha.

V následující části práce se zabývám právě analýzou hydrologického režimu horní Lužnice. Dlouhodobé trendy a zákonitosti jsou zde zmíněny ve stručnosti, jelikož se touto problematikou zabýval ve své diplomové práci Svoboda (2011). Informace jsou však rozšířeny o nová data a statistické údaje vlastního zpracování. Následně je věnován prostor samotnému rozboru a zhodnocení jednotlivých hydrologických událostí.

4.1 Odtokové charakteristiky

Odtokový režim vyjadřuje změny ve vodnosti toku v průběhu roku. Je ovlivňován jak dlouhodobými a krátkodobými výkyvy vodních stavů, tak změnami tvaru a průběhu říčního koryta. Graficky jej znázorňuje hydrogram, tedy křivka vyjadřující změny průtoku v čase. Odtok z povodí také souvisí se zdroji vodnosti řek. V povodí Lužnice se jedná především o atmosférické srážky (dešťové i sněhové), sněhovou pokrývku, ale významnou roli hraje i podzemní voda neboli bazální odtok.

Základní odtoková charakteristika horní Lužnice byla vytvořena na základě průměrných denních průtoků ze stanice Pilař. Postup zpracování dat je uveden v kapitole 3.1.

4.1.1 CHOD DENNÍCH A MĚSÍČNÍCH PRŮTOKŮ

Průtok vody v korytě řeky je z časového hlediska velmi proměnlivý. Variabilita průtoku je patrná z [tab. 9](#), kde jsou znázorněny průměrné průtoky v jednotlivých měsících pro profil Pilař za sledované období 2010 – 2014. Zvýrazněné jsou maximální a minimální hodnoty.

Následující grafy poskytují srovnání průměrných měsíčních průtoků ve sledovaném období ([graf 5](#)) s dlouhodobým trendem ([graf 6](#)). Nejvyšší průměrné hodnoty ve sledovaném období připadají na měsíc červen, což je ovlivněno především červnovou povodní v roce 2013. Z dlouhodobého hlediska však připadá nejvyšší průměrný měsíční průtok na měsíc duben, který tvoří 15% (10,26 m³/s) průměrného ročního odtoku. Po dubnu dominuje březen 14% (9,46 m³/s). Nejvýraznějším obdobím je tedy jaro, na které připadá 38% z celkového ročního odtoku ([graf 4](#)), což je jednoznačně způsobeno táním sněhové pokrývky. Zdrojovými oblastmi jsou převážně Novohradské hory a Novobystřická

vrchovina. Tyto oblasti však vykazují rozdílný režim tání sněhu. Zatímco v Novohradských horách dochází díky větším rozdílům nadmořských výšek spíše k postupnému odtávání sněhu, tak sníh v Novobystřické vrchovině odtává plošně a rychleji (Svoboda, 2011). Svého maxima pak průtok dosahuje obvykle na přelomu března a dubna. Tuto skutečnost nejlépe zobrazuje [graf 9](#), který byl sestaven z jednotlivých průměrných měsíčních (Qm) a denních (Qd) průtoků téměř 50leté datové řady (1965 – 2014). Znázorňuje tak roční chod odtoku a tím tvoří reprezentativní hydrogram Lužnice pro profil Pilař.

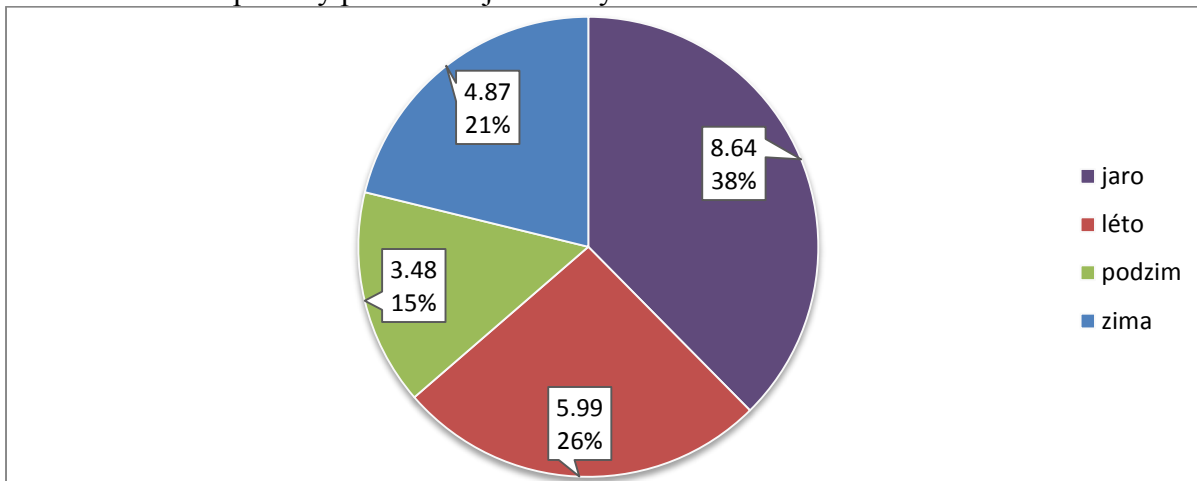
Nejnižší průměrný měsíční průtok za sledované období vychází na měsíc listopad, což odpovídá i dlouhodobému průměru (3,09 m³/s). Z celkového pohledu vychází i celý podzim jako nejsušší období s průměrným průtokem 3,48 m³/s.

Tab. 9: Průměrné měsíční průtoky profilu Pilař v letech 2010 – 2014.

průměrný průtok Pilař	2010	2011	2012	2013	2014	Průměrný měsíční průtok
leden	3,49	7,74	5,38	19,50	1,23	7,47
únor	3,37	5,46	4,05	20,67	1,61	7,01
březen	15,39	7,03	8,87	14,51	1,80	9,52
duben	13,20	4,09	3,99	11,39	0,95	6,72
květen	7,17	1,74	1,86	10,16	7,60	5,71
červen	13,23	3,09	6,93	37,81	5,31	13,28
červenec	5,15	1,64	5,14	13,47	1,43	5,37
srpen	20,96	1,44	7,73	2,28	3,06	7,10
září	4,82	1,13	5,88	1,75	12,10	5,14
říjen	4,63	4,15	4,08	2,11	10,69	5,13
listopad	1,93	1,85	3,90	1,45		2,28
prosinec	2,08	1,22	5,76	1,24		2,58
Roční průměr	7,99	3,37	5,31	11,27	4,59	6,57

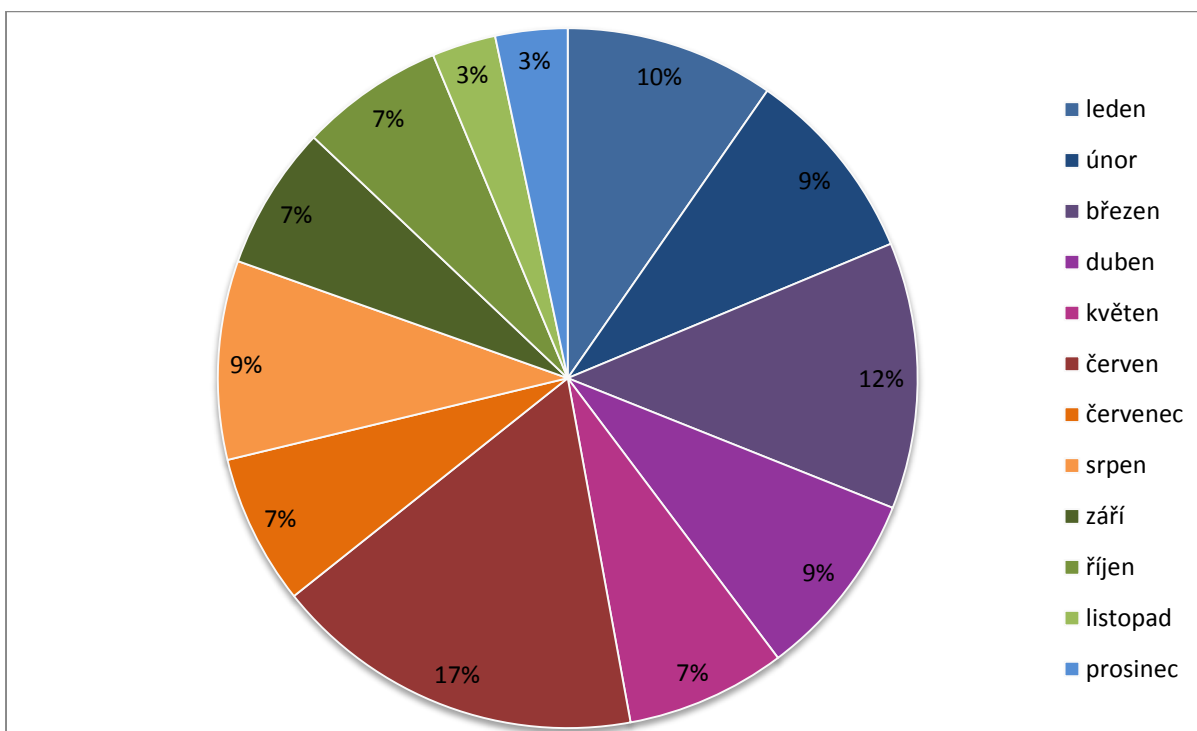
Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Graf 4: Průměrné průtoky pro Pilař v jednotlivých ročních obdobích v letech 1965 – 2014



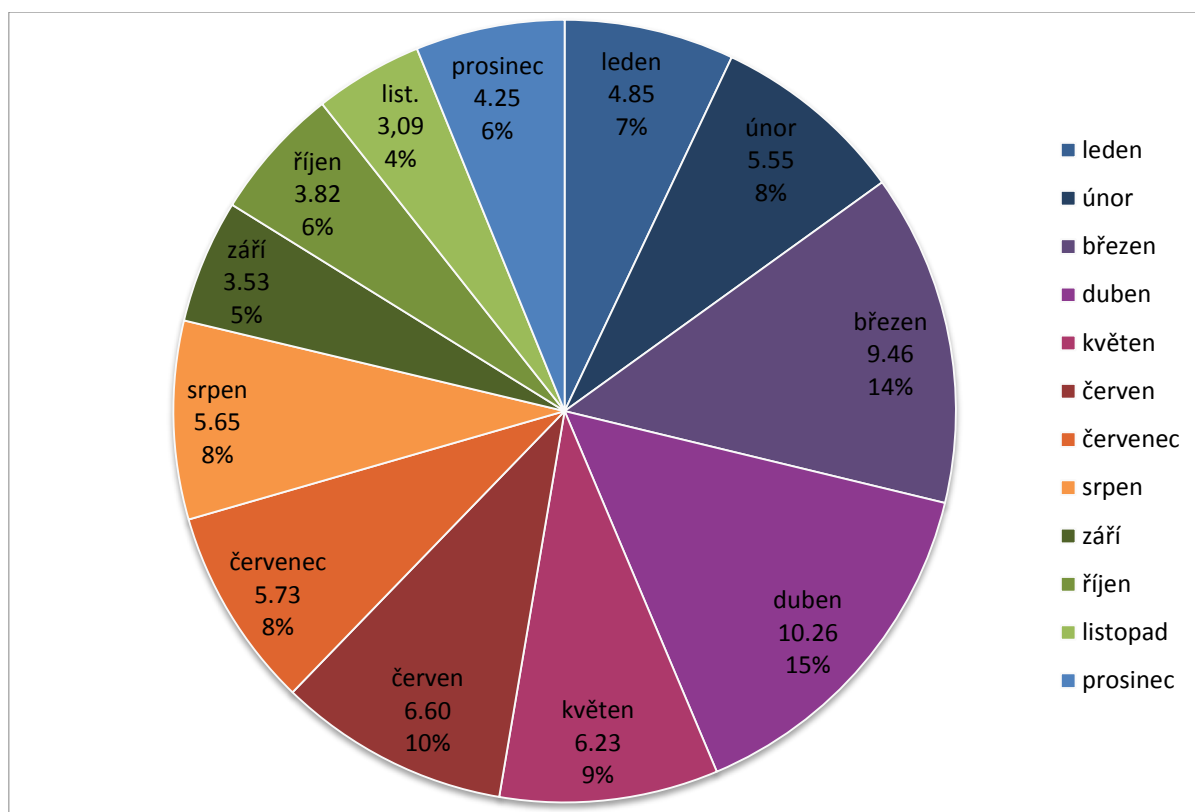
Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování

Graf 5: Průměrný měsíční průtok Pilař v letech 2010 – 2014



Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování

Graf 6: Průměrný měsíční průtok Pilař v letech 1965 – 2014



Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování

4.1.2 ROČNÍ CHOD PRŮTOKŮ

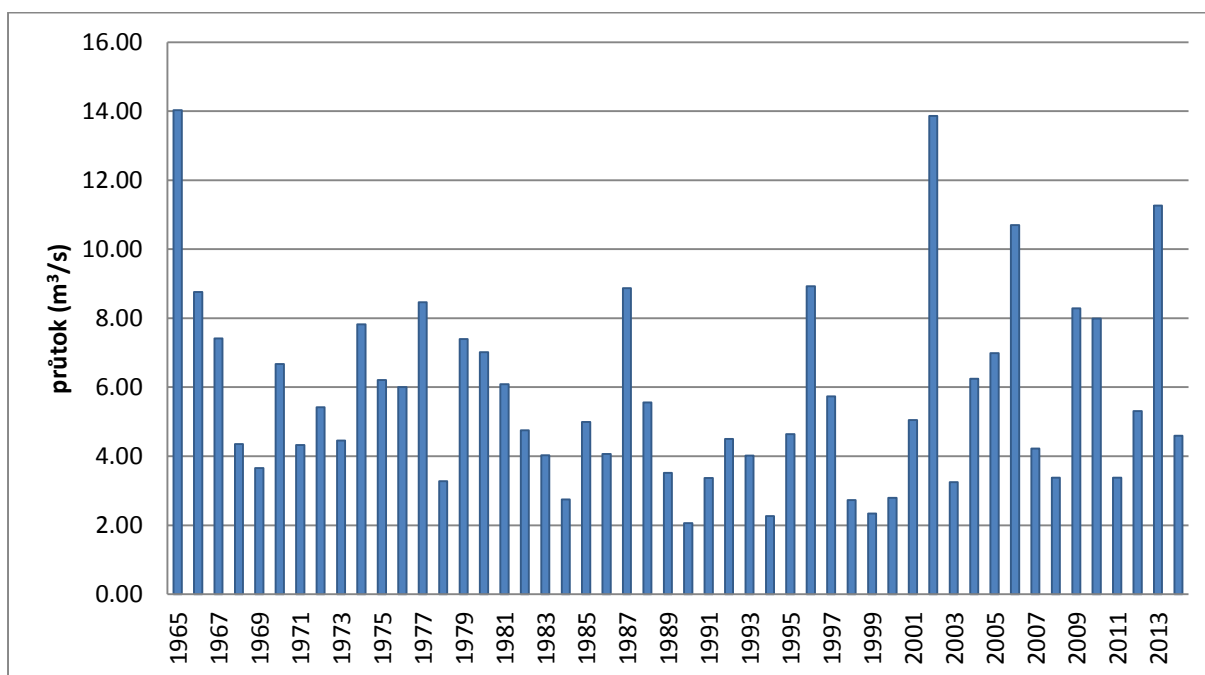
Na základě dlouhodobé řady měření udává ČHMÚ pro profil Pilař průměrný roční průtok (Q_a) $6,21 \text{ m}^3/\text{s}$. Svoboda (2011) vypočítal specifický odtok pro závěrový profil Pilař na $6,59 \text{ l/s na km}^2$ a průměrnou odtokovou výšku stanovil na 208 mm. Z grafu 9 je však na první pohled zřejmé, jak je v průběhu roku odtok nevyrovnaný. Rozkolísanost odtoku odpovídá typu středoevropských a východoevropských řek, kdy nejvyšší průtoky způsobuje jarní tání sněhu, popřípadě letní dešťové srážky. Variabilita odtoku je však viditelná i v rámci jednotlivých let. V grafu 7 můžeme sledovat nepravidelné střídání sušších a vodnějších roků.

Extremitu průtoků v jednotlivých letech ještě lépe zobrazuje graf 8, který znázorňuje maximální průtok v daném roce. Zajímavé je srovnání dvou nejvodnějších roků. V roce 1965 dosahuje průměrný roční průtok nejvyšších hodnot, a to $14,03 \text{ m}^3/\text{s}$. Během tohoto roku však žádný den nedosáhl průměrného průtoky, který by odpovídal alespoň 5leté vodě. Naproti tomu rok 2002, který se vyznačuje velmi podobným průměrným ročním odtokem ($13,87 \text{ m}^3/\text{s}$), dosáhl maximální denní průtok (Q_d) $372 \text{ m}^3/\text{s}$. Tato hodnota zdaleka přesahuje hranici stoleté vody a v porovnání s ostatními roky je zcela výjimečná. Zmíněná povodeň zkrusuje i hydrogram Lužnice, jelikož nadhodnocuje průměrné srpnové průtoky. Nejvíce jsou

však ovlivněny hodnoty průměrných denních průtoků, což je nejlépe patrné v grafu 9. Tvar křivky Qd v období srpna je velmi podobný hydrogramu průběhu povodně, která kulminovala 8. 8. 2002 a pak ještě jednou o několik dní později s ještě extrémnější povodňovou vlnou dne 14. 8. 2002. Průměrné denní průtoky pro tyto dny jsou díky této události značně ovlivněny a vykazují tak vyšší hodnoty. Kdyby se z datové řady (1965 – 2014) vynechal rok 2002, klesla by hodnota průměrného průtoku pro 14. srpen z 11,22 m³/s na 3,85 m³/s.

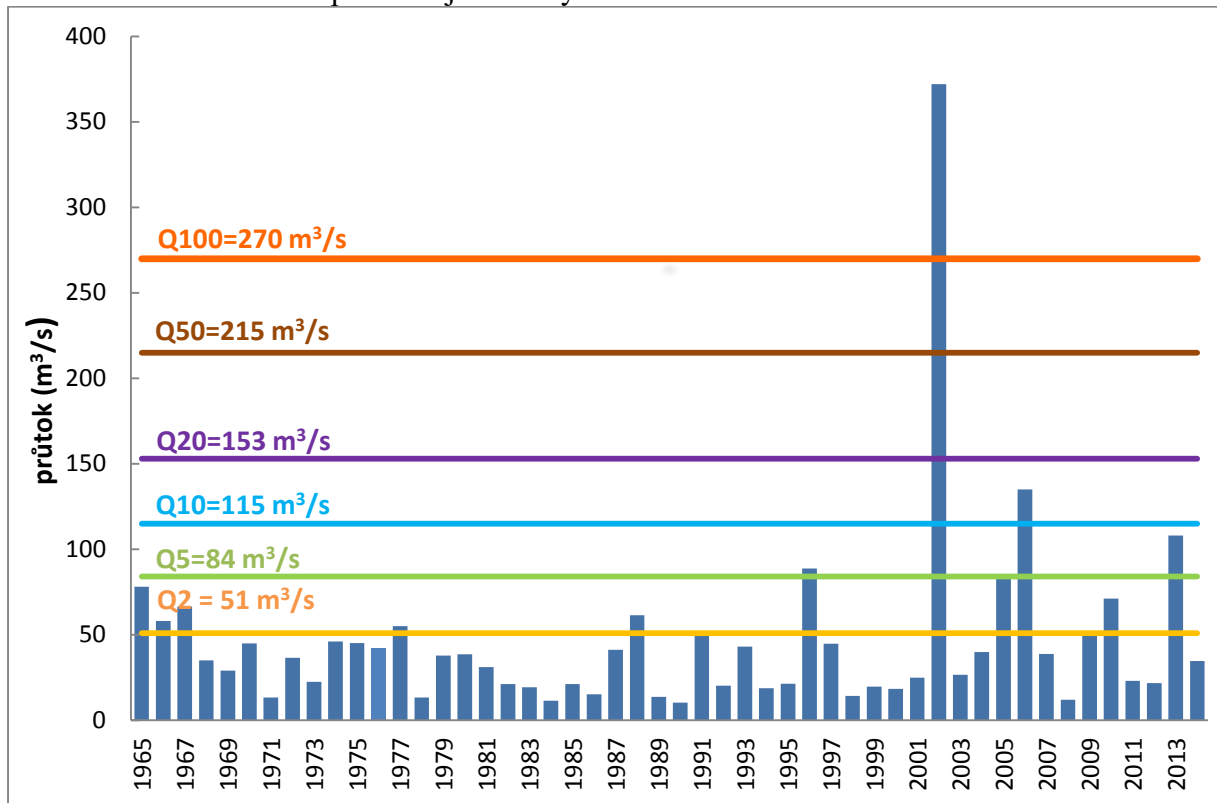
Jednotlivé povodňové události stejně jako období sucha budou podrobněji analyzovány v následujících kapitolách. Podrobnější charakteristika režimu ročních průtoků je zpracována v diplomové práci Svobody (2011), která se zabývá hydrologickým režimem horní Lužnice.

Graf 7: Průměrné roční průtoky v jednotlivých letech



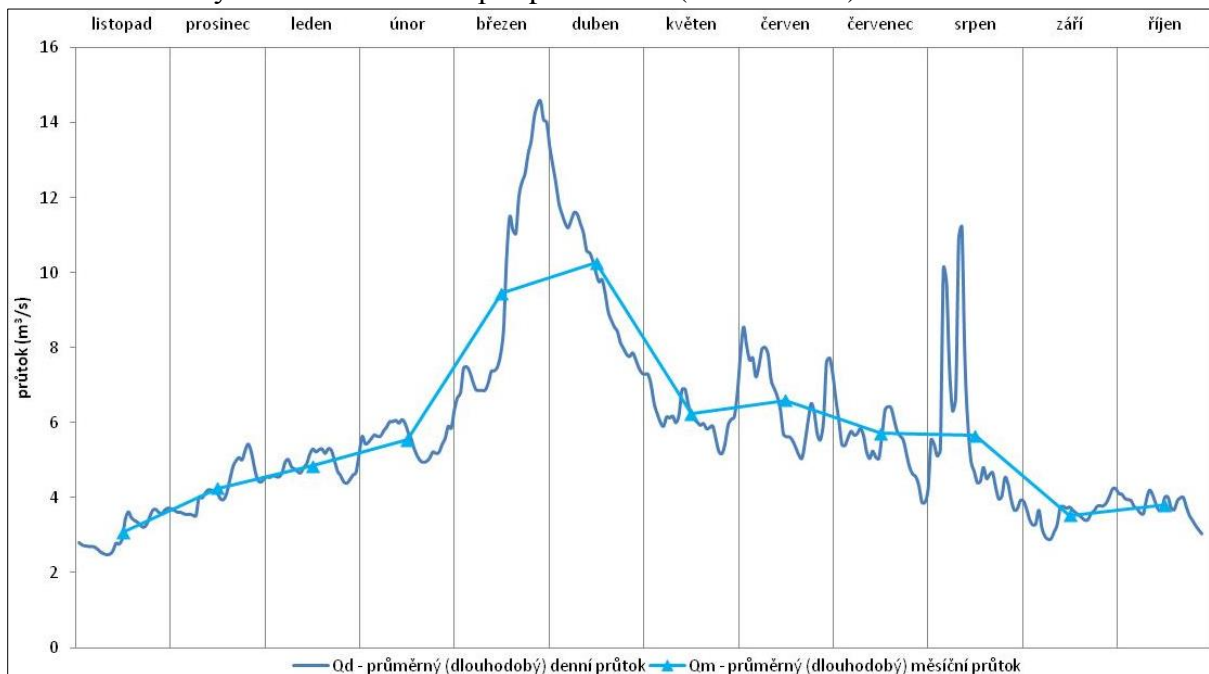
Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Graf 8: Maximální denní průtok v jednotlivých letech



Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

Graf 9: Průměrný roční chod odtoku pro profil Pilař (1965 – 2014)



Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování.

4.1.3 POVODŇOVÝ REŽIM

Rozborem povodňového režimu Lužnice se zabývali zejména Vlasák (2006 a 2007) a Svoboda (2011). Vlasák analyzoval povodňové události již od roku 1888 a jako závěrový profil vybral Bechyni. Svoboda (2011) pracoval s datovou řadou průtoků Lužnice v profilu Pilař za období 1965 – 2010. V této práci je k hodnocení povodňového režimu také využito datové řady z profilu Pilař, stejně jako v předchozích kapitolách. Soubor dat je však prodloužen do konce hydrologického roku 2014.

Při pohledu na [graf 8](#) je zřejmé, že zvýšený výskyt větších povodní se udál v posledních dvaceti letech. V období mezi lety 1965 – 1990 se vyskytlo jen 5 roků s průměrným denním průtokem převyšujícím hodnotu pro dvouletou vodu ($Q_2 = 51 \text{ m}^3/\text{s}$). V letech 1990 – 2000 se vyskytuje jeden rok s průtokem Q_2 a jeden s povodňovou událostí přesahující průtok pětileté vody ($Q_5 = 84 \text{ m}^3/\text{s}$), a to v roce 1996. Zato od roku 2000 můžeme napočítat 4 roky, ve kterých dosáhl průměrný denní průtok hodnoty Q_5 . V roce 2006 dokonce přesáhl hranici desetileté vody ($Q_{10} = 115 \text{ m}^3/\text{s}$) a během povodní v roce 2002 překročil průtok hranici vody stoleté ($Q_{100} = 270 \text{ m}^3/\text{s}$), a to dokonce ve dvou vlnách. [Graf 8](#) bohužel není ideální pro vyhodnocování povodňových událostí, jelikož znázorňuje pouze nejvyšší průměrnou denní hodnotu v každém roce. Data s absolutními (nezprůměrovanými) denními hodnotami bohužel nebyla pro tuto práci k dispozici. Přes zmíněné nedostatky však z grafu jednoznačně vyplývá, že za posledních 20 let se výrazně zvýšila četnost i velikost povodňových událostí.

Povodí horní Lužnice je charakteristické poměrně výraznou orientací povodní do jarního období. Tato skutečnost je způsobena již zmíněným táním sněhové pokrývky z území s relativně malými výškovými rozdíly. Navíc jarní tání často probíhá na promrzlé půdě, která není schopná vodu zadržet. Nezanedbatelné jsou i povodně v letním období způsobené dešťovými srážkami, ale také zimní povodně zapříčiněné brzkou oblevou.

Vlasák (2007) rozdělil povodně v horním a středním toku Lužnice do následujících kategorií. Zimní typ povodně v jarních měsících při povětrnostních situacích s teplým a vlhkým jihozápadním prouděním (někdy doprovázené i srážkami). Nástup i pokles takové povodňové vlny je pozvolný. Na rozdíl od letního typu povodně, kterému předchází dlouhotrvající srážky. Důležitým faktorem přitom bývá nasycenost povodí před příčinnou srážkou. Nejčastěji se letní povodně vyskytují v květnu a červenci, největší povodeň za sledované období však byla zaznamenána v srpnu 2002, kdy druhá povodňová vlna kulminovala při průtoku $498 \text{ m}^3/\text{s}$ (Svoboda, 2011).

Z celkového pohledu jsou povodně na Lužnici typické svou dlouhou doběhovou dobou a pomalým postupem povodňové vlny korytem toku. Tento jev je způsobený meandrujícím tokem Lužnice s mírným sklonem, vysokou retenční kapacitou půdy a zmírňujícím retenčním vlivem rybníční soustavy (Vlasák, 2007). Tyto vlastnosti mimo jiné způsobují transformaci povodňové vlny a zmírňují tak následky povodní směrem po proudu.

Díky pomalému odtoku a silné retenční schopnosti písčitých půd v Třeboňské pánvi se po povodních na Lužnici udržuje delší dobu vysoká hladina podzemních vod a také zvýšené průtoky (Vlasák, 2006). Tento jev však může přispívat k podmínění další povodňové události i při mírných srážkových úhrnech.

Rozsáhlejší analýzou jednotlivých povodňových událostí v povodí Lužnice se zabýval např. Svoboda (2008 a 2011). Autor se zaměřil na letní povodeň v roce 2002, jarní a letní povodeň 2006, zářijovou povodeň v roce 2007 a zimní povodně v letech 2009, 2010 a 2011. V této práci bude uveden rozbor povodňových událostí po roce 2011, a to především se zaměřením na interakci s podzemní vodou v dané oblasti.

4.2 Interakce mezi Lužnicí, nivou a podzemní vodou

Interakcí mezi podzemní a povrchovou vodou v oblasti horní Lužnice se zabývali Turek, Grill (2011) a Slabá (2011). Slabá se věnovala hladinám podzemních vod ve 12 vrtech zájmového území a mimo jiné analyzovala směr proudění vody v nivě při nízkých i vyšších vodních stavech. Turek a Grill (2011) si vybrali pro svoji práci pouze vrty na dolním profilu, které tvoří pomyslný transekt kolmý na směr toku Lužnice. Pomocí těchto vrtů graficky znázornili vybřežení vody z koryta Lužnice při vyšších vodních stavech v kontrastu se snížením hladiny toku i podzemní vody po následném odeznění kulminace.

V následujícím textu popisují základní charakteristiku podzemních vrtů, instalovaných katedrou fyzické geografie PřF UK, a stručně shrnují vybrané výsledky Slabé (2011), jelikož jsou důležité pro interpretaci nově naměřených dat, které volně navazují i na práci Turka a Grilla (2011).

Slabá (2011) na základě nálevových zkoušek u jednotlivých vrtů analyzovala interakci mezi podzemní a povrchovou vodou Lužnice. Podle kolísání hladin podzemní vody ve vrtech a podle morfologie terénu rozdělila autorka zájmové území osazené piezometry na 3 segmenty (obr. 19). Modře vyznačený segment A zahrnuje vrty, které evidentně komunikují s řekou. Pohyb vodní hladiny v těchto vrtech je tlumenější a oproti řece opožděný. Pro všechny tyto vrty je společné, že leží v nivě Lužnice a hladina vody zde podstatnou část roku vystupuje nad terén. Vzdálenost mezi řekou a nejbližším vrtem z tohoto segmentu je přibližně 300 m.

Vrty ze segmentu B, vyznačené žlutou barvou, leží jak v terase, tak i nivě Lužnice. Interakce těchto vrtů s hladinou v Lužnici je zřejmá jen při výraznějším vzduť hladiny v řece. Odezva na takové vzduť se ve vrtech projevuje vždy pozvolna a se zpožděním. Vrty v segmentu B nejsou běžně v zaplavované oblasti (výjimkou je vrt HP_PB_N les).

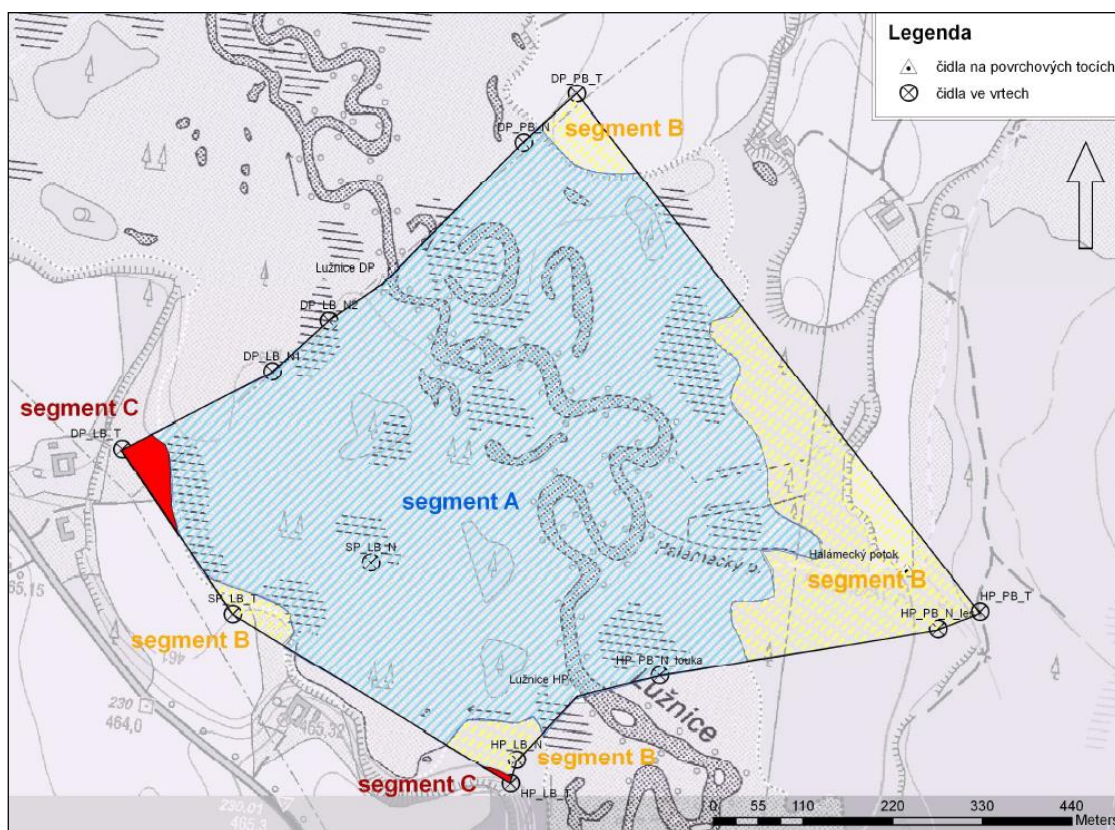
Do segmentu C spadají pouze dva vrty (DP_LB_T² a HP_LB_T). Jak uvádí Slabá (2011), tak je tento segment těžké interpretovat a to z toho důvodu, že hladiny v obou vrtech se chovají prozatím nevysvětlitelně. U vrtu DP_LB_T je zřejmý jistý přítok, nejspíš z vyšších poloh terasy, kterým je chování hladiny ve vrtu ovlivněno. Při vyšším srážkovém úhrnu je pozorovatelný i pramen vytékající pod terasou. V určitých obdobích však hladina ve vrtu nevysvětlitelně kolísá, a proto nebyl tento vrt zařazen do segmentu B. Důvodem výraznějších

² Slabá (2011) ve své práci uvádí, že se jedná o vrt DP_LB_N, což je patrně překlep. Navíc podle obr. 19 je zřejmé, že vrt, který zařadila do segmentu C, leží opravdu v terase a ne nivě.

vzestupů hladiny, které pozorovala Slabá (2011), může být antropogenní příčina, jelikož se vrt nalézá necelých 100 m od zahrady obydleného domu. Další možností podle Slabé (2011) je, že pohyb hladiny ve vrtu může být způsoben naplněním kapacity nějakého rezervoáru, jelikož hladina prudce vzrůstá ve chvíli, kdy se pohybuje těsně pod 459 m n. m.

U vrtu HP_LB_T se opakovaně vyskytují ostré píky, které korespondují se vzestupem hladiny v řece, ale na rozdíl od ostatních vrtů, dosahují svého maxima s předstihem. V několika případech však reagují tlumeně a se zpožděním. V jiných případech však vůbec nekorespondují se vzduťím hladiny v řece.

Základní charakteristika jednotlivých vrtů a jejich rozdělení do segmentů je uvedena v tab. 7. Podrobná charakteristika jednotlivých segmentů je zpracována v DP Zdenky Slabé (2011).



Obr. 19: Rozdělení zájmového území na segmenty podle chování hladiny ve vrtech (Slabá, 2011)

4.2.1 HYDROLOGICKÁ FUNKCE NIVY LUŽNICE

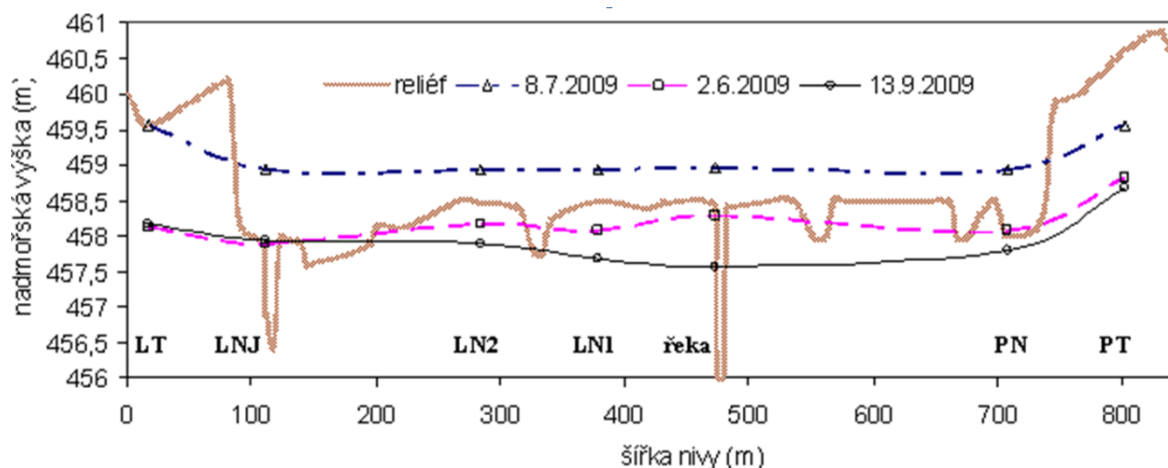
Hydrologické funkci říční nivy se věnovali Turek, Grill (2011). Ke své práci využili data z hladinoměřů v Nové Vsi a ze Suchdola nad Lužnicí. Dále čerpali z dat podzemních vrtů umístěných na dolním profilu území osazeného piezometry.

Pro hodnocení hydrologické funkce nivy Lužnice si autoři vybrali modelový časový úsek od 22. května do 20. září 2009. Na začátku i na konci tohoto období byl stav průtoků v řece spíše podprůměrný. Během sledování se však zvýšil až na hodnoty povodňových průtoků a došlo k déle trvajícimu zatopení okolní nivy. Výsledky práce graficky znázornili (graf 10). Ve své studii pak autoři interpretovali závěry o transformaci povodňové vlny a kolísání hladiny podzemní vody v nivě Lužnice. Z výsledků vyplynulo, že poloha hladiny podzemní vody ve sledovaném transektu se v nivě i v terasách vyskytovala níže ke konci sledovaného období, tedy po ústupu vysokých vodních stavů než na začátku. Navíc na počátku měření byly hodnoty průtoků na dolním profilu v Suchdole nad Lužnicí nižší než na horním profilu v Nové Vsi, před vstupem do oblasti sledovaného území nivy. Tím se dokázala infiltrační schopnost nivy, kdy voda z koryta řeky dotovala okolní nivu. Na konci sledovaného období je vodní stav v Nové Vsi opět nízký (pod ročním průměrem), avšak hodnoty pro Suchdol narostly o 40%. Tento jev je patrně způsoben změnou gradientu proudění vody, kdy naopak niva začne dotovat řeku.

Retenční kapacitu nivy, která ovlivňuje transformaci povodňové vlny, popsali Turek, Grill (2011) na kulminaci tří povodňových vln během června a července 2009. Z analýzy jednotlivých kulminací vyplynulo, že retenční kapacita nivy ve sledovaném úseku se projevila především u první povodňové vlny a to i přes vysoký srážkový úhrn. Naproti tomu se transformace třetí povodňové vlny v důsledku předchozího zatopení nivy neprojevila. Tato skutečnost odpovídá hypotéze, kterou uvádí Douglas et al. (2007), že při déle trvajícím zatopení či střetu několika kulminací se retenční potenciál nivy významně snižuje.

Ze závěrečné zprávy projektu Hydrologická funkce říční nivy horní Lužnice tedy vyšlo najevo, že retenční potenciál nivy Lužnice a její vliv na transformaci povodňové vlny je nejvýznamnější při průtocích mírně převyšujících průtočnost koryta řeky, avšak při vysokých průtocích je již zřetelně omezený až nulový (Turek, 2010).

Graf 10: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v roce 2009



Zdroj: Turek, Grill (2011)

Pozn.: LT = DP_LB_T, LNJ = DP_LB_N3, LN2 = DP_LB_N1, LN1 = DP_LB_N2,
PN = DP_PB_N, PT = DP_PB_T

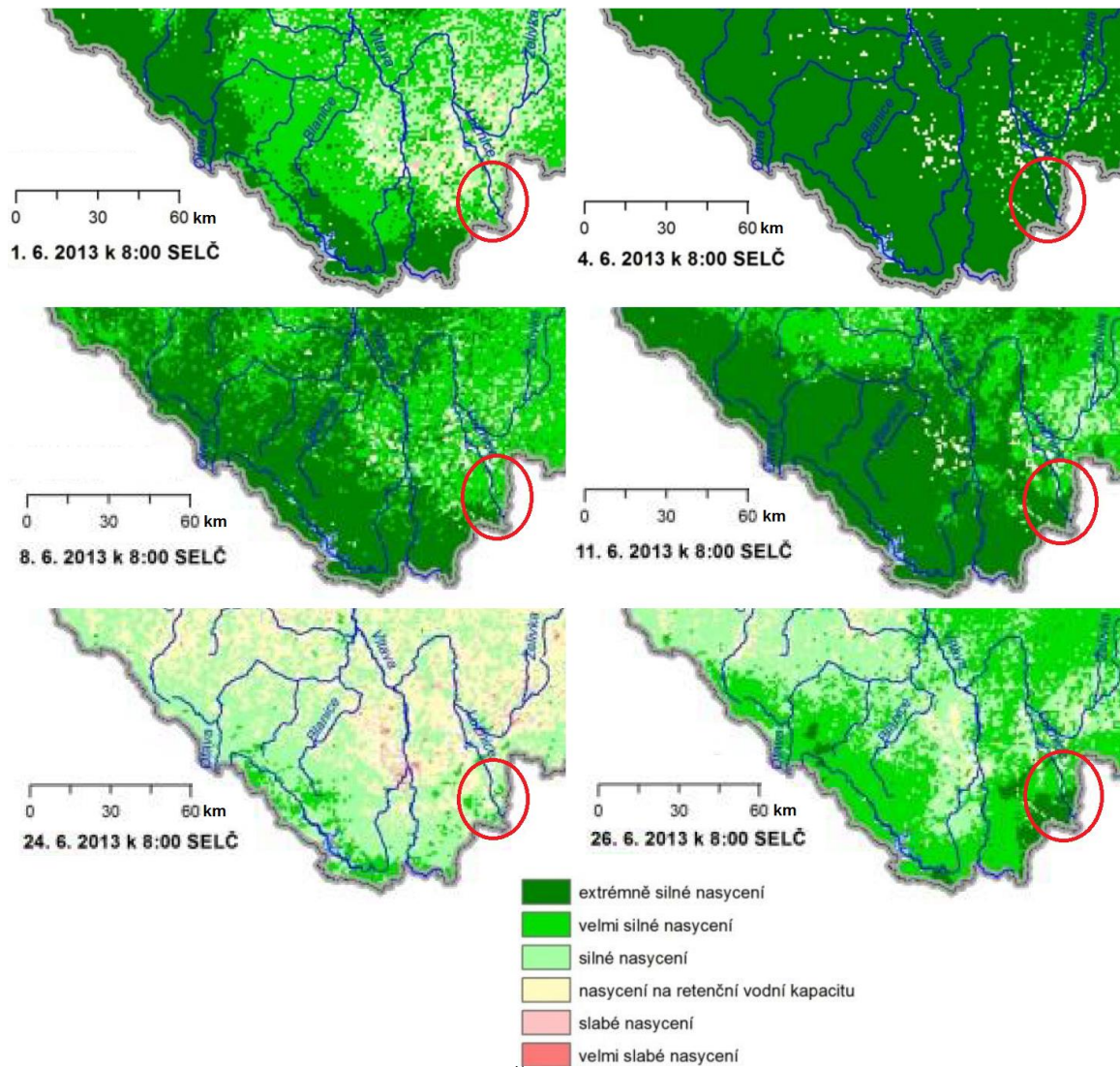
4.2.2 ANALÝZA NOVÉ DATOVÉ ŘADY

Postup zpracování datové řady z pozorovacích vrtů je popsán v kapitole 3.4. Časová osa byla zvolena tak, aby navazovala na práci Turka, Grilla (2011). Výsledky analýzy jsou rozděleny do několika kapitol. Nejprve byl zkoumán stav, jak vypadá zaplavený profil nivy při kulminaci povodně, respektive jak na vyšší průtoky v korytě řeky reaguje hladina podzemní vody v nivě. Dále jsem stejnou metodou analyzovala stav nivy v transektu při nižších průtocích. Všechny hydrologické události byly vybrány na základě průměrného denního průtoku v profilu Pilař. V následující kapitole se pak zabývám variabilitou hladin v terasách a v nivě Lužnice.

4.2.2.1 Povodňové události

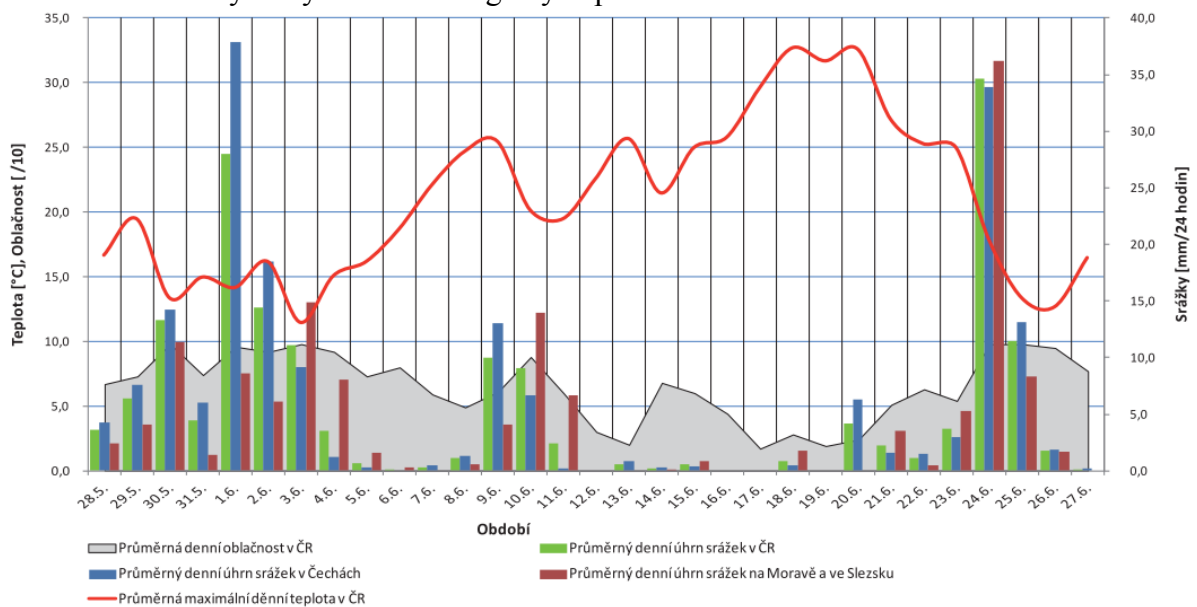
Během pozorovacího období (2010–2014) došlo na horní Lužnici k několika povodňovým událostem, ta nejvýznamnější se udála v červnu 2013 a postihla celé území ČR.

Květen 2013 byl sice teplotně podprůměrný, avšak srážkově velmi výrazný. Na celém území ČR byl naměřen průměrný měsíční srážkový úhrn 113 mm, což představuje 152 % dlouhodobého průměru za období 1961–1990. Tyto extrémní srážkové úhrny zapříčinily na většině území ČR velmi silné nasycení půdy, povodí Lužnice nevyjímaje (obr. 20).



Obr. 20: Ukazatel nasycení půdy. Zdroj: Šercl (2013), vlastní zpracování

Graf 11: Průběh vybraných meteorologických prvků v červnu 2013



Zdroj: Daňhelka a kol. (2014)

Nadprůměrné srážkové úhrny pokračovaly i v červnu 2013. Republikový plošný průměr srážek dosáhl 146 mm, což odpovídá 174 % dlouhodobého průměru (1961 – 1990). Jedná se tak o nejvyšší srážkový úhrn pro měsíc červen od roku 1961. Vyšší měsíční srážkové úhrny byly zaznamenány pouze v červenci 1997 (204 mm) a v srpnu 2002 (177 mm), tato období však charakterizují extrémní povodně, které proběhly v minulých letech na území ČR (Daňhelka a kol., 2014). Podrobný průběh příčinných meteorologických událostí jsou detailně rozebrány v dílčí zprávě projektu Vyhodnocení povodní v červnu 2013 (Standev, 2014).

Pro červen 2013 jsou charakteristické tři významné srážkové epizody ([graf 11](#)), které následně vyvolaly tři vlny povodní. První epizoda proběhla na přelomu května a června (29. 5. – 3. 6. 2013), druhá, o něco méně intenzivní, 9. až 11. června a k poslední došlo ke konci měsíce v průběhu 24. a 25. 6. 2013 (Daňhelka a kol., 2014). Data ze srážkoměrů instalovaných KFGG PřF UK přímo v povodí horní Lužnice bohužel nebyla k dispozici.

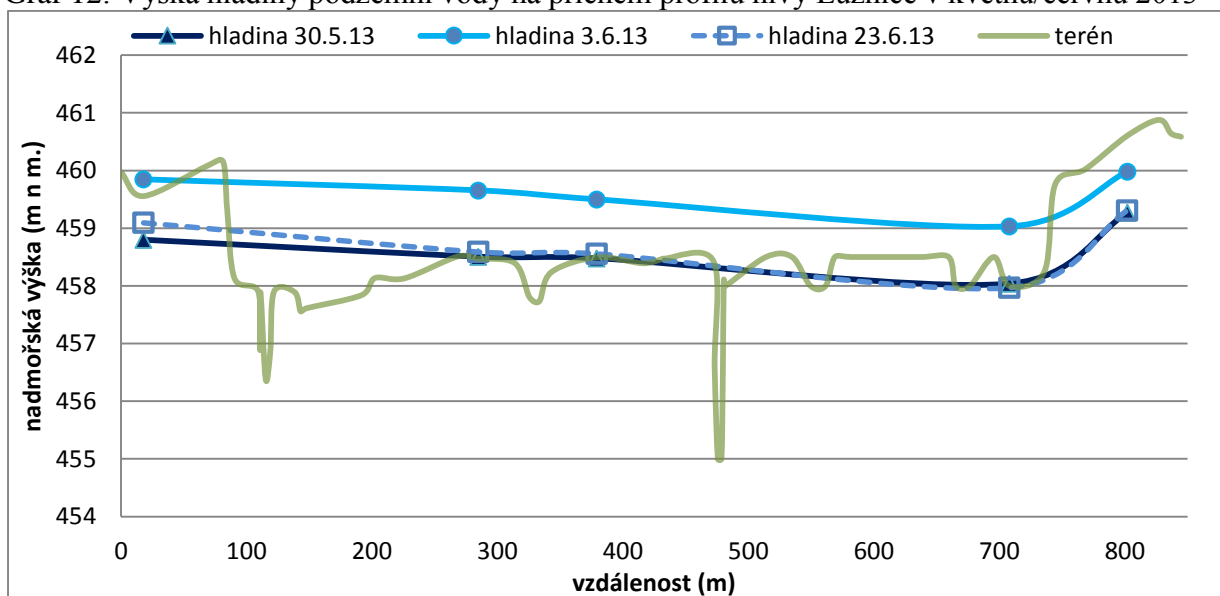
Vzhledem k vysoké nasycenosti půdy už v době první povodňové vlny ([obr. 20](#)) došlo k tomu, že povrchový odtok velmi rychle narůstal. Na profilu Pilař proběhla kulminace této vlny v noci z 3. na 4. června, s hodnotou $120 \text{ m}^3/\text{s}$, což odpovídá průtoku vyššímu, než je desetiletá voda a třetímu stupni povodňové aktivity. Druhá povodňová vlna nebyla na horní Lužnici tak výrazná, jelikož příčné srážky byly soustředěny spíše na dolním toku Lužnice. Retenční účinek horní části povodí se tak nemohl významně projevit, a tak mezitím co na profilu Pilař dosahovala povodeň hodnot desetileté vody, tak na dolním toku, v Bechyni, přesáhl průtok hodnoty vody stoleté (Jaček, 2014). Průběh všech tří povodňových epizod vyobrazuje [graf 13](#), ve kterém jsou znázorněny 3 datové řady a to z profilu Niva, Dvory a Pilař. Bohužel data z Pilaře sice obsahují kompletní časovou řadu, avšak hodnoty představují pouze průměrný denní průtok. Vyobrazení povodně je tedy ovlivněno zprůměrovanými denními hodnotami (Q_d) a není možné vidět maximální kulminaci povodně. Z dat automatických hladinoměrů KFGG PřF UK lze však vyčíst, že v profilu Niva kulminovala první povodňová vlna dne 3. 6. ve 4:30 s výškou 343,6 cm, což odpovídá přibližně průtoku $26,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Ve Dvorech byla maximální kulminace naměřena o 2 hodiny později, tedy v 6:30, a to s výškou hladiny 353,7 cm, což po přepočítání na průtok představuje hodnotu $31,73 \text{ m}^3/\text{s}$.

Následující [graf 12](#) znázorňuje výšku hladiny na příčném profilu nivy v jednotlivých dnech během červnové povodně. První křivka vyobrazuje rozložení hladiny těsně před nástupem kulminace dne 30. 5. 2013 přibližně v 0:30 hod. Z výšky hladiny je zřejmé, že již před nástupem první povodňové vlny byla půda plně nasycena a niva částečně zatopena. Druhá křivka znázorňuje výšku hladiny v době kulminace dne 3. 6. 2013 (cca v 5:30 hod.). Povodeň v tuto chvíli zaplnila nivu po celé své šířce a povrchová voda zůstala zadržena

v údolí nivy díky terasám při jejím okraji. Data z vrtu na levém břehu v terase (DP_LB_T) však vypovídají o tom, že hladina podzemní vody byla v tuto chvíli tak vysoko, že vystoupala k povrchu a vytvořila tak dočasný rozliv i na levé terase. Třetí křivka vykresluje stav vodní hladiny po uplynutí dvou povodňových vln (3. 6. a 11. 6. 2013) a těsně před nástupem třetí kulminace (23. 6. 2013, cca 0:30 hod.). Výška hladiny je téměř totožná s hladinou 30. května, a to až na malé výchyly, především na levém břehu terasy, kde se hladina podzemní vody drží o několik cm výše. Pro srovnání byl v profilu Pilař průtok (Qd) před kulminací povodně dne 30. 5. roven $6,43 \text{ m}^3/\text{s}$, avšak po kulminaci dne 23. 6. měl hodnotu $11,4 \text{ m}^3/\text{s}$, což představuje téměř dvojnásobný průtok. Tento rozdíl je pravděpodobně způsobený dalšími přítoky, které se vlévají do Lužnice níže po proudu (Tušť, Dračice). Data z hladinoměru ve Dvorech totiž nevykazují tak rozdílných hodnot na začátku a po skončení prvních dvou povodňových vln. Pro den 30. 5. 2013 byl pro Dvory vypočítán Qd na $5,19 \text{ m}^3/\text{s}$ a dne 23. 6. se Qd pro Dvory rovná $8,06 \text{ m}^3/\text{s}$.

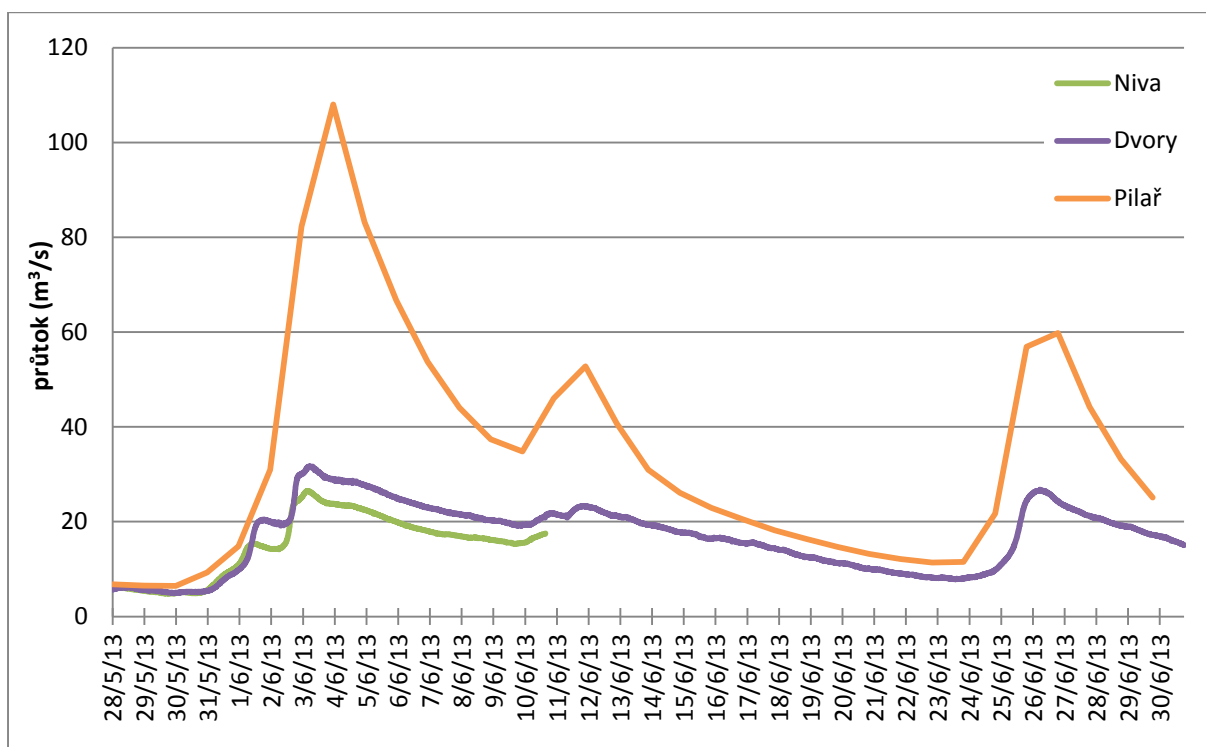
Průběh kulminací v jednotlivých vrtech znázorňuje také [graf 14](#). Srovnání s povrchovým tokem Lužnice bohužel není možné, jelikož povodeň zničila hladinoměr v řece. Každopádně je možné pozorovat, že hladina v levé terase kulminovala ještě dříve než hladina v nivě a naposledy začala stoupat až hladina ve vrtu pravé terasy. Dále je v grafu jasně viditelná podobnost průběhu hladin ve vrtech DP_LB_N1 a DP_LB_N2, které jsou od sebe vzdálené necelých 100 m. Důvodem je zajisté fakt, že hladina podzemní vody se již dostala nad terén a vytvořila povrchový odtok. Zajímavostí je hladina v nivě na pravém břehu, která se po celou dobu kulminace pohybovala cca o 50 cm níže.

Graf 12: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v květnu/červnu 2013



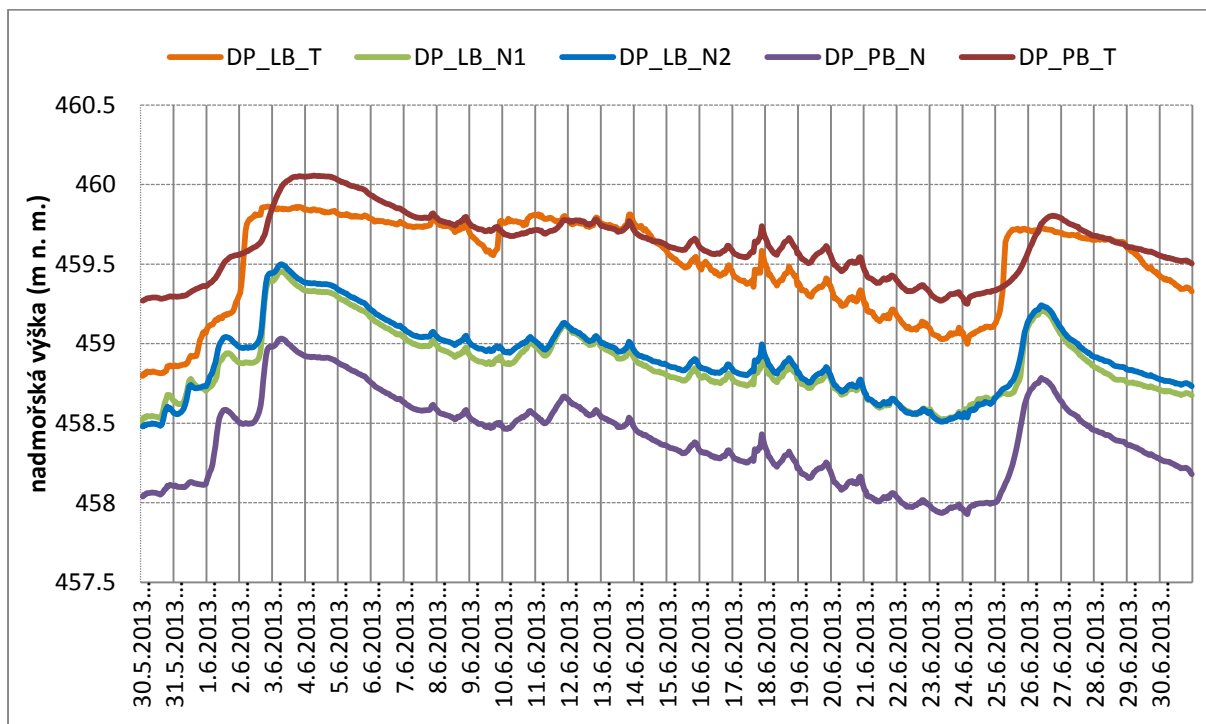
Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Graf 13: Kulminace povodňových vln v červnu 2013



Zdroj: data z ČHMÚ a automatických hladinměřů KFGG PřF UK, vlastní zpracování

Graf 14: Výška hladin v jednotlivých vrtech v červnu 2013



Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Během pozorovacího období (2010 – 2014) se nevyskytla žádná další povodňová událost, která by se vyrovnala té v červnu 2013. Při rozboru denních průtoků v profilu Pilař bylo druhé nejvýznamnější období v zimě 2013. Jedná se v podstatě o začátek nadprůměrných průtoků, které červnovou povodní vyvrcholily.

Téměř celý prosinec 2012 byl průtok na Pilaři nižší než dlouhodobý průměr ($Q_a = 6,21 \text{ m}^3/\text{s}$). Od začátku následujícího roku do léta však průměrný denní průtok neklesl (s výjimkou 4 dnů) pod tuto hodnotu. V lednu 2013 dokonce proběhla Pilařem voda s průtokem vyšším než jednoletá voda ($Q_1 = 33 \text{ m}^3/\text{s}$) a hned po ní, na začátku února, přešla povodeň s vyšším průtokem, než je voda dvouletá ($Q_2 = 51 \text{ m}^3/\text{s}$). Průběh této události zaznamenává [graf 16](#), ve kterém jsou zřejmé jednotlivé kulminace. Zajímavý je průběh povodně v jednotlivých lokalitách. Při prvním zvýšení průtoků na konci prosince 2012 jsou průtoky v profilech Dvory a Suchdol téměř vyrovnané, přičemž u Dvorů jsou dokonce mírně vyšší než u Suchdola, který se nachází níže po proudu. Avšak při první kulminaci povodně, na začátku ledna 2013, už průtok v Suchdole významně překračuje průtok ve Dvorech. V Nivě kulminuje tato povodňová vlna 8. 1. v 2:10 hod. ve výšce 308,7 cm, což po přepočtení na průtok odpovídá hodnotě $17,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Ve Dvorech kulminuje tato vlna ve 3:40 hod. s výškou 314,8 cm, což představuje přibližně průtok $23,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Do Suchdola dorazila tato vlna až v 9:05 hod., avšak průtok už byl dle výpočtů $33,97 \text{ m}^3/\text{s}$.

Při kulminaci druhé vlny (31. 1. 2013) byly rozdíly mezi Suchdolem a ostatními lokalitami ještě výraznější. Zatímco v Nivě kulminovala druhá vlna ve 4:40 hod. s hodnotou $18,81 \text{ m}^3/\text{s}$ a ve Dvorech v 6:10 hod. s průtokem $24,98 \text{ m}^3/\text{s}$, tak v Suchdole vrcholila povodeň ve 12:35 hod. s průtokem až $41,16 \text{ m}^3/\text{s}$.

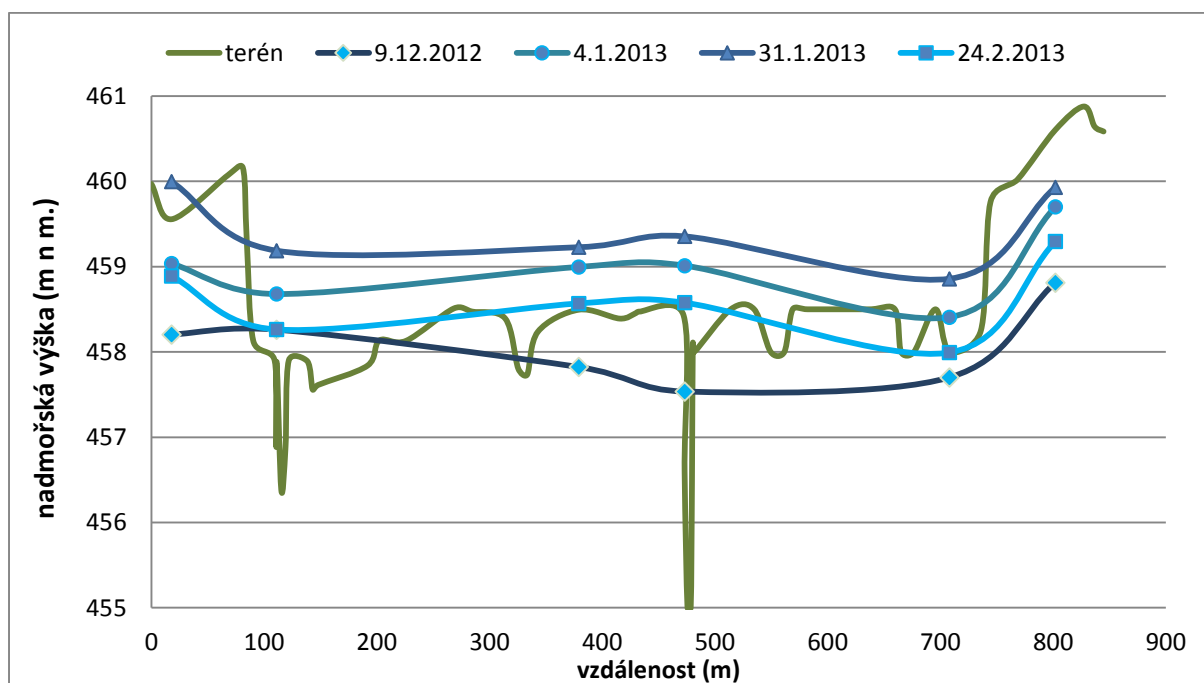
Rozložení hladiny v profilu nivy během zimy 2012/2013 znázorňuje [graf 15](#). První křivka představuje výšku hladiny (9. 12. 2013, cca v 10:30) před nástupem vyšších průtoků. Další křivka ukazuje výšku hladiny těsně před nástupem první povodňové vlny (4. 1. 2013, cca v 0:30). Třetí křivka zobrazuje kulminaci druhé povodňové vlny dne 31. 1. 2013, přibližně ve 14:30. Poslední křivka zaznamenává stav hladiny po kulminaci celé povodně (24. 2. 2013, cca v 0:30). Z grafu je zřejmé, že nejnižší se hladina vody vyskytovala v době před nástupem povodňových událostí v prosinci 2012. Nejvýraznější rozdíl je přitom vidět na výšce hladiny Lužnice, která je níže než hladina podzemní vody v okolní nivě. Na základě takového rozložení hladiny lze předpokládat, že voda z nivy proudila v tomto období do řeky a napájela tak její koryto. K opačnému gradientu proudění dochází ve zbylých případech. Hladina povrchového toku je výše, než uvádí data z vrtů v okolní nivě.

Při srovnání výšky hladin před nástupem první povodňové vlny a po vyvrcholení druhé povodňové vlny, je výška hladiny na konci pozorování (24. února) nižší než před první kulminací povodně (4. ledna). Důvodem je pravděpodobně nasycenost půdy před kulminací díky vyšším průtokům na konci prosince 2012. Tato skutečnost má pravděpodobně za následek zmírnění transformace povodňové vlny, která se významně projevila pouze při zmíněné události v prosinci 2012 (viz [graf 16](#)).

Výšku hladiny v jednotlivých vrtech během kulminací znázorňuje [graf 17](#). Průběh křivek, představujících hladinu vody v nivě, je nápadně podobný tvaru křivky hladiny Lužnice a tůně na jejím levém břehu (DP_LB_N3). Přičemž výška hladiny v DP_PB_N je opět o několik cm níže, než je hladina v okolních vrtech. Svým průběhem však nejvíce připomíná hladinu tůně. Nejvýše se nachází hladina v pravé terase, u které jsou však jednotlivé kulminace mírně opožděné a při nástupu první a druhé povodňové vlny už nevykazuje tak skokovou tendenci vzrůstu.

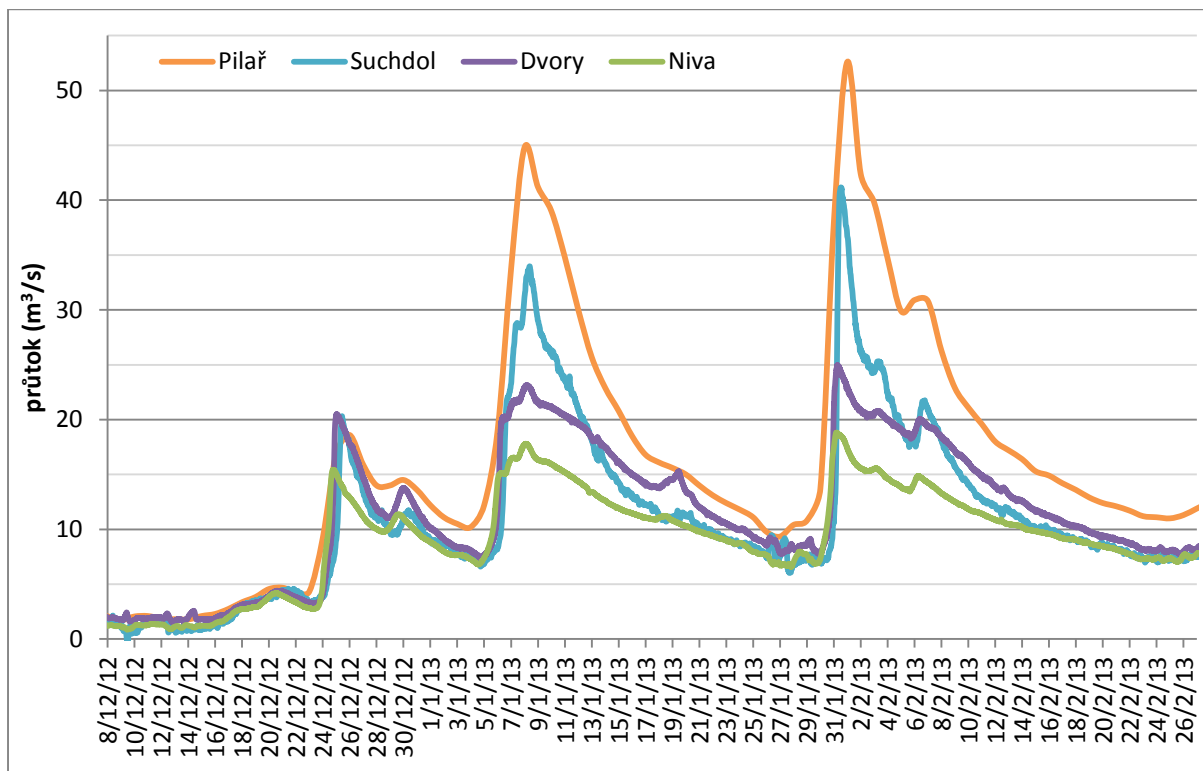
Hladina v levé terase se chová odlišně od ostatních. Při prvním zvýšení průtoku v prosinci 2012 není nárůst hladiny v tomto vrtu tak intenzivní jako v ostatních, avšak při první a druhé kulminaci povodňové vlny je v porovnání s ostatními vrty téměř dvojnásobný.

Graf 15: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v zimě 2012/2013



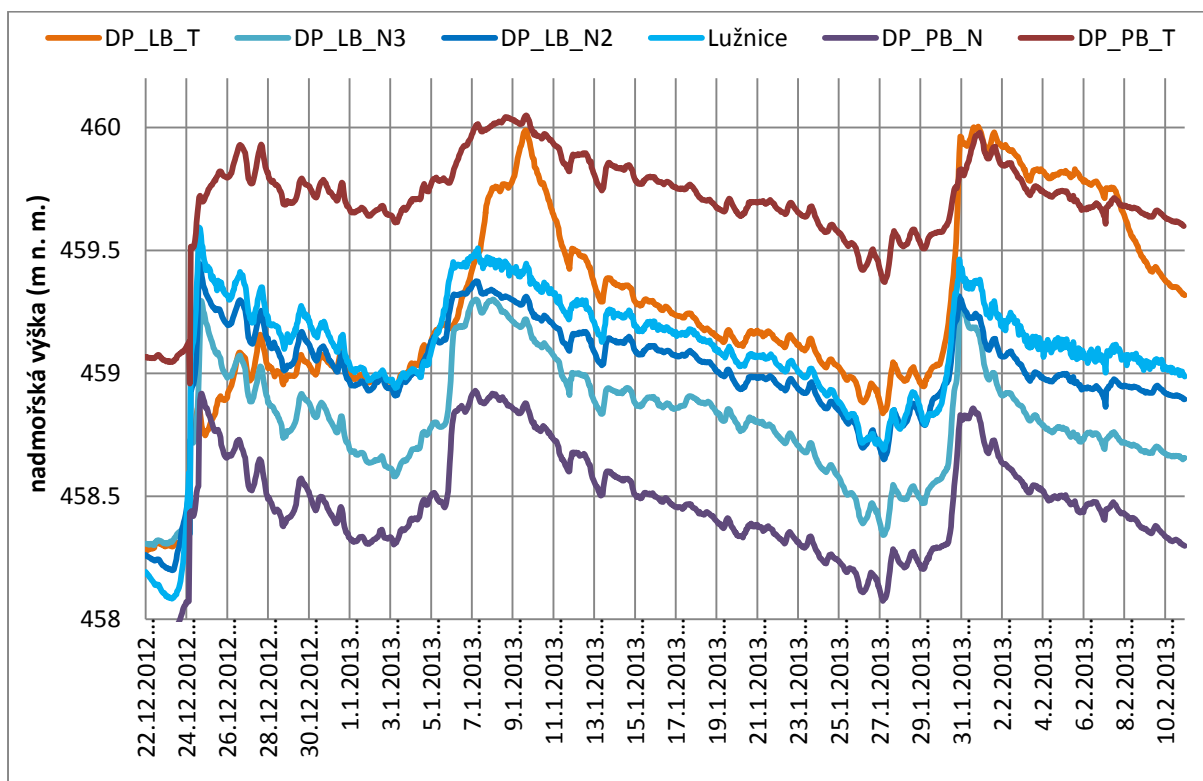
Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Graf 16: Kulminace povodňových vln v zimě 2012/2013



Zdroj: data z ČHMÚ a automatických hladinměřů KFGG PřF UK, vlastní zpracování

Graf 17: Výška hladin v jednotlivých vrtech, zima 2012/2013



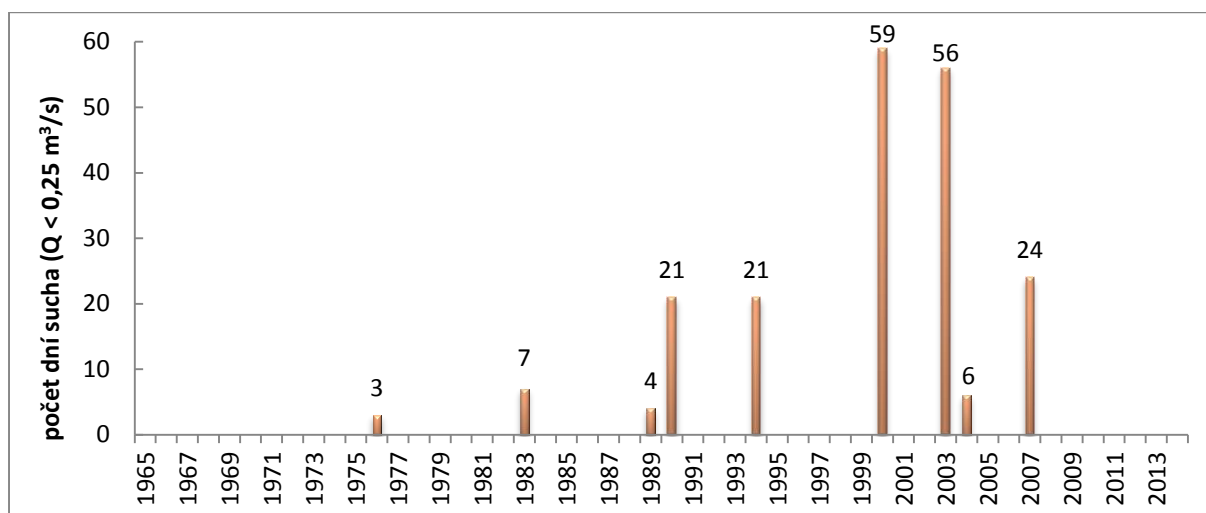
Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

4.2.2.2 Období sucha

Problematika definice sucha již byla rozebrána v kapitole 1.3.1. Hydrologické sucho je u nás často vztahováno k nízkým průtokům Q_{355} . Pro profil Pilař byl ČHMÚ vypočítán stav sucha při poklesu průměrného denního průtoku pod $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$. Během pozorovacího období (2010 – 2014) se na profilu Pilař nevyskytl ani jeden den, kdy by byl průměrný denní průtok nižší nebo roven této hranici ([graf 18](#)). Nejsušším obdobím za pozorovaný časový úsek je jednoznačně duben 2014 s průměrným měsíčním průtokem $Q_m = 0,95 \text{ m}^3/\text{s}$ ([tab. 9](#)). Nejnižší průměrný denní průtok v tomto období byl dne 22. 4. 2014, $Q_d = 0,744 \text{ m}^3/\text{s}$, což je téměř dvojnásobek hodnoty absolutně nejnižšího Q_d za celé pozorovací období, který byl zaznamenán dne 4. 9. 2011 ($Q_d = 0,378 \text{ m}^3/\text{s}$). V tuto dobu však barologger umístěný v místě zvané Základna měřil chybná data o atmosférickém tlaku. Přístroj zaznamenal abnormální výkyvy tlaku vzduchu, způsobené pravděpodobně změnami teplot ve skříňce, ve které je umístěn. Ve stejnou dobu byl záložní barologger v Nových Dvorech mimo provoz. Data naměřená ve vrtech tak nelze od 20. 2. 2011 do 1. 12. 2011 věrohodně zkompenzovat, a proto nebyla v této práci použita. Další období s výrazně nízkými průtoky se vyskytlo v lednu 2014, kdy dne 18. 1. 2014 byl na profilu Pilař naměřen průměrný denní průtok $Q_d = 0,752 \text{ m}^3/\text{s}$. O období sucha se tedy nedá hovořit, jelikož tato hodnota je více než trojnásobkem stanoveného průtoku Q_{355} . Během sledovaného období 2010 – 2014 se tedy vyskytly pouze nižší vodní stavy, než je dlouhodobý průměr, ne však hydrologické sucho.

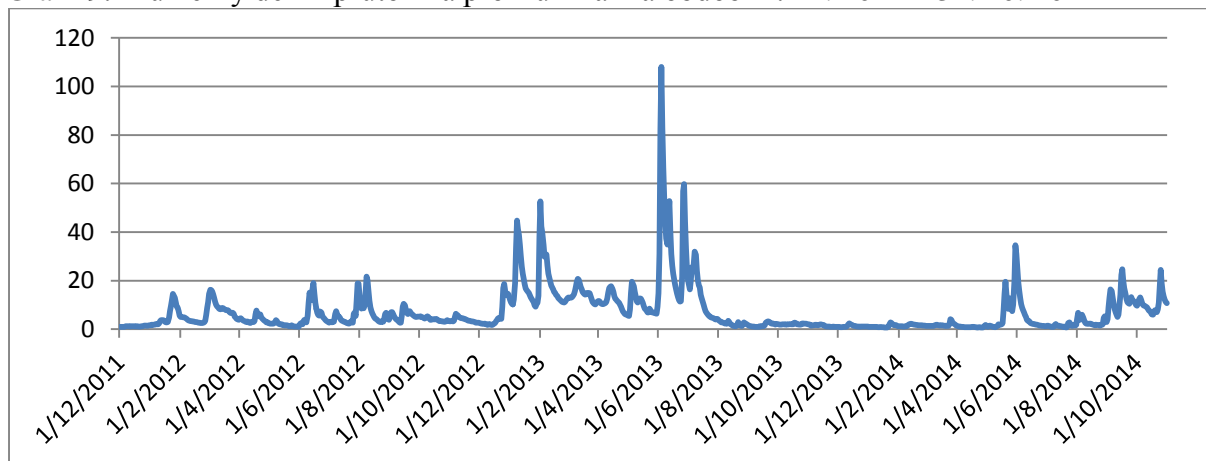
Následující [graf 19](#) dokumentuje chod průměrných denních průtoků na profilu Pilař. Na první pohled je zřejmé, že v roce 2012 průtok v jednotlivých měsících sice kolísá, avšak nedosahuje žádných významných extrémů. Oproti tomu je průtok v první polovině roku 2013 silně nadprůměrný s výraznými píky, které značí jednotlivé kulminace povodní (viz kapitola 4.2.2.1). Druhá polovina roku je naopak silně podprůměrná. Od odeznění letní povodně 2013 se průtok (Q_d) nedostane až do poloviny jara 2014 nad hranici průměrného ročního průtoku ($Q_a = 6,21 \text{ m}^3/\text{s}$), což přibližuje [graf 20](#). V tomto grafu jsou mimo jiné vyobrazeny body, značící dny, ve kterých byla prováděna analýza výšky hladin na příčném profilu nivy Lužnice.

Graf 18: Počet dní sucha v jednotlivých letech na profilu Pilař (1965 – 2014)



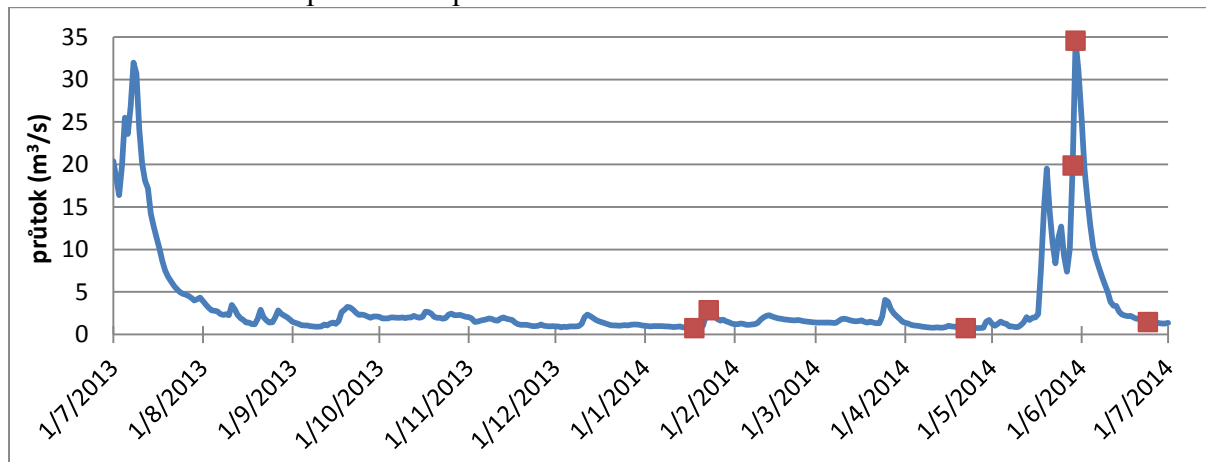
Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování

Graf 19: Průměrný denní průtok na profilu Pilař za období 1. 12. 2011 – 31. 10. 2014



Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování

Graf 20: Chod denních průtoků na profilu Pilař v období 1. 7. 2013 – 1. 7. 2014



Zdroj: data z ČHMÚ, vlastní zpracování

Pozn.: červené body značí období, ve kterých byla prováděna analýza hladin na profilu nivy

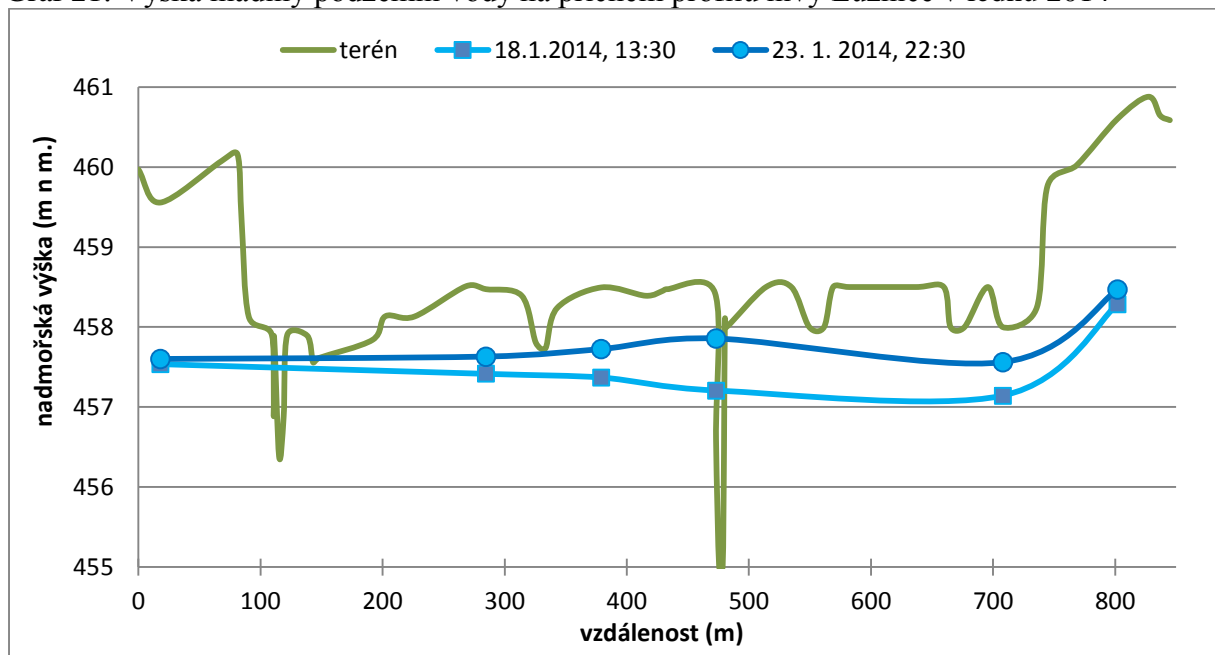
Jako první modelové období pro analýzu nízkých vodních stavů byl vybrán leden 2014. Celý tento měsíc vykazuje profil Pilař průměrný průtok $Q_m = 1,23 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejnižší Q_d byl zaznamenán 18. 1. 2014 ($0,752 \text{ m}^3/\text{s}$) a nejvyšší o 5 dní později, tedy 23. 1. 2014 ($2,86 \text{ m}^3/\text{s}$). Výšku hladiny na příčném profilu nivy v těchto dnech znázorňuje [graf 21](#).

Zatímco je hladina Lužnice v době nejnižších průtoků podobně vysoko jako vrt v nivě na jejím pravém břehu (DP_PB_N), tak hladina v ostatních vrtech je vždy o několik cm výše. Rozdíl mezi hladinou toku a výškou hladiny v pravé terase (DP_PB_T) je dokonce větší než 1 metr. Zvýšení průtoků dne 23. 1. 2014 se významně projeví pouze u hladiny řeky a v nivě na pravém břehu. Směrem k terasám se rozdíl změny výšky hladin snižuje. Nejméně výrazná změna je u terasy na levém břehu řeky (DP_LB_T), kde je rozdíl mezi výškou hladiny na začátku a na konci pozorování zcela zanedbatelný, což dokumentuje i [graf 22](#). Změna hladiny v nivě na levém břehu je pozvolná a v případě vrtu DP_LB_N2, který je blíže řece lehce výraznější.

Z výsledků vyplývá, že i při takto mírném zvýšení průtoků (23. 1. 2014), se hladina Lužnice dostává výš, než je hladina podzemní vody v okolních vrtech. Vyjímkou je hladina v pravé terase, která se ve všech případech pozorování (včetně analýzy povodňových situací) udržuje nad hladinou toku.

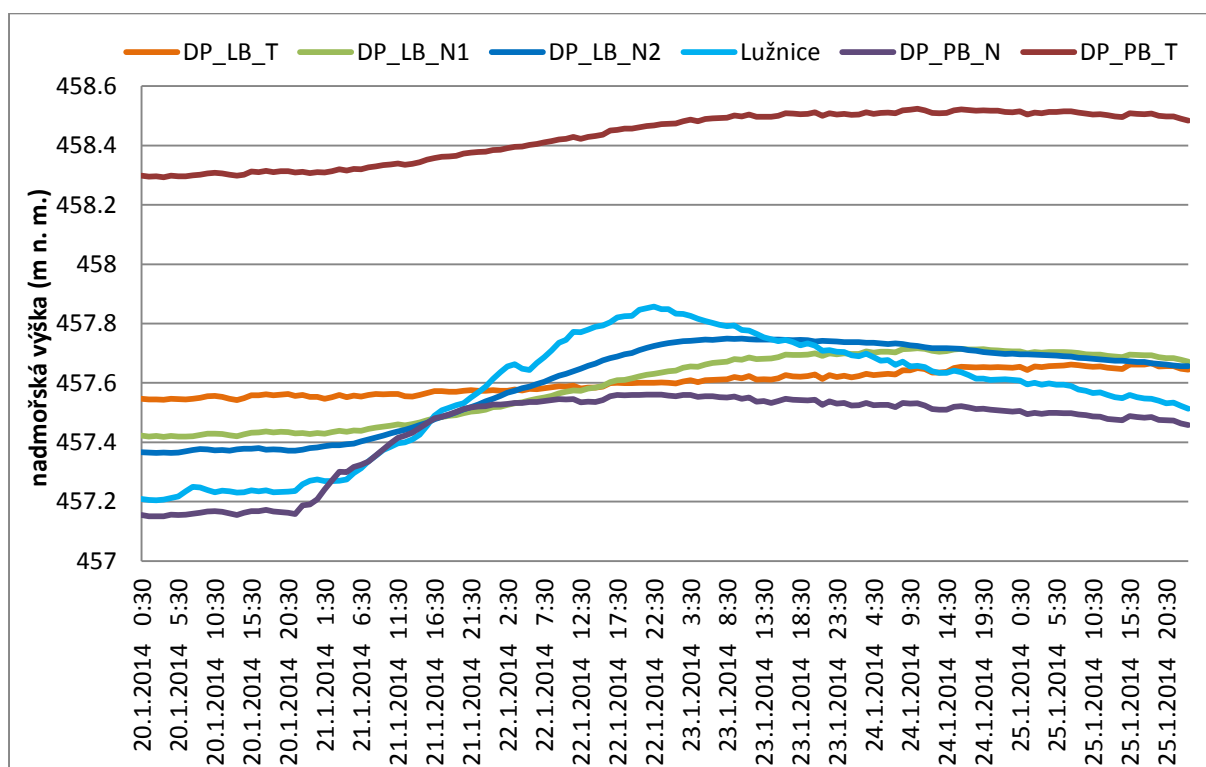
Takto nízká hladina podzemní vody v nivě, jak ukazuje [graf 21](#), je zapříčiněna již zmiňovaným dlouho trvajícím obdobím nízkých průtoků (viz [graf 20](#)). Z tohoto důvodu podzemní voda sice napájí koryto řeky (především díky pravé terase), avšak ne v takové míře, jako při průměrných vodních stavech.

Graf 21: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v lednu 2014



Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Graf 22: Výška hladin v jednotlivých vrtech v lednu 2014



Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Jako druhé modelové období pro analýzu nízkých vodních stavů byl vybrán duben 2014. Tento měsíc (jako i předchozí měsíce) vykazoval na horní Lužnici podprůměrné průtoky, které trvaly až do poloviny května. Nejnižší denní průtok (Q_d) v profilu Pilař byl zaznamenán dne 22. 4., a to $0,744 \text{ m}^3/\text{s}$. V druhé polovině května však došlo k výraznému nárůstu průtoku (od 17. 5. 2014). Na konci května pak na profilu Pilař kulminovala menší povodeň (30. 5. 2014) s průtokem vyšším, než je hodnota jednoleté vody. Průběh této události vystihuje [graf 23](#), ve kterém můžeme sledovat i chod průtoků na dalších sledovaných profilech. Po proudu Lužnice se jedná o stanice: Nová Ves, Niva, Dvory a Suchdol. Na jednotlivých křivkách je znát časový posun kulminací povodňových vln a díky předchozímu nízkému nasycení půdy i jejich transformaci po průchodu nivou Lužnice.

Zatímco na začátku zájmového území (v Nové Vsi) dosahuje dne 18. 5. 2014 ve 20:15 hod. průtok $30,54 \text{ m}^3/\text{s}$, tak ve stanici Niva vrcholí průtok ve 23:30 hod., a to pouze s hodnotou $18,02 \text{ m}^3/\text{s}$. Do profilu Dvory se kulminace dostává až 19. 5. 2014 v 6:10 hod. s průtokem $21,44 \text{ m}^3/\text{s}$. O pár kilometrů níže (přibližně 5 km vzdušnou čarou) v Suchdole je naměřen nejvyšší průtok až v 18:16 hod. s hodnotou $21,32 \text{ m}^3/\text{s}$, tedy nižší, než udává hladinměr ve Dvorech. Spolehlivost hodnot průtoků je samozřejmě ovlivněna kvalitou konsumpční křivky, podle které jsou průtoky vypočítávány. Každopádně podle výšky vodních stavů je zpomalení postupové doby kulminace zřejmé.

V následující události, která proběhla 29. 5. 2014, vrcholil průtok v Nové Vsi v 0:15 hod. s hodnotou $36,84 \text{ m}^3/\text{s}$. V profilu Niva došlo ke kulminaci ve 3:20 hod. s průtokem opět nižším než v Nové Vsi, a to $20,71 \text{ m}^3/\text{s}$. Do stanice Dvory se povodeň dostává v 8:30 hod. s hodnotou průtoku $24,28 \text{ m}^3/\text{s}$. Avšak na rozdíl od předchozí situace je v profilu Suchdol průtok mnohem větší než ve Dvorech, a to $30,6 \text{ m}^3/\text{s}$ v čase 16:46 hod.

Při srovnání obou těchto událostí je zřejmé, že přestože se stanice Niva nachází níže po proudu řeky než stanice Nová Ves, tak je kulminace průtoků v tomto profilu v obou případech nižší (ve srovnání s Novou Vsí). Důvodem zmírnění kulminace je zajisté přítomnost říční nivy, která se rozprostírá mezi jednotlivými stanicemi. V následujících profilech se začíná průtok opět zvyšovat, ovšem ani v jednom případě nepřesáhne hodnotu, která byla naměřená na začátku zájmového území v Nové Vsi, což výstižně demonstruje i [graf 23](#).

Výšku hladiny v době první a druhé kulminace znázorňuje na příčném profilu nivy [graf 25](#). Z grafu je zřejmé, že v obou případech byla výška hladiny toku nad úrovní terénu nivy, tedy že v průběhu obou kulminací došlo k vyběžení vody z koryta řeky a rozlivu do okolní nivy. V grafu dále můžeme vidět výšku hladiny v následujícím dnu po druhé kulminaci

(30. 5. 2014), kdy se výška hladiny toku a okolní nivy snižuje, oproti terasám, kde hladina stále ještě roste (podzemní voda v terasách reaguje na výkyvy hladiny řeky opožděně). Tuto skutečnost znázorňuje i v [grafu 24](#), kde je opožděný nástup kulminace v terasách vidět ještě zřetelněji.

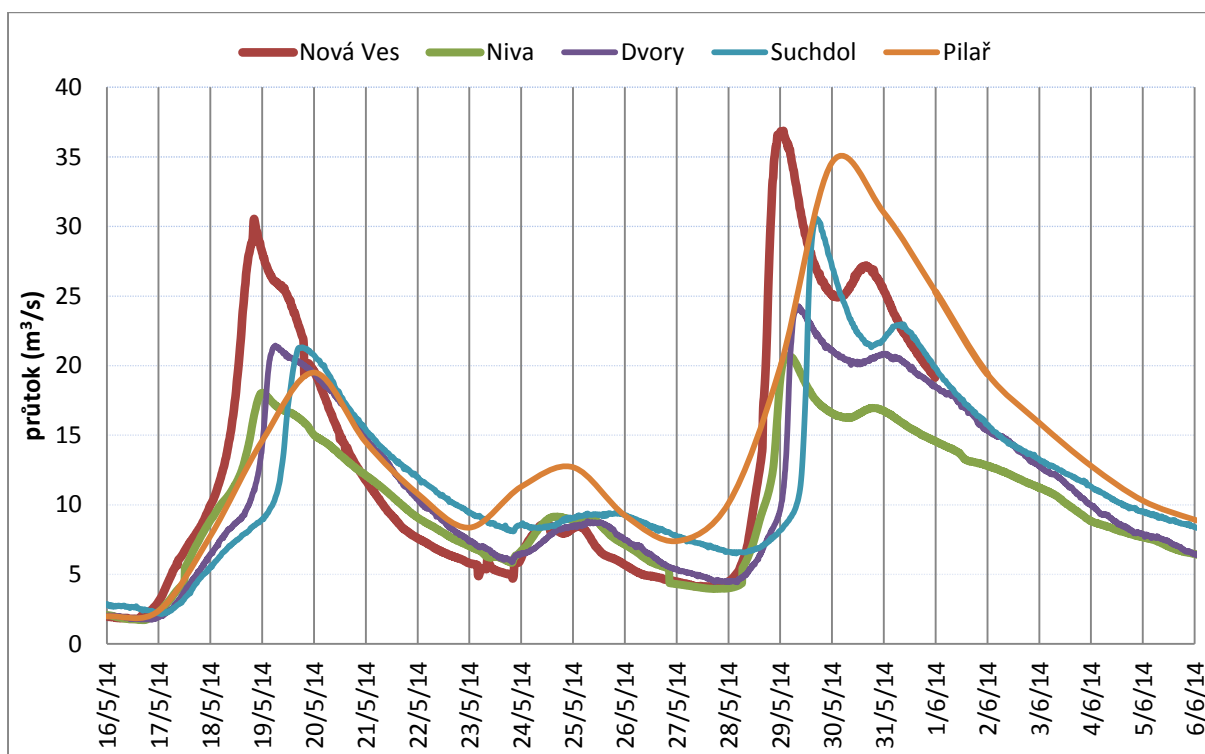
Další křivka v grafu značí rozložení hladiny v době nejnižšího vodního stavu za celé pozorovací období (rok 2011 je vynechán z důvodu nespolehlivých dat) ve dne 22. dubna 2014 asi ve 12:30 hod. Minimální průtok v Nové Vsi byl v tento den $1,26 \text{ m}^3/\text{s}$, v Nivě $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$, ve Dvorech $1,08 \text{ m}^3/\text{s}$ a v Suchdole pouze $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$.

Při srovnání s hladinou podzemní vody ve dne 18. ledna 2014 ([graf 21](#)), zjistíme určitou podobnost. V obou situacích je hladina podzemní vody na levém břehu Lužnice výše, než je hladina toku. Stejně tak je v obou případech hladina v nivě na pravém břehu (DP_PB_N) nižší než výška hladiny ve všech okolních vrtech, včetně toku v korytě řeky.

K podobnému výsledku lze dojít i při analýze rozložení hladiny podzemní vody a vody v korytě řeky ve dne 24. června 2014 ([graf 25](#)). Jedná se o období zhruba měsíc po uplynutí zmiňované povodně (29. 5. 2014), kdy se hladina vody téměř vrátila do původního rozložení před kulminací. Z křivky vyplývá, že výška hladiny je v tuto dobu a něco výše než na počátku pozorování (22. 4. 2014), avšak její průběh je velmi podobný. Pro srovnání je průtok v Nivě $1,25 \text{ m}^3/\text{s}$, ve Dvorech $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, avšak v Suchdole $2,29 \text{ m}^3/\text{s}$. Data z profilu Nová Ves bohužel nejsou k dispozici.

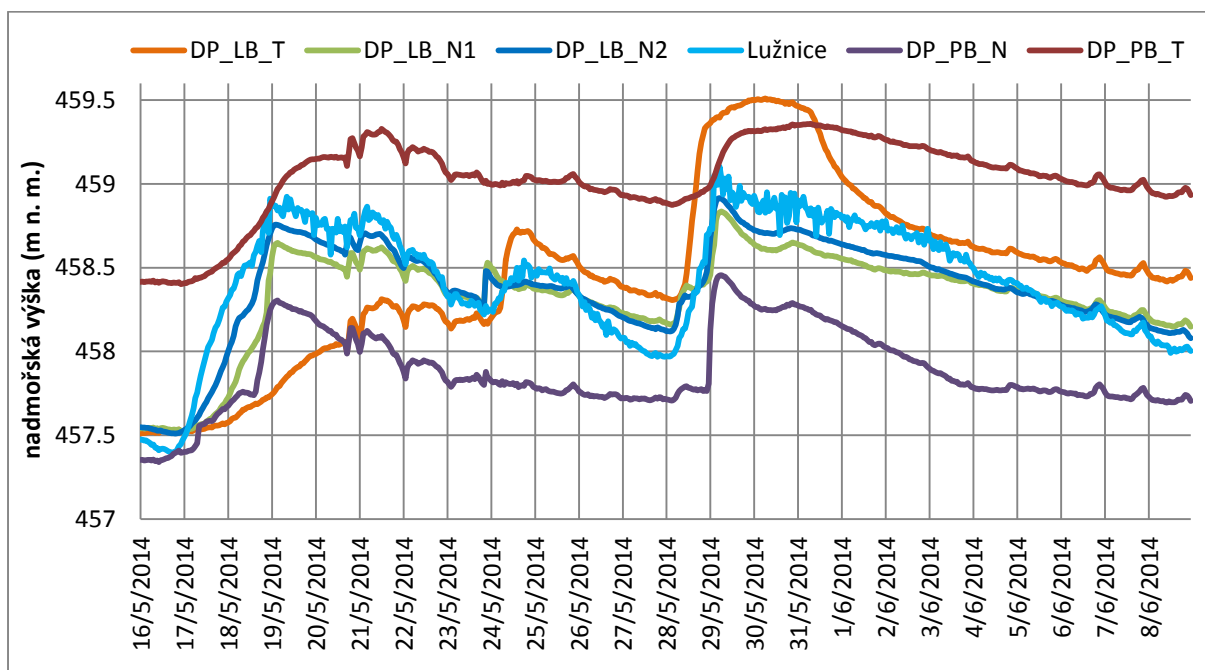
Při analýze vrtu DP_LB_T ([graf 24](#)) opět zjistíme, že i v tomto období je chování hladiny podzemní vody poněkud nestandardní. Nejprve se hladina ve vrtu chová podobně jako v terase na pravém břehu (16. – 22. 5. 2014), poté narůstá (24. 5.) a připomíná spíše průběh hladiny v toku a následně vzrůstá skokově (28. 5.) a převyšuje i hladinu ve vrtu DP_PB_T. Po několika dnech výška hladiny ve vrtu relativně rychle opadá.

Graf 23: Kulminace průtoku v květnu 2014



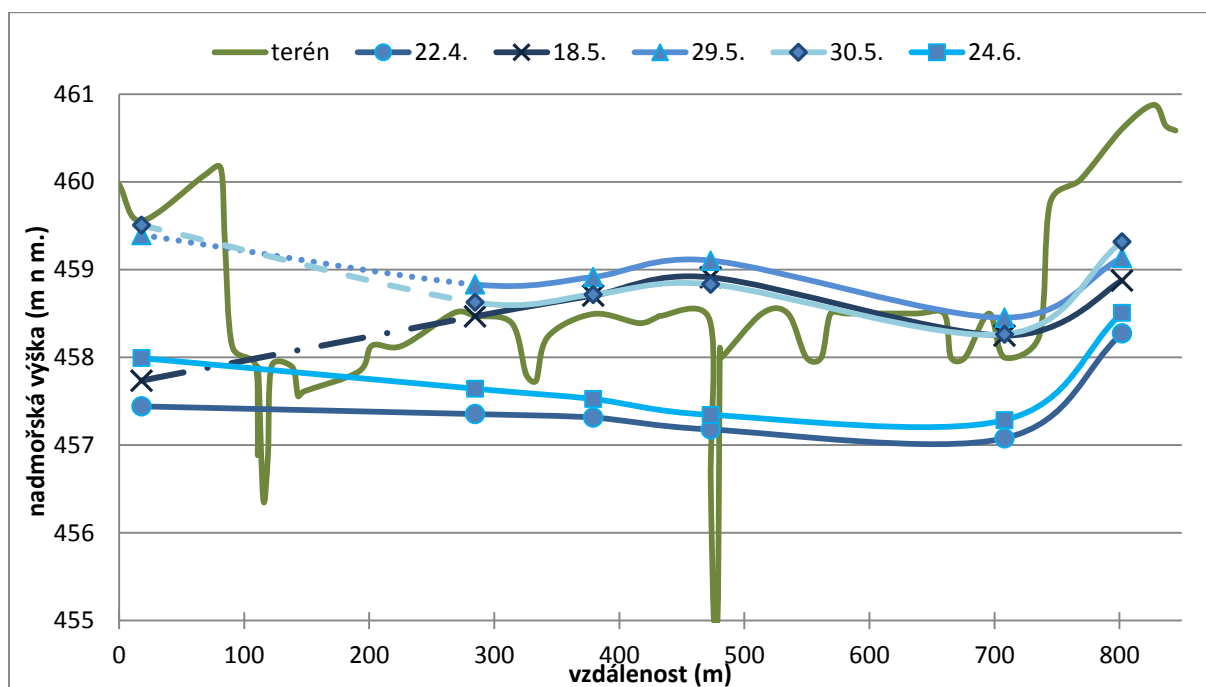
Zdroj: data z ČHMÚ a automatických hladinměřů KFGG PŘF UK, vlastní zpracování

Graf 24: Výška hladin v jednotlivých vrtech, jaro/léto 2014



Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Graf 25: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice, jaro/léto 2014



Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

4.2.2.3 Variabilita hladin

V průběhu roku se často mění režim podzemních vod. Výška hladiny kolísá vlivem přirozených i umělých činitelů. Na základě dlouhodobého sledování výšky hladin podzemních vod lze vypozorovat určitou pravidelnost v souvislosti se změnou ročního období. Obecné zákonitosti takovéto variability jsou popsány v kapitole 1.4.1.

Z pozorovacích vrtů v zájmové lokalitě zatím nelze vyvodit opakující se trend, jelikož pozorovací doba je příliš krátká a datová řada obsahuje mnoho mezer způsobené špatným měřením leveloggerů či barologgerů. Následující [graf 26](#) znázorňuje průměrnou nadmořskou výšku hladiny ve vybraných vrtech. Výška hladiny řeky nebyla v grafu vyobrazena z důvodu chybějících dat od dubna do listopadu 2013. V tomto období totiž proběhla červnová povodeň, která významně ovlivňuje hladinu podzemní vody. Pro srovnání je uveden [graf 27](#), ze kterého je zmiňované období vynecháno, ale naopak je přidána křivka průměrné výšky hladiny řeky v jednotlivých měsících. Na první pohled je zřejmé, že zmiňované období má zásadní vliv na tvar jednotlivých křivek. Významný rozdíl můžeme vidět nejen v období června, díky zmiňované povodni, ale také v podzimních měsících, zapříčiněné nízkými vodními stavy, které započaly po odeznění povodně a trvaly téměř půl roku (viz kapitola 4.2.2.2, [graf 20](#)).

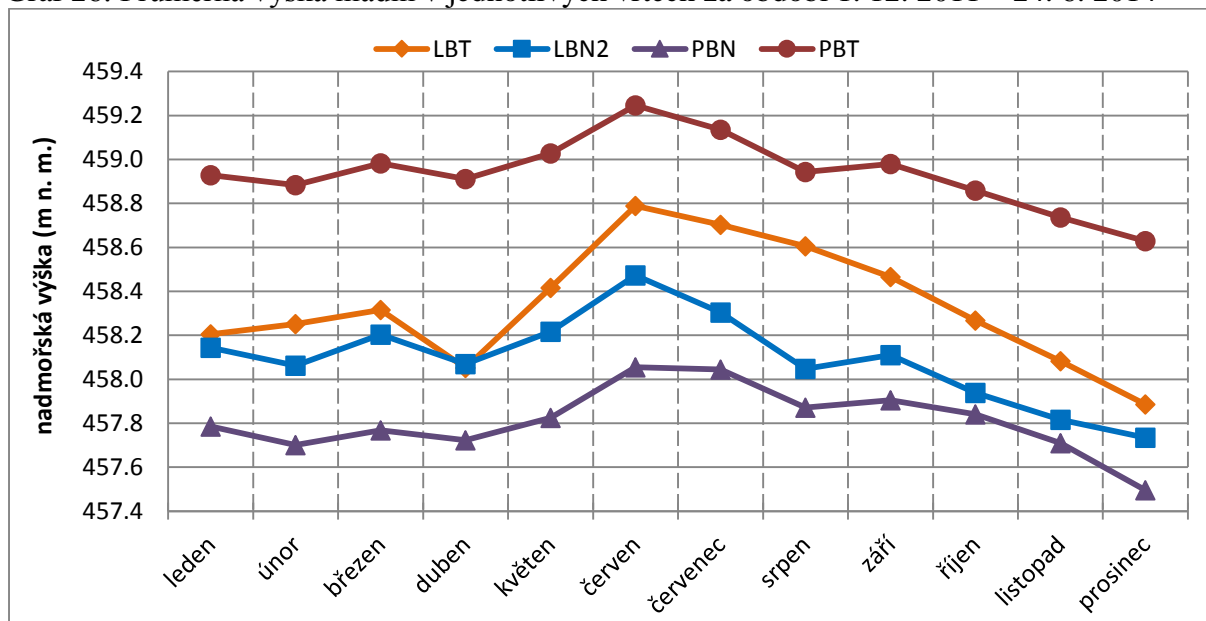
Pokud se však budeme podrobněji zabývat datovou řadou, ze které vznikl [graf 27](#), zjistíme, že průměrná výška hladiny v měsíci červenec, srpen, září a říjen je vypočtena pouze na základě roku 2012, jehož datová řada je jako jediná kompletní. Z výsledných křivek tak sice nelze vyvozovat relevantní závěry o režimu kolísání hladiny v průběhu roku, avšak můžeme si všimnout určitých zákonitostí, které se projeví i v analýze konkrétních hydrologických situací, jež jsou rozebírány v předchozích kapitolách.

Příkladem může být vrt na východní terase (DP_PB_T), jehož hladina je ve všech případech výše než výška hladiny v ostatních vrtech na dolním profilu. Další zákonitost je patrná u hladiny vrtu DP_LB_N2, která téměř kopíruje hladinu povrchového toku, ovšem jeho průměrná nadmořská výška je vždy o několik centimetrů výše než průměrná hladina řeky. Dalším příkladem je průměrná výška hladiny ve vrtu v nivě na pravém břehu řeky (DP_PB_N), která se v průběhu roku pohybuje pod úrovní průměrné výšky hladin okolních vrtů, včetně hladiny toku.

Tyto pravidelnosti však v určitých situacích narušuje kolísání hladiny ve vrtu na západní terase (DP_LB_T), která se v některých případech dostává až pod úroveň hladiny vrtu DP_PB_N. V jiných dnech zase naopak vystoupá nad úroveň hladiny vrtu DP_PB_T. Takovéto situace nastaly například v květnu 2014 (viz [graf 25](#)). V těchto případech je nutné brát v potaz výsledky Slabé (2011), která zahrnuje vrt do segmentu C – tedy jako těžko interpretovatelný. Výrazná rozkolísanost tohoto vrtu je zřejmá i v [grafu 28](#).

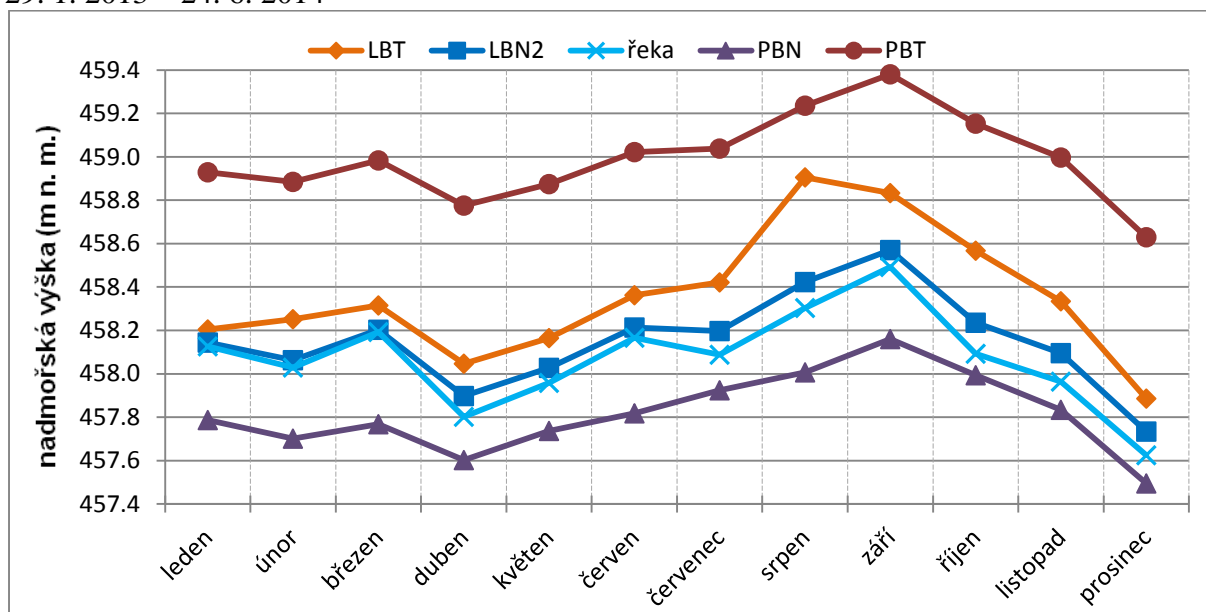
Při analýze variability hladin v jednotlivých vrtech se setkáváme se stejným problémem jako v případě průměrných výšek hladin. Následující [graf 28](#) i [graf 29](#) je sestaven na základě stejné datové řady jako [graf 27](#), tedy zde nejsou uvedeny data z červnové povodně a následného období nízkých vodních stavů. Proto je nutné uvažovat, že v případě zanesení chybějících dat se hodnoty rozkolísanosti změní (což dokazují i světle zbarvené přesahy v [grafu 28](#)). Období června následně vykazuje vyšší maximální výšku hladiny v jednotlivých vrtech a lze i s jistotou předpokládat, že by se zvýšila maximální výška hladiny toku. Naopak v podzimních měsících se variabilita zvýšila kvůli snížení minimální výšky hladiny podzemní vody, což lze očekávat i u hladiny řeky.

Graf 26: Průměrná výška hladin v jednotlivých vrtech za období 1. 12. 2011 – 24. 6. 2014



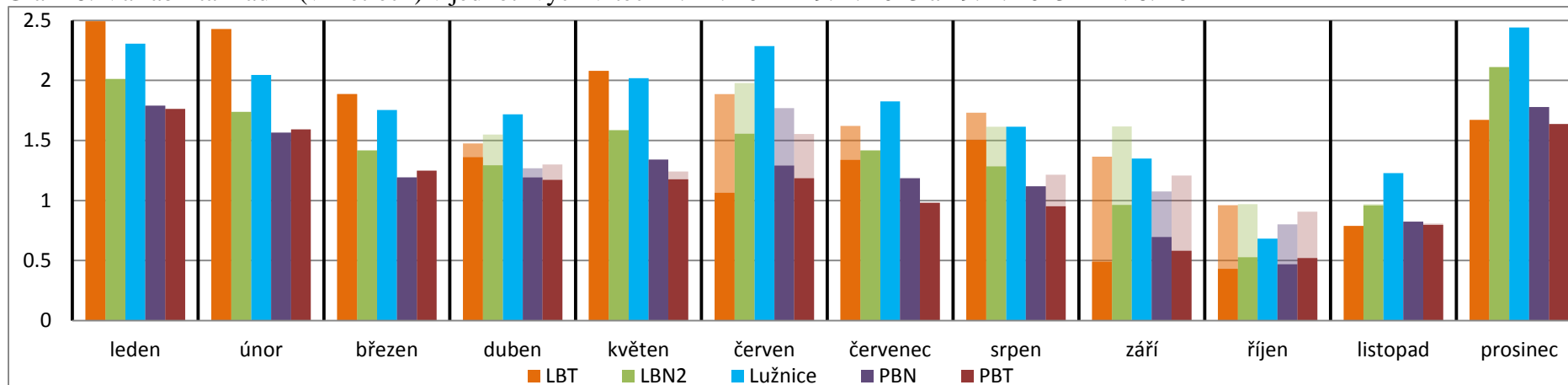
Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Graf 27: Průměrná výška hladin v jednotlivých vrtech za období 1. 12. 2011 – 9. 4. 2013 a 29. 1. 2013 – 24. 6. 2014



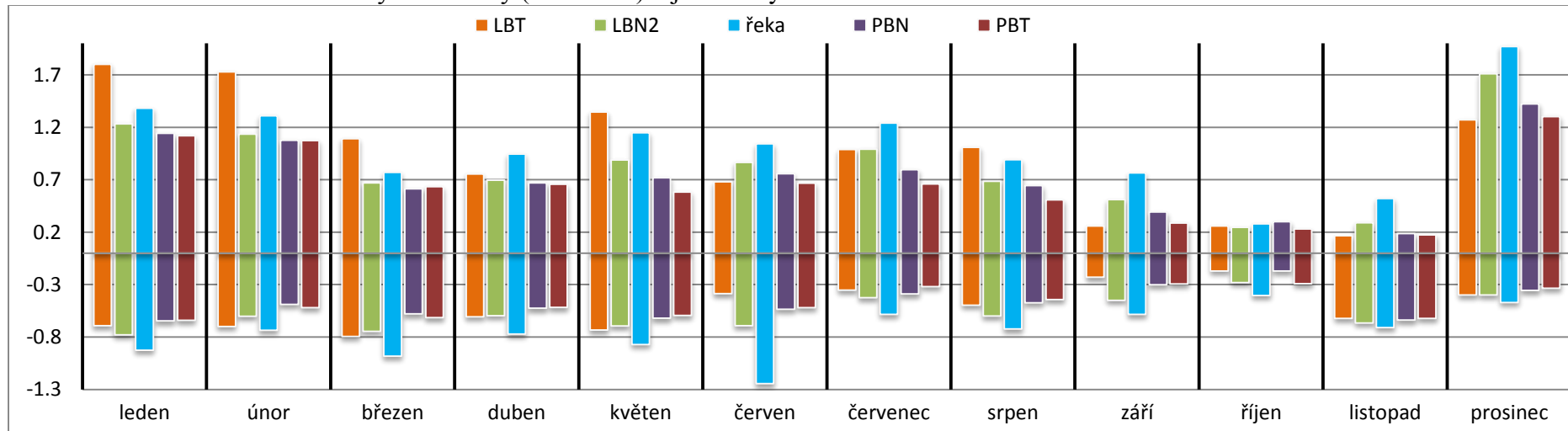
Zdroj: vlastní zpracování dat z leveloggerů

Graf 28: Variabilita hladin (v metrech) v jednotlivých vrtech 1. 12. 2011 – 9. 4. 2013 a 29. 1. 2013 – 24. 6. 2014



Zdroj: Vlastní zpracování dat z leveloggerů, pozn.: světlé přesahy značí hodnoty včetně období od 9. 4. 2013 do 29. 1. 2013

Graf 29: Maximální a minimální výška hladiny (v metrech) v jednotlivých vrtech za období 1. 12. 2011 – 9. 4. 2013 a 29. 1. 2013 – 24. 6. 2014



Zdroj: Vlastní zpracování dat z leveloggerů, pozn.: úroveň 0 značí průměrnou výšku hladiny každého vrtu

5. DISKUSE

Povodí horní Lužnice představuje velmi zajímavý fluviální systém, a to především díky zachovalé přírodní nivě, která se zde rozprostírá a ovlivňuje tak celý hydrologický režim této řeky.

První kapitoly praktické části se věnují zhodnocení odtokového procesu Lužnice. Tato část práce navazuje na DP Pavla Svobody (2011) a prodlužuje tak pozorovací datovou řadu od roku 2010 až do konce hydrologického roku 2014. Odtokové charakteristiky byly analyzovány na základně průměrných denních průtoků ze stanice Pilař.

Z hlediska hodnocení průměrných denních průtoků za celé sledované období 49 let bylo dosaženo ročního odtokového maxima na konci měsíce března (graf 9). Chod měsíčních průtoků vykazuje posunutí jarního maxima do měsíce dubna (graf 9, graf 6). Podle Svobody (2011) vypovídá tato skutečnost o výrazném vlivu vyšších poloh v povodí, kde naakumulovaná sněhová pokrývka odtává s jistým zpožděním. Nejnižší průměrný měsíční průtok připadá na podzimní měsíce, především listopad.

Hodnoty měsíčních a především denních průtoků jsou však pro měsíc srpen stále nadhodnoceny kvůli povodni v roce 2002. Při vynechání tohoto roku z datové řady klesne průměrný průtok pro některé srpnové dny až trojnásobně.

Na chodu průměrných ročních průtoků (graf 7) je zřejmé střídání sušších a vodnějších roků. Od roku 1965 do roku 2010 byly analyzovány Svobodou (2011). V této práci byly rozebrány jednotlivé povodňové události a období nízkých vodních stavů od roku 2010, a to především v souvislosti s hladinou podzemní vody v nivě Lužnice. Rok 2011 se z daného období jeví jako nejsušší $Q_a = 3,37 \text{ m}^3/\text{s}$, s nejnižším Q_d 4. 9. 2011, a to $0,378 \text{ m}^3/\text{s}$. Nejnižší průměrný měsíční průtok (Q_m) ovšem připadá na duben 2014. Naproti tomu nejvodnější rok je jednoznačně 2013 ($Q_a = 11,27 \text{ m}^3/\text{s}$), a to díky extrémní povodni, která se odehrála v červnu tohoto roku. Po deznění této události pak následoval celý půlrok podprůměrných průtoků.

Analýza jednotlivých extrémních hydrologických událostí byla prováděna na základě datové řady začínající od 1. 12. 2011 z důvodů chybějících dat o hladině podzemní vody. Zajímavostí je, že dvě nejvýznamnější události z hlediska vysokých průtoků se odehrály v lednu a v červnu 2013, tedy v zimním a letním období. O rok později však byla zima a léto 2014 charakterizována zcela podprůměrnými hodnotami průtoků. Takovýto rozptyl hodnot se samozřejmě projevilo i při hodnocení variability hladiny podzemní vody ve vrtech

v jednotlivých měsících ([graf 28](#)). Rozdíl mezi maximální a minimální hladinou ([graf 29](#)) byl nejvýraznější právě v zimních měsících a následně v červnu ([graf 28](#) – světle značené sloupce). Naopak nejnižší variabilita výšky hladiny vychází jednoznačně na podzimní měsíce, především říjen a listopad. Nutné je ovšem zmínit, že datová řada je příliš krátká na to, aby se z těchto výsledků daly vyvodit reprezentativní závěry.

Při srovnání interakce hladin povrchového toku s hladinou podzemní vody v jednotlivých vrtech lze odpozorovat určitou souvislost mezi rozkolísaností výšky hladin v závislosti na vzdálenosti od koryta řeky. Přitom musíme brát v úvahu nestandardní výkyv hladiny ve vrtu DP_LB_T. Z rozboru zbylých dat poté vyplývá, že nejvyšší variabilitu vykazuje v každém ročním období hladina toku a poté se rozkolísanost hladiny v nivě snižuje se vzdáleností od toku řeky (DP_LB_N2 je o 140 m blíže k řece než DP_PB_N). Charakteristika teras není jednoznačná. Vrt DP_PB_T vykazuje podobnou variabilitu jako vrt DP_PB_N, ovšem v některých měsících je mírně vyšší a v jiných zase kolísá méně. Terasa na levém břehu je však velmi komplikovaná. Z [grafu 29](#) lze vyčíst, že minimální výška hladiny v tomto vrtu nevykazuje takové nestandardní hodnoty jako maximální výška, která v některých případech převyšuje i variabilitu toku. Důvodem je pravděpodobně hypotéza, kterou uvedla ve své práci Slabá (2011), že vrt je zásoben jakýmsi dosud neznámým rezervoárem. Touto domněnkou by se dal vysvětlit i fakt, proč hladina v tomto vrtu v určitých situacích stoupá pozvolněji (zásobník se naplňuje), avšak následně je schopna ostatní vrty skokově přerůst. Takový případ zaznamenává např. [graf 24](#).

Při pohledu na další grafy znázorňující průběh vzdouvání hladin ([graf 14](#), [graf 17](#), [graf 22](#)) je zřejmá přímá interakce toku s okolní nivou. Nástupy kulminací jsou u řeky a hladiny v nivě téměř totožné. U teras jsou mírně opožděné a v některých případech kulminuje hladina v levé terase dokonce s předstihem. Tato skutečnost odpovídá i počátečnímu rozdělení území na segmenty, kde jsou vrty v nivě na dolním profilu zařazeny do skupiny A (území, které komunikuje s řekou) a vrt ve východní terase patří do segmentu B (komunikace je tlumenější a opožděná).

Po srovnání fluktuace vody při povodňových událostech ([graf 14](#), [graf 17](#)) a v období nízkých průtoků ([graf 22](#), [graf 24](#)), je možné konstatovat, že při vyšších vodních stavech má průběh hladiny podzemní vody větší podobnost s hladinou v toku než při nízkých průtocích. Příčinou je zajisté fakt, že i při mírně nadstandardním průtoku se hladina podzemní vody v nivě dostává nad úroveň terénu a stává se součástí povrchového odtoku. V souvislosti s horní Lužnicí hovoří Pithart a kol. (2003) o fenoménu přirozených rozlivů, které na území nivy nastávají dokonce již při hodnotách průtoku 6,32 m³/s v Nové Vsi, jak ve své práci

uvedl Šimek (2008). Slabá (2011) uvádí, že při větších povodňových událostech bývá niva horní Lužnice zatopena po celé šířce profilu, přičemž výška zatopení nivy sahá zpravidla pouze k úrovni nejnižší terasy. Z výsledků této práce však vyplývá, že při extrémních situacích (jako byla např. povodeň v červnu 2013) sice nedošlo k přelítí hladiny přes hranu terasy, avšak může dojít k vystoupení podzemní vody nad úroveň terénu za její hranou a k vytvoření dočasného rozlivu i v terase (graf 12 a graf 15).

Analýza povodňových událostí byla provedena nejen z hlediska rozložení hladiny podzemní a povrchové vody na příčném profilu nivy, ale i v závislosti na postupu povodňové vlny, a to z dat automatických hladinoměrů umístěných na úseku toku mezi Novou Vsí a Suchdolem n. L. Podobný rozbor postupové doby kulminací učinil i Svoboda (2011), a to na třech zimních povodních v roce 2009, 2010, 2011 a dvou letních povodních 2009 a 2010, což přináší určité srovnání s výsledky této práce.

Bohužel z nejvýznamnější povodně za sledované období (v červnu 2013) nejsou k dispozici data z hladinoměrů ani z Nové Vsi, ani ze Suchdola. Hladinoměr v profilu Niva měřil pouze při první kulminaci povodňové vlny a následně jsou hodnoty již nedůvěryhodné. Z tohoto důvodu není možné transformaci povodňové vlny podrobně charakterizovat. Kompletní datovou řadu poskytuje pouze stanice Dvory (graf 13), kde můžeme vidět rychlý nástup první kulminace a následně pozvolné klesání až do třetí kulminace na konci června, s mírným vzrůstem průtoku v průběhu druhé povodňové vlny (9. – 11. června). Těsně před nástupem třetí kulminace se hladina v nivě pohybovala stejně vysoko jako před první kulminací na konci května (graf 12), a to z toho důvodu, že půda v povodí Lužnice již byla silně nasycena před nástupem povodně (obr. 20).

Druhá nejvýraznější povodeň proběhla v zimě 2012/2013 a je také charakterizována třemi kulminačními vrcholy (graf 16). Na rozdíl však od červnové povodně byly průtoky před začátkem této události zcela podprůměrné. Příčinou povodně nebyly srážky, avšak teplota, která zapříčinila rychlou oblevu. První výrazné zvýšení průtoku se odehrálo na konci prosince. Velikost průtoku se v jednotlivých lokalitách příliš neliší. Zajímavostí však je, že v Suchdole je průtok dokonce menší než ve Dvorech. Při nástupu druhé kulminace se už rozdíl v průtoku mezi jednotlivými stanicemi zvyšuje a průtok v Suchdole převyšuje průtok ve Dvorech téměř o třetinu. Největší rozdíly jsou markantní při třetí kulminaci. Průtok v Nivě se zvýšil pouze o $1 \text{ m}^3/\text{s}$, ve Dvorech to již bylo téměř o $2 \text{ m}^3/\text{s}$, avšak v Suchdole došlo k nárůstu průtoku přes $7 \text{ m}^3/\text{s}$ od předchozí kulminace. Rozdíl mezi jednotlivými kulminacemi je také v postupové době. V prosinci byl časový rozdíl ve vrcholení průtoku mezi Nivou a Dvory 6,5 hodiny a mezi kulminací ve Dvorech a Suchdolem dokonce

10 hodin. Povodňová vlna na začátku ledna však postupovala z Nivy do Dvorů pouze 1,5 hod. a z Dvorů do Suchdola necelých 5,5 hod. Při poslední, nejvýraznější kulminaci, už se časový rozdíl významně neprohluboval. Ve Dvorech vrcholila povodeň také se zpožděním 1,5 hod. (ve srovnání s Nivou) a postupová doba mezi Dvory a Suchdolem byla přibližně 6,5 hod. Postup povodně mezi jednotlivými stanicemi tedy nezrychlil, i když průtok opět zesílil a převýšil předchozí kulminaci (především v Suchdole). Zvýšení průtoku po proudu řeky je pravděpodobně způsobeno přítoky, které se vlévají do Lužnice mezi Dvory a Suchdolem (Gamza, Tušť). Data z hladinoměru v Nivě a ve Dvorech totiž nevykazují tak rozdílné hodnoty (viz výše) a výška hladiny v nivě před touto povodňovou vlnou byla podobně vysoko jako před uplynulou kulminací na začátku ledna. Dalším důvodem je zajisté fakt, že se Suchdol nachází níže než zbylé profily, a tak k tání sněhu docházelo dříve a ve větší míře.

K nejvýraznější transformaci povodňové vlny tedy došlo v průběhu první kulminace na konci prosince. Postupová doba mezi jednotlivými stanicemi byla nejdelší a vrcholení průtoku nejmírnější. Ve srovnání s rozložením hladiny v nivě před kulminacemi v lednu byla hladina před nástupem prosincové kulminace nejnižší (graf 15). Hladina podzemní vody v nivě byla pod úrovní terénu a povrchový tok se držel v korytě řeky. Pro lepší analýzu transformace povodně jsou zapotřebí kvalitní data z Nové Vsi, která se nachází před vstupem Lužnice do zachovalé říční nivy, ta však bohužel nebyla k dispozici.

Rok 2014 byl charakteristický spíše podprůměrnými průtoky. Přesto se v tomto roce objevili i průtoky vyšší než jednoletá voda. Takovým příkladem může být událost v květnu 2014, kterou znázorňuje graf 23, jež obsahuje data ze všech automatických hladinoměrů, včetně Nové Vsi. Díky datům ze všech měrných stanic lze reprezentativně charakterizovat funkci říční nivy a její vliv na transformaci jednotlivých kulminací.

Na začátku května 2014 byl průtok na Lužnici hluboko pod průměrem. K prvnímu výraznému nárůstu došlo až v druhé polovině května. Dne 18. 5. 2014 byl v Nové Vsi průtok vyšší než 30 m³/s. Následně došlo k poklesu a na konci května průtok opět vzrůstal, až kulminoval v menší povodeň.

Rozdíl mezi jednotlivými situacemi je nejen v průtoku, ale i v postupové době kulminace. Zatímco při prvním vrcholení průtoku (18. 5. 2014) byla kulminace mezi Nivou a Dvory opožděna přibližně o 6,5 hod. a průtok narostl o 15% a mezi stanicí Dvory a Suchdolem o celých 12 hodin s průtokem v Suchdole dokonce nepatrně nižším než ve Dvorech, tak při druhé situaci (29. 5. 2014) postupovala kulminace z Nivy do Dvorů už jen 5 hodin a z Dvorů do Suchdola pouhých 8 hodin. Při druhé kulminaci jsou průtoky na všech profilech vyšší, což je způsobeno i vyšším počátečním průtokem v Nové Vsi, kde vzrostla kulminace

o $7,4 \text{ m}^3/\text{s} = 25\%$. V Nivě už jen o pouhých $2,7 \text{ m}^3/\text{s} = 15\%$, ve Dvorech o $2,8 \text{ m}^3/\text{s} = 13\%$, což představuje zvýšení průtoku mezi Nivou a Dvory o také přibližně o 15% jako při první situaci. V Suchdole však narostl průtok o $9,3 \text{ m}^3/\text{s} = 43,5\%$ od předchozí kulminace, což představuje nárůst od Dvorů o 20,7%.

Když shrneme výčet těchto čísel, zjistíme, že v této situaci došlo ke zvýšení průtoku v Nové Vsi o jednu čtvrtinu, což vyvolalo rychlejší postup kulminace, avšak ne takový nárůst průtoku ve stanicích umístěných v nivě řeky. Největší rozdíl byl však v nárůstu průtoku v Suchdole, a to ať už ve srovnání s předchozí kulminací, tak s průtokem ve stanici Dvory výše po proudu.

Příčinou zkracování postupové doby kulminace, avšak velmi mírného zvyšování průtoků, je pravděpodobně fakt, že druhá kulminace byla výraznější kvůli příčinným srážkám. Díky suchému období, které však této události předcházelo, nebyla niva v okolí řeky zcela nasycena, a proto se plně využila její retenční kapacita, a to v případě obou kulminací. Důvod proč se takový výsledek neprojevil i ve stanici Suchdol je pravděpodobně ten, že mezi nivou a touto stanicí ústí několik středně velkých přítoků (např. Tušť). Navíc zde došlo k regulaci koryta narovnáním toku, což průtok jednoznačně urychluje.

Při pohledu na [grafu 23](#) je tedy zřejmé, že průtok v Nové Vsi během obou kulminací výrazně převyšuje průtok ve stanicích níže po proudu. Dále je jasně viditelný prudký pokles průtoku v Nové Vsi po vygradování obou kulminací. Nejvýraznější rozdíl je ve srovnání s Nivou a Dvory, kde průtok klesá nejméně strmě, což dokládá dlouhou setrvačnost během rozlivu povodňové vlny do přírodní nivy. Ke stejnému výsledku dospěl i Svoboda (2011) při analýze vybraných povodní.

Pokud se zaměříme na stanici Suchdol v průběhu dubna až června 2014, dojdeme k podobnému závěru jako Turek a Grill (2011). Dne 22. 4. 2014 byla hladina Lužnice nejnižší za celé sledované období, průtok v Nivě byl $0,86 \text{ m}^3/\text{s}$ a v Suchdole pouze $0,85 \text{ m}^3/\text{s}$. V květnu následovala zmiňovaná povodeň a v průběhu června 2014 se hladina v nivě opět navrátila téměř do stejného rozložení jako na začátku pozorování ([graf 25](#)). Průtok v Nivě byl 24. 6. 2014 pouze o 45% vyšší než v dubnu, avšak v Suchdole došlo k nárůstu až o 168%. Mnohem lepší by bylo srovnání s Novou Vsí, bohužel se opět setkáváme s výpadkem hladinoměru a data tak nejsou k dispozici. I přes to však můžeme pozorovat trend zvýšeného průtoku po průchodu přírodní nivou, kdy se po kulminaci povodně gradient proudění vody opět otáčí a niva začne dotovat řeku a udržuje tak zvýšený průtok řeky, a to i po delší době od odeznění povodně.

Proudění podzemní vody v nivě horní Lužnice představuje složitý systém. Během povodňových událostí lze říci, že voda proudí vždy z řeky do nivy. Mnohem komplikovanější je vyvodit závěry o proudění v období průměrných a nízkých průtoků.

Stav hladiny za hydrologického sucha se bohužel nepodařilo postihnout, jelikož od roku 2007 se dle údajů ze stanice Pilař nevyskytl jediný průměrný denní průtok, který by odpovídal hranici Q_{355} (viz [graf 18](#)). Nejnižší výšky hladiny za sledované období byly zaznamenány v dubnu a v lednu 2014. Přičemž úroveň hladiny v dolním profilu nivy ve dnech 22. dubna 2014 ([graf 25](#)) a 18. ledna 2014 ([graf 21](#)) je velmi podobná. Podzemní voda na levém břehu Lužnice je maximálně o 35 cm výše než hladina v korytě řeky a hydraulický spád mezi jednotlivými vrty je mírný. Na pravém břehu Lužnice je výška hladiny v nivě maximálně o 10 cm níž než v řece, avšak hladina v terase převyšuje hladinu toku o více než metr. Při takovém stavu hladiny lze předpokládat na levém břehu paralelní proudění podzemní vody s tokem Lužnice, přičemž směr proudění se bude mírně uchylovat k řece. Na pravém břehu řeky bude docházet k dotaci nivy vodou z východní terasy. K podobnému závěru lze dojít i při analýze úrovní hladiny podzemní vody a vodního stavu v řece ve dne 24. června 2014 ([graf 25](#)). Jedná se o období zhruba měsíc po uplynutí menší povodně (29. 5. 2014), kdy se hladina vody téměř vrátila do původního stavu jako před kulminací. Významnější rozdíl je pouze u hladiny v levé terase, která je o půl metru výše než před kulminací (22. dubna). V takovémto případě není vyloučené, že by z levého břehu mohlo docházet až k transientnímu proudění skrz koryto řeky (viz [obr. 6, E](#)), ovšem je nutné brát v potaz kolmataci koryta řeky a vývoj toku níže po proudu. Dále je zapotřebí srovnat výsledky se Slabou (2011) a Turkem, Grillem (2011), u kterých se hladina ve vrtu DP_PB_N nevyskytovala tak často pod úrovní hladiny toku. Z výsledků této práce vyplývá, že hladina na pravém břehu se v nivě pohybuje ve většině případů níže než hladina řeky, a to ať už v době povodní, kdy by se časem měla vyrovnat a vytvořit souvislou úroveň (což se zpravidla neděje), tak i při nízkých vodních stavech (viz [graf 10](#)). V případě povodní by se mohlo stát, že je hladina snížena v důsledku bujné vegetace na pravém břehu a při nízkých vodních stavech díky vysoké průtočnosti v tomto vrtu, kterou uvedla Slabá (2011) až na 0,5 m/den. Ovšem ani při modelacích vybraných událostí Slabé (2011) se hladina nevyskytuje pod úrovní hladiny toku tak často. Autorka navíc uvádí, že k transientnímu proudění dochází pouze v horní a střední části území, nikoli na dolním profilu. Na základě těchto faktů se dá usoudit, že se změnila poloha čidla ve vrtu a výsledky výšky hladiny v tomto vrtu jsou podhodnocené.

Výšku hladiny před a po kulminaci v roce 2009 dokumentovali i Turek a Grill (2011) viz [graf 10](#). V tomto případě však hladina vody klesla měsíc po kulminaci ještě níže, než se pohybovala měsíc před nástupem povodně. Podle tvaru křivky, který ji zobrazuje, se dá s jistotou soudit, že podzemní voda v nivě a terasách měla v tuto dobu (13. 9. 2009) vyšší potenciál, a tak dotovala svým přítokem řeku z obou stran.

Při srovnání hladiny dne 18. 1. 2014 ([graf 21](#)) s nejnižší hladinou v [grafu 15](#), kde dne 9. 12. 2012 byl průtok na profilu Pilař $Q_d = 1,73 \text{ m}^3/\text{s}$, je zřejmý rozdíl výšky hladin mezi řekou a jejím okolím. V prosinci 2012 vykazuje hladina podzemní vody ve všech vrtech v okolí toku větší hydraulický spád, u většiny vrtů až dvojnásobný, oproti hydraulickému spádu 18. ledna 2014. Z výsledků analýzy dat dále vyplývá, že výška hladiny Lužnice byla v době pozorování dne 9. 12. 2012 pouze o 33 cm výše než 18. 1. 2014. Avšak podle hydraulického spádu lze usoudit, že přítok z nivy do řeky mohl být v tuto dobu až dvojnásobně vyšší. Důvodem takového rozdílu sklonu hladiny je zajisté fakt, že rozložení hladiny v zimě 2014 odráží stav půlročního období nízkých vodních stavů, oproti hladině v zimě 2012, která v průběhu uplynulého půl roku často fluktovala.

6. ZÁVĚR

Předložená diplomová práce se zabývá interakcí mezi podzemní a povrchovou vodou v nivě řeky Lužnice. Pochopení této problematiky vede zároveň k porozumění hydrologické funkce nivy, u které se předpokládá vysoký retenční potenciál, jež zmírňuje následky extrémních hydrologických situací.

K podrobné analýze je důležité seznámení se zájmovým územím a základní charakteristika hydrologického režimu daného úseku řeky, což bylo vytyčeno i jako jeden z cílů práce. Tato část byla provedena jak na základě rešerše předchozích prací, tak vlastními výpočty z dat vodoměrného profilu Pilař. Zvláštní pozornost byla přitom věnována zhodnocení vybraných povodní a suchých období v povodí horní Lužnice, a to s pomocí dat z automatických hladinoměrů, instalovaných za účelem detailnějšího monitoringu hydrologických dějů v nivě.

Bohužel kvůli častým výpadkům měrných přístrojů nebyla k dispozici všechna data. Záznamy hodnot ze všech měrných profilů se podařilo získat pouze pro hodnocení jediné události, a to hydrologicky suchého období v dubnu 2014, které na konci května 2014 vyústilo v menší povodeň. Závěry učiněné na základě komplexního hodnocení jediné události a dalších s omezeným počtem dat by se mohly zdát nereprezentativní, ovšem díky předchozím studiím dalších autorů, např. Svobody (2011), Turka a Grilla (2011), bylo k dispozici určité srovnání. Díky tomu je možné z jednotlivých analýz událostí potvrdit tyto závěry o funkci říční nivy:

Při průchodu povodně přes zachovalou přírodní nivu dochází k významné transformaci průtoku a zpomalení postupu povodňové vlny. Důležitou roli při vzniku, rychlosti a velikosti povodně hraje předchozí nasycenost povodí, což dokládá rozbor jednotlivých situací.

Při jednoleté povodni (vztaženo k profilu Pilař) na jaře 2014 byla hladina podzemní vody v nivě relativně nízko z důvodu dlouhotrvajícího sucha. Při prvním zvýšení průtoku, které předcházelo zmiňované povodni, se vyšvihl průtok v Nové Vsi na hodnotu 30,54 m³/s. Ve stanici Suchdol kulminoval průtok až za 22 hodin a to přibližně s hodnotou průtoku o 30% nižší než v Nové Vsi. Zhruba po 10 deseti dnech od této události dorazila do Nové Vsi zmiňovaná povodeň. Průtok vrcholil v hodnotě 36,84 m³/s. V Suchdole nad Lužnicí však průtok kulminoval stále s nižší hodnotou, i když snížení bylo už jen o 17% a povodeň dorazila k měrné stanici za 16,5 hodiny. Tak výrazná změna ovšem nebyla způsobená významnou změnou retenční kapacity nivy, ale pravděpodobně kulminací přítoků, které ústí do Lužnice mezi Dvory a Suchdolem. Tento předpoklad vychází z analýzy průtoků mezi jednotlivými

stanicemi. Průtok mezi Novou Vsí a Nívou se snížil v obou případech velmi podobně. Při první kulminaci o 41% a při druhé dokonce o 43,8%. Podobný byl i nárůst průtoku mezi Nívou a Dvory. V obou případech se jednalo přibližně o 15%. Největší rozíl byl však mezi Dvory a Suchdolem, kdy v prvním případě byl průtok v Suchdole dokonce nižší než ve Dvorech a během povodňové události vzrostl o 20,7% ve srovnání s Dvory.

Díky nízkému nasycení povodí před vybranou událostí a kulminaci povodně jen o málo větší, než je jednoletá voda (vztaženo k Pilaři), byla plně využita retenční kapacita nivy, a tak došlo k výraznému snížení průtoku a zpomalení postupu jednotlivých kulminací. Podobná situace nastala i v zimě 2012/2013.

Pro tuto událost je také charakteristické období nízkých průtoků, které povodni předcházeli. Ovšem rozdíl je ve vrcholení 3 kulminací, přičemž jedna z nich významně převyšovala hodnotu jednoleté vody a druhá byla větší než voda dvouletá (vztaženo k Pilaři). V první fázi došlo ke zvýšení průtoku, který byl transformován nivou, takže se průtoky na dolních profilech příliš nelišily a stanice Suchdol opět vykazovala nižší stav než Dvory. Následovala druhá kulminace (jednoletá voda), která byla ovšem mnohem větší a rychlejší než předchozí. Postupová doba z Nivy do Dvorů a z Dvorů do Suchdola se zkrátila přibližně o 5 hodin. Při třetí kulminaci se už rychlost postupu výrazně nezměnila, ovšem směrem po proudu se velikost průtoku opět zvýšila. V tomto případě je nutné si uvědomit, že niva byla po zimě promrzlá a nemohl se zcela projevit její retenční potenciál, dále také, že mezi Dvory a Suchdolem ústí další přítoky, ale především, že se jednalo o povodeň způsobenou táním sněhové pokrývky. Průtok tedy logicky narůstal směrem do údolí, aniž by se zrychloval postup kulminací v jednotlivých stanicích.

Zrychlení postupu jednotlivých vln a zvýšení průtoku v závislosti na nasycení nivy by bylo jistě nejlépe patrné v průběhu nejvýznamnější povodně za sledované období, tedy v červnu 2013. Bohužel díky výpadku jednotlivých měrných stanic není možné tuto povodeň podrobně analyzovat. Na základě předchozích studií však lze předpokládat, že transformace povodňové vlny nebyla v důsledku zatopení nivy již před kulminací povodně tak významná.

Hydrologická funkce nivy tak byla na základě transformace vybraných kulminací do určité míry ověřena. Dosud nebylo však exaktně prokázáno, co v dobách extrémních průtoků probíhá přímo v nivě. Kromě zhodnocení vybraných povodní byl proto jedním z cílů práce analyzovat vliv těchto extrémních hydrologických situací (nejen povodní, ale i sucha) na interakci povrchové a podzemní vody přímo v nivě horní Lužnice. Hydrologické sucho se bohužel nepodařilo detailně analyzovat, jelikož se během sledovaného období na Lužnici

nevyskytlo. Analýza sucha byla tedy provedena pouze na základě podprůměrných vodních stavů (vztaženo k Pilaři), a to ve 2 obdobích.

Při zpracovávání dat se ukázalo, že odtokové poměry povrchové a podzemní vody v nivě nelze specifikovat pouze na základě průtoku či vodního stavu v korytě řeky. Podstatné je rozdělit tyto události na dva typy, podle toho, jestli následovaly po relativně suchém období, nebo navazovaly na povodňovou vlnu. Podle analýzy stavu hladiny podzemní vody na příčném profilu Lužnice bylo potvrzeno, že při určitém vodním stavu může řeka napájet nivu, avšak při podobném vodním stavu tomu může být i obráceně. Záleží na příčinné události, jestli byla výška hladiny řeky dlouhodobě stejně vysoko, nebo zda došlo k náhlému vzduť, či poklesu. V takovém případě se okolí řeky (především terasy) chová opožděně a gradient proudění se tak snadno změní.

Obecně lze však říci, že při povodni má vyšší potenciál Lužnice, která se rozlévá do okolní nivy a napájí ji. V období sucha je tomu zpravidla obráceně. Hladina v Lužnici klesá a je dotována podzemní vodou z nivy a přilehlých teras. Na základě chování podzemní vody ve vrtu ve východní terase lze říci, že podzemní voda v terasách se vyskytuje poměrně vysoko, chová se opožděně a je nejméně náchylná na fluktuaci hladiny (má nejnižší variabilitu). Oproti tomu vykazuje hladina v řece nejvyšší rozkolísanost, a to ve všech ročních obdobích.

Niva Lužnice se však řadí ke kombinovaným systémům, kde směr proudění podzemní vody není jednoduché přesně určit, a to především v době nízkých průtoků. V některých úsecích nedochází pouze k příronu či vcezu, ale proudění může být paralelní nebo dokonce transientní skrz koryto řeky. Při pohledu na jednotlivé grafy rozložení hladin je nutné brát v potaz, že modelace jsou pouze dvojrozměrné, kdežto proudění v nivě záleží nejen na sklonu hladiny mezi terasami, vrty a řekou v transektu, ale také na celkovém sklonu povodí a vývoji toku nad a pod transektem. Z tohoto důvodu je zapotřebí dlouhodobějšího monitoringu a analýzy dat z ostatních vrtů, podle kterých lze vytvořit ekvipotenciály hladiny podzemní vody a získat tak lepší představu o směru proudění v nivě. Takovýto cíl, spolu se zpřesněním konsumpčních křivek jednotlivých profilů, by mohl být základním kamenem nové univerzitní práce.

7. REFERENCE

- BAYLEY, P. B. (1991): The flood pulse advantage and the restoration of river-floodplain systems, *Regulated Rivers: Research & Management* 6(2): 75-86.
- BECKER, A., GRÜNEWALD, U. (2003): Flood risk in Central Europe, *Science*, 300, 1099. Dostupný z: <http://www.sciencemag.org/content/300/5622/1099.short> - aff-2
- BREN, L. J. (1993): Riparian zone, stream, and floodplain issues: a review. *Journal of Hydrology*, 150: p. 277-299. Dostupný z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/002216949390113N>
- BRIDGE, J. S. (2003): Rivers and floodplains: forms, processes, and sedimentary rekord, Blackwell Science, Oxford, 491 pp. ISBN 0 632 06489 7
- BURT, T. P. (2002): Water table fluctuations in the riparian zone: comparative results from a pan-European experiment. *Journal of Hydrology* 265(1-4): 129-148.
- ČURDA, J., JANSKÝ, B., KOCUM, J. (2011): Vliv geografických faktorů na extremitu povodní v povodí Vydry. *Geografie*, 116, č. 3, s. 335 – 353.
- DAŇHELKA, J. a kol. (2014). Povodně v České republice v červnu 2013. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav. 86 s. ISBN 978-80-87577-41-7
- DEMEK, J. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Praha: Academia. 584 s.
- DEMEK, J., MACKOVČIN P. a kol. (2006): Hory a nížiny – zeměpisný lexikon ČR. 2. vyd.: Brno: AOK ČR. 580 s.
- DIFFENBAUGH, N. S., et al. (2005): Fine-scale processes regulate the response of extreme events to global climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 102(44): 15774-15778.
- DOSTÁL, T. a kol (2012a): Hydrologické procesy v nivách a jejich význam pro retenci vody: Hydropedologické a hydrologické poměry nivy horní Lužnice. In: Pithart a kol. (ed.), Význam retence vody v říčních nivách. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, 2012, s. 70. ISBN 978-80-260-3697-5.
- DOSTÁL, T. a kol (2012b): Hydrologické procesy v nivách a jejich význam pro retenci vody: Procesy, které se uplatňují při retenčním působení niv. In: Pithart a kol. (ed.), Význam retence vody v říčních nivách. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, 2012, s. 74. ISBN 978-80-260-3697-5.
- DOUGLAS, I. et al. (2007): Characterisation of Urban Streams and Urban Flooding. In: Ashley et al. (ed.), *Advances in Urban Flood Management*, London, UK, Taylor & Francis: p. 29-58.
- ELLEDER, L. (2013): Hydrologické hodnocení a parametry sucha v roce 1904: Sucho a jak mu čelit, Praha: Český svaz vědeckotechnických společností. ISBN 978-82-02-02465-1
- GRECMANOVÁ, I. (2011): Analýza vzniku a vývoje povodní na řece Dyji. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 115 s.
- HASTÍKOVÁ, P. (2012): Vývoj vybraných fluviálních jezer v nivě Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 115 s.
- HAVLOVÁ, J. (ed.) (1998): Ekologická studie Lužnice. Hydroprojekt, Praha, 423 s.

- CHÁBERA, S. et al. (1985): Neživá příroda. Jihočeská vlastivěda. Jihočeské nakladatelství České Budějovice, České Budějovice, 270 s.
- CHUMAN, T., MATĚJČEK, T., LIPSKÝ, Z., (2007): Sukcese vegetace v údolní nivě po extrémních záplavách. In: Langhammer, J. (ed.), Povodně a změny v krajině. MŽP a PřF UK, Praha, s. 257-267
- JACEK, M. (2014): Projevy povodně v červnu 2013 na Horní Lužnici. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 54 s.
- JANSKÝ, B. (2007): The disastrous floods within the czech catchment area of the Elbe river in august 2002 and the strategies of protection against the floods in the Czech Republic. In.: Roch, I., Petříková, D. (eds.): Border-Free River Basins (Flusslandschaften ohne Grenzen). ARL Hannover, IOER Dresden, FA STU Bratislava, ROAD Bratislava. s. 271 – 281.
- JANSKÝ, B., TUREK, M. (2012): Hydrologické procesy v nivách a jejich význam pro retenci vody: Interakce povrchových a podzemních vod v nivách – případová studie horní Lužnice. In: Pithart a kol. (ed.), Význam retence vody v říčních nivách. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, s. 69-70.
- KHUBLARYAN, M. G. (2009): Types and properties of water. Water problems institut, RAS: Russia, pp. 468.
- KRÁSNÝ, J. (1980): Hydrogeologie jihočeských pánví. Sb. Geol. věd 14, UUG, In: ŠIMEK, M. (2008): Hydrologická funkce fluviálních jezer v nivě Horní Lužnice. Diplomová práce. Ústav životního prostředí PřF UK, Praha, 129 s.
- KRÁSNÝ, J. (2012). Podzemní vody České republiky: regionální hydrogeologie prostých a minerálních vod. 1. vyd.: Praha: Česká geologická služba. 1143 s.
- KRAUS, J. (1988): Geologie, geomorfologie a hydrogeologie oblasti horní Lužnice. Správa CHKO Třeboňsko.
- KŘÍŽ, H. (1983): Hydrologie podzemních vod. 1. vyd.: Praha: Academia, 289 s.
- LANGBEIN, W. B. (1949): Annual floods and the partial-duration flood series. Eos, Transactions American Geophysical Union 30(6): 879-881.
- LANGHAMMER, J. (ed.) (2007a): Povodně a změny v krajině. PřF UK a MŽP, Praha, 350 s.
- LANGHAMMER, J. (2007b): Využití hydromorfologického monitoringu toků pro identifikaci kritických prvků říční sítě z pohledu povodňového rizika. In Langhammer a kol. (ed.), Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní. Sborník výsledků řešení projektu VaV SM/2/57/05, PřF UK, Praha, s. 26-46.
- LANGHAMMER, J. (2012): Údolní niva a její vymezení. In: Pithart a kol. (ed.), Význam retence vody v říčních nivách. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, s. 74-87. ISBN 978-80-260-3697-5.
- MÁČKA, Z. a kol. (2011): Říční dřevo ve vodních tocích ČR. Brno, Masarykova univerzita. 107 s. ISBN 978-80-210-5624-4
- MUSILOVÁ, J. (2010): Fluviální tvary meandrujícího koryta horní Lužnice. Bakalářská práce. Geografický ústav PřF MU, Brno, 56 s.
- NĚMEC, HLADNÝ a kol., (2006): Voda v České republice, 1. vyd.: Praha: Ministerstvo zemědělství ČR, 256 s., ISBN 80-903482-1-1

- NĚMEČEK K., PUCHTA J. (1964): Závěrečná zpráva Halámky. Surovina: Maltařské písky. - Geologický průzkum Praha, závod České Budějovice. GF FZ004657. In: SLABÁ, Z. (2011): Interakce mezi podzemní a povrchovou vodou v nivě řeky Lužnice. Diplomová práce. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky, PřF UK, Praha, 50 s.
- OTIENO, F. A. O., et al. (2012): Groundwater: characteristics, qualities, pollutions and treatments: an overview. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering* Vol. 4(6), June (2012), pp. 162-170.
- PITHART, D. a kol (2012): Biodiverzita v říčních nivách. In: Pithart a kol. (ed.), *Význam retence vody v říčních nivách*. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, s. 91-99.
- PITHART, D., KŘOVÁKOVÁ, K. (2012): Ekosystémové funkce a služby říčních niv. In: Pithart a kol. (ed.), *Význam retence vody v říčních nivách*. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, s. 101-108. ISBN 978-80-260-3697-5.
- PITHART, D., SIMON, O., HARTVICH, P., PRACH, K. (2003): Fenomén přirozených rozlivů v nivách řek. In: Prach, K., Pithart, D., Francírková, T. (eds.): *Ekologické funkce a hospodaření v říčních nivách*. Botanický ústav AV ČR – Úsek ekologie rostlin Třeboň, Třeboň, s. 53–59.
- PLATE, E. J. (2002): Flood risk and flood management. *Journal of Hydrology* 267(1–2): 2–11.
- SANDEV, M. (2013): Meteorologické příčiny povodní. Dílčí zpráva projektu: Vyhodnocení povodní v červnu 2013. MŽP ČR, Publikováno na: http://voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava_DU_1_1_Meteorologie-final.pdf
- SIEMENS, M. et al. (2006): Mrtvé dřevo přináší život do řek a potoků. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR. Praha. 47 s. Dostupný z: <http://poodri.ochranaprirody.cz/res/data/079/011794.pdf?seek=1371203800>
- SLABÁ, Z. (2011): Interakce mezi podzemní a povrchovou vodou v nivě řeky Lužnice. Diplomová práce. Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užitá geofyziky, PřF UK, Praha, 50 s.
- STAHL, K. (2001): Hydrological drought, study across Europe. Dizertační práce. Geowissenschaftlichen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität, Freiburg, 122 s.
- SVOBODA, P. (2008): Hodnocení upravenosti toku horní Lužnice. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 87 s.
- SVOBODA, P. (2011): Hydrologický režim horní Lužnice. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 87 s.
- ŠACHOVÁ, B. (2010): Hydrologické sucho v kontextu klimatické změny ve světě a v českém povodí Labe. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PřF UK, Praha. 95 s
- ŠACHOVÁ, B. (2013): Vliv klimatické změny na hydrologické sucho v povodí horní Otavy. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PřF UK, Praha, 104 s.
- ŠEFRNA, L. (2007): Vznik a vývoj nivy z pedologického hlediska. In: Langhammer, J. (ed.): *Povodně a změny v krajině*. Praha, PřF UK a MŽP, s. 209-215, Dostupné online: http://web.natur.cuni.cz/geografie/vzgr/monografie/povodne/povodne_sefrna.pdf

- ŠERCL, P. (2013): Hydrologické vyhodnocení povodní. Dílčí zpráva projektu: Vyhodnocení povodní v červnu 2013. MŽP ČR, Publikováno na: http://voda.chmi.cz/pov13/DilciZprava_DU_1_2_Hydrologie.pdf
- ŠILAR, J. (1996): Hydrologie v životním prostředí, FŽP UJEP Ústí nad Labem, 136 s.
- ŠIMEK, M. (2008): Hydrologická funkce fluviálních jezer v nivě Horní Lužnice. Diplomová práce. Ústav životního prostředí PřF UK, Praha, 129 s.
- TALLAKSEN, L. M. & LANEN, H. A. J. van (2004): Hydrological Drought – Processes and Estimation, Methods for Streamflow and Groundwater. Developments in Water Sciences 48, Elsevier Science BV, Amsterdam, 579p.
- TUREK, M. (2010): Hydrologická funkce říční nivy horní Lužnice. Závěrečná zpráva projektu GA UK, č. 111408, (2008 – 2010). Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Dostupné online: <https://is.cuni.cz/webapps/index.php?controller=GaukPublicDetail&action=index&entId=169500&pageSort=1TYP>
- TUREK, M., GRILL, S. (2011): Hydrological interactions between unregulated river and its floodplain: field study of the Lužnice river floodplain. AUC Geographica, 46, No. 2, s. 107–114.
- VALENTA, P., VALENTOVÁ, J., KOUDELKA, P. (2012): Metody posuzování retenční kapacity říčních niv: Posouzení transformace povodňové vlny pomocí dvourozměrného modelu. In: Pithart a kol. (ed.), Význam retence vody v říčních nivách. České Budějovice: Daphne ČR - Institut aplikované ekologie, 2012, s. 64-67.
- VÁŇOVÁ, V. (2008): Modelování vlivu změn v krajině na průběh povodní v povodí horní Lužnice. Diplomová práce, PřF UK, Praha, 87 s.
- VLASÁK, T. (2006): Přehled a klasifikace povodní na Lužnici. In: Langhammer, J. (ed.): Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevu extrémních povodní. Sborník příspěvků projektu VaV SM/2/57/05 Dlouhodobé změny poříčních ekosystémů v nivách toků postižených extrémními záplavami, PřF UK, Praha, s. 37 – 44.
- VLASÁK, T. (2007): Povodňové režimy Otavy a Lužnice. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. PřF UK, Praha, s. 105 – 113.
- WADA, Y. et al. (2013): Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. Environ. Res. Lett. Vol. 8, No. 3, 14p. DOI:10.1088/1748-9326/8/3/034036
- WOESSNER, W. (1998): Changing views of stream-groundwater interaction. American institute of Hydrology, St. Paul, Minnesota, 1-6 p.
- WOESSNER, W. (2000): Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. In Ground Water, Vol. 38, No. 3, p. 423-429.
- ŽALOUDÍK, J., PITHART, D. (2006): Digitální geoinformační model nivy horní Lužnice v úseku státní hranice - Suchdol nad Lužnicí. In: Vzájemné souvislosti retence vody, koloběhu uhlíku a zatížení živinami ve vodních a mokřadních ekosystémech z hlediska globální změny klimatu. Závěrečná zpráva projektu VaV SL/1/6/04 (MŽP, 2004 - 2006). USBE AV ČR Třeboň, Třeboň, s. 1- 8.

Internetové zdroje:

ČHMÚ (2015): <http://www.chmi.cz/>

GEOLOGICKÁ MAPA 3311 Třeboň: [online]. [cit. 2. 4. 2015]

http://www.geology.cz/app/ciselniky/lokalizace/show_map.php?mapa=g50&y=726674&x=1183087&r=7500&s=1&legselect=0

GRYGAR, R., JELÍNEK J.: Podpovrchové vody v krajině [online]. [cit. 13. 1. 2015]

http://geologie.vsb.cz/geomorfologie/Prednasky/9_kapitola.htm

JENÍČEK, M., LANGHAMMER, J. (2013): Výzkumný tým hydrologie & klimatologie.

Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta [online]. [cit. 20. 8. 2013].

Dostupný z: <<http://hydro.natur.cuni.cz/hydro.php?akce=topics&lang=cze>>

LANGHAMMER, J. (2007): Hydrologie – odtokový proces [online]. [cit. 20. 1. 2014]

Dostupný z: http://web.natur.cuni.cz/~langhamr/lectures/hydro/pdf/Hydrologie_2_Langhammer_extremy_hydrografie.pdf

MŽP (2010): Metodická příručka MŽP, základní principy hydrogeologie [online].

[cit. 15. 11. 2014] Dostupný z: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/\\$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/metodiky_ekologicke_zateze/$FILE/OES-Hg_prirucka_TT-20100801.pdf)

ROŽNOVSKÝ, J. (2012): Sucho na území ČR a jeho dopady [online]. [cit. 20. 3. 2013]

http://www.chmi.cz/files/portal/docs/katastrofy/26zasedani/Roznovsky_sucho_230412.pdf

RUDA, A. (2013): Podpovrchová voda [online]. [cit. 30. 11. 2013]

http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/11-podpovrchova-voda.html

RUDA, A. (2014): Hydrografie vodních toků [online]. [cit. 20 10. 2014]

http://is.muni.cz/do/rect/el/estud/pedf/ps14/fyz_geogr/web/pages/08-hydrografie.html

ŠEVČÍK: Přírodní rezervace Horní Lužnice - letecký pohled

<http://itras.cz/trebonsko/galerie/3754/>

8. SEZNAM GRAFŮ, TABULEK A OBRÁZKŮ

Graf 1: Podíl jednotlivých kategorií břehové vegetace horní Lužnice.....	22
Graf 2: Chod průměrných měsíčních srážek pro Jihočeský kraj.....	24
Graf 3: Konsumpční křivky jednotlivých profilů.....	28
Graf 4: Průměrné průtoky pro Pilař v jednotlivých ročních obdobích v letech 1965 – 2014 ..	37
Graf 5: Průměrný měsíční průtok Pilař v letech 2010 – 2014.....	37
Graf 6: Průměrný měsíční průtok Pilař v letech 1965 – 2014.....	38
Graf 7: Průměrné roční průtoky v jednotlivých letech.....	39
Graf 8: Maximální denní průtok v jednotlivých letech	40
Graf 9: Průměrný roční chod odtoku pro profil Pilař (1965 – 2014)	40
Graf 10: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v roce 2009	46
Graf 11: Průběh vybraných meteorologických prvků v červnu 2013	47
Graf 12: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v květnu/červnu 2013 ..	49
Graf 13: Kulminace povodňových vln v červnu 2013	50
Graf 14: Výška hladin v jednotlivých vrtech v červnu 2013	50
Graf 15: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v zimě 2012/2013	52
Graf 16: Kulminace povodňových vln v zimě 2012/2013	53
Graf 17: Výška hladin v jednotlivých vrtech, zima 2012/2013	53
Graf 18: Počet dní sucha v jednotlivých letech na profilu Pilař (1965 – 2014).....	55
Graf 19: Průměrný denní průtok na profilu Pilař za období 1. 12. 2011 – 31. 10. 2014	55
Graf 20: Chod denních průtoků na profilu Pilař v období 1. 7. 2013 – 1. 7. 2014	55
Graf 21: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice v lednu 2014.....	57
Graf 22: Výška hladin v jednotlivých vrtech v lednu 2014	57
Graf 23: Kulminace průtoků v květnu 2014.....	60
Graf 24: Výška hladin v jednotlivých vrtech, jaro/léto 2014	60
Graf 25: Výška hladiny podzemní vody na příčném profilu nivy Lužnice, jaro/léto 2014	61
Graf 26: Průměrná výška hladin v jednotlivých vrtech za období 1. 12. 2011 – 24. 6. 2014	63
Graf 27: Průměrná výška hladin v jednotlivých vrtech za období 1. 12. 2011 – 9. 4. 2013 a 29. 1. 2013 – 24. 6. 2014.....	63
Graf 28: Variabilita hladin (v metrech) v jednotlivých vrtech 1. 12. 2011 – 9. 4. 2013 a 29. 1. 2013 – 24. 6. 2014.....	64
Graf 29: Maximální a minimální výška hladiny (v metrech) v jednotlivých vrtech za období 1. 12. 2011 – 9. 4. 2013 a 29. 1. 2013 – 24. 6. 2014	64

Tab. 1: Charakteristika N-letých průtoků pro profily Pilař a Nová Ves nad Lužnicí	17
Tab. 2: Charakteristika koryta v jednotlivých úsecích toku v září 2009,.....	17
Tab. 3: Variabilita mocnosti říčních sedimentů.	18
Tab. 4: Postavení zájmového území v rámci geomorfologického členění ČR	19
Tab. 5: Průměrné roční srážky a průměrné denní teploty pro Jihočeský kraj	24
Tab. 6: Použité funkce k sestavení konsumpčních křivek	29
Tab. 7: Základní charakteristika jednotlivých vrtů	31
Tab. 8: Přehled datových řad (vlastní zpracování).....	32
Tab. 9: Průměrné měsíční průtoky profilu Pilař v letech 2010 – 2014.	36
Obr. 1: Vývoj sucha v hydrologickém cyklu	4
Obr. 2: Hydrogram povodně	6
Obr. 3: Základní pojmy související s existencí podzemních vod	9
Obr. 4: Sestrojení hydroizohypsy a stanovení směru proudění podzemní vody	9
Obr. 5: Schéma transformace povodňové vlny	9
Obr. 6: Interakce mezi podzemní vodou v nivě a vodním tokem, klasifikace proudění v průřezu..	12
Obr. 7: Střídání úseků příronu a vcezu v korytě toku	12
Obr. 8: Vymezení nivy horní Lužnice.....	14
Obr. 9: PR Horní Lužnice	14
Obr. 10: Hydrografie povodí horní Lužnice včetně rakouské části povodí	17
Obr. 11: Příčné profily údolní nivou v zájmovém území.....	18
Obr. 12: Geologické poměry v povodí horní Lužnice od státní hranice po Suchdol n. L.	20
Obr. 13: Charakteristické biotopy území nivy Lužnice	22
Obr. 14: Lokalizace měrných profilů Přf UK.....	29
Obr. 15: Rozmístění jednotlivých vrtů	31
Obr. 16: Reliéf transektu	33
Obr. 17: Umístění čidla DP_Lužnice	34
Obr. 18: Hydrometrování v profilu Niva	34
Obr. 19: Rozdělení zájmového území na segmenty podle chování hladiny ve vrtech.....	44
Obr. 20: Ukazatel nasycení půdy	47