

PAVEL SVOBODA, MIROSLAV ŠOBR, BOHUMÍR JANSKÝ, TOMÁŠ VLASÁK

VLIV ŘÍČNÍ NIVY NA HYDROLOGICKÝ REŽIM HORNÍ LUŽNICE

SVOBODA, P., ŠOBR, M., JANSKÝ, B., VLASÁK, T. (2015): Influence of the river floodplain on the regime of the upper Lužnice River. *Geografie*, 120, No. 3, pp. 354–371. – The aim of this study is an evaluation of the hydrological regime of the upper part of the Lužnice River basin with respect to anthropogenic modifications. The Lužnice River is located in the south of Czechia. A larger part of the river exhibits a low intensity of modification - meandering stream with many pools and oxbow lakes in the floodplain where a safe retention of water during the flood event remains possible. The main part of the study concentrates on the hydrological regime. The methodology is based on statistical evaluation of a long-time data series from the Pilař water gauging station. Flood events and dry periods were analysed during the past 46 years. Discharge measurements (conducted by the Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geoecology) are used for recent flood evaluations.

KEY WORDS: Floodplain hydrology – flood – water retention – Lužnice River – anthropogenic modification – HEM-F.

Príspevek vznikl s podporou projektu GA ČR GA13-32133S Retenční potenciál pramenných oblastí ve vztahu k hydrologickým extrémům a projektu NA ZV Mze ČR QH82078 Retence vody v nivách a možnosti jejího zvýšení.

1. Úvod

Povodí horní Lužnice nabízí jedinečnou možnost zkoumat hydrologický režim toku, který byl velmi málo zasažen lidskou činností. Zejména střední úsek řeky reprezentuje nížinný meandrující tok ve své přirozené podobě, který je schopen vykonávat přírodní funkce říčního systému, jež zahrnuje přirozený vývoj toku a časté víceméně každoroční rozlivy do říční nivy. Říční nivy v přírodní podobě představují přirozený rezervoár pro retenci povodňových vod, což v ideálním případě vede k poklesům kulminačních průtoků povodní (Bayley 1991; Plate 2002). Podle Pitharta a kol. (2003) mají povodňové rozlivy pozitivní vliv i na ekologické funkce říčních niv. Studium přirozených rozlivů pomáhá určit, jak velký vliv mohou mít na vývoj a charakter povodní, které se na Lužnici vyskytují, a dále může pomoci při plánování protipovodňové ochrany na jiných tocích, kde je potřeba pořičním systémům navrátit jejich přirozenou retenční schopnost. Z hlediska protipovodňové ochrany převládají dnes trendy udržovat vodu v krajině a využívat její přirozené retenční schopnosti (Janský 2003). Umožnit vodě se vylít z koryt toků tam, kde je to možné, a „uskladnit“ zde určitou část povodňových vod, které mohou výrazně omezit anebo snížit výši povodňových škod. Dnešní říční síť i kulturní krajina prošly výraznou

proměnou, takže jejich samoregulační a retenční schopnosti velmi výrazně poklesly.

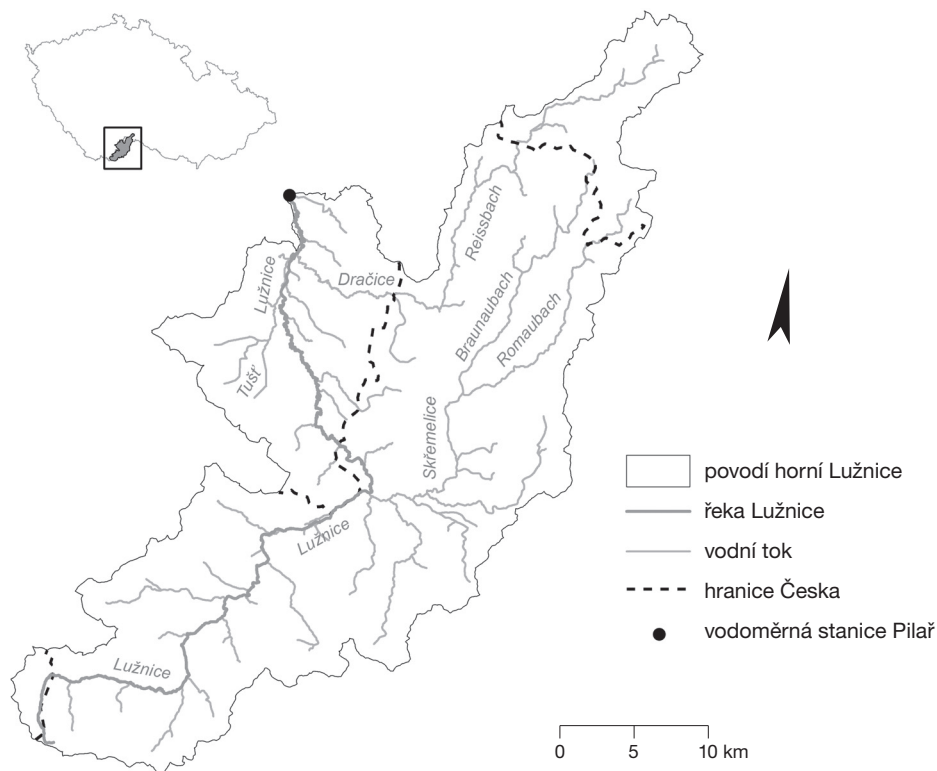
Antropogenní upravenost říční sítě představuje podle Langhammera (2005) významný činitel ovlivňující hydrologické poměry povodí. Lidské zásahy zejména do trasy toku, jeho příčného i podélného profilu i geometrie koryta mají vliv na rychlost odtoku vody z povodí, tvar povodňové vlny, souběh jednotlivých vln z dílčích subpovodí i celkovou kapacitu říční sítě. Vlivem antropogenních úprav koryt toků a říčních niv se snížila jejich retenční schopnost, která podporovala transformační účinky během povodňových situací. Funkce říčních niv do jisté míry slouží jako přirozená protipovodňová ochrana. Vliv antropogenních úprav koryta toku a údolní nivy na průběh povodňové vlny je menší u povodní s vysokou extremitou. Podle Langhammera (2005) vliv těchto úprav prudce klesá na úrovni 5 až 20leté vody. K podobným závěrům došli i Dostál a kol. (2008), kteří na základě matematických modelů simulovali vliv jednotlivých antropogenních zásahů.

Cílem této studie je zhodnocení vlivu přirozené říční nivy na průběh povodňových situací na horní Lužnici. Dílčím cílem je mapování upravenosti říční nivy a koryta toku za účelem jejich kategorizace a porovnání zjištěného stavu s jinými povodími. V práci je dále zhodnocen hydrologický režim horní Lužnice na základě dat z profilu Pilař. Cílem je hydrologická analýza vybraných povodňových událostí s ohledem na sezonalitu odtokového režimu. Při použití doplňkových profilů rozmístěných v úseku toku s pravidelnými rozlivy povodňových vod do říční nivy je pak analyzován vliv přirozené, tj. člověkem téměř neovlivněné, nivy Lužnice na průchod povodňových vln včetně zpomalení jejich postupových dob.

2. Studovaná lokalita

Studovaná oblast povodí horní Lužnice je uzavřena vodoměrným profilem Pilař, který se nachází na říčním kilometru 116,4 (obr. 1). Takto vymezené povodí bylo předmětem studií např. Vlasáka (2006, 2007) či Váňové a Langhammera (2011). Plocha povodí studované oblasti horní Lužnice po profil Pilař je 942,28 km² (přibližně 22 % celého povodí Lužnice), přičemž asi 70 % plochy povodí se nachází v Rakousku. Délka toku Lužnice ve sledované části povodí je 82,3 km, z toho 35,6 km se nachází na českém území, kde je koryto Lužnice v přírodním stavu s minimem regulací. Meandrující tok zde protéká širokou nivou a tvoří velké množství slepých ramen, odstavených meandrů a tůň. Zvláště v úseku toku mezi Novou Vsí nad Lužnicí a Suchdolem nad Lužnicí (lokalizace viz obr. 2) dochází k častým záplavám. Tok má v tomto úseku charakter typické nížinné řeky s malým průměrným sklonem 0,67 ‰, přičemž průměrný sklon studované části povodí je 18 ‰.

Lužnice postupně protéká výše položenou pramennou oblastí v Novohradských horách, vrchovinnou oblastí na území Rakouska a zhruba po 50 km od pramene vstupuje do rovinné části povodí na území Třeboňské pánve tvořené až 300 m mocnými sedimenty svrchní křídly, kde řeka vytvořila širokou nivu. Největšími přítoky horní Lužnice jsou Skřemelice (délka toku 37,3 km, plocha povodí 292,6 km²) a Dračice (délka toku 49 km, plocha povodí 154,2 km²).



Obr. 1 – Mapa zájmového území s lokalizací profilu Pilař

V oblasti povodí horní Lužnice se nenacházejí velké rybniční soustavy, rozsáhlé vodní plochy zde tvoří pískovny, vzniklé po těžbě štěrkopísků. V nivě horní Lužnice se nachází velké množství fluviálních jezer, která zde vytvářejí složitý fluviální systém. Popisem, dynamikou vzniku a vývoje říčních ramen a tůní a jejich fungováním při povodňových rozlivích se podrobně zabýval Černý (1994, 2008) a Pithart a kol. (2003). Hydrologický režim této soustavy, propojení vodních ploch a jejich konektivitu na tok Lužnice vyhodnotil Šimek (2008). Pithart a kol. (2003) dále sledoval povodňové rozlivy horní Lužnice, konkrétně na 141. říčním kilometru toku (lokalita profilu Niva) v letech 1989 až 1995. Rozlivy do nivy měly trvání od několika málo dnů až po několik týdnů. Například v roce 1992 došlo k 11 rozlivům Lužnice, přestože na Pilaři nebylo za tento rok zaznamenáno ani jediné překročení hodnoty jednoleté vody (Q_1). Stejnou lokalitu zkoumal Šimek (2008), dle jeho měření dochází k prvním známkám rozlivu do nivy již při hodnotách průtoku $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na stanici Nová Ves. Během 25 měsíců jeho výzkumu došlo k 16 rozlivům vody z řeky do nivy.

3. Data a metody zpracování

3.1. Metodika HEM-F

V souvislosti se stanoveným cílem práce, tedy posouzením hydrologické funkce přirozené říční nivy, zejména při povodňových situacích, bylo zapotřebí vyhodnotit stupeň antropogenní upravenosti říční sítě horní Lužnice.

Pro vyhodnocení upravenosti říční sítě a následků povodní byla použita metodika HEM-F (Langhammer 2007a) na úseku toku Lužnice od státní hranice po profil Pilař. Tato metodika umožňuje kompatibilitu s metodikou monitoringu ekomorfologického stavu toků HEM, aplikovanou v Česku pro účely naplnění Rámcové směrnice o vodní politice EU. Cílem mapování, které probíhalo formou terénního průzkumu, bylo získat informace o stavu říční sítě a údolní nivy, charakteru jejich antropogenní modifikace a následků povodní, které není možno odvodit z jiných informačních zdrojů (map, leteckých či satelitních snímků).

Principem terénního mapování bylo rozdělení toku na úseky, pro které jsou zjišťovány hodnoty jednotlivých ukazatelů. Typická délka úseku je 100 až 500 metrů, přičemž je důležité, aby byly úseky co nejvíce homogenní. Klíčovými parametry pro vymezení kódovaných úseků jsou v pořadí: charakter trasy toku, využití nivy a upravenost koryta (Langhammer 2007a). Sledované parametry jsou rozděleny do tří celků, které obsahují dílčí charakteristiky (tab. 1).

Záznamy z vyplněných formulářů jsou pomocí aplikace v *MS Access* převedeny do společné tabulky obsahující informace o všech úsecích. Ta je následně propojena s digitální vrstvou toků, rozdělených na mapované úseky a následuje geoinformatické zpracování, analýza a vyhodnocení výsledků. Konečným výstupem jsou tematické mapy a jejich interpretace. Při terénním mapování v nivě horní Lužnice bylo zmapováno 37,5 km toků horní Lužnice a bylo vymezeno 71 homogenních úseků. Průměrná délka úseku činila 528 m.

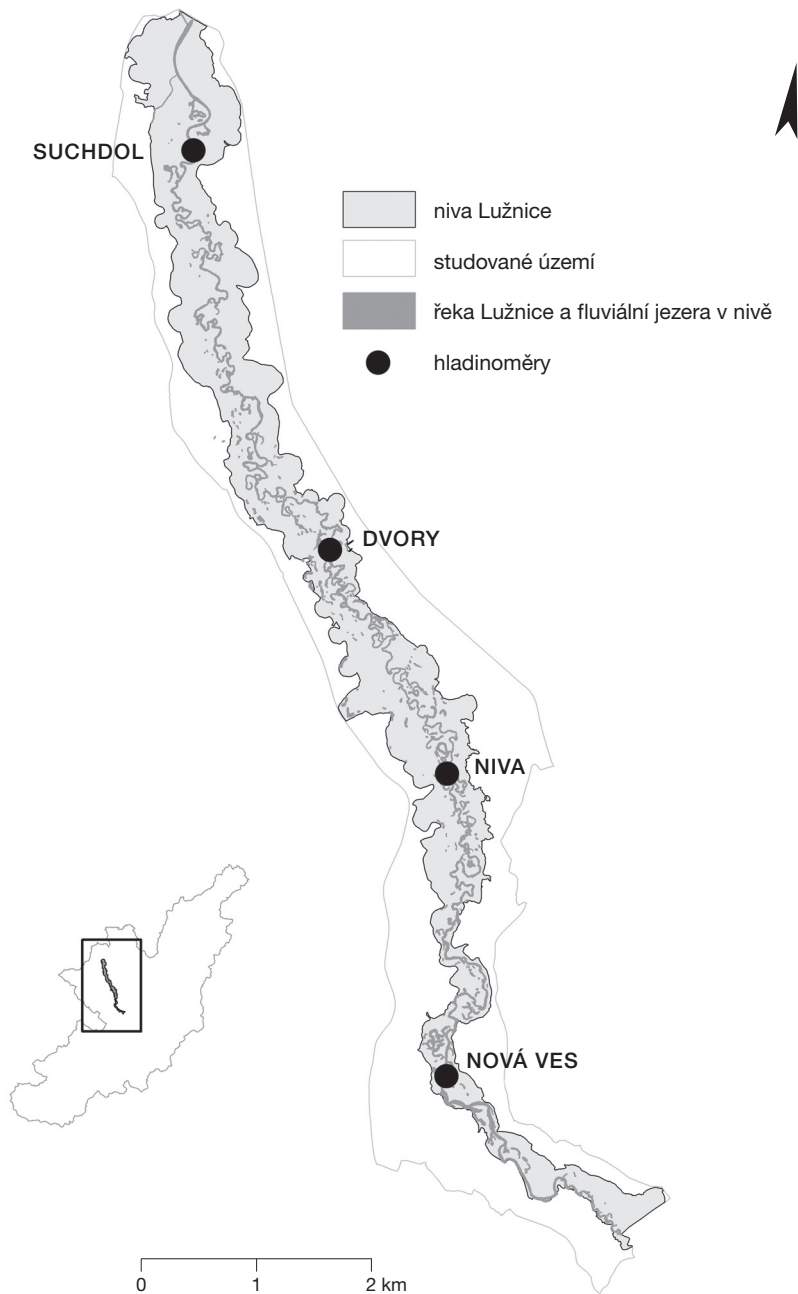
Tab. 1 – Charakteristiky sledované metodikou *HEM-F*

Morfometrie toku a nivy	Upravenost toku a nivy	Průběh a následky povodní
šířka koryta	upravenost podélného profilu	charakter rozlivu
šířka nivy	upravenost trasy toku	geomorfologické projevy
zahloubení koryta	upravenost dna	a následky povodně
tvár údolí	upravenost břehu	potencionální překážky
	charakter břehové vegetace	proudění
	charakter využití příbřežní zóny	protipovodňová ochrana
	charakter využití údolní nivy	
	průchodnost inundačního území	

Zdroj: Langhammer 2007a

3.2. Hydrologický monitoring v povodí horní Lužnice

Na české části povodí se na sledovaném úseku toku nacházejí dvě limnigrafické stanice, profil Pilař (ČHMÚ) a Nová Ves nad Lužnicí (Povodí Vltavy, s. p.). Pro hodnocení hydrologického režimu horní Lužnice byla využita řada denních



Obr. 2 – Lokalizace vlastních měrných profilů ve sledovaném úseku toku

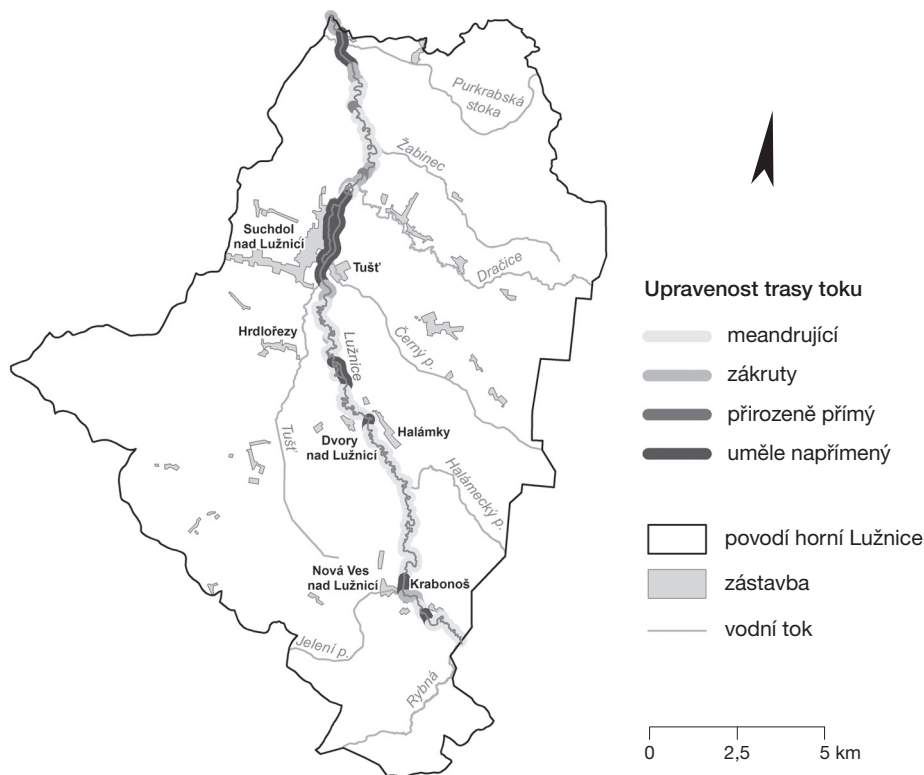
průměrných průtoků ze stanice Pilař pro období od 1. 1. 1965 do 31. 10. 2010. Přestože se dvojice vodoměrných profilů Nová Ves a Pilař jeví jako ideální pro hodnocení hydrologického režimu, retenčního a transformačního potenciálu přirozené části nivy Lužnice, která se mezi nimi nachází, profil Nová Ves je podle odborníků nepřesný a chybí mu spolehlivá měrná křivka průtoků. Pro detailnější monitoring průtoků byly v roce 2008 v úseku mezi Novou Vsí n. L. a Suchdolem n. L. nainstalovány čtyři automatické tlakové hladinoměry firmy Fiedler-Mágr (Nová Ves, Niva, Dvory a Suchdol, viz obr. 2). V jednotlivých profilech v rámci monitorovací sítě PřF UK byla v zájmovém území pravidelně prováděna hydrometrická měření za pomoci hydrometrické vrtule (OTT C31, OTT C2) či průtokoměru Flowtracker SonTeck. Získané hodnoty průtoků sloužily k sestavení konzumpčních křivek pro jednotlivé profily a pro převedení hodnot vodních stavů na hodnoty průtoků (Česák et al. 2008). Řady průtoků v časovém kroku 10 minut byly statisticky zpracovány dle ČSN (1997).

4. Výsledky

4.1. Upravenost říční sítě

Ze sledovaného úseku Lužnice tvoří 65,8 % délky meandrující úseky. Lužnice tvoří od Nové Vsi až téměř po Suchdol nad Lužnicí dlouhý, antropogenně téměř neovlivněný meandrující pás. Přechod mezi meandrujícím a napřímeným tokem tvoří zákruty (11 %), uměle napřímené úseky tvoří 22 % délky. Morfometrické ukazatele typu hloubka, šířka koryta a jeho rozkolísanost potvrzují fakt, že přirozené říční koryto je relativně hluboké s často až jeden metr vysokým břehem a z hlediska šířky více variabilní. Úpravy a zpevnění břehů jsou na celém sledovaném úseku Lužnice minimální. Průchod povodňových vln nivou Lužnice a jejich případnou transformaci ovlivňují zejména vlastnosti říční nivy, ať je to její šířka, či charakter a stav využití nivy. Šířka nivy ve sledovaném úseku výrazně kolísá od 150 po 1 200 metrů, průměrná šířka se pohybuje od 400 do 600 metrů. Náhlé změny šířky nivy mají výrazný vliv jak na charakter rozlivu povodňových vod do nivy, tak na erozně-akumulační procesy toku. Například zúžení nivy Lužnice severně od Nové Vsi se projevilo více než dvojnásobným rozšířením koryta v tomto úseku. Přírodě blízké krajinné prvky (lesy 15 %, křoviny 12 %, louky 62 %), které mají pozitivní vliv na průběh povodní, tj. retenci vody a případnou transformaci povodňové vlny, se rozkládají na téměř 90 % nivy. Důležitým aspektem využití nivy Lužnice je absence jak roztroušené zástavby, tak intravilánů sídel v zátopových oblastech.

Souhrnný index upravenosti toku (obr. 4) představuje syntetický ukazatel hodnotící celkovou intenzitu upravenosti toků a údolní nivy (Langhammer 2007b). Je odvozený na základě bodového hodnocení intenzity upravenosti jednotlivých parametrů, přičemž využívá kvalitativního hodnocení v bodovém rozsahu 1–5, kde 1 bod představuje nejnižší intenzitu upravenosti. Do výpočtu indexu upravenosti toku spadají pouze ukazatele intenzivní, tedy upravenost trasy toku, upravenost podélného profilu a koryta a využití údolní nivy. Index upravenosti toku pro jednotlivé úseky je vypočten pomocí aritmetického průměru hodnot indexů jednotlivých parametrů.

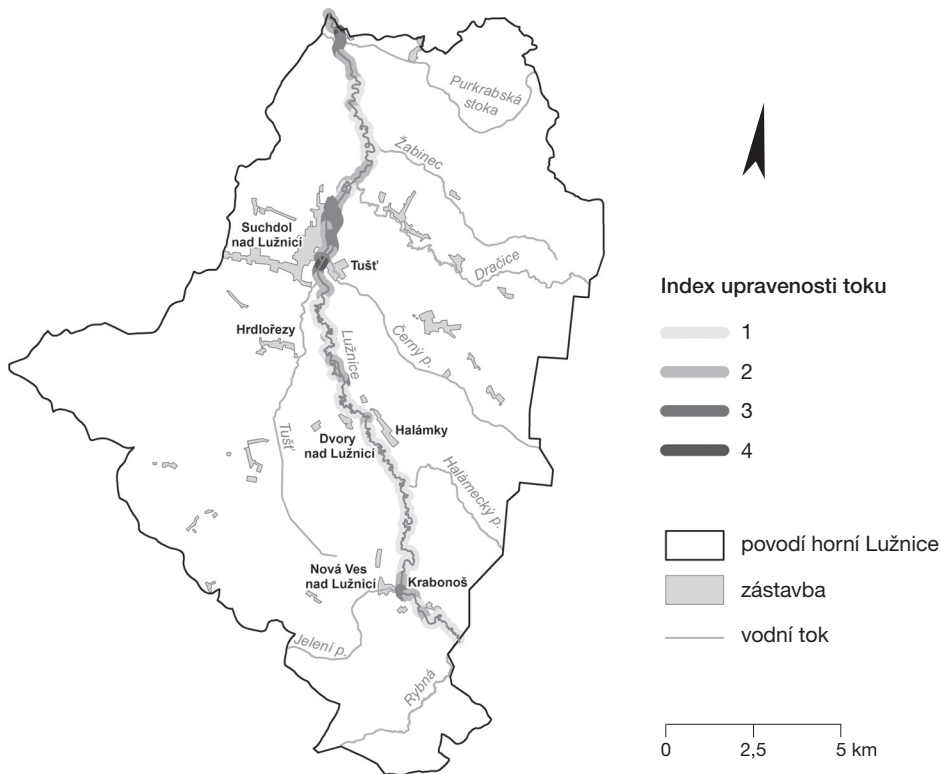


Obr. 3 – Hodnocení upravenosti trasy toku horní Lužnice

K nejdůležitějším výsledkům patří kvantitativní vyhodnocení upravenosti toku Lužnice, které potvrdilo velmi malou upravenost jak toku, tak i přilehlé nivy. Výrazně upravená je jen část toku v obci Suchdol n. L, kde jsou úpravy spojeny s protipovodňovou ochranou. Jak je patrné z obrázků 3 a 4, došlo zde k napřímění toku a k dalším úpravám, což se projevilo na celkovém komplexním indexu upravenosti toku. Hodnotou 1 jsou hodnoceny přírodní či minimálně ovlivněné úseky, částečně upravené úseky toku spadají pod hodnotu 2. Již výrazně upravené části toku spadají pod hodnoty 3 a 4. Hodnoty 5, která charakterizuje nejvyšší stupeň upravenosti, nedosáhl žádný z hodnocených úseků. Celkový index upravenosti toku horní Lužnice I_T je roven nízké hodnotě 1,53, což potvrzuje přírodě blízký charakter toku (Svoboda 2008, 2011).

4.2. Hydrologický režim

Na základě dlouhodobé řady měření udává ČHMÚ pro stanici Pilar průměrný průtok $6,21 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Koeficient odtoku dosahuje hodnoty 30 %, odtoková výška činí 208 mm, průměrný specifický odtok je $6,59 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$. Absolutní největší průtok ($498 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) byl pozorován při kulminaci povodně 14. 8. v roce 2002.

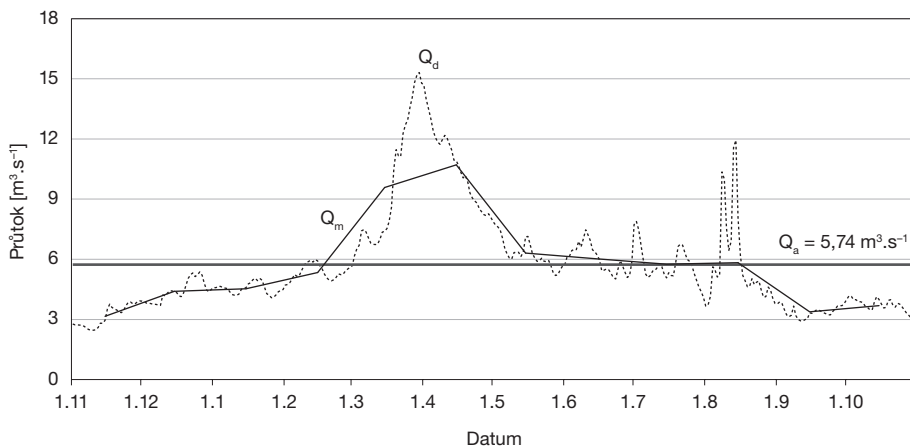


Obr. 4 – Komplexní index upravenosti toku horní Lužnice

Tato hodnota výrazně přesáhla hranici stoleté vody a je v daném souboru 46 let pozorování na Pilaři zcela výjimečná. Naopak nejmenší pozorovaný průtok ($0,14 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) se během pozorovaného období vyskytl vícekrát.

Během ročního chodu nastává výrazné odtokové maximum v jarních měsících od počátku března do konce května, přičemž maximum připadá na 30. března s průměrným denním průtokem $15,31 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V povodí horní Lužnice se nacházejí dvě zdrojové, z hlediska tání sněhu rozdílné, oblasti: Novohradské hory a Novobystřická vrchovina. V Novohradských horách díky větším rozdílům nadmořských výšek dochází spíše k postupnému odtávání sněhu, kdežto na vrchovině v povodí Dračice a Skřemelice odtává sněhová pokrývka plošně více naráz. Naopak nejnižších průtoků během roku je dosaženo během září a v první polovině listopadu, ve kterém se vyskytuje i minimum s hodnotou $2,46 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, které připadá na 9. a 10. listopad (obr. 5).

Výrazné měsíční odtokové maximum je orientováno do jarních měsíců, kdy nejvyšších hodnot dosahuje měsíc duben s průměrným průtokem $10,71 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a také březen s hodnotou $9,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. V průměru jsou letní povodně kompenzovány dlouhodobějšími nízkými stavy během léta. Výrazné jarní odtokové maximum je patrné i z podílu jednotlivých měsíců na ročním odtoku, duben ($15,37 \%$) a březen ($14,21 \%$) tvoří až 30% celkového ročního odtoku. Relativně



Obr. 5 – Chod průměrných denních (černá čárkovaná čára) a měsíčních průtoků (plná černá čára) na profilu Pilař za období 1. 1. 1965 až 31. 10. 2010 (data ČHMÚ)

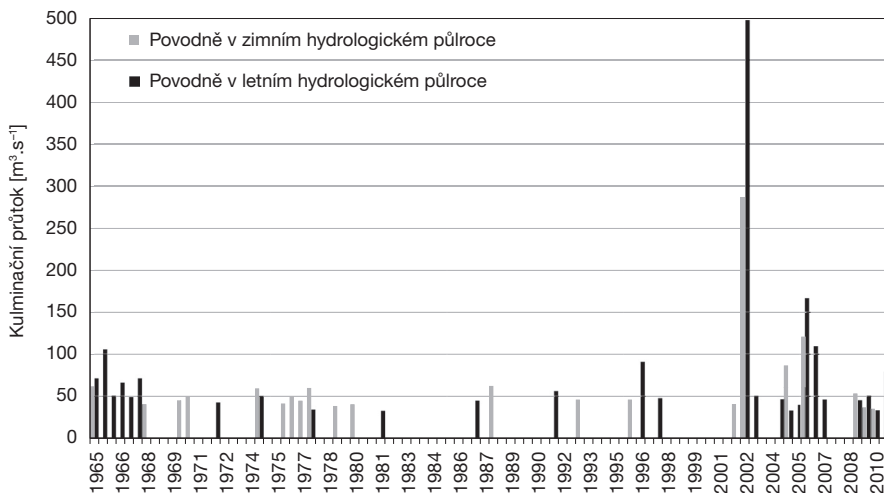
vysoký podíl odtoku připadá na zimu, kdy se zejména během února již projevují zimní oblevy. Koeficient K_r vyjadřující míru nevyrovnanosti ročního odtoku vychází za sledované období pro profil Pilař 3,55, tedy jako relativně vyrovnaný.

4.3. Hodnocení vybraných povodňových událostí

4.3.1. Výskyt povodní a jejich sezonní režim

Rozložení výskytu povodní v letech 1965–2010, u kterých kulminační průtok ve stanici Pilař přesáhl hodnotu jednoleté povodně ($Q_1 = 33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), je zobrazen na obrázku 6. Pouze povodeň ze srpna roku 2002, především druhá vlna s kulminací $498 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ výrazně přesáhla hodnotu stoleté povodně. Nejbohatší na výskyt povodní byla první dekáda 21. století, do které zároveň patří pět nejextrémnějších povodní ze sledovaného období. To koresponduje s nárůstem četnosti výskytu povodní v celém povodí Vltavy v Česku. Menší povodně s kulminací nad jednoletou vodou se vyskytovaly především v jarních měsících a pak v době vrcholícího léta. S narůstající extremitou povodně se výskyt povodní přesouvá spíše do letních měsíců. Ve vodoměrné stanici Pilař se vyskytuje relativně největší podíl letních povodní ve srovnání s ostatními úseky Lužnice včetně hlavního přítoku Nežárky (Vlasák, 2006). Povodně z tání sněhu vznikají pouze v případech, kdy značné zásoby sněhu leží i ve střední a dolní části povodí, jako tomu bylo v roce 2006. Příčinou velkých letních povodní byly vždy vydatné srážky plošného charakteru, které zasáhly i sousední povodí (obr. 7).

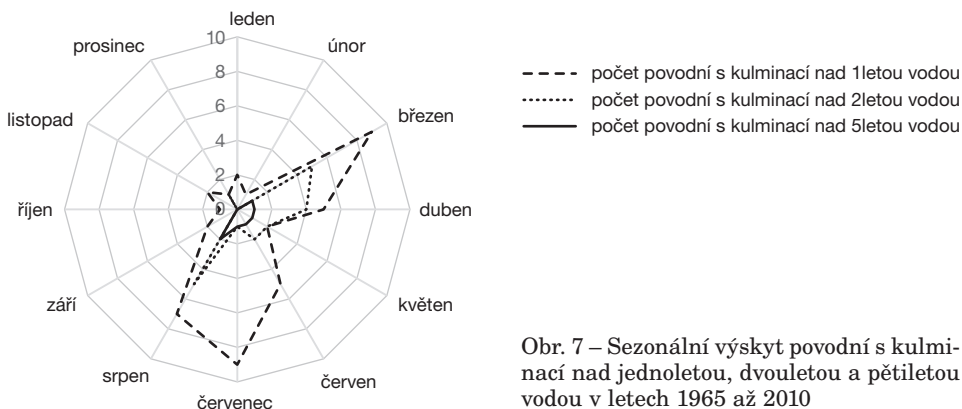
Pro povodňové vlny ve stanici Pilař je charakteristický velmi pozvolný vzestup, a to i v případech, že příčinou jsou vydatné srážky vyvolávající rychlou odtokovou odezvu. Při dosažení určitého průtoku, většinou nad hodnotou jednoleté vody, se vzestup vodních stavů na Pilaři zrychlí. Tento charakteristický dvoufázový vývoj povodně souvisí s akumulací vody v nivě horní Lužnice, která



Obr. 6 – Výskyt povodní s kulminačním průtokem nad jednoletou vodou v limnigrafické stanici Pilař v letech 1965–2010

je největší při nástupu povodně. S postupným zaplněním volných prostor se transformační účinek nivy zmenšuje a další vývoj povodně se zrychluje.

V rámci mapování upravenosti toku horní Lužnice byl zmapován i rozliv povodně z počátku září 2007. Rozsah rozlivu v nivě byl určen na základě nepřímých ukazatelů, kde bylo vzhledem k charakteru území využito zejména stop čerstvých povodňových náplavů na vegetaci. Na tomto příkladu menší povodně je zřetelně patrná vysoká retenční schopnost povodí horní Lužnice a následný vliv tohoto území na transformaci povodňové vlny. Novou Vsí protekla 7. 9. 2007 téměř pětiletá voda o kulminačním průtoku $77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco přibližně o 22 hodin později byl dosažen na profilu Pilař kulminační průtok pouze $47,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (ČHMÚ), který již odpovídá pouze dvouleté vodě. Došlo k výraznému snížení kulminačního průtoku přibližně o $30 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, tedy o necelých 40 %. Podíváme-li se na úsek Lužnice, kde je upravenost koryta minimální, jsou zde patrné účinky



Obr. 7 – Sezonální výskyt povodní s kulminací nad jednoletou, dvouletou a pětiletou vodou v letech 1965 až 2010

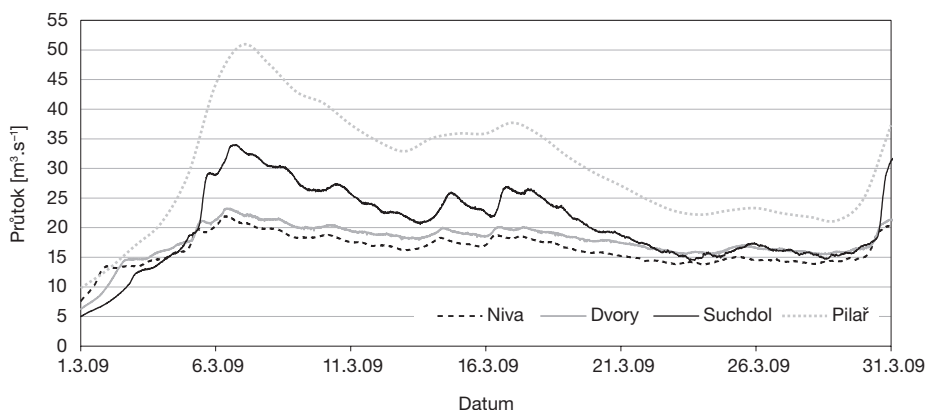
transformace povodňové vlny. V horní polovině úseku došlo k rozlivu do celé nivy, nicméně dále po proudu můžeme pozorovat menší rozliv pouze v příbřežní zóně, tedy nebyla již zaplavena celá niva. V nivě muselo být zadrženo značné množství vody, a došlo tak k výraznému zploštění povodňové vlny.

4.3.2. Vyhodnocení hydrologických situací s pomocí doplňkových profilů

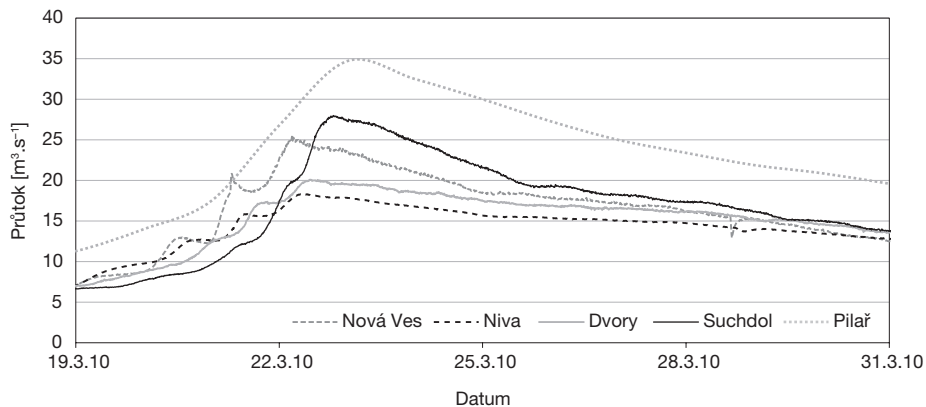
Během terénního monitoringu vodních stavů v letech 2009 až 2011 se ve studované lokalitě vyskytlo pět povodní nad úrovní Q_I . Do grafických zpracování byly zahrnuty i průměrné denní průtoky z profilu Pilař, z nichž je patrné, že průtoky zde dosahují výrazně větších hodnot. Na nárůstu se mohl projevit přítok z Dračice, který ústí do Lužnice právě mezi profily Suchdol a Pilař. Další možností je výrazné podhodnocení velkých průtoků při převodu dat z výšky vodních stavů pomocí konzumpčních křivek profilů PŘF UK. Křivky byly sice odvozeny z relativně dostatečného počtu měření, nicméně vzhledem k charakteru území bylo velmi obtížné změřit hodnoty průtoků při rozlivu vody do nivy (tok se vylévá z břehů a protéká systémem paralelních koryt a fluviálních jezer).

Z pěti hodnocených povodňových událostí připadají tři do zimního půlroku. V letech 2009 a 2010 se jednalo o jarní povodně, které kulminovaly během března. Tyto dvě události jsou charakteristické jarními rozlivy. V lednu 2011 byla zaznamenána další jednoletá voda způsobená zimní oblevou. Všechny tři povodně měly relativně prudký nástup. Průtoky na profilu Niva a Dvory klesají nejméně strmě, což dokládá dlouhou setrvačnost během rozlivu povodňové vody do přírodní nivy. Nízká rychlost poklesu po kulminaci na profilech Niva a Dvory je zajímavá ve srovnání s profilem Nová Ves, kde bylo v obou případech dosaženo při kulminaci vyšších hodnot. To je dokladem zpomalení a zploštění povodňové vlny při rozlití do říční nivy (obr. 8, 9, 10).

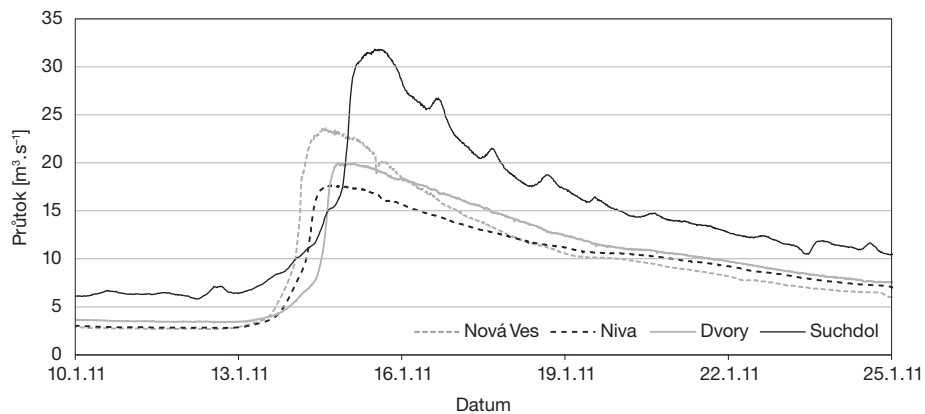
U obou březnových povodní se projevila velmi pozvolná a dlouhá poklesová fáze, která způsobuje dlouhé trvání vysokých vodních stavů na Lužnici.



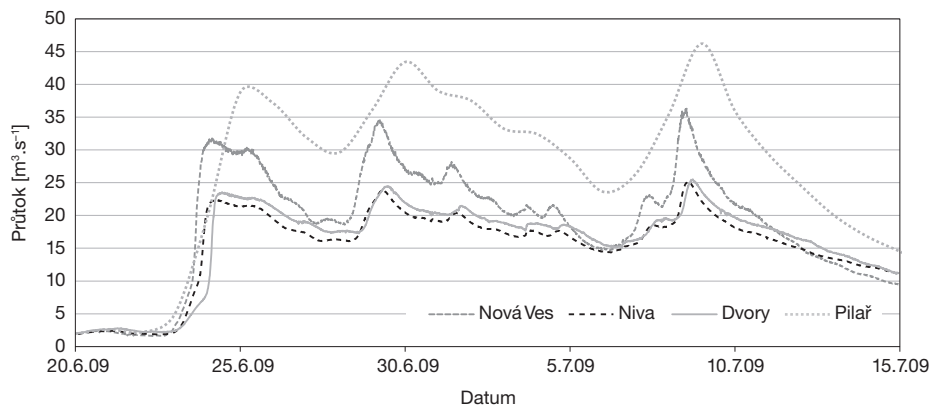
Obr. 8 – Hydrogram zimních povodní 2009 ve studovaném území horní Lužnice



Obr. 9 – Hydrogram zimních povodní 2010 ve studovaném území horní Lužnice



Obr. 10 – Hydrogram zimních povodní 2011 ve studovaném území horní Lužnice

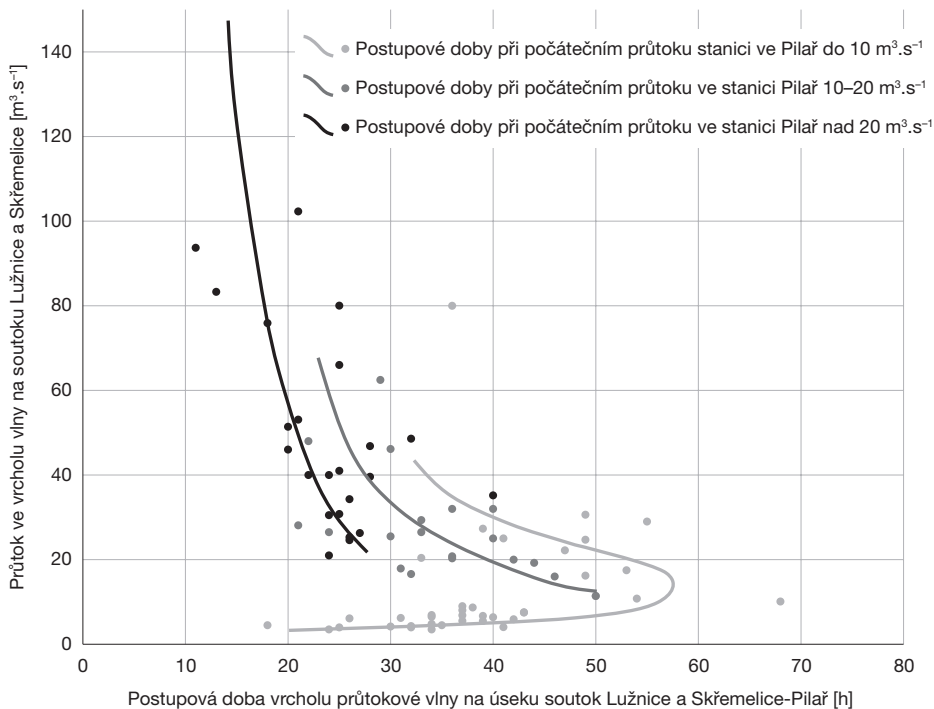


Obr. 11 – Hydrogram letní povodně 2009 pro horní Lužnici

Postupová doba jarní povodně 2010 byla mezi Novou Vsí a Suchdolem 15 hodin a v případě lednové povodně 2011 se jednalo o 24 hodin. Ze zbývajících dvou letních povodní se první vyskytla na přelomu června a července roku 2009. V tomto období bohužel došlo k výpadku hladinoměru na profilu Suchdol. Druhá povodeň kulminovala 9. srpna 2010. Obě události měly poměrně rychlý nástup a složený tvar povodňové vlny. Na profilech Niva a Dvory byly opět naměřeny nižší hodnoty než na vstupním profilu Nová Ves. Jako u předchozích zimních povodní byl i pokles vysokých stavů v Nové Vsi rychlejší. Srpnová povodeň 2010 dosáhla za dobu měření hladinoměrů největšího kulminačního průtoku, kdy na Nové Vsi bylo dosaženo průtoku téměř $50 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Nicméně předpokládaná transformace povodňových vln a pokles kulminačního průtoku mezi vstupním a výstupním profilem ve sledovaném úseku nebyly pozorovány. Přestože u sledovaných povodní došlo k poklesu kulminačních průtoků při průchodu nivou, na závěrovém profilu Suchdol kulminační průtok opět vzrostl (obr. 11).

4.3.3 Hodnocení postupových dob

Transformace povodňové vlny rozlivem do údolní nivy mimo jiné zpomaluje rychlost postupu povodňové vlny. To prodlužuje dobu na přípravu protipovodňových opatření. V rámci studie byl sledován vliv údolní nivy horní Lužnice na postupové doby vrcholů povodňových vln mezi soutokem Lužnice a Skřemelice a vodoměrnou stanicí Pilař. Průtok v tomto soutoku, kdy chybí přímé měření vodní hladiny, byl odvozen za použití transport-difuzní rovnice z vodoměrných stanic Hoheneich a Ehrendorf ležících několik kilometrů nad soutokem. Bylo vybráno 90 párů průtokových vln různých tvarů i kulminací z let 2001 až 2010, u kterých jednotlivé vlny spolu zřetelně korespondovaly. Soubor zjištěných postupových dob má značný rozptyl, na kterém se projevují nepozorované vlivy (přítok z mezipovodí, vegetační sezóna), jednoduchost metody i nejistota určení vrcholu průtokové vlny. Přesto výsledky zřetelně ukazují, že vliv nivy horní Lužnice na transformaci povodní je značný a ve srovnání s ostatními úseky Lužnice ojedinělý. Postupové doby vrcholů průtokových vln na sledovaném úseku řeky se pohybují od 7 hodin až do hodnot přesahujících 50 hodin (viz obr. 12). Vzhledem ke vzdušné vzdálenosti soutoku Lužnice se Skřemelice a stanicí Pilař, která činí jen 21 km, jsou tyto časy pozoruhodné. Další neobvyklým jevem je výrazné zvyšování postupové doby s narůstajícím průtokem u vln s vrcholem do $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, teprve u vln s kulminací nad $15 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se rychlost postupu povodně začne zmenšovat s narůstající extremitou povodně, tak jak tomu obvykle bývá. Příčinou je zřejmě působení silně členitého a vegetací zarostlého koryta. Při zvětšení průtoku v rámci kapacity koryta narůstá intenzita snižování průtočné rychlosti příbřežní vegetací, zároveň se část vody akumuluje v opuštěných korytech a ve fluviačních jezerech. To vše významně zvyšuje charakteristiku drsnosti (*roughness*) říční nivy (Winter 1999, Woessner 2000). Po dosažení kapacity koryta již oba efekty slábnou a pro rychlost postupu povodně hrají hlavní roli rozlivy do okolní nivy. V rozsahu kulminačního průtoku 20 až $40 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ se postupové doby výrazně liší (25 až 50 h) podle toho, zda vrchol povodňové vlny vstupuje do již zaplněné nebo ještě prázdné nivy, která v této situaci funguje



Obr. 12 – Postupové doby povodňových vln mezi soutokem Lužnice se Skřemelicí a limniografickou stanicí Pilař

jako retenční nádrž. Má-li na vstupu povodňová vlna kulminaci nad pětiletou povodní, je brzdící efekt nivy už omezený. Volné retenční prostory jsou již z části zaplněny a dráha řeky se zkracuje tím, že voda proudí napříč meandry. Při druhé vlně povodně ze srpna 2002, kdy kulminační průtok vstupoval prakticky do jednoho velkého jezera, byla postupová doba na sledovaném úseku jen 7 hodin a projevil se zde efekt vodní nádrže, která postup povodně může významně urychlit (Kašpárek, Patera 2002).

5. Diskuze a závěr

Na základě jednotlivých charakteristik upravenosti toku pomocí metodiky *HEM-F* byl pro horní Lužnici vypočten index upravenosti toku $I_T = 1,53$ (index I_T je výsledkem průměru hodnot upravenosti toku pro jednotlivé mapované úseky). Ve vztahu k povodním a protipovodňové ochraně lze danou lokalitu hodnotit jako ukázkou racionálního souladu sídelních aktivit člověka a respektování přirozených záplavových území. Z hlediska vlivu antropogenních úprav koryta toku a údolní nivy na ovlivnění průběhu povodňové vlny je důležitým závěrem, že vliv jednotlivých úprav klesá s rostoucí extremitou povodně. Kritická limita, za kterou vliv těchto úprav prudce klesá, je na úrovni 5leté až 20leté vody (Langhammer 2005).

Pithart a kol. (2003) udává, že lze zcela jistě v souvislosti s horní Lužnicí hovořit o fenoménu přirozených rozlivů. Při srovnání s podobnými lokalitami v Česku je pro horní Lužnici mimo častého výskytu rozlivů charakteristický zejména jejich velmi dlouhý rozsah. Šimek (2008) uvádí, že první znaky rozlivů do nivy nastávají dokonce již při hodnotách průtoku $6,32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na profilu Nová Ves. Charakter říční nivy s velkým množstvím fluviálních jezer a depresí způsobuje pomalý odtok z nivy a dlouhé trvání rozlivů viz též Vidon, Hill (2004).

Během období terénního monitoringu pomocí čtyř doplňkových automatických hladinoměrů se na horní Lužnici vyskytlo pět povodňových událostí. Při hodnocení těchto událostí lze pozorovat poklesy kulminací při průchodu nivou na profilech Niva a Dvory oproti Nové Vsi, nicméně na dalším profilu Suchdol dochází ve většině případů opět k nárůstu maximálních průtoků, a to někdy i velmi výraznému. Turek, Grill (2011) analyzovali v rámci výzkumu interakce povrchových a podzemních vod Lužnice povodňovou vlnu ze 24. září 2009, u které došlo také k nárůstu kulminačního průtoku dokonce o 20 % mezi Novou Vsí a Suchdolem. Pro vyjádření závěru obecnějšího charakteru by bylo potřeba analyzovat delší časovou řadu čítající více povodňových vln. Důležitým faktorem je předchozí nasycenost povodí, která nicméně nebyla v rámci studie zpracována. Jako příklad lze uvést událost v září 2007, kdy vlivem minimální nasycenosti povodí došlo při průchodu nivou k velmi výraznému poklesu kulminačního průtoku. Zejména u zimních povodní se projevil jejich velmi dlouhý průběh, kdy poklesová fáze povodně několikanásobně převyšuje délku trvání nástupové doby. Nicméně důležitým faktem zůstává, že retardační i transformační účinek klesá s růstem extremity povodně. V situaci, kdy je koryto s okolní nivou kompletně zaplaveno, ztrácí niva svoje transformační účinky. V takovém případě se potom výrazně zkracují postupové doby povodňové vlny.

Do protipovodňové ochrany se vedle ryze technických opatření začínají prosazovat i zákroky podporující zvýšenou retenci vody v krajině. Rozumné využívání a přírodě blízký stav říčních niv může pomoci k transformaci povodňových vln a potenciálnímu snížení povodňových škod. Tento fakt je třeba brát v úvahu při plánovaných úpravách nivy či jejich revitalizacích. Avšak zde je nutné podotknout, že i schopnost přírodní krajiny zadržovat vodu je limitovaná, může však zamezit vzniku, respektive snížit extremitu u menších či středních povodní. Před opravdu extrémními povodněmi se lze jen těžko ubránit a nejlepším způsobem protipovodňové ochrany jsou v tomto případě preventivní opatření vedoucí k respektování záplavových území toků.

Literatura:

- BAYLEY, B. P. (1991): The flood pulse advantage and the restoration of river-floodplain systems. *Regulated Rivers: Research & Management*, 6, č. 2, s. 75–86.
- ČERNÝ, R. (2008): Dynamika změn koryta a tůní v nivě řeky Lužnice po povodních v r. 2002 a 2006. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K. (eds.): *Ekosystémové služby říční nivy*. Sborník příspěvků z konference Třeboň, 28.–30. 4. 2008. Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 24–29.
- ČERNÝ, R. (1994): Vegetace makrofyt tůní a slepých ramen nivy řeky Lužnice a její bonifikační význam. Kandidátská dizertační práce. Pedagogická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích, Třeboň, 184 s.

- ČESÁK J., KOCUM, J., KLIMENT Z., JENÍČEK M. (2008): Monitoring odtokového režimu v pramenných oblastech toků. In: Langhammer, J. (ed.): Změny v krajině a povodňové riziko. Sborník příspěvků semináře Povodně a změny v krajině. UK v Praze, PŘF, Praha, s. 80–85.
- ČSN (1997): ČSN 75 1400 – Hydrologické údaje povrchových vod. Český normalizační institut.
- DOSTÁL, T. a kol. (2008): Vliv stavu nivy a koryta toku na retenci a vody a transformaci povodňové vlny. In: Pithart, D., Benedová, Z., Křováková, K.: Ekosystémové služby říční nivy. Sborník příspěvků z konference Třeboň, 28.–30. 4. 2008. Ústav systémové biologie a ekologie AV ČR, Vodní hospodářství, Třeboň, s. 37–43.
- JANSKÝ, B. (2003): Water Retention in River Basins. *AUC–Geographica*, 38, č. 2, s. 173–184.
- KASPÁREK, L., PATERA, A. (2002): Klasifikace povodní. In: Patera, A., Váška J., Zezulák, J., Eliáš, V. (eds.): Povodně: prognózy, vodní toky a krajina, ČVUT, ČVTS, s. 23–24.
- LANGHAMMER, J. (2007a): HEM – Hydroekologický monitoring. Metodika pro monitoring hydromorfologických ukazatelů ekologické kvality vodních toků. MŽP ČR, Praha, 21 s.
- LANGHAMMER, J. (2007b): Využití hydromorfologického monitoringu toků pro identifikaci kritických prvků říční sítě z pohledu povodňového rizika. In: Langhammer a kol.: Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PŘF UK, Praha, s. 26–45.
- LANGHAMMER, J. (2005): Vliv antropogenních změn v krajině na povodňové riziko. In: Langhammer a kol.: Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko. Katedra fyzické geografie a geoekologie, PŘF UK, Praha, s. 22–32.
- 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, č. 1–2, s. 2–11.
- SVOBODA, P. (2011): Hydrologický režim horní Lužnice. Diplomová práce, Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 99 s.
- SVOBODA, P. (2008): Hodnocení upravenosti toku horní Lužnice. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie PŘF UK, Praha, 87 s.
- ŠIMEK, M. (2008): Hydrologická funkce fluvialních jezer v nivě Horní Lužnice. Diplomová práce. Ústav životního prostředí PŘF UK, Praha, 129 s.
- TUREK, M., GRILL, S. (2011): Hydrological interactions between unregulated river and its floodplain: field study of the Lužnice river floodplain. *AUC–Geographica*, 46, č. 2, s. 107–114.
- VÁŇOVÁ, V., LANGHAMMER, J. (2011): Modeling the impact of land cover changes in flood mitigation in the upper Lužnice basin. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 59, č. 4, s. 262–274.
- VIDON, P., HILL, A. (2004): Landscape controls on the hydrology of stream riparian zones. *Journal of Hydrology*, 292, s. 210–228.
- VLASÁK, T. (2006): Přehled a klasifikace povodní na Lužnici. In: Langhammer, J. (ed.): Změny krajiny jako ovlivňující faktor průběhu a projevů extrémních povodní. Sborník příspěvků projektu VaV SM/2/57/05 Dlouhodobé změny porůčních 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.
- WINTER, T. C. (1999): Relation of streams, lakes, and wetlands to groundwater flow systems. *Journal of Hydrology*, 7, č. 1, s. 28–45.
- WOESSNER, W. W. (2000): Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. *Ground Water*, 38, č. 3, s. 423–429.

Summary

INFLUENCE OF THE RIVER FLOODPLAIN ON THE REGIME OF THE UPPER LUŽNICE RIVER

Fluvial flooding represents the biggest natural hazard in the region of Central Europe. From the perspective of flood control, natural river floodplains play a significant role as potential reservoirs for excessive flood waters. In an ideal case, this leads to a decrease of the river's peak culmination discharge (Bayley 1991; Plate 2002). The retention capacity of fluvial landscapes has decreased due to anthropogenic transformation of river beds and river floodplains. The lower retention capacity negatively affects the progress of both flood events and dry periods. The danger of droughts is getting even more serious in the context of global climate change.

The upper part of the Lužnice River basin has been chosen for study of a hydrological regime of a river in well-preserved natural conditions. Lužnice River is located in Southern Czechia. Larger part of the river bears modifications of only low intensity – meandering stream with many pools and oxbow lakes in the floodplain where the safe retention of water during floods can occur. The length of the Lužnice River in the study area is 82.3 km (only 35.6 km in Czechia), the catchment area until the closing gauging station Pilař covers 942.28 km².

For evaluation of anthropogenic transformation of river beds and river floodplain, the HEM-F methodology based on field mapping and geoinformational analysis of results using GIS were utilised. The mapping results have confirmed the prevailing very natural conditions of the Lužnice River. The complete index of transformation has only reached the value of $I_T = 1.53$. Long-time data series of daily discharge from the Pilař gauging station (operated by Czech Hydrometeorological Institute) were used for statistical evaluation of the hydrological regime during the study period of 1.1.1965–31.10.2010. Detailed discharge measurements (conducted in this area by the Faculty of Science, Department of Physical Geography and Geocology) were used for the evaluation of recent floods. Four automatic pressure gauging stations observing the water level (marked Fiedler-Mágr) were installed downstream in the study area. This obtained data were transformed into information of discharges due to fieldwork measurements of discharges via Hydrometric Propeller and Flow Tracker.

The average daily discharge at the Pilař station reaches 6.21 m³.s⁻¹. More than 30% of the year's outflow is produced by the river's noticeable spring maximum (March and April). 40 flood events bigger than $Q_1 = 33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ have been observed during the study period of 1965–2010. Higher occurrence of floods and dry periods was identified in the last 10 years. The seasonal orientation of small floods balanced towards both winter and summer seasons (semesters). In the case of larger events (more than Q_2), however, there is a dominant emphasis on the summer months. Five flood events have been observed during the experimental monitoring of upper Lužnice River.

However, the predicted transformations of flood waves during their passage through natural floodplain only occurred in a minimum of cases. Previous catchment saturation seems to play a decisive role in the process. Winter floods have a very long duration, with abatement phase being significantly longer than the flood onset phase. Retardation and transformation effects decrease rapidly with increasing extremity of flood events. The retention potential of the river floodplain is limited during very extensive inundations.

The significant rise in dry periods has been mostly associated with summertime. From the perspective of draught evaluation, the following is of primary interest: The drought occurrence correlates with rising floods occurrence and its increasing extremity during the last 10 years until 2010.

- Fig. 1 – Study area with the location of the Pilař gauging station. In legend: upper Lužnice catchment area, the Lužnice River, water stream, Borders of Czechia, the Pilař gauging station.
- Fig. 2 – Locations of the automated experimental gauging stations. In legend: Lužnice floodplain, study area, Lužnice river and floodplain fluvial lakes, gauging stations.
- Fig. 3 – Map of the evaluation of anthropogenic river routing transformation of the Lužnice River. In legend: meandering, curves, natural straight, artificially straightened, upper Lužnice catchment area, built-up area, water stream.
- Fig. 4 – Map of the index of anthropogenic transformation of the Lužnice River. In legend: upper Lužnice catchment area, built-up area, water stream.
- Fig. 5 – Annual daily and monthly discharge at the Pilař gauging station in the period 1.1.1965–31.10.2010. X axis – discharge in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Fig. 6 – The flood events occurrence at Pilař gauging station in period 1.1.1965–31.10.2010. X axis – peak discharge in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. In legend: floods during the winter hydrological season (semester), floods during the summer hydrological season (semester).
- Fig. 7 – The seasonal flood events composition at the Pilař gauging station in period 1.1.1965–31.10.2010. In legend: number of floods with a culmination higher than a 1-year flood, number of floods with a culmination higher than a 2-year flood, number of floods with a culmination higher than a 5-year flood.
- Fig. 8 – Winter flood events in 2009 hydrograms made from experimental measurements. X axis – discharge in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Fig. 9 – Winter flood events in 2010 hydrograms made from experimental measurements. X axis – discharge in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Fig. 10 – Winter flood events in 2011 hydrograms made from experimental measurements. X axis – discharge in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Fig. 11 – Summer flood event in 2009 hydrogram. X axis – discharge in $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, y axis – date.
- Fig. 12 – Flood waves travel time for upper Lužnice River. X axis – peak discharge of the Lužnice – Skřemelice confluence ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), y axis – travel time of the peak discharge wave between Lužnice – Skřemelice and the Pilař gauging station (h). In legend: initial flood discharge at the Pilař gauging station up to $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, initial flood discharge at the Pilař gauging station reaching $10\text{--}20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, initial flood discharge at the Pilař gauging station above $20 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Pracoviště autorů: P. Svoboda, M. Šobr, B. Janský: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, katedra fyzické geografie a geoekologie, Albertov 6, 128 43 Praha 2; e-mail: svobod34@natur.cuni.cz, miroslav.sobr@natur.cuni.cz, jansky@natur.cuni.cz. T. Vlasák: ČHMÚ České Budějovice, Antala Staška 32, 370 07 České Budějovice; e-mail: tomas.vlasak@chmi.cz.

Do redakce došlo 25. 6. 2014; do tisku bylo přijato 1. 7. 2015.

Citační vzor:

SVOBODA, P., ŠOBR, M., JANSKÝ, B., VLASÁK, T. (2015): Vliv říční nivy na hydrologický režim horní Lužnice, *Geografie*, 120, č. 3, s. 354–371.