

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní obor: Aplikovaná a krajinná ekologie

# DIZERTAČNÍ PRÁCE

**Možnosti zvýšení retence vody a živin v zemědělské krajině  
na příkladu Třeboňska**

Mgr. Richard Lhotský

**2011**

**Školitel: doc. RNDr. Jan Pokorný, CSc.**

**ENKI, o.p.s., Třeboň**

**FŽP ČZU Praha**

Rád bych poděkoval mému školiteli **doc. RNDr. Janu Pokornému, CSc.**, za pomoc a rady, které mi poskytoval v průběhu doktorandského studia. Zároveň děkuji **Ing. Pavlu Kačánymu a Ing. Miroslavu Huleovi** za odbornou i přátelskou spolupráci ve všem, co se dotýkalo vody v krajině a rybníkářství a stejně tak **Ing. Miroslavu Kajánovi** za spolupráci při řešení bioplynových projektů.

Prohlašuji, že jsem disertační práci vypracoval samostatně na základě vlastních zjištění a za pomoci uvedené literatury.

.....

V Třeboni dne 30.11.2011

## Obsah :

<b>1. Úvod</b>	<b>5</b>
<b>2. Souhrn prací autora</b>	<b>8</b>
<b>3. Retence vody v zemědělské krajině</b>	<b>14</b>
<b>4. Retence živin v zemědělské krajině</b>	<b>32</b>
<b>5. Energetické využití mokřadní biomasy</b>	<b>39</b>
<b>6. Seznam použité literatury</b>	<b>44</b>
<b>7. Přehled řešených projektů autora</b>	<b>50</b>

## DOKUMENTY

- Lhotský, R.(2010): The role of historical fishpond systems during recent flood events.
- Pokorný, J.; Lhotský, R. (2006): Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny.
- Lhotský, R. (2006): Retenční funkce Třeboňské rybniční soustavy.
- Lhotský, R. et al.(2011): Pilotní studie zaměřená na zhodnocení transformace sluneční energie a retence živin vybraného agroekosystému s důrazem na ochranu a kvalitu vod odtékajících ze zemědělské krajiny.
- Lhotský, R.; Kajan, M. (2010): Využití biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu.
- Kajan, M.; Lhotský, R. (2008): Anaerobní fermentace rostlinné biomasy.
- Lhotský, R.; Kajan, M. (2011): Anaerobní digesce fytomasy z trvalých travních porostů jako alternativa k energetickým plodinám.
- Kajan, M.; Lhotský, R. (2009): Laboratorní testy anaerobní fermentace rostlinné biomasy.



# **1. ÚVOD**

Předkládaná dizertační je souborem prací na zadané téma „Možnosti zvýšení retence vody a živin v zemědělské krajině na příkladu Třeboňska“. Práce jsem zpracoval během své odborné práce ve společnosti ENKI, o.p.s. v Třeboni. V této společnosti se zabývám především vodohospodářskými poměry v krajině s přesahem k rybničnímu hospodaření a hospodářskému využití mokřadů.

Má odborná práce zahrnovala jednak dílčí práce na výzkumných projektech, jednak činnost při řešení jednotlivých zakázek, z nichž nejvýznamnější jsou dále uvedeny.

V oblasti vodního režimu krajiny jsem se po celou dobu své odborné činnosti zabýval vodohospodářskými funkcemi rybníků v zemědělské krajině. Po povodních v roce 2002 jsem zpracovával funkčnost třeboňské rybniční soustavy během povodní a výsledky upřesňoval během povodňových událostí v letech následujících. Spolupodílel jsem se na řešení projektu „Vývoj metody stanovení toků energie a látek ve vybraných ekosystémech, návrh a ověření principů hodnocení hospodářských zásahů pro zajištění podmínek autoregulace a rozvoje biodiverzity – TOKENELEK“ v rámci Národního programu výzkumu. U „vody“ jsem zůstal i v případě čistě aplikačních projektů, např. Studie proveditelnosti revitalizace Malhostického rybníka (zadavatel Agentura ochrany přírody a krajiny ČR), nebo projektů vzdělávacích – zřízení a provoz Informačního centra pro mokřady a vodu v krajině (Operační program Rozvoj lidských zdrojů). V posledních letech se má odborná činnost zaměřuje na setrvalé hospodaření s vodou v krajině v návaznosti na zemědělskou a rybářskou činnost.

Během této práce zabývající se retencí vody v krajině se ukázala naléhavá potřeba řešit hospodaření na mokřadních lokalitách. Především jsem narazil na otázku, jak naložit s travní biomasou za situace, kdy stavy dobytka klesají a spolu s tím klesá i poptávka po píce. Zároveň nejsou mokřadní plochy vhodné pro přímou pastvu. Vzhledem k tomuto zcela konkrétnímu zadání ze strany zemědělských subjektů, jsem se začal zabývat využitím mokřadní fytomasy v energetice, přesněji řečeno jejím využitím pro produkci bioplynu. Partnerem se mi pro tuto práci stala zemědělská společnost R.A.B., s.r.o., která provozuje téměř 40 let bioplynovou stanici v Třeboni, a především Ing. Miroslav Kajan, který byl aplikovanému výzkumu více než nakloněn. Ve spolupráci se zemědělským podnikem K+K Břilice jsme zvolili modelové území Mokřých luk (cca 500 ha podmáčených luk u Třeboně), jehož se problematika využití travní biomasy přímo dotýká. Výsledkem tohoto zadání byly dva investiční projekty PHARE s mezinárodní účastí (Rakousko) – „Zařízení na úpravu a využití odpadní fytomasy při výrobě bioplynu“ a „Poloprovozní ověřovací zařízení pro bioplynové technologie“. První z uvedených projektů zajistil úpravu travní biomasy do stavu použitelného v anaerobních fermentorech v bioplynové stanici R.A.B. s.r.o., druhý projekt zajistil testovací zařízení

o velikosti 3 x 3m<sup>3</sup>, které je v České republice jediné a umožňuje testování substrátů v poloprovozním měřítku. Na zmíněné čistě investiční projekty, které jsem vedl, navazovaly další „bioplynové“ projekty.

Intenzifikace produkce bioplynu (Program Výzkumu a vývoje, MŽP ČR), projekt řešený ve spolupráci s VŠCHT, se zabýval tím, jak dále upravit biomasu z travních (mokřadních) ploch, aby produkce bioplynu byla co nejvyšší. V projektu „Nepotravinářské využití biomasy“ (Národní program výzkumu MŠMT ČR) jsme měli na starost celkovou problematiku bioplynu a travní biomasy, včetně ekonomického zhodnocení. Jedním z výsledků byla i metodika laboratorních testů anaerobní digesce.

Dizertační práce navazuje na výstupy a výsledky základního výzkumu a předkládá aplikační výstupy mé činnosti v oblasti hospodaření s vodou v krajině a hospodářského využití mokřadů.

Předkládaná disertační práce je koncipována jako soubor publikovaných prací, rozdělených do jednotlivých stěžejních kapitol, přičemž každá kapitola má vlastní úvod do dané problematiky.

Jednotlivé kapitoly řeší odpovědi na základní otázky celé práce, a sice:

1. Do jaké míry je možné zvýšit retenci vody v krajině pomocí rybníků?
2. Zemědělskou krajinu opouští velké množství živin i půdních částic, které způsobují eutrofizaci povrchových vod a zanášení vodních nádrží sedimenty. Jaké jsou možnosti zmírnění těchto negativních jevů?
3. Podaří-li se zakomponovat mokřadní a mimoprodukční plochy do zemědělské půdy, jaké jsou možnosti využití rostlinné biomasy z těchto ploch?

## 2. Souhrn prací autora

### Voda v krajině, mokřady, povodně

Pokorný, J.; Lhotský, R. (2005): Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny. - In: *Sborník konference Krajinné inženýrství 2005 - Voda v krajině 21. století*, Pardubice, 8.- 9.12.2005, p. 136 - 147.

Lhotský, R.(2006): Retenční funkce Třeboňské rybníční soustavy. - *Vodní hospodářství* 56 (12): 410 - 414.

Pokorný, J.; Lhotský, R. (2006): Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny. - *Vodní hospodářství* 56 (2): 31 - 34.

Lhotský, R. (2007): Flood retention in the Fishpond System of Třeboň (Czech Republic). - In: *Sborník z mezinárodní konference „ Multi Functions of Wetland Systems“*, P.A.N,s.r.l. Spinoff of the University of Padova, Padova, Italy, 26.6.2007, p. 164 - 165.

Šulcová, J.; Štíhová, J.; Pechar, L.; Lhotský, R. (2007): Effects of runoff from agricultural catchments on fishpond water chemistry. A long term study of Třeboň fishponds, Czech Republic. – In: *Poster. Mezinárodní konference „Multi Functions of Wetland Systems“*, P.A.N, s.r.l. Spinoff of the University of Padova, Padova, Italy, 26.6.2007

Pokorný, J.; Květ, J.; Dykyjová, D.; Faina, R.; Příkryl, I.; Lhotský, R. (2007): Aquatic and marsh plants in hypertrophic fishponds. 1: nutritional adaptation strategie - In: *Sborník z mezinárodní konference „ Multi Functions of Wetland Systems“*, P.A.N, s.r.l. Spinoff of the University of Padova, Padova, Italy, 26.6.2007, p. 144 - 145.

Pokorný, J.; Květ, J.; Dykyjová, D.; Faina, R.; Příkryl, I.; Lhotský, R. (2007): Aquatic and marsh plants in hypertrophic fishponds. 2: growth and life-cycle adaptation. - In: *Sborník z mezinárodní konference „ Multi Functions of Wetland Systems“*, P.A.N, s.r.l. Spinoff of the University of Padova, Padova, Italy, 26.6.2007, p. 146 - 147.

Pokorný, J.; Květ, J.; Dykyjová, D.; Faina, R.; Příkryl, I.; Lhotský, R. (2008): Aquatic and Marsh Plants in Hypertrophic Fishponds – Overview. – In: *Mander, U.: Wetlands and Climate Change: New Challenges for Wetland Research*, Tartu 2008, Publicationes Instituti Geographici Universitatis Tartuensis, 106, University of Tartu, 2008,3rd Annual Meeting of the European Chapter of the Society of Wetlands Scientists (SWS), p. 73 - 78.

Lhotský, R.(2010): The role of historical fishpond systems during recent flood events. - *Journal of Water and Land Development* (14): 49 - 65.

## **Energetické využití fytomasy, anaerobní digesce**

Lhotský, R.; Kajan, M.; Jareš, J. (2006): Renewable energy and sustainable use of a landscape. - In: *Strategic RES Project Developments within the RECORA Partnership*. Athens, Greece, 26.2.2006. Příspěvek na semináři.

Lhotský, R. a kol. (2008): Posouzení vhodnosti trvalých travních porostů k produkci bioplynu. – In: *Poster. Výstavba a provoz bioplynových stanic*“, Třeboň, 9. - 10. 10. 2008.

Lhotský, R.; Kajan, M.; Hejduk, S. (2008): Travní biomasa ve vztahu k výrobě bioplynu. - In: *Sborník z mezinárodní konference „ Výstavba a provoz bioplynových stanic*“, Třeboň, 9. - 10. 10. 2008, p. 69 - 74,

Kajan, M.; Lhotský, R. (2008): Anaerobní fermentace rostlinné biomasy. - In: *Havlíčková K. a kol.(eds.): Rostlinná biomasa jako zdroj energie*. VÚKOZ. Průhonice 2008. p.45 - 60.

Kajan, M.; Lhotský, R. (2009): Využití travní biomasy k výrobě bioplynu. - In: *Sborník přednášek z Mezinárodní konference BIOPLYN 2009*, 8. - 9. dubna 2009, České Budějovice. Vydal GAS s.r.o. Praha, 2009. p. 1 – 7.

Kajan, M.; Lhotský, R. (2009): Laboratorní testy anaerobní fermentace rostlinné biomasy. - Metodika. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 2009, 10 pp.

Lhotský, R.; Kajan, M. (2010): Využití biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu. – In: *Sborník Mezinárodní konference Výstavba a provoz bioplynových stanic*, 1. vydání. Třeboň, 2010, p. 131 - 139.

Lhotský, R.; Kajan, M. (2011): Anaerobní digesce fytomasy z trvalých travních porostů jako alternativa k energetickým plodinám. - *Acta Pruhoniana (97)*: 69 - 75.

### **3. RETENCE VODY V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ**

## Úvod

Moderní člověk rozumný (*Homo sapiens sapiens*) se vyvinul před zhruba 200.000 lety. Živil se sběrem a lovem a první nálezy dokládající sporadické pěstování plodin před více než 10.000 lety nacházíme v Levantu, oblasti Blízkého Východu. V této oblasti byly nalezeny důkazy o cíleném pěstování plodin před 9500 lety. Jde o osm plodin, které byly domestikovány – pšenice dvouzrnka (*Triticum dicoccum*), pšenice jednozrnka (*Triticum boeoticum*), nahý ječmen (*Hordeum vulgare* var. *nudum*), hrách (*Pisum sativum*), čočka (*Lens culinaris*), vikev (*Vicia ervilia*), cizrna (*Cicer arietinum*) a len (*Linum usitatissimum*). Nálezy řízkovaných fikovníků přidávají ke zmíněným rostlinám i fikovník smokvoň (*Ficus carica*) – údolí Jordánu (Kislev, Hartmann et Bar-Yosef 2006), případně rýži (*Oryza*) – nálezy v Koreji datované do období před 15.000 lety (Lee et Woo 2000).

Prvním domestikovaným zvířetem byl dnešní největší přítel člověka, pes. Nedávný nález v Belgii posouvá domestikaci psa do období před více než 30.000 lety (Germonpré, M. a kol. 2009). Následovala další domácí zvířata – ovce (cca před 12.000 lety), prase (před 11.000 lety), koza (před 10.000 lety).

Jak se ovšem rané zemědělství podepsalo na osudu prvních civilizací?

Pšenice i ječmen byly vyšlechtěny ze stepních trav, a vyžadují tudíž stále stepní podmínky. Jejich kořeny nesnášejí zatopení nebo podmáčení, a proto je často nutné plochy pro jejich pěstování odvodňovat.

Dnešní Řecko neoplývá lesními komplexy. Rozšiřující se zemědělství ve starověkém Řecku bylo vedle dalších faktorů (válečné vypalování lesů, kácení stromů pro stavbu lodí a pro palivo) hlavní příčinou odlesnění. Pastva koz byla v tomto směru ještě „účinnější“, než rozšiřování pozemků pro pěstování plodin. Důsledkem deforestace byla zvyšující se eroze. Přelom letopočtu byl dokonce jakýmsi mezníkem v odnosu půd v oblasti Středomoří. Zatímco v období před Kristem byla plošná eroze cca 2-3 cm za 1000 let, v našem věku se zvýšila na 20-30 cm za 1000 let (Hughes a Thirgood, 1982). Nové postupy v zemědělství se do střední Evropy šířily od jihovýchodu. Před 6000 lety se zemědělství šířilo z Řecka do chladnějších oblastí Balkánu a do střední Evropy pronikalo podél toku Dunaje. Před 3 až 4 tisíci lety bylo zemědělství rozšířeno po celé Evropě. Stále rostoucí poptávka po zemědělské půdě v raném středověku přinesla ve střední a severní Evropě vlny odlesňování, a tím i změny vodního režimu v krajině.

Výživa lidí v celé oblasti Evropy, Středomoří i Blízkého a Středního východu závisela hlavně na pěstování obilovin, tedy stepních rostlin. Jejich výnos byl nevalný, v poměru k výnosům bylo nutné ponechat poměrně velkou část úrody jako osivo pro další rok. Pro zajištění výživy obyvatel byly potřebné nové a nové zemědělské plochy, nezbytně nutné bylo odvodnění. V tomto ohledu nad jiné vynikaly kultury v oblasti podél řek Eufrat a Tigris, tedy Mezopotámie. Jen málokterá tehdejší civilizace měla tak propracovaný systém odvodňovacích/zavlažovacích kanálů, ale také jen málokterá civilizace dokázala svou zemědělskou půdu zničit – zasolit opakovaným vysoušením. Důkazem za mnohé může být postupný pokles zastoupení pšenice mezi plodinami Mezopotámie, až kolem roku 1700 př. Kr. vymizela pšenice v jižní části údolí úplně (Jacobsen et Adams 1958). Stát, který není schopen uživit své obyvatele a především armádu, která je sama potravinově závislá na zemědělci, neodolá vojenským výbojům svých sousedů a historicky mizí ze scény.

Výživa lidí ve východní i jihovýchodní Asii byla odlišná proti Levantu a Evropě, neboť nezávisela na pěstování stepních rostlin. Dominantní plodinou se zde stala rýže, která pochopitelně nevyžaduje stepní podmínky, nicméně na systému zavlažování a odvodňování je více závislá než obiloviny. Jaké další výhody mělo pěstování rýže oproti stepním obilovinám? Zatímco z jedné rostliny obilovin získáme maximálně několik desítek obilek, u rýže jde o několik stovek. Rýže navíc, pokud je pěstována mokrou cestou, může dosahovat i tří sklizní ročně. Zatímco obiloviny vyžadují externí zdroje živin, které se rychle odčerpají, rýžoviště využívají sinice k vázání vzdušného dusíku a pěstování rýže mokrou cestou je tak výjimečný způsob recyklace vody a látek,

Pěstování rýže mokrou cestou vyžaduje, aby lidská společnost byla na vyšším stupni sociálního vývoje. Není možné, aby si každá rodina uzurpovala právo na vodní zdroj, systém zavlažování, odvodnění. Výstavba kanálů a hrázek je společná práce, na kterou dohlížel zvláštní úřednický aparát, což je situace stále platná například v zemích jihovýchodní Asie.

Lidská civilizace je od počátku provázána s vodou nejenom jako s jednou ze základních látek metabolismu, ale také jako se součástí svého životního prostředí. Její vyčerpání, nevhodné používání, změna jejího cyklu odlesněním vždy a bez výjimek vedla k oslabení vojenské síly, a tím ke kolapsu obrany (k zániku, resp. rozplynutí) příslušné civilizace.

V údolí Indu zkolabovala civilizace po odlesnění pro zemědělskou půdu a pálení cihel pro stavbu chrámů cca 1400 př. Kr. Odlesnění povodí Žluté řeky v Číně a japonských řek způsobilo silnou erozi. Křesťanské království v Etiopii vyčerpalo v krátkém časovém období



krajinu kolem roku 1000 (Eritrea) a bylo nuceno přesunout své hlavní město. Situace se opakovala, když se stala hlavním městem Addis Abeba (1883) a za dvacet let byl zdevastován les v okruhu více než 100 km, lesy byly vykáceny a stromy použity na výrobu dřevěného uhlí. (Ponting 1991, Diamond 2008).

Bohužel je nutné připomenout, že současný svět si v hospodaření s vodou nevede ani po 12 000 letech zemědělství příliš dobře. Zavlažování dnes zajišťuje 40 % celosvětové dodávky potravin a toto číslo bude bezesporu stoupat, neboť do roku 2050 se předpokládá o 70 % vyšší spotřeba potravin (FAO 2011). FAO - Organizace OSN pro výživu a zemědělství uvádí 5 nejrizikovějších oblastí vodního hospodářství v zemědělství, které mohou být nejvíce zasaženy globální změnou klimatu (FAO 2011):

- Velké zavlažovací stavby zásobované vodou z ledovců a tajícího sněhu, zvláště v severní Indii a v Číně.

- Oblasti velkých říčních delt, které mohou být zaplaveny mořem, být poškozeny záplavami a bouřemi, případně poškozeny slanou vodou přes podzemní vodu.

- Povrchové a podzemní zdroje vody v aridních a semiaridních oblastech, kde dojde k poklesu objemu srážek .

- Vlhké tropy, které mohou být postiženy poklesem množství monzunových srážek a zároveň zvýšením rizika vyšších povodní.

- Oblasti s doplňkovým zavlažováním, jímž se tlumí následky bezsrážkových period. K těmto oblastem patří *a*) oblasti mírného klimatu (Evropa a Severní Amerika), které mohou být postiženy sezónními suchy, a to i v případě vyšších celkových srážkových úhrnů a *b*) Středomoří a jiné sezónně aridní oblasti.

V roce 2000 tvořily 41 % pevniny naší planety suché oblasti, tj. oblasti, kde nedostatek vody limituje produkci zemědělských plodin (pro potraviny a píce), produkci dřeva a další využitelné aktivity. Jde o oblasti s klimatem charakterizovaným jako suché subhumidní, semiaridní, aridní a hyperaridní. V těchto oblastech žily v roce 2000 více než 2 miliardy lidí, tedy třetina celosvětové populace. 10 – 20 % těchto suchých oblastí již degradovalo v poušť. Ročně desertifikuje 60 000 km<sup>2</sup> zemědělské půdy a celkem 200 000km<sup>2</sup> zemědělské půdy ztrácí svoji produkci.(MEA 2005)

Česká republika sice není přímo ohrožena desertifikací, naopak, některé prognózy očekávají rozšíření spektra pěstovaných plodin o takové, které dnes rostou ve Středomoří, nebo dokonce bude možné uvažovat o pěstování rýže.

Z pohledu hodnocení zvyšování retence vody v krajině je nutné brát v úvahu, že sice nedojde ke zvýšení celkového ročního objemu srážek, ale je možné předpokládat jejich rozdělení do kratších a extrémních nebo delších a intenzivních srážkových epizod, což přinese zvýšené nebezpečí povodní, jak povodní z krátkodobých srážek vysoké intenzity (tzv. bleskové nebo přívalové povodně, angl. flash floods), tak povodní z déle trvajících regionálních srážek.

V oblastech srážkového stínu, například v Podkrušnohoří, očekává Vašků (2010) výskyt tzv. nahodilého sucha (podmíněného přirozeně se vyskytující časovou a plošnou nerovnoměrností výskytu srážek, zvýšeným výparem a zvýšenou transpirací). S tím souvisí i možné problémy se zásobováním obyvatel pitnou vodou, neboť Česká republika kryje 55% spotřeby pitné vody z povrchových zdrojů.

Střídání extrémních jevů, intenzivních srážek a sucha, zvýší a urychlí proces mineralizace půd. Následné intenzivní srážky mohou odplavovat živiny ve zvýšené míře do povrchových vod a zvyšovat zatížení vod živinami (příčina následné eutrofizace). Projevy eutrofizace, především rozvoj mikroskopických řas a sinic, negativně ovlivňují využití vodních zdrojů pro hospodářství i rekreaci obyvatel. Negativními dopady eutrofizace se dnes zabývají klíčové dokumenty EU (Rámcová směrnice pro vodní politiku ES 2000/60/ES, Směrnice o řízení jakosti vod ke koupání, 2006/7/ES) i ČR (Plán hlavních povodí ČR včetně závazných opatření).

## Voda v zemědělské krajině

Podle údajů FAO (2010) zabírá zemědělsky obhospodařovaná půda (orná půda, trvalé plodiny, pastviny) v současnosti téměř 40 % povrchu souše. Jak jsem se již zmínil, evropské zemědělství je historicky spojeno s pěstováním plodin, které jsou původem stepní a nesnášejí zamokřenou půdu, je tudíž nutné upravit vodní režim půd určených pro pěstování těchto plodin. Zároveň jsou tyto plodiny závislé na dodávkách externích živin. Celosvětová roční spotřeba hnojiv (N,P,K) byla v roce 2008 162 milionů tun (FAO, 2010).

Pro úpravu vodního režimu zemědělských půd slouží různé typy zavlažovacích a odvodňovacích staveb. První takové stavby bychom hledali v oblastech zrození zemědělství, v Mezopotámii a Persii. V Evropě jsou detailně historicky zpracované podpovrchové odvodňovací stavby v Řecku (Koutsoyiannis 2007), v Etrurii i v Římské říši, kdy se poprvé objevuje zápis postupů odvodnění. Pavelis (1987) předkládá ucelený přehled evropských odvodňovacích staveb, počínaje stavbami ve východní Anglii, které navazovaly na římské odvodnění, zmiňuje trubkovou drenáž ve Francii i první keramickou drenáž použitou počátkem 19. století v Anglii a průmyslově vyráběnou od roku 1840.

V Čechách a potažmo v celém Rakousko-Uherském mocnářství bylo poprvé použito trubkové drenáže na třeboňském velkostatku, když v roce 1848 byly odvodněny těžké půdy kolem dvora „Vrchy“ u Třeboně. Další práce, podnícené úspěchem meliorací v Anglii, vedly ke zdrenování 353,5 ha do roku 1860 a 827 ha do roku 1897. Odvodňovací práce regulovalo vydání melioračního zákona v roce 1884 a rozvoj odvodňování podpořila i nesplatná státní a zemská subvence až do výše 60 % rozpočtu (Šiman 1959). Dnes je v České republice odvodněno okolo 10 000 km<sup>2</sup> plochy (Kulhavý et Soukup 2010), což představuje přibližně 13 % rozlohy státu. Po změnách v majetkových vztazích po roce 1989 ustala v mnoha případech údržba odvodňovacích systémů, případně byla jejich funkčnost narušena jinou stavební činností. Dnes je tedy téměř nemožné určit, jaký podíl z celkové odvodněné plochy je vůbec funkční. Janeček (1998) shrnuje funkce drenáží do těchto bodů:

- Drenáž zvyšuje a urychluje podpovrchový odtok z odvodněné plochy oproti ploše neodvodněné.
- Drenáž zvyšuje infiltraci vody do půdy a snižuje tím odtok povrchový, který transformuje na odtok podpovrchový.

- Drenáž vytváří nad drény větší retenční prostor v odvodněné půdě, než může vytvořit půda neodvodněná.
- Při velkých povodňových průtocích v recipientech odvodnění bývá drenáž ve výústní trati částečně zahlcena, čímž se sníží gradient hydraulických potenciálů na odvodněné ploše, a tím i maximální drenážní odtoky.
- Drenáž má kulminaci zpravidla opožděnou za kulminací maximálních průtoků v recipientu odvodnění, kulminace drenážních vod je však dřívější, než kulminace podpovrchového odtoku z ploch neodvodněných. Při denním výpočtovém kroku se opoždění drenážního odtoku zpravidla neprojevívá.

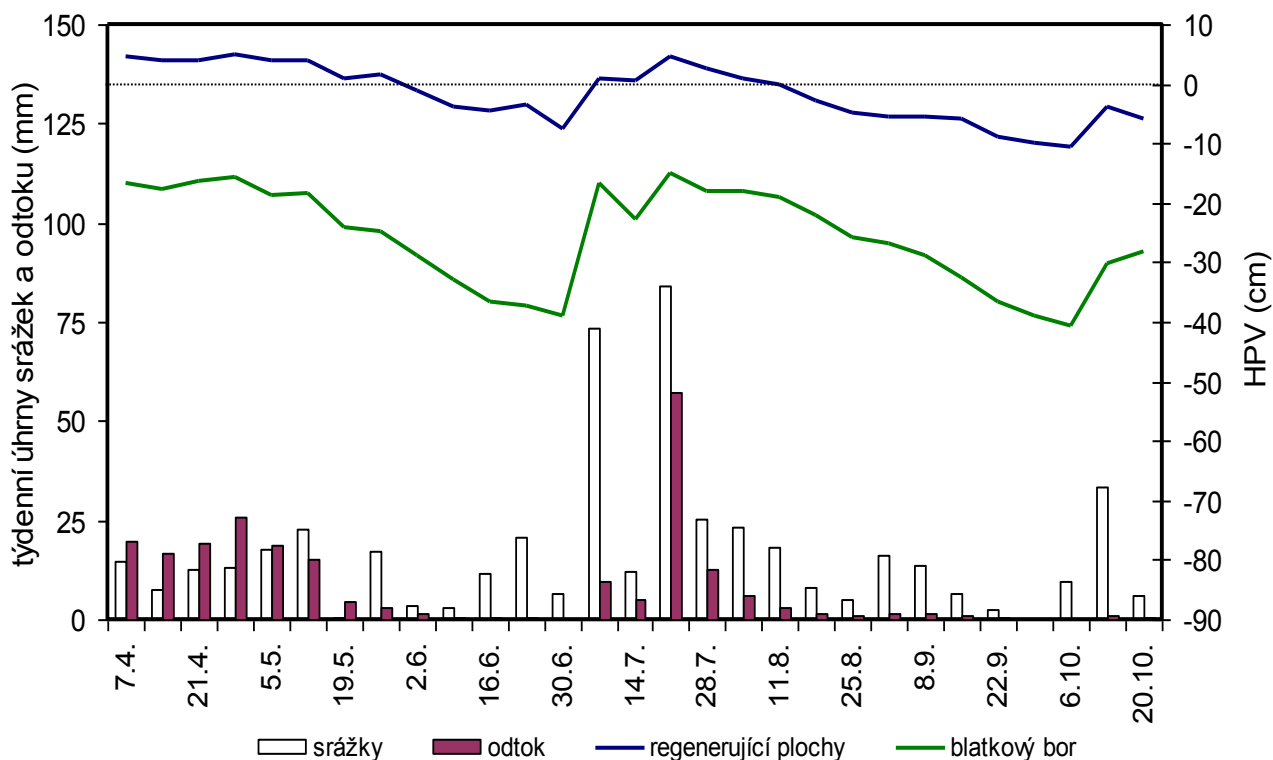
Během povodní tvoří drenážní odtok 2 – 5 % kulminačních průtoků a během mimořádných událostí nepřispívá v podstatné míře k celkovému odtoku (Janeček 1998).

Vzhledem k prognózám vývoje klimatu, především vzhledem k očekávaným delším obdobím sucha a zvýšenému výskytu přívalových srážek, bude nutné funkčnost zemědělských drenáží výrazně přehodnotit (Kulhavý et Soukup 2010).

Jakkoliv bývá úloha drenážního odtoku při povodňovém kulminačním průtoku veřejností přeceňována, není možné pominout fakt, že plošné odvodnění urychlilo proces mineralizace v půdách, tedy snížení podílu organických látek, a tím i schopnost půd vázat vodu. Následné utužení půdy navíc přispívá ke zvýšenému povrchovému odtoku.

Spolu s budováním drenážních systémů probíhalo i scelování pozemků, ničení mezí a remízků, které byly místem zvýšené infiltrace vody a transformace povrchového odtoku na podpovrchový. Odvodňovány byly rovněž pramenné oblasti s mokřady, drobné vodní nádrže a podobně, čímž se výrazně změnila akumulární schopnost krajiny. Tato drobná vodní či mokřadní tělesa ale nepřispívají významně ke zvýšení retence vody v krajině, tedy k dočasnému zadržení vody. Přesto drobné mokřadní plochy s vysokou evapotranspirací (v plochách jednotek hektarů) mají v krajině zcela zásadní význam pro udržení krátkého cyklu vody v krajině.

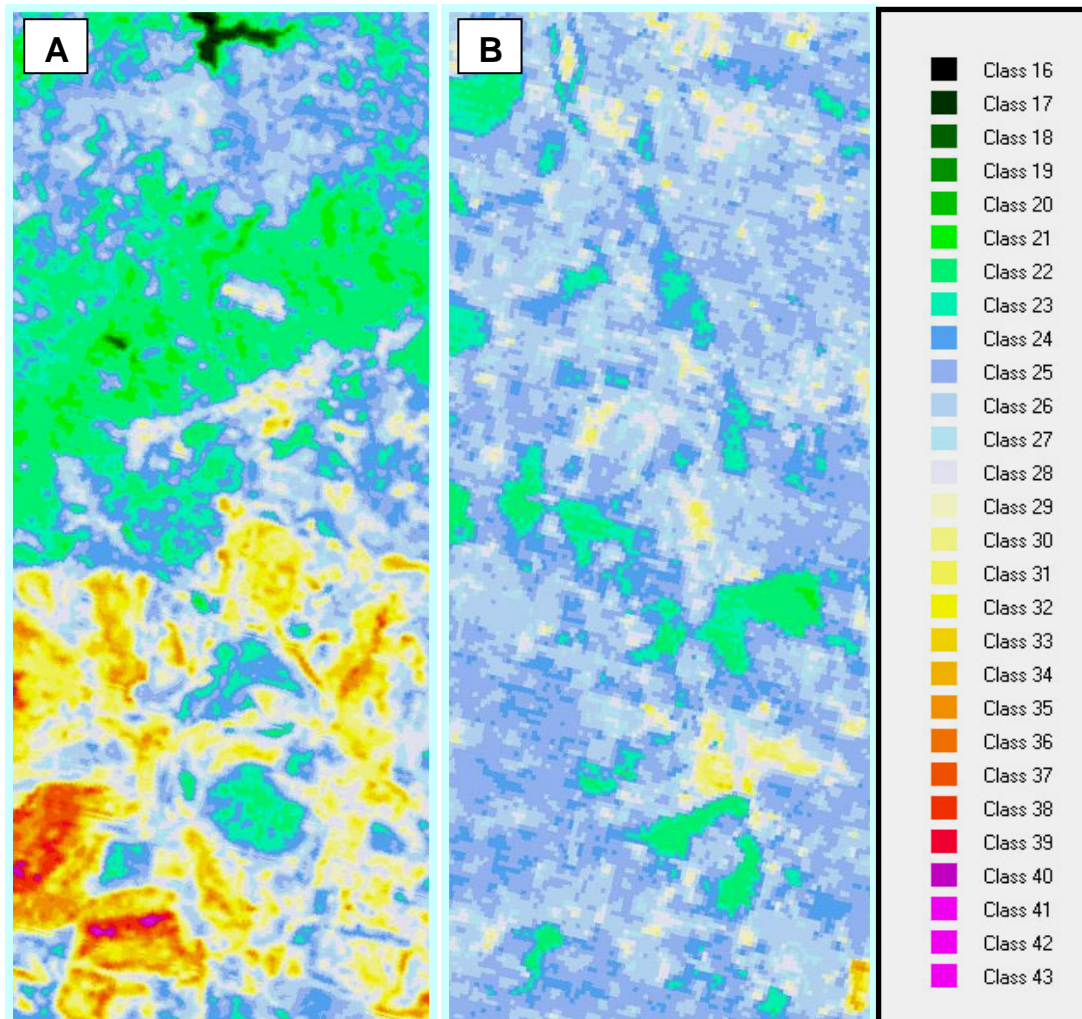
Obdobně se ve vztahu k retenci chovají rašeliniště a lesní porosty na rašelinných podkladech, kde platí, že retenční funkci mají pouze živá rašeliniště a to jen v případech, že jsou vhodně odvodněna (Kolmanová et al. 1999). Více obrázek 1.



Obr. 1 – Výška hladiny podzemní vody (HPV) měřená v živém rašeliništi (regenerující plochy – plochy zarostlé rašeliníkem vzniklé po odtěžení rašeliny, kde bývá voda nad povrchem terénu a v blatkovém boru, kde je hladina podzemní vody trvale zaklesnutá). Během kulminačního průtoku je u regenerujících ploch retenční prostor zaplněn, zatímco u citlivě odvodněného a živého blatkového lesa zůstává stále cca 15 cm retenčního objemu v půdě. (Kolmanová et al. 1999).

Mokřady a drobné vodní útvary v zemědělské krajině však výrazně zvyšovaly hladinu podzemní vody a spolu s vegetací na mezích fungovaly jako chlazení pro přehřívající se okolní zemědělské porosty. Odvedení vody drenážemi umožňuje lepší a rozsáhlejší pěstování obilí i lepší dostupnost polí pro stále těžší mechanizaci, na druhou stranu se odvodněné plochy snáze přehřívají. Tento jev je silnější, pokud je na poli mrtvá biomasa (dozrávající obilí nebo kukuřice, strniště) nebo je zorané pole zcela bez biomasy. V takových případech je pole doslova topením, teplý vzduch s nižší relativní vlhkostí nasává vlhkost z okolní vegetace a z půdy. Přehřáté zemědělské pozemky jsou dobře patrné na snímcích dálkového průzkumu země (Hesslerová et Pokorný 2010). „Pestrá“ krajina, kde zemědělské pozemky doplňuje les,

louky, mokřady a vodní nádrže má celkový výpar sice větší, ale tím zároveň krajinu chladí a umožňuje lokální kondenzaci vody – Obr. 2.



*Obr. 2 – Teplotní snímky Mostecka a části Krušných hor (A) a Třeboňska (B), ze kterých je patrné silné přehřívání těžebních jam (bez vegetace) a velké teplotní kontrasty. Třeboňsko naopak vykazuje nízké teplotní kontrasty. Vpravo dole je patrný „hot spot“ povrchové těžby rašeliny. Barevná škála odpovídá relativní teplotní stupnici, kdy zelené plochy jsou nejchladnější a fialové nejteplejší. (Kravčík et al. 2008)*

Stále málo probádanou se jeví úloha vegetace při tvorbě klimatu, neboť dosavadní práce se spíše zabývaly otázkou vlivu klimatu (a jeho změny) na vegetaci. Makarieva a Gorshkov (2007, 2010) v souvislosti s vlivem vegetace na tvorbu klimatu používají termín „biotická pumpa“. Na základě sledování rozsáhlých zalesněných oblastí v Amazonii, rovníkové Africe a na Sibiři a porovnání s aridními oblastmi střední Číny, amerických stepí a Austrálie dospěli Makarieva s Gorshokovem k závěru, že velké lesní komplexy působí jako výkonná biotická pumpa nasávající vlhký oceánský vzduch, a přepravují jej tisíce kilometrů

do vnitrozemí. Tento jev vysvětlují tím, že rozsáhlé lesní komplexy odpařují velké množství vody. Během kondenzace vody ve vyšších (a chladnějších) vrstvách atmosféry dochází k poklesu atmosférického tlaku vlivem eliminace parciálního tlaku vodní páry. Tento pokles tlaku nad zalesněnými a vlhkými oblastmi zvyšuje jak vertikální, tak horizontální tlakový gradient, který zajišťuje přísun vlhkého oceánického vzduchu. Autoři považují evapotranspiraci za hnací motor procesu „biologické pumpy“.

Pro demonstraci interakcí vody – půdy – vegetace je možné použít vývoj krajiny od posledního zalednění Evropy, jak jej popsali např. Ripl a kol. v roce 1996 (Obr. 3). Vývoj severské krajiny byl popsán na základě průzkumu sedimentů švédských jezer. Z mnoha závěrů tohoto průzkumu považují za klíčový ten poznatek, dnes snad již obecně přijímaný, že ochranu vod je možné provádět pouze řízením procesů a toku látek v povodí jako celku, nikoliv jen ochranou vodního ekosystému samotného.

#### *Pionýrská vegetace postglaciálu*

Po ústupu zalednění převažovala v severní a střední Evropě chladná step a tundra (Ložek 1973), velké plochy střední Evropy (Porýní, Bavorsko, severozápadní Čechy, Morava a dále na Panonii a Balkán) pokrývala xerotermní vegetace trávníků (Sádlo et al. 2005). Mohutné vodní toky erodovaly půdní povrch a odnášely jej do jezer, kde došlo i vlivem zvýšené teploty k mohutnému rozvoji metabolismu vodních organismů. Odtok látek z povodí byl značný, ale s rozvojem suchozemské vegetace klesal, jak vegetace odebírala ionty.

#### *Klimaxové stádium*

Po dosažení klimaxového stádia lesní vegetace (např. smíšené doubravy) výrazně klesá celkový odnos látek z povodí. Hladina podzemní vody kolísá v úzkém rozsahu, v důsledku toho nedochází k nadměrné mineralizaci a zpřístupnění látek erozi a odnosu. Koloběh vody se stává uzavřeným, vegetace zajišťuje recyklaci látek a živin.

#### *Příchod člověka*

Období klimaxového lesa trvalo v prostředí severní Evropy cca do poloviny druhého tisíciletí před naším letopočtem. Je však třeba mít v patrnosti, že klimaxový les nepokrýval celou plochu střední Evropy, ale byl podle místních klimatických podmínek doplňován lesostepí, stepí nebo rašeliništěm. Právě v bezlesí (v lesostepních a stepních oblastech) zakládal člověk první osady (Ložek 1973, Sádlo et al. 2005). První zásahy člověka byly

minimální, ale s rozvojem zemědělství a především přibývajícím populací byla orná půda stále potřebnější. Odtok látek a živin z povodí se postupně zvyšoval, ale větší přísun živin do řek a jezer byl kompenzován vyšší produkcí břehových porostů. Další vývoj a především průmyslová a zemědělská revoluce v 18. – 19. století obnažovaly stále větší plochy půdy a odvodnění pozemků vedlo k rozkolísání hladiny podzemní vody. Rychlost mineralizace narostla a spolu s ní i odtok látek z nenasyceného půdního profilu. S odčerpáním dostupných živin ze zemědělské půdy bylo nutné stále více hnojit, což opět vedlo ke zvýšení odtoku látek z povodí. Rozvoj měst přinesl splaškové vody, které spolu se splachy ze zemědělské půdy přivodily postupnou eutrofizaci vnitrozemských vod. Ripl et al. (1996) odhadují, že odtok látek z krajiny je dnes 50 až 150x vyšší ve srovnání s nedotčenými půdními systémy. Před příchodem člověka byla vodivost půdního roztoku cca  $10 - 30 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , zatímco dnes se v zemědělsky produkčních oblastech pohybuje mezi 400 a  $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

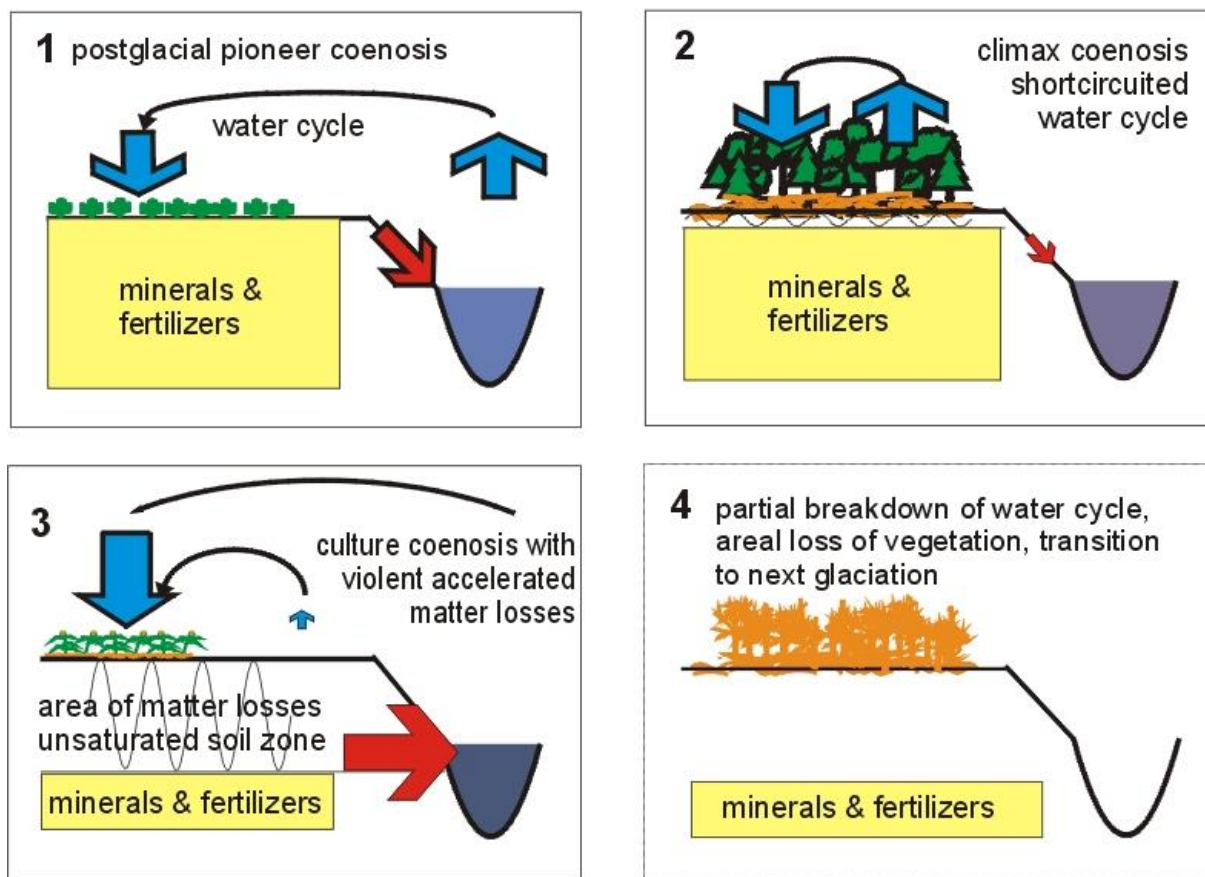
#### *Krátký a dlouhý koloběh vody*

Základní hydrologický cyklus neboli koloběh vody je probírán a vyučován již na základní škole. Obecné pravidlo, které říká, že voda se odpařuje, ve formě vodní páry přesouvá v prostoru a v chladnějších oblastech kondenzuje, aby ve formě srážek vypadla, nabývá v závislosti na vegetačním pokryvu dalších podob. Chladnější oblasti nemusí být pouze vzdálená pohoří známá ze školních schémat, ale i oblasti rozsáhlého vegetačního pokryvu (lesy, mokřady), která jsou díky evapotranspiraci chladnější. Takto může voda kondenzovat v různých formách na krátké vzdálenosti a mluvíme o uzavřeném, nebo krátkém cyklu vody. Srážky jsou častější a méně intenzivní a udržují vyšší hladinu podzemní vody, což zaručuje nižší mineralizaci a nižší odtok látek z prostředí.

Pokud v prostředí chybí „ochlazovací místa“, vzduch se nad krajinou s řídkou vegetací (step, pole) nebo bez vegetace (města, povrchové doly) přehřívá a nasává vlhkost z dalších oblastí. Hladina podzemní vody je více zaklesnutá (i vlivem odvodnění), nepravidelné deště způsobují kolísání hladiny podzemní vody a mineralizace probíhá rychleji. Ke kondenzaci vzdušné vlhkosti dochází ve velkých vzdálenostech (nad oceány), v případě ochlazení při výstupu vzdušných mas nad pohoří může docházet až k přívalovým srážkám a povodním. Předpokládané změny klimatu – přechodná sucha a přívalové srážky situaci s odtokem živin a důsledky povodní mohou jenom prohloubit. (Kravčík et al. 2008)



## Water cycle and losses of matter in various stages of landscape development since the last glaciation period



Obr. 3 – Vodní cykly a odnosy látek v různých stádiích vývoje krajiny od posledního zalednění. (Ripl, 1996)

## Retence vody v mokřadní krajině

Při praktickém používání termínů retence a akumulace vody je velice nutné zajistit, aby dotčené subjekty i veřejnost pochopili správný význam obou termínů. Pokud hovoříme o retenci vody, pak pouze ve smyslu DOČASNÉHO zadržení vody v daném prostředí, aniž bychom chtěli tuto vodu v krajině udržet (akumulace). Zatímco akumulace vody je klíčová pro zajištění vodních zdrojů v krajině, a Česká republika nemá příliš mnoho zdrojů akumulované povrchové vody, retence se významně uplatňuje během extrémních srážkových jevů a omezuje zvýšený povrchový odtok, tedy povodeň.

V kulturní krajině můžeme najít několik vhodných retenčních prostorů:

### *Retence vody nad povrchem půdy*

Retence vody nad povrchem půdy je možná jak v přirozeném, tak v technickém prostředí. Přirozeným retenčním prostorem je pochopitelně říční niva, kde se při zvýšeném průtoku voda rozlévá. Niva, kterou je možné považovat za mokřadní komplex, je porostlá vegetací, která snáší krátkodobé zatopení, takže po ústupu záplavy vegetace nehyne, ale naopak intenzivně roste, a využívá tak dostatek vody a živin z usazeného kalu. Úrodné půdy v nivách, jsou opakovaně využívány pro zemědělskou produkci a odvodňovány. Rostlinná biomasa pěstovaná v nivních polohách zatopení pochopitelně nesnese a při záplavách nastávají hospodářské ztráty. Niva zatopená vodou do výšky 0,5 m při rozloze 600 ha zadrží 3 miliony kubických metrů vody. Zkušenosti získané po vyhodnocení následků povodně z roku 2002 ukazují, že dlouhodobou záplavu přežily nejenom vrby, ale i duby a jasan. Pravděpodobně následkem postanoxického efektu hynuly břízy a překvapivě i olše (vlastní pozorování zatopených oblastí Třeboňska). Postanoxický efekt je metabolická porucha, kdy při dlouhodobém zatopení ztrácejí kořeny schopnost likvidovat volné radikály vznikající z kyslíku. Po návratu kořenů do aerobního prostředí jsou pak poškozeny nebo zničeny opět vznikajícími volnými radikály (Crawford 2003). Úhyn olší je dáván do souvislosti i s patogenním organismem rodu *Phytophthora*, kde se dlouhodobé zatopení považuje za jeden z faktorů podílejících se na odumírání olší (Gregorová et Černý 2003). Rostliny získávají lepší odolnost vůči zatopení, pokud jsou vystaveny kolísavé hladině podzemní vody a občasně záplavě – jejich kořenový systém se rozvíjí lépe.

Hovoříme-li o retenci a akumulaci, pak v případě říčních niv musíme použít ještě další termín, a sice retardace odtoku (zpoždění odtoku). Pithart (2008) uvádí, že při povodni v roce

2002 se v nivě horní Lužnice u Dvorů nad Lužnicí dočasně zdrželo 5,5 milionů m<sup>3</sup> vody. V celé rybníčné krajině Třeboňska bylo zdrženo cca 200 milionů m<sup>3</sup> vody, což zpomalilo kulminační průtok Lužnice Bechyní o cca 68 hodin (MŽP 2004), a zabránilo tak souběhu povodňových vln na VD Orlík. Obdobná retardace Lužnice se dá vysledovat i z popisu povodně roku 1890 na Třeboňsku (Šiman 1949, 1959).

Říční aluvia jsou rovněž svědkem historických záplav, studie ČHMI (Janeček 1998) ukazuje na shodu výskytu fluvizemí v povodí řeky Moravy s hranicí záplav během léta 2007. Autor z této shody odvozuje závěr, že **a**) šlo o významnou a mimořádnou záplavu dosahující rozsahu historických povodní a **b**) tato povodeň nebyla v historii ojedinělá. V tomto pohledu je závažnější neustále se opakující škody na majetku v nivách řek v posledních desetiletích. Studie Unie pro řeku Moravu (UPŘM 1998) ukazuje na změnu využívání niv. Zatímco v roce 1825 bylo zastavěno 1,4 % říční nivy od Brna po Nosislav, v roce 1996 to bylo již 18 %!. Během povodně 1997 tvořily škody na kulturních památkách pouze 0,2 % celkových povodňových škod (UPŘM, 1998).

Problematickým zůstává využívání rostlinné biomasy z nivních oblastí, neboť hospodaření je žádoucí pro udržení biotopů podmáčených luk. Lhotský a Kajan (2010, 2011) se opakovaně věnovali problematice využití travní biomasy z podmáčených i kulturních luk jako zdroje substrátu pro bioplynové stanice, včetně ekonomického zhodnocení. Ze zobecnění výsledků vyplývá, že subvence jsou žádoucí pro podporu hospodaření (s cílem využít nebo alespoň zachovat trvalé travní porosty) v těchto oblastech, ale že je přitom možné dosáhnout i pozitivních ekonomických výsledků, jak vyplývá z příloh této práce.

Významné povodně posledních let (1997, 2002, 2006) obracejí pozornost veřejnosti k budování suchých záchytných nádrží, tzv. poldrů. Je mimo rámec této práce zabývat se problematikou výstavby poldrů, ovšem je nutné je považovat za jeden ze způsobů transformace povodňové vlny. Z různých prací (např. Vrána 2004, Projekt Flamis – ústní sdělení) vyplývá, že je nutné předem zvážit přínos nádrže v porovnání s náklady a s jinými způsoby ochrany území. Oponentní hlasy poukazují především na ochranu hráze, která by byla po většinu životnosti nádrže suchá, a rychlé naplnění nádrže by mohlo znamenat její vážné poškození a destrukci.

### ***Retence vody v mokřadní půdě (mimo nivy)***

Z úzkého pohledu **retence** vody při významných srážkových událostech je úloha mokřadů veřejností poněkud přeceňována. Jejich plocha je s ohledem na objem významných srážek zanedbatelná a vzhledem k nasycení vodou před povodňovou situací je jejich retenční objem omezený. Na druhé straně jsou mokřady významným prvkem **akumulace** vody v krajině a prostorem pro retenci živin, které převádějí do rostlinné biomasy. Obdobně jako v případě niv, zůstává jejich hospodářské využití problematické s ohledem na stále se snižující poptávku po píce, podmáčené plochy těžko přístupné a podobně. Energetické využití biomasy je samozřejmě možné, pokud je vhodné zařízení (spalovna nebo bioplynová stanice) v okolí.

### ***Retence vody ve vodních dílech***

Vodní díla mají v České republice tradici dlouhou několik staletí. Z dnešního pohledu je můžeme rozdělit na malé vodní nádrže a přehradní nádrže.

Nepočítáme-li některé historické hluboké rybníky (Jordán, Staňkovský), pak přehradní nádrže byly v Čechách budovány od přelomu 19. a 20. století (nejstarší přehradní nádrž Mariánské Lázně byla uvedena do provozu 1896). Od počátku bylo jejich hlavní úlohou zásobování vodou, tedy funkce akumulační. Ve všech případech mají i funkci retenční a ochrannou, v tomto ohledu je nejvýznamnějším protipovodňovým dílem přehrada Orlík. Oproti rybníkům jsou přehradní nádrže budovány v sevřených údolích, nikoliv v pánvích, biodiverzifikační nebo ekologická funkce jsou minimální, stejně tak nespádají mezi významné krajinné prvky z pohledu zákona na ochranu přírody a krajiny.

Nádrže rybničního typu jsou typickým prvkem v české a moravské krajině a jsou předmětem zájmu této práce. Je jim proto věnována následující kapitola.

### **Malé vodní nádrže v krajině**

Je nasnadě, že první vodní nádrže využívané lidmi byly přírodního původu. Vznikaly přehrazením řeky padlým kmenem či sesuvem břehu, případně po povodních v zatopených terénních depresích, kam se ryby přirozeně stahovaly. Toho se dodnes využívá (např. projekt EU Fingerponds ve východní Africe, na kterém se podílela společnost ENKI). Cílenější

aktivity lidí k zadržení vody v krajině jsou spojené s rozvojem zavlažovacích systémů v Mezopotámii, Levantu (Blízký východ), Řecku a Římě. Římské piscinie byly určeny, jak naznačuje již sám název, k udržování, případně chovu ryb, mnohdy mořských. Z raného středověku jsou známy vodní nádrže určené k plavení rud, v Čechách např. na Strakonicku nebo na Českomoravské vysočině (Teplý 1937). Počátkem dvanáctého století se různé listiny zmiňují o rybnících, mlýnech, náhonech, což sice nevyovídá o nádržích, ale o tehdy již běžné regulaci řeky a manipulaci s vodou. Vodní nádrže vznikaly v té době často při kolonizaci mokřadní krajiny, kácení lesů a zakládání sídel. Odlesněná krajina s vysokou hladinou podzemní vody se ještě více podmáčí a bylo nutné nadbytek vody svést do prohlubní. Takto vznikl například i rybník Žár nedaleko Nových Hradů, jehož název odkazuje na žďáření lesů. Dokladem o jeho stáří je listina Přemysla Otakara I. z roku 1221, kterou připadly rybník i ves cisterciáckému klášteru ve Světlé (dnešní Zwettl v Dolním Rakousku). Tehdejší rybníky nebyly nijak zvlášť hrazené nebo opevněné, v případě Žáru jsou doklady o navýšení hráze až v polovině 14. století.

Výrazným posunem ve stavbě rybníků („stavů“ ve staré češtině a dodnes v polštině) bylo zavedení tarasení hrází. Netarasené (bezdrvé – odtud například Bezdrev) rybníky byly velice ohrožené velkou vodou a jejich hráze byly často poškozovány rozplavením. Není přesně známo, odkud se technologie stavby hrází spolu s tarasením dostala do Čech, ze souvislosti se však dá usuzovat na dvě základní cesty, přičemž obě mají původ v Palestině v době křížáckých válek. Mezi stavitelské mistry patřili příslušníci Řadů německých rytířů, kteří nejspíše během palestinských tažení získali zkušenosti s vodohospodářskými stavbami. O jejich umu „vyrvat“ zemi močálům svědčí ostatně jejich středověké sídlo, hrad Malborg v polském Pomořansku. Kolem roku 1240 se dostali na pozvání Vítkovců na hradecké panství (Jindřichův Hradec), kde vybudovali odvodňovací soustavy včetně rybníků v okolí Jindřichova Hradce. Obdobně působil na více místech Čech jiný rytířský řád spojený s křížovými cestami do Palestiny – Templáři.

Druhou cestou, kterou se do Čech dostaly nové stavební prvky (např. kamenný taras, čapová výpust), byly cesty Jana Lucemburského do Francie, odkud si přivezl do Čech mnohé moderní technické postupy. Na svých panstvích je pak zaváděli členové jeho družiny, např. Oldřich a Jindřich z Hradce.

Karel IV. je často spojován s výstavbou rybníků a je mu připisována věta „ut regnum nostrum piscibus et vaporibus abundaret“ (aby Království naše, Čechy, měla hojnost ryb a výparů...). Podle mé literární rešerše se tato citace poprvé objevuje ve spisku Františka Špatného – Rybníkářství čili hospodaření na rybnících z roku 1870. Větší počet autorů

přejímal dále tuto citaci od sebe navzájem často pak s odkazem na Karlův Majestát, který ovšem nic podobného neobsahuje. Mé pátrání po zdroji zmíněné citace nevedlo zatím k úspěchu.

Zlatým věkem budování nádrží rybničního typu bylo období renesance na panstvích Pernštejnů a Rožmberků ve východních a jižních Čechách, kde se rybníky začaly budovat ve velkém a dosahovaly často úctyhodných parametrů – rybníky Čeperka, Oplatil, Rozkoš (Pardubicko) nebo Rožmberk, Staňkovský, Svět (Třeboňsko).

Spolu s budováním rybníků se rozvíjel i chov ryb, kdy se důraz kladl na chov kapra. Pojednání o chovu kapra Jana Skály z Doubravky (Johannes Dubravius) jako součást šesti knih pojednávajících o rybníkářství vyšla v roce 1547 v polské Wroclavi.

Do rozvoje výstavby rybníků a rybničního hospodaření vůbec zasáhla neblaze Třicetiletá válka, ze které se rybníkářství již nikdy nevzpamatovalo. Druhým obdobím rušení rybníků byly napoleonské války a následující roky, kdy bylo mnoho rybníků přeměněno na ornou půdu vhodnou především k pěstování cukrové řepy. Rozvoj rybničních ploch v porovnání s produkcí rybníků předkládá např. Příkryl (2004).

Tab. 1 - Vývoj úhrnné plochy rybníků a dosahované produkce ryb v Čechách a na Moravě (Příkryl 2004)

<b>Období / rok</b>	<b>Plocha rybníků (tis. ha)</b>	<b>Produkce ryb (kg/ha)</b>
12. stol.	První zmínky	-
konec 14. stol.	75	40
konec 16. stol.	180	40
konec 18. stol.	79	30
1850	35	25
1924	44	81
1956	50	137
1965	50	210
1975	51	328
1985	52	393
1995	52	423

Výzkum potravy ryb, především kapra a pochopení sladkovodního ekosystému v 19. století přinesly výsledky v podobě zvyšující se produkce ryb. Zásahy do rybničního

ekosystému zahrnují nově vápnění, hnojení, příkrmování. Ve druhé polovině 20. století došlo k výrazné intenzifikaci rybí produkce pomocí aplikace minerálních hnojiv, celoplošným krmením i samovolně díky zvýšeným splachům z povodí po scelení pozemků. Důsledkem bylo snížení biodiverzity a zvýšení eutrofizace jak v rybnících samotných, tak v navazujících povrchových vodách (např. IUCN 1996, Pechar, Příkryl et Faina 2002, Příkryl 2004).

Již od samých počátků je možné sledovat rozmanitou funkčnost rybníků, které byly určeny nejen k chovu ryb. Souhrn těchto funkcí jak v době historické, tak v době moderní předkládají tabulky 2 a 3.

Tab. 2 - Historická funkčnost rybníků

<b>Funkce</b>	<b>Popis</b>	<b>Příklad</b>
rybochovná	chov ryb	většina rybníků
fortifikační	nádrž byla součástí opevnění	r. Vajgar, r. Jordán
zásobní	Zásoba vody pro: hašení požárů dřevěných domů plavení rud plavení dřeva	návesní rybníky Strakonicko klausury (klausy)
energetická	pohon mlýnů, hamrů, důlních strojů	nadymače, vydymače, r. Mrhal
protipovodňová	retenční nádrže pro případ povodně	r. Staňkovský, r. Spolský

Tab. 3 - Moderní funkčnost rybníků

<b>Funkce</b>	<b>Popis</b>	<b>Příklad</b>
rybochovná	chov ryb	většina rybníků
zásobní	zásoba vody pro jiné využití (zavlažování, chlazení)	
hygienická	dočišťování odpadních vod nadlepšování průtoků	r. Dřemliny
energetická	pohon MVE	r. Rožmberk
rekreační	koupání a/nebo chataření	r. Svět, Máchovo jezero
krajinotvorná	rybník je nedílnou součástí české krajiny	všechny rybníky
biodiverzifikační	rybník tvoří v krajině biotopy, na nichž je závislý velký počet druhů rostlin a živočichů	všechny rybníky a především rybníky v režimu ochrany přírody
protipovodňové	retenční funkce během povodní	rybníční soustavy a významné rybníky (r. Rožmberk)
recyklační	lze uvažovat o využití rybníků pro recyklaci vody, živin a sedimentu	rybníky v zemědělské krajině

Z uvedené tabulky je patrné, že rybník v České krajině je multifunkční stavbou, která nemá obdoby, neboť jako jediná stavba je součástí zákona 114/92 Sb. o ochraně přírody a krajiny, kde se objevuje jako příklad v definici významného krajinného prvku (§ 3, odst. 1, písm. b zákona). Jeho protipovodňové funkce jsou známé z historie (Matlas 2010) i ze současnosti (Lhotský 2006, 2010). Bohužel se v populárních publikacích nevhodně a zavádějícím způsobem porovnává retenční funkce rybníků a přehrad.

Při sledování funkce rybníků Třeboňska během významných povodňových událostí jsem dospěl k těmto závěrům:

- Retenční objem rybníčních nádrží Třeboňska je cca 50 až 60 mil. m<sup>3</sup> vody.
- Skutečný objem zadržené vody v rybnících v roce 2002 byl 120 mil. m<sup>3</sup> vody. Šlo ovšem o neovladatelný stav.
- Většina rybníků není vybavena zařízením pro bezpečné převedení velkých vod. Z příkladu historických povodní je zřejmé, že velké škody způsobilo protržení malých rybníků (např. v roce 1890 rybník Slavíček – 0,62 ha)
- Technické provedení vodohospodářských objektů v mnoha případech odpovídá době svého vzniku, případně pozdějším opravám – sypané zemní hráze z nekvalitního materiálu (hráz Nové řeky), dřevěné výpustní zařízení.
- Zařízení a údržba byly do roku 2002 značně zanedbané a způsobily velké problémy.
- Mnoho rybníků má zastaralé nebo vůbec nemá manipulační řády. Situace se rychle a významně zlepšuje po roce 2002.
- Přes všechna omezení je retenční funkce rybníční soustavy obrovská a srovnatelná s moderními vodními díly, např. vodní díla povodí horní Vltavy (přehrad Lipno, Římov, Orlický maják mají retenční prostor 75 mil. m<sup>3</sup>, při povodni 2002 zadržely ovšem 220 mil. m<sup>3</sup>). Nepochopení vymezeného retenčního prostoru a skutečného objemu zadržené vody jsou v tomto případě příčinou výše zmíněných chybných interpretací.
- Vodohospodářské manipulace na rybnících se řídí schváleným manipulačním řádem. Jakákoliv jiná manipulace představuje pro majitele rybníků nebezpečí ekonomických ztrát v chovu ryb.
- Retenční schopnost mají pouze nádrže udržované, odbahňované, s vymezeným retenčním prostorem. Pouhé odbahnění pouze zvýší objem vody v nádrži, pokud se zároveň nesníží normální hladina ve prospěch retenčního prostoru, samo odbahnění retenční nevyšší.



- K retenci rybníků je třeba připočítat retenci rybníční krajiny Třeboňska, např. retence niv horní Lužnice v roce 2002 a 2006 byla odhadována na 9 mil. m<sup>3</sup>. Retence pánevní oblasti byla v roce 2002 odhadována na cca 200 mil. m<sup>3</sup>.
- Zatímco staré vodohospodářské práce hovoří o dobré koordinaci zemědělství – lesnictví – rybářství a vodního hospodářství, práce poválečné vyjadřují obavy z rozdělených zájmů (Šiman 1949, 1959). Po 50 letech se obavy autorů beze zbytku naplnily při povodni 2002.
- Naprosto nejdůležitějším poznatkem je **absence komplexního „manipulačního řádu“ pro území vodohospodářsky tak významné, jako je Třeboňsko!!**
- Retenční funkce rybníků je tedy do jisté míry omezená. Svým charakterem (nemanipulovatelnost) zachycují nástup povodňové vlny, její kulminaci však nemusí zachytit. V celku krajiny je však tato retence významná a účinná. Větší průtoky je však nutné **bezpečně** převést.
- Zcela bezkonkurenční je funkce rybníků pro akumulaci vody v krajině.
- Pokud vegetace v záplavou postižené krajině toleruje zatopení, pak jsou škody na porostech minimální. I tyto plochy jde ekonomicky zhodnotit.

Z technického hlediska dnes rybníky spadají mezi „Malé vodní nádrže“. Definicí předkládá Česká technická norma ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“, ze které vyplývá, že nádrž je považována za malou jestliže:

- Její hráz je ze sypaného materiálu.
- Objem nádrže po hladinu ovladatelného prostoru (normální hladinu) není větší než 2 mil. m<sup>3</sup>.
- Největší hloubka nádrže nepřesahuje 9 m.

Požadavky normy se vztahují i na ty historické rybníky, které překračují definované požadavky normy na objem vody a hloubku nádrže.

Z mnoha důvodů se domnívám, že zatím nedocenená je funkce malých vodních nádrží v zemědělské krajině a především jejich zakotvení v zemědělské legislativě. K tomuto závěru mě vede několik základních postřehů:

Z povodí odtéká nadměrné množství živin, které jsou příčinou eutrofizace povrchových vod a zároveň představují obrovské finanční částky.

Vhodným hospodařením v rybnících je možné zachycené živiny využít pro zabudování do potravního řetězce v nádrži, tedy pro chov ryb.

Vlivem neúměrně velkých polí a pěstování nevhodných plodin dochází k výrazným erozním smyvům materiálu, který je možné zachytit pomocí různých opatření (zasakovací pásy, dodržování způsobů orby, zákaz pěstování vybraných plodin na svažitéch pozemcích). Rybník je dalším takovým opatřením. Technologie k ošetření rybničních sedimentů existují.

Meliorační zásahy, jakkoliv můžeme diskutovat o jejich přínosu či škodlivosti, zahrnují i napřímení říčních koryt a budování drenážních stok v místech, kde původně bývaly např. meandry řeky, podmáčená pastvina nebo louka nebo mokřad v obecně představitelném slova smyslu. Voda nyní rychle opouští povodí. Rybník může akumulovat povrchovou vodu v povodí.

Protipovodňový význam malých rybníků je diskutabilní vzhledem k obvykle většímu objemu povodňové vlny v porovnání s retenčním objemem nádrže. Existují však lokality, kde malé rybníky existovaly a retenční funkci jistě plnily.

Svou úlohu vedle rybníků, ve smyslu akumulace, retence vody a živin hrají i jiné typy mokřadů. Jejich ekonomické zhodnocení je možné rovněž prostřednictvím energetického využití biomasy.

## Výsledky

Vybrané publikace s výsledky mé práce v oblasti retence vody v zemědělské krajině jsou součástí předkládané práce jako dokumntety:

- Lhotský, R.(2010): The role of historical fishpond systems during recent flood events. - *Journal of Water and Land Development* (14): 49 - 65.
- Pokorný, J.; Lhotský, R. (2006): Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny. - *Vodní hospodářství* 56 (2): 31 - 34.
- Lhotský, R.(2006): Retenční funkce Třeboňské rybniční soustavy. - *Vodní hospodářství* 56 (12): 410 - 414.

## Závěr kapitoly

Dnešní zemědělská produkce postavená v mírném pásmu na pěstování plodin nesnášejících zatopení, především pak obilovin a kukuřice jak pro potravinářství, tak pro krmivářství je zcela závislá na úpravě vodních podmínek, na melioračních opatřeních, především na odvodnění. Tyto zásahy mění hydrologické poměry v krajině, střídání nasycení a nenasyčení půdního horizontu vodou urychluje mineralizaci, snižuje se objem organických látek v půdě, snižuje se vodní kapacita půdy (Vaněk, Kolář et Pavlíková 2009). Vlivem ulehle půdy se zvyšuje povrchový odtok. Na druhou stranu drenáže zvyšují vodní kapacitu půdního prostředí, čímž zvyšují retenci vody během významných srážkových událostí.

Mimo půdní prostředí vlastních polí je možné zvyšovat akumulaci i retenci vody v krajině pomocí dalších přírodních i technických prvků, např. mokřadů, mezi které řadíme i malé vodní nádrže - rybníky.

Rybníky jsou technická díla, která ovšem plní množství funkcí i z pohledu přírodovědného, jak uvádí tab. 2. Určitým omezením jejich vodohospodářské funkčnosti je jejich stáří i způsob jejich stavby. Přesto rybníky spolu s navazujícími podmáčenými oblastmi představují významný prvek v retenci vody v krajině České republiky.

## **4. RETENCE ŽIVIN V ZEMĚDĚLSKÉ KRAJINĚ**

## Odtoky živin, eroze a sedimenty

Zemědělská rostlinná produkce je umělý systém, který živiny v půdě používá k produkci rostlinné biomasy, jež je následně sklizena a odvezena. Zároveň dochází k fyzikálním změnám v půdách a k vymývání živin. Tyto živinové ztráty (sklizeň a odtoky živin) musejí být samozřejmě kompenzovány dodáním externích živin – hnojením a sama zemědělská produkce se stává i energeticky náročnou používáním techniky, výrobou a přepravou hnojiv a chemických ochranných látek.

Odnos látek se stává závažným problémem nejen v České republice, ale je problémem celosvětovým. Měřítko v České republice je dokumentováno prací Pokorného a kol. (2003), který stanovil roční ztráty z povodí horního Labe (51 000 km<sup>2</sup>) na zhruba 630 000 t čistého vápníku, draslíku a hořčíku. Přitom autoři odhadují, že kyselá srážka se na acidifikaci půd doprovázející živinové změny v půdách, podílejí pouze třemi procenty. Za hlavní příčinu acidifikace považují mineralizaci organických látek v půdě, při které se uvolňují protony, a dochází tak k okyselení.

Odtoky živin ze zemědělských pozemků se zabývá projekt zpracováváný pro Ministerstvo zemědělství ČR – „Pilotní projekt zaměřený na zhodnocení transformace sluneční energie a retence živin vybraného agroekosystému s důrazem na ochranu a kvalitu odtékajících vod ze zemědělské krajiny“, na němž se podílím. Výsledky projektu jsou uvedeny v samostatné kapitole. Trvale udržitelnou funkci krajiny, především krajiny zemědělské, je možné zajistit omezením ztrát látek a vody z povodí (Ripl 2003). Toho je možné dosáhnout zkrácením období, během kterého zůstává orná půda bez vegetačního pokryvu. Zároveň je nutné zajistit akumulaci a retenci vody v povodí, k čemuž mohou složit obnovené pásy vegetace (meze, remízky) a dále mokřady různých typů, včetně rybníků.

Odtoky živin jsou úzce spojené s vodní erozí. Sánka a Materna (2004) uvádějí, že v ČR je potenciálně ohroženo přes 50 % půdy v ZPF. Podle informací médií (např. Aktuálně.cz 2011) je nejvíce postižena jižní Morava a odnos ornice se může projevit v rozpočtech obcí, které získávají daně ze zemědělských pozemků podle bonity. Probíhající bonitace snižuje hodnotu pozemků někdy i o desítky procent. Odhaduje se, že v krajním případě může z polí zmizet až 21 milionů tun ornice ročně, což představuje škodu 4,3 miliardy Kč. Vašků (2008) uvádí, že za posledních 60 let ubylo z české krajiny 40 – 70 cm půdy.

Erozní smyv z polí přispívá k zanášení vodních nádrží a k zatížení nádrží splavenými živinami obsaženými v sedimentech. Hospodaření v mělkých nádržích pak může živiny ze sedimentů uvolnit ve velkém množství (Pokorný, Faina et Pechar 2009), vlivem anaerobních podmínek může dojít dokonce k intoxikaci vodních ptáků botulinem z anaerobních bakterií (Cepák et Pokorný 2002). Gergel (1995) odhaduje množství sedimentů v rybnících ČR na cca 150 milionů m<sup>3</sup> a roční přírůstek sedimentů do rybníčních nádrží na cca 360 tisíc m<sup>3</sup>.

Během své práce v oblasti vodního hospodářství jsem se mnohokrát setkal s názorem veřejnosti, že odstraňování sedimentů z rybníků by si měl provádět sám vlastník na své vlastní náklady. Jde o velice citlivou věc, je nutné si uvědomit, že ve většině případů není rybníční hospodář původcem sedimentů, ale naopak je materiálem splaveným z povodí poškozován. Odbahnění rybníků je v celospolečenském zájmu, jejich silné zatížení sedimenty zhoršuje kvalitu povrchových vod, znamená i živinovou zátěž pro povrchové vody a v neposlední řadě zmenšuje akumulaci objemu nádrží i jejich objem retenční.

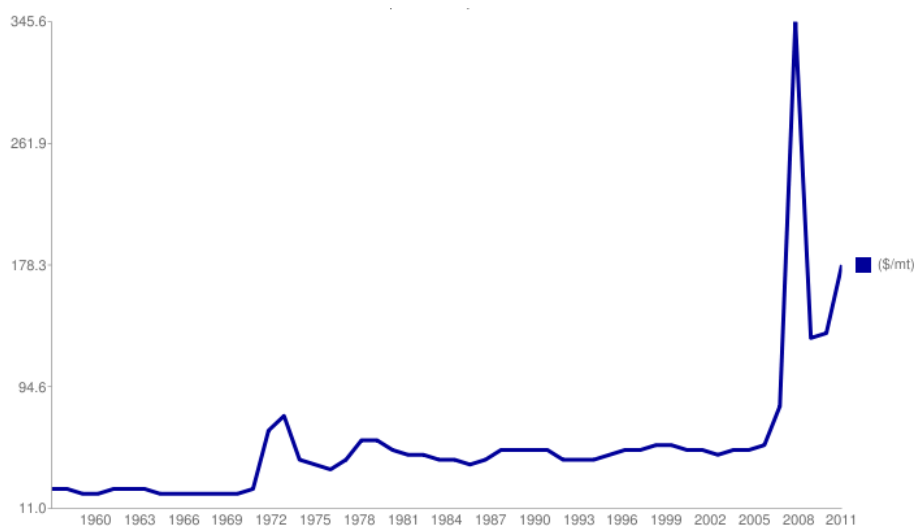
### **Sediment jako vnitřní živinová zátěž rybníků**

Nadměrný přísun živin z okolního prostředí (bodové i plošné zdroje) způsobují eutrofizaci nádrže. Část živin je akumulována v nerozpuštěné formě v sedimentu, který vzniká jednak přímo v nádrži, ale v mnoha případech přichází do nádrží ve formě smyvů půdních částic ze zemědělských ploch. Živiny uložené v sedimentu představují tzv. vnitřní zátěž, která se za příznivých okolností může uvolnit do vodního prostředí.

V současnosti je nejvíce sledovaným prvkem fosfor, který se významně podílí na eutrofizaci vod. Zároveň jde o prvek potřebný pro zemědělství, jehož cena v posledních letech závratně stoupá (obr. 4).

Pomineme-li přírodní zdroje fosforu, pak největšími antropogenními zdroji fosforu jsou fosforečnanová hnojiva a fosforečnany z pracích vod, kde se používají jako přísada pro změkčování vody. Fosforečnany se v nádržích rychle srážejí v aerobním prostředí s trojmocným železem a v sedimentech jsou uloženy v nerozpustné formě jako fosforečnan železitý (FePO<sub>4</sub>). V anaerobních podmínkách způsobených rozkladem organické hmoty v eutrofních nádržích dochází k redukci z Fe<sup>3+</sup> na Fe<sup>2+</sup>, přičemž vznikající fosforečnan železnatý je již rozpustný, a tedy dostupný pro primární produkci.

Chceme-li zamezit propuknutí projevů vnitřní zátěže, tj. snížit další eutrofizaci, je nutné nějakým způsobem ošetřit jak vodní sloupec s rozpuštěným fosforem, tak především zdroj vnitřní zátěže, vlastní sediment.



Obr. 4 – Světová cena fosforitu (phosphate rock) v USD za tunu. (zdroj: Mongabay.com)

### **Možnosti odstranění sedimentu**

Odbahnění je stěžejní opatření v zájmu snížení živinové zátěže nádrže, odstranění organickými látkami bohatého sedimentu zhoršujícího kyslíkový režim a vytvářejícího podmínky pro přežívání původců botulismu. Jde o poměrně nákladné opatření. Přesto pro výběr způsobu odbahnění zřejmě nebudou rozhodující náklady, ale spíše podmínky pro jeho uskutečnění.

Závažnou otázkou při odbahňování je následná manipulace s vytěženým sedimentem. Jak vyplývá z platné legislativy, vytěžený sediment není považován za odpad, splňuje-li podmínky dané přílohou č. 9 zákona 185/2001 Sb., o odpadech, v platném znění. Jsou-li podmínky splněny, pak je možné sediment umístit na povrch terénu, případně je možné sediment využít na zemědělské půdě. V tomto případě je nutné dodržovat ustanovení zákona 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu a Vyhlášky č. 257/2009 Sb., o používání sedimentů na zemědělské půdě. Především je nutné dokladovat kvalitu sedimentu z hlediska přítomnosti cizorodých látek a živin. Významným omezením je možnost využít sedimenty ve vrstvě vysoké pouze 10 cm jedenkrát za dobu 10 let. V případě tzv. nebeských rybníků bezprostředně pod pozemky s ornou půdou by bylo vhodné vyhlášku upravit, neboť vodní eroze odnáší kvalitní ornici do rybníka (a dále do řeky) a rybník sám může být velice

rychle zazemněn. Navrácení sedimentu na pole přináší užitek oběma stranám – jak vlastníkoví rybníka, tak hospodáři na orné půdě.

Pokud sediment nespĺňuje podmínky dané § 2, odstavec 1, bod i) Zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, je nutné se sedimentem nakládat jako s odpadem, je-li úmysl se sedimentu zbavit, tj. sediment vytěžit a zlikvidovat. To neplatí v případě, že sediment neopustí území pozemku a je použit pro modelaci dna, břehů, případně k tvorbě ostrovů.

Pokud je zájem se sedimentu zbavit, tj. nakládat s ním jako s odpadem, je možné jej dále využít k přípravě průmyslového kompostu, nebo jej uložit na skládku příslušné kategorie.

Další možnosti ošetření sedimentu jsou proto:

### **Sediment ponechat v nádrži bez jakéhokoliv zásahu.**

Jak ukazují výsledky prací zabývajících se rybníčními sedimenty (např. Pokorný et Hauser 2002), během nástupu letní sezóny se uvolňuje fosfor z rybníčního sedimentu. Během tohoto období dochází k prohřívání sedimentu, k rozkladu organických látek (z interních i externích zdrojů) a postupnému vzniku anaerobního prostředí v sedimentu. V něm se pak uvolňuje fosfor a dochází k dalšímu zatížení vodního sloupce fosforem. Pokud uvažujeme o ponechání sedimentu v nádrži, je nutné eliminovat jeho další přísun z povodí, udržovat aerobní prostředí v nádrži. Pro ochranu dolního toku, případně manipulovat s vodou (vypouštět nádrž) v zimních měsících, kdy není vlivem stagnace ve vodním sloupci příliš půdních částic s adsorbovanými fosforečnými a kdy zároveň množství organického fosforu je nízké vzhledem malému množství planktonu

Vzhledem k velkému množství sedimentů v rybnících i kvůli vysokým obsádkám ryb je ovšem toto opatření dočasné a k uvolňování živin ze sedimentů bude docházet i v případech, kdy bude přísun z vnějších zdrojů (splachy z povodí) omezen či zastaven.

### **Sediment ošetřit fyzikálně-chemicky *in situ*.**

Eiseltová (1996) uvádí základní přehled *in situ* technik používaných pro ošetření vodního sloupce v nádržích i sedimentu.

Jedním ze způsobů, který bývá využíván pro ošetření sedimentů je zajištění aerobního prostředí v povrchových vrstvách sedimentu a podpora mineralizace organické hmoty. V hlubších nádržích je možné k oxidaci slabší vrstvy organického sedimentu použít stlačený vzduch, u dlouhodobě eutrofních nádrží s vysokým přísunem splavenin se používá kombinovaná metoda ošetření sedimentu – oxidace a srážení. Ke srážení fosforu se používá sloučenin železa ( $\text{FeCl}_3$ ), které vazbou na fosforečnany vytvoří nerozpustnou sloučeninu



fosforečnan železitý. Jak vyplývá z předchozího textu, vazba železa na fosforečnan je citlivá na změnu redoxních podmínek. V anaerobních podmínkách vzniká v sedimentech sirovodík, který reaguje se sloučeninami železa, a fosforečnany by se opět uvolnily. Pro udržení prostředí, ve kterém nedochází k rozpadu vazby mezi železem a fosforečnany, se aplikuje dusičnan vápenatý, který je oxidačním činidlem místo kyslíku a nedochází tak k anaerobním podmínkám.

Jinou metodou snížení koncentrace fosforečnanů ve vodním sloupci, resp. imobility fosforečnanů v sedimentu je srážení hydroxidem hlinitým za vzniku nerozpustného fosforečnanu hlinitého, případně se fosforečnany na hydroxid hlinitý adsorbují. Vzniklé částice se ukládají na povrch sedimentu, čímž uzavírají sediment a brání dalšímu uvolňování fosforu ze sedimentu.

V mělké nádrži s hustou rybí obsádkou, která narušuje sediment, žádný podobný přípravek nezajistí dlouhodobou fixaci fosforu v sedimentu a krátkodobý účinek stěží překročí dobu jednoho týdne.

Ošetření sedimentu *in situ* bylo provedeno na několika nádržích v České republice, např. na Máchově jezeře, v Boleveckém rybníku nebo v Brněnské přehradě (např. Duras 2007).

### **Sediment odtěžit, odvodnit podle potřeby ve vytvořené laguně na pozemku nádrže a použít pro případnou modelaci dna, břehů a vytvoření ostrovů – režim nepodléhající zákonu o odpadech**

Odtěžení sedimentu, jeho následné ošetření a využití zpět v nádrži je nejvhodnější způsob manipulace se sedimentem za situace, kdy není možné sediment vytěžit a využít na jiných pozemcích.

Pro těžbu sedimentu je možné použít klasické zemní stroje, pokud se nádrž dá vypustit a sediment gravitačně odvodnit. Pokud toto možné není, pak je vhodné použít sací bagr.

Vybudování případných ostrovů v nádrži bývá velmi prospěšné, jejich úprava (zatravnění, osázení keři či ponechání šterkových ploch) dává dostatečný prostor k využití sedimentů. Je ovšem nutné budované ostrovy opevnit aby nedocházelo k jejich rozplavování. Vhodnou metodou je použití kamenného záhozu (tarasu), resp. vybudování laguny a její postupné naplnění sedimentem. Kromě uložení sedimentů je ostrov mimořádně vhodný pro vodní ptactvo. Bez zásahů probíhá na ostrově přirozená vegetační sukcese směrem k dřevinným porostům.

## **Sediment odtěžit, odvodnit a odstranit jako odpad**

Co se týká těžby sedimentu, je tato varianta shodná s variantou předchozí, vždy je nutné sediment odvodnit, buď tím, že se sníží hladina v nádrži a okrajové části bude možné odtěžit zemními stroji, nebo se na vhodném místě připraví laguna a zvodnělý sediment se gravitačně odvodní v ní. Sediment v rypném stavu se nakládá na nákladní automobily a odváží na příslušnou skládku odpadu v souladu s výsledky rozborů sedimentů požadovanými příslušnou legislativou.

## **Výsledky**

Výsledky mé práce v oblasti retence živin a vody v zemědělské krajině jsou součástí předkládané práce jako samostatný dokument:

- Lhotský, R. et al. (2011): Pilotní studie zaměřená na zhodnocení transformace sluneční energie a retence živin vybraného agroekosystému s důrazem na ochranu a kvalitu vod odtékajících ze zemědělské krajiny.

## **Závěr kapitoly**

Vysoce intenzivní zemědělská rostlinná produkce předpokládá rozsáhlé používání hnojiv. Je pochopitelné, že větší či menší podíl použitých živin se ze zemědělské půdy vymývá a odtéká jak do podzemních, tak povrchových vod. Vysoký nadbytek živin v tocích, nádržích a následně v mořích způsobuje eutrofizaci vod se všemi negativními důsledky.

Hospodaření na rozsáhlých monokulturách a nevhodné zemědělské postupy zvyšují vodní erozi se dvěma zásadními důsledky – odnos cenné půdy zatížení toků a především vodních nádrží sedimenty, které působí jako vnitřní zátěž pro nádrže a v případě rybníků snižuje produkci ryb. Odtěžení a zpětné využití sedimentů je tudíž žádoucí.

Kapitolu doplňuje Pilotní studie, která uvádí konkrétní výsledky sledování systému pole/rybník.

## **5. ENERGETICKÉ VYUŽITÍ MOKŘADNÍ BIOMASY**

Ve své odborné práci jsem se podílel na projektech zabývajících se využitím travní biomasy při produkci bioplynu, především travní biomasy z podmáčených a mokřých luk u Třeboně. Dosažené výsledky jsou zahrnuty v závěrečných pracích jednotlivých projektů (viz seznam projektů) a publikacích.

Pro stanovení možnosti využití travní biomasy pro produkci bioplynu byly porovnávány různé lokality trvalých travních porostů s různou kvalitou biotopů (horské louky, mokré louky, kulturní sečené louky) a testována produkce bioplynu.

Trvalé travní porosty (TTP) tvoří podle statistických údajů zhruba 23 % výměry zemědělské půdy v České republice, což představuje cca 970 000 hektarů. Na produkce fytomasy se pochopitelně podílí celá řada vnějších faktorů, především půdní podmínky, nadmořská výška, klima dané oblasti, expozice vůči světovým stranám i použité zemědělské techniky včetně hnojení. Roční výnosy se tak velice liší případ od případu a pohybují se v rozpětí 2 – 16 t.ha<sup>-1</sup> suché hmoty. Abraham a Kovářová (2007) uvádějí u extenzivního využívání TTP výnosy zhruba 3 tuny sušiny na hektar. Jde přitom o produkci s minimem investované energie, jak uvádí Rychnovská a kol (1985).

Travní hmota byla vždy využívána pro krmení skotu, ovšem významné poklesy stavů dobytka v ČR (až o 50 %) znamenají významné snížení poptávky po travní hmotě. Plánuje-li Evropská unie zavést s novou Společnou zemědělskou politikou EU od roku 2014 povinnost vyhradit 7 % zemědělské půdy pro neprodukční účely (greening policy), naroste dále množství „odpadní“ rostlinné biomasy, která již dnes nemá mnohdy další využití.

Přesto je udržování TTP v krajině nesmírně důležité, neboť plní řadu významných mimoprodukčních funkcí, např. protierozní funkci, ukládání CO<sub>2</sub>, biofiltraci, biodiversifikaci, funkci estetickou a krajinotvornou a podobně.

Jednou ze zmíněných je protierozní funkce trvalých travních porostů. Hejduk (2006) porovnává povrchový odtok z travního porostu a kultur zemědělských plodin na orné půdě po přívalovém dešti (12.5.2004, celkový úhrn srážek 22,5 mm, doba trvání 35 minut). Odtok z porostu kukuřice – 132,0 m<sup>3</sup>/ha, z brambor – 102,0 m<sup>3</sup>/ha, ozimé pšenice – 23,5 m<sup>3</sup>/ha a z travního porostu 3,4 m<sup>3</sup>/ha. (Hejduk et Geisler 2006).

U TTP je možné dále zhodnotit i minimální ekonomické požadavky a vysokou produktivitu. K nejproduktivnějším travním druhům podmáčených luk patří chrastice rákosovitá, známá také pod starým označením lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*, příp. *Baldingera arundinacea*). Výnosy se uvádějí 15 t sena z hektaru, při hnojivé závlaze pak až 20 t sena z hektaru (Hlávková 1980). Vysoká produkce i nenáročnost pěstování předurčují dnes chrastici rákosovitou k energetickému využití. Skandinávské a další země již cíleně

pěstují chrastici rákosovitou pro výrobu pelet, uváděné výnosy jsou 3 – 5 tun sena z hektaru za rok ve Švédsku, 11 – 19 tun sena z hektaru za rok ve Švýcarsku, 16 tun sena z hektaru za rok ve Velké Británii.

V ČR se pěstováním chrastice rákosovité pro energetické účely se zabývá i práce Strašila, Váni a Káše (2005), kteří uvádějí výnosy chrastice rákosovité. Pro nehnojené plochy získali průměrné výnosy 4,60 – 8,45 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, u porostů hnojených 30 kg N.ha<sup>-1</sup> výnosy 5,74 – 9,02 t sušiny.ha<sup>-1</sup> a u porostů hnojených 60 kg N.ha<sup>-1</sup> pak výnosy 6,94 - 10,04 t sušiny.ha<sup>-1</sup>. Kuncová (2004) uvádí náklady na tunu konečného produktu (balík, řezanka) na více než 1000 Kč, což podporuje i práce Součka (2011). Náklady jsou pochopitelně závislé na alternativním používání hnojiv.

Pro růst chrastice rákosovité je důležité zajistit dostatečné zásobení vodou, Hlávková (1980) uvádí se, že na jeden kilogram sušiny spotřebuje rostlina 700 – 800 l vody a dobře snáší i dlouhodobé zaplavení na rozdíl od běžně používaných travních směsí. Tento poznatek potvrzují osobní sledování TTP během a po povodních (2002, 2006), osobní sdělení (K+K Ing. Kačerovský) i zkušenosti s využíváním chrastice v kořenových čistírnách odpadních vod.

Ačkoliv se dnes nijak nepředpokládá cílené pěstování chrastice pro bioplynové využití, zvládnutí technologie časné sklizně v záplavových oblastech a využití pro produkci bioplynu rozšiřuje substrátovou základnu a zároveň je možné využívat aluviální plochy účelně, s minimálním rizikem povodňových škod na porostu.

Dosažené výsledky z měření produkce bioplynu shrnuté v tabulce 4 ukazují, že produkce bioplynu u kukuřice je vyšší, ovšem u produkce kukuřice jsou výrazně vyšší i náklady vstupů (hnojiva, mechanizace). Limitujícím faktorem u podmáčených porostů zůstává dostupnost pozemků pro techniku.

Tab. 4 - Naměřené kumulativní produkce bioplynu a metanu po 30 dnech inkubace (Lhotský et Kajan, 2010)

Parametr	jednotky	Paseky	Hojná voda	Mokrý louky suché	Mokrý louky vlhké	Vatín	Kukuřice Atletico
<b>BIOPLYN</b>							
Test	$l_N/kg OS$	520	517	530	521	502	621
<b>METAN</b>							
Test	$l_N/kg OS$	295	300	315	321	286	337
% metanu v bioplynu	%	53	53	54	54	53	52

## Výsledky

Vybrané publikace s výsledky mé práce v oblasti využití rostlinné biomasy z mimoprodukčních zemědělských ploch jsou součástí předkládané práce jako samostatné dokumenty:

- Lhotský, R.; Kajan, M. (2010): Využití biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu.
- Kajan, M.; Lhotský, R. (2008): Anaerobní fermentace rostlinné biomasy.
- Lhotský, R.; Kajan, M. (2011): Anaerobní digesce fytomasy z trvalých travních porostů jako alternativa k energetickým plodinám.
- Kajan, M.; Lhotský, R. (2009): Laboratorní testy anaerobní fermentace rostlinné biomasy.

## Závěr kapitoly

Předpokládáme-li větší podíl mokřadů v krajině, mezi které můžeme v tomto případě počítat i podmačené nebo periodicky zaplavované TTP, je nutné zvážit další využití fytomasy vznikající při údržbě těchto ploch. Vzhledem k nízkému stavu dobytka není velký zájem o biomasu jako krmivo, ale biomasu lze využívat energeticky.

Výsledky kapitoly ukazují, že produkce z TTP, případně z přírodě blízkých mokřadních oblastí je sice nižší, než produkce kukuřice, stejně jako výtěžnost bioplynu při anaerobní digesti travní fytomasy, extenzivní hospodaření ovšem významně snižuje náklady na produkci a TTP a přírodě blízké mokřadní oblasti (podmáčené nebo zaplavované louky) mají další mimoprodukční funkce, např. biodiverzifikační, vodohospodářské a podobně, které bude nutné v budoucnu zahrnout do finančních bilancí.

## **6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**



Abraham, Z.; Kovářová, M. (2007): Technologie a ekonomika tuhých biopaliv z travních porostů. – In: *Ekológia trávneho porastu VII. Zborník príspevkov z mezinárodnej vedeckej konferencie*. Banská Bystrica 28.-30.11.2007, p. 426 - 431.

Aktuálně.cz. (2011): V Česku mizí půda. Eroze sebrala obcím milióny na dani. [online] - Dostupné z < <http://aktualne.centrum.cz/domaci/zivot-v-cesku/clanek.phtml?id=704573> >

Cepák, J.; Pokorný, J. (2002): Botulismus vodních ptáků - příklad ekologického problému. - *Ochrana přírody* 57 (3): 71 - 74.

Crawford, R.M.M. (2003): Seasonal differences in plant responses to flooding and anoxia. – *Canadian Journal of Botany* 81 (12): 1224 – 1246.

ČSN 75 2410 „Malé vodní nádrže“

Diamond, J. (2008): Kolaps: proč civilizace zanikají a přežívají. - *Academia Praha*. 752 pp.

Doležal, F. a kol. (2006): Hydrologický výzkum v malých zemědělských povodích. - *J. Hydrol. Hydromech.* 54 (2): 217 - 229.

Dubravius, J. (1953): O rybnících. – *Nakladatelství Československé akademie věd*, Praha, 1953, 80 pp.

Duras, J. (2007): Ekotechnologické zásahy ve prospěch jakosti vody v Česku – stručný přehled. - *Limnologické noviny* 2007(4): 9 - 11.

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

FAO Statistical Yearbook, 2010.

FAO Water reports, Rome, 2011., 199 pp.

Gergel, J. (1995): Odhad zásob sedimentů v rybníčních nádržích v České republice, podklad pro projekt generelu „Rybníční soustavy v České republice“. - VÚMOP, České Budějovice. 1995.

Germonpré, M. a kol. (2009): Fossil dogs and wolves from Palaeolithic sites in Belgium, the Ukraine and Russia: osteometry, ancient DNA and stable isotopes. - *Journal of Archaeological Science* 36: 473 - 490.

Gregorová, B.; Černý, K. (2003): Chřadnutí olší ve světě a u nás. – *Zprávy lesnického výzkumu* 48 (2-3): 123 - 125.

Hejduk, S.; Gaisler, J. (2006): Kapitola 7.9. Vodní režim. p. 74-75. – In: *Mládek, J.; Pavlů, V.; Hejčman, M.; Gaisler, J. (eds.): Pastva jako prostředek údržby trvalých travních porostů v chráněných územích*. VÚRV Praha, 2006, 104 pp.

Hesslerová, P.; Pokorný, J. (2010): The synergy of solar radiation, plant biomass, and humidity as an indicator of ecological functions of the landscape: A case study from Central Europe. - *Integrated Environmental Assessment and Management* 6 (2): 249 - 259.

Hlávková, H. (1980): Produkce některých bylinných druhů mokřadních ekosystémů. *Diplomová práce*. Praha, VŠZ.

Hughes, J.D.; Thirgood, J.V. (1982): Deforestation, Erosion, and Forest Management in Ancient Greece and Rome. - *Journal of Forest History* 26 (2): 60 - 75

Hule, M. (2000): Rybníkářství na Třeboňsku. – *Carpio*, Třeboň, 2000. 251 pp.

IUCN (1996): Význam rybníků pro krajinu střední Evropy. Trvale udržitelné využívání rybníků v Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervaci Třeboňsko. - České koordinační středisko IUCN – Světového svazu ochrany přírody Praha a IUCN Gland, Švýcarsko a Cambridge, Velká Británie, 189 pp.

Jacobsen, T.; Adams, R.M. (1958): Salt and silt in ancient mesopotamian agriculture. - *Science, New Series* 128 (3334): 1251 - 1258.

Janeček, M. (1998): Vliv stavu a využívání krajiny na povodňovou situaci. - In: *Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Souhrnná zpráva projektu*. MŽP ČR, 1998. [online] - Dostupné z <<http://voda.chmi.cz/pov97/kap5.html>>

Kislev, M.E.; Hartmann, A.; Bar-Yosef, O. (2006): Early domesticated Fig in the Jordan Valley. - *Science* 312 (5778): 1372 -1374.

Kolmanová, A.; Rektoris, L.; Přibáň, K. (1999). Retention ability of Bog Pine peat bog ecosystem and its response to downpour precipitation. - In: *Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*. Backhuys Publishers, Leiden, Netherlands, 1999, p. 177 - 182

Koutsoyiannis, D.; Angelakis, A. N. (2007): Agricultural hydraulic works in ancient Greece. - S. W. Trimble (ed.): *Encyclopedia of Water Science, Second Edition*, CRC Press, 2007, p. 24 - 27.

Kravčík, M. et al. (2008): Water for the recovery of the climate. A new water paradigm. – *Ludia a voda*, Košice, 2008, 122 pp.

Kulhavý, Z.; Soukup, M. (2010): Zemědělské odvodnění a krajina. - In: *Rožnovský, J.; Litschmann, T. (ed): Voda v krajině*, Lednice 31.5. – 1.6.2010.

Kuncová, T. (2004): Ekonomika pěstování chřastice rákosovité. – *Biom.cz* [online]. 2004-08-09. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-pestovani-chrastice-rakosovite>>.

Lee, Y.; Woo, J.Y. (2000): Excavation of the Sorori palaeolithic site and its significance. – *Sborník z konference, 4<sup>th</sup> International Rice Genetics Symposium*, Manilla, Philippines, Oct. 22-27, 2000.

Lhotský, R.; Kajan, M. (2010): Využití biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu. - *Sborník Mezinárodní konference Výstavba a provoz bioplynových stanic*, 1. vydání. Třeboň: 2010, 131 - 139.

Lhotský, R. (2010): The role of historical fishpond systems during recent flood events. - *Journal of Water and Land Development* 14: 49 - 65.

Lhotský, R.; Kajan, M. (2011): Anaerobní digesce fytohmoty z trvalých travních porostů jako alternativa k energetickým plodinám. - *Acta Pruhoniciana* (97): 69 - 75.

Ložek, V. (1973): Příroda ve čtvrtohorách. – *Academia Praha*, 372 pp.

Makarieva, A.M.; Gorshkov, V.G. (2007): Biotic pump of atmospheric moisture as driver of hydrological cycle on land. – *Hydrology and Earth System Sciences* 11 (2):1013 - 1033.

Makarieva, A.M.; Gorshkov, V.G. (2010): The Biotic Pump: Condensation, atmospheric dynamics and climate. – *International Journal of Water* 5 (4): 365 - 385.

Matlas, P. (2010): Velká voda, povodně, záplavy a výtopy na Lužnici. - *Vlastivědný sborník Dačicka, Jindřichohradecka a Třeboňska* 22:32 - 46.

MEA (Millennium Environmental Assessment) (2005): Ecosystems and Human Well-being. Desertification Synthesis, World Resources Institute, Washington DC.

MŽP ČR (2004): Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 a návrhu úpravy systému prevence před povodněmi. - *Výsledná zpráva o projektu*. Praha, 2004, 85 pp.

Pavelis, G.A. (1987): Farm drainage in the United States: history, status, and prospects. - *Economic Research Service, U.S. Dept. of Agriculture*, 1987, 170 pp.

Pechar, L.; Příkryl, I.; Faina, R. (2002): Hydrobiological evaluation of the Třeboň fishponds since the end of the Nineteenth Century. – In: *Květ, J.; Jeník, J.; Soukupová, L. (eds.), Freshwater wetlands and their sustainable future*. Puris and Boca Raton, p. 31 – 61.

Pithart, D. (2008): Ecosystem Services of a Floodplain with Preserved Hydrological Regime-River Lužnice Floodplain, Czech Republic. - In: *The Role of Environmental Management in Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation*. ProAct Network, August, 2008. p. 79 - 88.

Pokorný, J.; Hauser, V. (1996): Obnova jezer metodou odstranění sedimentu – In: *Eiseltová, M. (ed.) (1996): Obnova jezerních ekosystémů – holistický přístup*. – Wetlands International publ. č. 32. p 141 - 153.

Pokorný, J.; Hauser, V. (2002): The restoration of fish ponds in agricultural landscapes. – *Ecological Engineering*, 18 (2002): 555 – 574.

Pokorný, J.; Čerovská, K.; Macák, M.; Pecharová, E. (2003): Matter losses from large catchment expressed as acidification – how much does acid rain cause? - In: *Vymazal J. (ed.): Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands*. Backhuys Publishers, Leiden, The Netherlands, 2003, p. 293 - 306.

Pokorný, J.; Faina, R.; Pechar, L. (2009): Vliv rybochovného hospodářství na trofii vod v povodí. - In: *Znečištění povrchových vod živinami: příčiny, důsledky a možnosti řešení (eutrofizace)*, Praha. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, 2009, p. 83 - 92.

Ponting, C. (1991): A green history of the world; nature, pollution, and the collapse of societies. - *Penguin Books, New York*. 430 pp.

Příkryl, I. (2004): Historický vývoj našeho rybníkářství a rybníčních ekosystémů. - *Veronica*, 18 (1): 7 - 10.

Ripl, W.; Pokorný, J.; Eiseltová, M.; Ridgill, S. (1996): Holistický přístup ke struktuře a funkci mokřadů a jejich degradaci – In: *Eiseltová, M. (ed.) (1996): Obnova jezerních ekosystémů – holistický přístup*. – Wetlands International publ. č. 32. p 16 - 35.

Ripl, W. (2003): Water: the bloodstream of the biosphere. - *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 358 (1440): 1921 - 1934.

Rychnovská, M., Balátová, E., Úlehlová, B., Pelikán, J. (1985): Ekologie lučních porostů. - Academia Praha., 291 pp.

Sádlo, J.; Pokorný, P.; Hájek, P.; Dreslerová, D.; Cílek, V. (2005): Krajina a revoluce. - Malá Skála, Praha. 248 pp.

Sáňka, M.; Materna, J. (2004): Indikátory kvality zemědělských a lesních půd. - *Edice Planeta* 12 (11): 1 - 84..

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES ze dne 23. října 2000, kterou se stanoví rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2006/7/ES ze dne 15. února 2006 o řízení jakosti vod ke koupání a o zrušení směrnice 76/160/EHS

Souček, J. (2011): Chrastice rákosovitá pro energetické využití – pěstování a sklizeň. – *Biom.cz* [online]. 2011-05-02. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/chrastice-rakosovita-pro-energeticke-vyuziti-pestovani-a-sklizen>>.

Strašil, Z., Váňa, V., Káš, M. (2005): The reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilization. - *Res. Agr. Eng.* 51 (1): 7 - 12.

Šiman, J. (1949): Vodohospodářský průzkum soudního okresu třeboňského se zvláštním zřetelem na Vitorazsko. Okresní národní výbor, Třeboň, pp. Mscr.

Šiman, J. (1959): Vodohospodářský plán Třeboňského okresu. Okresní plánovací komise, Třeboň. pp. Mscr.

Špatný, F. (1870): Rybníkářství čili hospodaření na rybnících. – *Museum král. Českého*, Praha, 1870, 97 pp.

Šusta, J. (1995): Pět století rybníčního hospodářství v Třeboni. – *Carpio*, Třeboň, 1995, 212 pp.

Teplý, F. (1937): Příspěvky k dějinám českého rybníkářství. – *Publikace Ministerstva zemědělství*, č. 96, Praha. 244 pp.

UPŘM (Unie pro řeku Moravu) (1998): Analýza povodňových událostí v ekologických souvislostech. - [online]. Dostupné z WWW: <<http://uprm.sweb.cz/analyza.html>>.

Usnesení Vlády České republiky ze dne 23. května 2007 č. 562 o Plánu hlavních povodí České republiky.

Vaněk, V.; Kolář, L.; Pavlíková, D. (2009): Úloha organické hmoty v půdě. - In: *Racionální použití hnojiv zaměřené na půdní úrodnost, organickou hmotu v půdě a použití statkových a minerálních hnojiv- sborník z konference*. ČZU, Praha. [online] - Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/uloha-organicke-hmoty-v-pude>>

Vašků, Z. (2008): Půda je nenahraditelná – rozhovor. - *Ekolist* [online] - Dostupné z <<http://ekolist.cz/cz/publicistika/rozhovory/zdenek-vasku-puda-je-nenahraditelna>>

Vašků, Z. (2010): Současné vývojové podnební trendy České republiky. – In: Pokorný, J. et al. (2010): *Analýza ochrany vod a efektivního hospodaření s vodou v zemědělských systémech ČR. – příloha studie*. ENKI, o.p.s.

Vrána, K. (2004): Jsou suché nádrže vhodným prvkem protipovodňové ochrany? - In: *Sborník konference Krajinné inženýrství 2004: Česká krajina - střecha Evropy*. Pardubice 7. - 8.10.2004.

## 7. Přehled řešených projektů autora

*Název projektu:* **RECORA - Renewable Energy Cooperation of Rural Areas**

*Zadavatel:* INTERREG III C

*Rok řešení:* 2005-2007.

*Úloha autora při řešení:* Expertní činnost pro českého partnera.

*Název projektu:* **Možnosti zvýšení výroby bioplynu u stávajících zařízení v ČR - studie**

*Zadavatel:* Česká energetická agentura v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2006, ev.č. 222004 6194

*Rok řešení:* 2006

*Úloha autora při řešení:* řešitel

*Název projektu:* **Poloprovozní ověřovací zařízení pro bioplynové technologie**

*Zadavatel:* PHARE CBC - CZ2003/005-079-01.01.0026

*Rok řešení:* 2005-2006

*Úloha autora při řešení:* řešitel

*Název projektu:* **Zařízení na úpravu a využití odpadní fytomasy při výrobě bioplynu**

*Zadavatel:* PHARE CBC - CZ2003/005-079.01.01.0004

*Rok řešení:* 2005-2006

*Úloha autora při řešení:* řešitel

*Název projektu:* **Zlepšení stavu ekosystému stojatých vod trpících nadměrným květením sinic v Libereckém kraji**

*Zadavatel:* Agentura regionálního rozvoje, spol. s r.o., Liberec

*Rok řešení:* 2007

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Zlepšení stavu vodního ekosystému nádrže Mšeno – Jablonecká přehrada**

*Zadavatel:* Agentura Regionálního rozvoje, spol. s.r.o., Liberec

*Rok řešení:* 2007-2008

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Studie zavodnění hořce jarního v NPP Rovná**

*Zadavatel:* AOPK ČR, Praha

*Rok řešení:* 2007-2009

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Intenzifikace produkce bioplynu**

*Zadavatel:* Ministerstvo životního prostředí ČR (Podprogram: SP3 – Výzkum environmentálních technologií, Oblast výzkumu: SP3g - Environmentální technologie, racionální využití energie a obnovitelné zdroje energie (OZE))

*Rok řešení:* 2007 - 2009

*Úloha autora při řešení:* spoluřešitel

*Název projektu:* **Zhotovení studie proveditelnosti revitalizace PR Malhostický rybník**

*Zadavatel:* AOPK ČR, Praha

*Rok řešení:* 2008-2010

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Třeboňské inovační centrum (TIC) - II. etapa realizace**

*Zadavatel:* Evropský fond pro regionální rozvoj a Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (v rámci Operačního programu průmysl a podnikání - PROSPERITA) a Jihočeský kraj

*Rok řešení:* 2005 -2007

*Úloha autora při řešení:* odborný garant

*Název projektu:* **Nepotravinářské využití biomasy v energetice**

*Zadavatel:* Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR (Národní program výzkumu II, 2B- Zdravý a kvalitní život, projekt č. 2B06131)

*Rok řešení:* 2006 – 2011

*Úloha autora při řešení:* spoluředitel

*Název projektu:* **Vývoj metody stanovení toků energie a látek ve vybraných ekosystémech, návrh a ověření principů hodnocení hospodářských zásahů pro zajištění podmínek autoregulace a rozvoje biodiverzity.**

*Zadavatel:* Ministerstvo školství, mládeže a tělovýchovy ČR (Národní program výzkumu II,2B- Zdravý a kvalitní život, projekt č. 2B06023)

*Rok řešení:* 2006 – 2011

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Sít' environmentálních a informačních center pro péči o mokřady a vodu**

*Zadavatel:* Ministerstvo životního prostředí ČR (Operační program Rozvoj lidských zdrojů, dotace č. OPRLZ/4/16/06)

*Rok řešení:* 2006 – 2008

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Rybniční hospodaření respektující strategii udržitelného rozvoje a podporu biodiverzity**

*Zadavatel:* Ministerstvo životního prostředí ČR, MŽP, Praha, Projekt VaV SP/2d3/209/07

*Rok řešení:* 2007 – 2011

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

*Název projektu:* **Třeboňské inovační centrum (TIC) - provoz**

*Zadavatel:* Evropský fond pro regionální rozvoj a Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR (v rámci Operačního programu podnikání a inovace - PROSPERITA)

*Rok řešení:* 2011 - 2014

*Úloha autora při řešení:* koordinátor

*Název projektu:* **Zhodnocení transformace sluneční energie a retence živin vybraného agroekosystému s důrazem na ochranu a kvalitu odtékajících vod do zemědělské krajiny**

*Zadavatel:* Ministerstvo zemědělství ČR

*Rok řešení:* 2010 – trvá

*Úloha autora při řešení:* odborná činnost

**Lhotský, R.(2010): The role of historical fishpond systems during recent flood events. - *Journal of Water and Land Development* (14): 49 - 65.**



## The role of historical fishpond systems during recent flood events

*Richard LHOTSKÝ*

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, CZ-379 01 Třeboň, Czech Republic

**Abstract:** Most of the large pond systems in the Czech Republic were built in 16th century. One of the most important fishpond systems is the one of the Třeboň basin (Třeboň fishpond system – TFS). It is situated in South Bohemia in the upper Lužnice watershed, but the whole system also includes the upper watershed in Austria. The system consists of almost 1000 fishponds with a total area of 7 500 ha. Retention capacity of fishponds is estimated to be as big as 50–70 mil. m<sup>3</sup>, but might be even 110–140 mil. m<sup>3</sup> during extreme floods. The situation is then often beyond control and damage occurs, which deteriorates the fishponds' water management function. The largest is Rožmberk fishpond (480 ha), which stored 50–70 mil. m<sup>3</sup> during the 2002 flood while its normal volume is about 5.5 mil. m<sup>3</sup>.

In order to ensure a satisfactory flood retention capacity of fishpond systems, proper maintenance of their technical equipment is necessary and emergency measures for the whole system should be added.

Key words: *Czech Republic, fishponds, flood protection, water retention*

### INTRODUCTION

Fields, meadows, forests and ponds represent the fundamental components of the Czech landscape. The sophisticated and elaborate systems of fishponds in the Czech Republic, which have evolved through five centuries of landscape management, are quite unique. Although the pond systems are man-made, thanks to sensible landscaping throughout centuries they have fused with the surrounding nature and this synthesis has many times created valuable biotopes which are nowadays the objects of national and international protection. The pond system of the Třeboň basin with its area of 7 500 ha produces annually 2 900 t of fish, mainly carps, and the company managing these ponds is one of the biggest producers of freshwater fish in Europe. The ponds being an opened part of the landscape linked to streams and rivers are affected by floods and contribute to water retention of the landscape. It is a task for people of many professions to manage the half-millennium old fish-

ponds and their systems so that they could maintain their multifunctional role in landscape, contribute to the reduction of flood waves, enhance biodiversity, remain beautiful to look at and give work to local population.

To describe the role of historical fishponds during flood events with respect to their economical importance is the purpose of this work. Fishpond landscape is man made landscape with important level of biological and landscape protection and high aesthetical value.

## METHODS, DATA AND INFORMATION SOURCES

Before the 1920s the fishponds of the Třeboň (Fig. 1 and 2) basin were owned by the family of Schwarzenberg. This owner also founded an archive, today State regional archives, which is a valuable source of information about individual ponds and past events (such as flood events, dam damage etc.). It was this information source that enabled Josef Šusta to write a unique historical monography “500 years of fishpond management in the Třeboň area“. Josef Šusta was a steward of the fishponds belonging to the Třeboň estate and his work contributed to significant improvement of fish production. He laid the foundations of modern European fishery (ŠUSTA, 1997).

The existing parameters of ponds have been obtained from water management operational guidelines, which were kindly provided by the Třeboň Fishery (Rybářství Třeboň, a.s.). Information about floods of 2002 and 2006 has been obtained from publicly accessible data of the Czech hydrometeorological institute and data from the state enterprise Povodí Vltavy, administrator of important watercourses,



Fig. 1. Situation of the Lužnice River basin with basin outlet in Veselí nad Lužnicí (grey) and of the Třeboň fishpond system (black) on the map of the Czech Republic

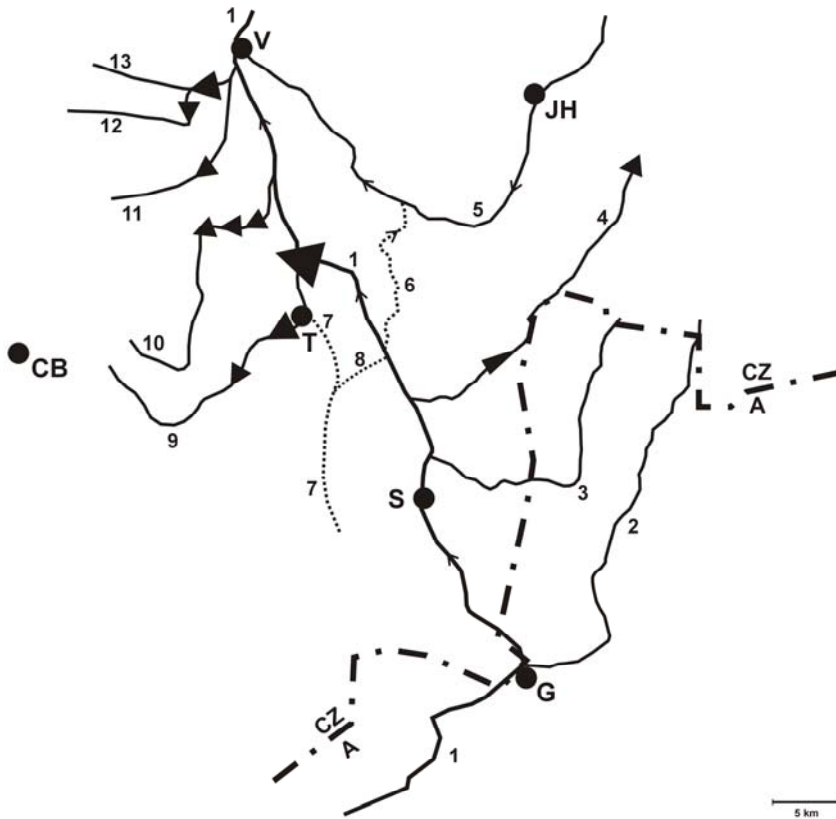


Fig. 2. Scheme of the Třeboň fishpond system; - · - · - national boarder, CZ – Czech Republic, A – Austria; towns: CB – České Budějovice, JH – Jindřichův Hradec, G – Gmünd (Austria), S – Suchdol nad Lužnicí, T – Třeboň, V – Veselí nad Lužnicí; streams: 1 – Lužnice, 2 – Braunaubach, 3 – Dračice, 4 – Koštěnický potok, 5 – Nežárka, 6 – Nová řeka (the “New River”, a man-made canal), 7 – Prostřední stoka (the Middle gutter, a man-made canal), 8 – Odlehčovač (the alleviating canal), 9 – Spolský creek, 10 – Miletínský creek, 11 – Dubenka, 12, 13 – tributaries of the Bošilecký and Horusický fishponds

which include also the basin of the Lužnice River. Other data have been collected from reports on physical damage and flood events of the national administrations of the Czech Republic, the integrated rescue system of the Czech Republic, municipalities, towns, district and Třeboň Fishery commissions for floods and from personal observations.

The water management relations were studied from manuscripts on water management written in the middle of the 20<sup>th</sup> century by Jindřich Šiman. Jindřich Šiman worked as a water manager and described in detail large flood events of the years 1890 and 1925, both as an expert and as an eyewitness of the events (ŠIMAN, 1949; 1959). The personal observations were collected during flood events in 2002 and 2006.

## THE SHORT HISTORY OF PONDS

The most important characteristic of a fishpond is that it is possible to drain it completely and refill it with water again. Another important characteristic is a rather small average depth. Fishponds usually reach an average depth of 1 m although in individual cases they are deeper near the dam, sometimes reaching even more than 10 m. Most of ponds are built in the valley parallel to the river bed, but there are some closing the river by earth dams (Fig. 3). There are still many ponds with wooden outlet pipes (Fig. 4), the larger fishponds are nowadays equipped with either steel pipes or concrete or stone channels. The outlets at smaller fishponds are typically single or double wooden monk outlets (Fig. 5) and at larger fishponds sluice gates with a steel plate.

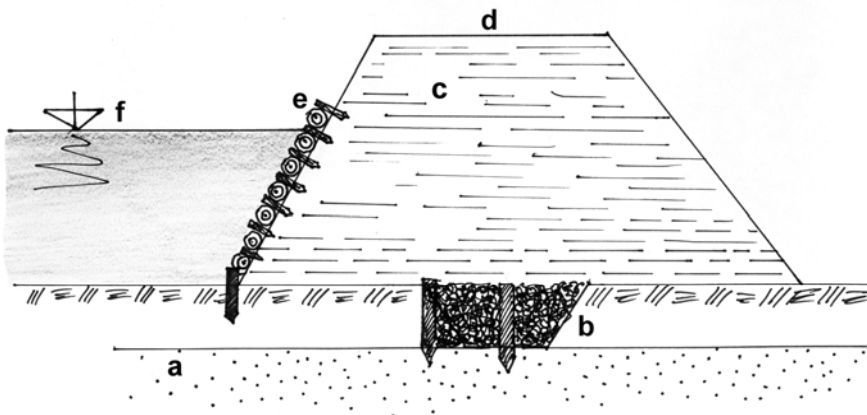


Fig. 3. Earthen dam; *a* – impermeable substratum, *b* – trench filled with coarse material, *c* – compacted earthen material, *d* – dam crest, *e* – wooden (later stone) riprap, *f* – water level

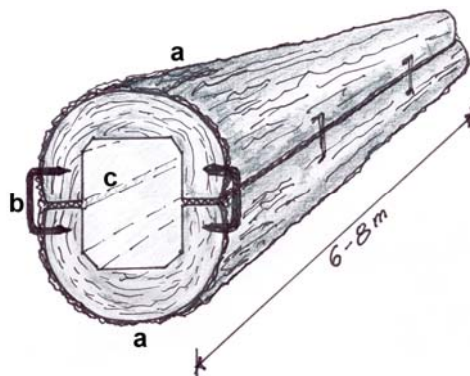


Fig. 4. Wooden outlet pipe; *a* – two hewed trunks set together, *b* – staple, *c* – joints filled with moss

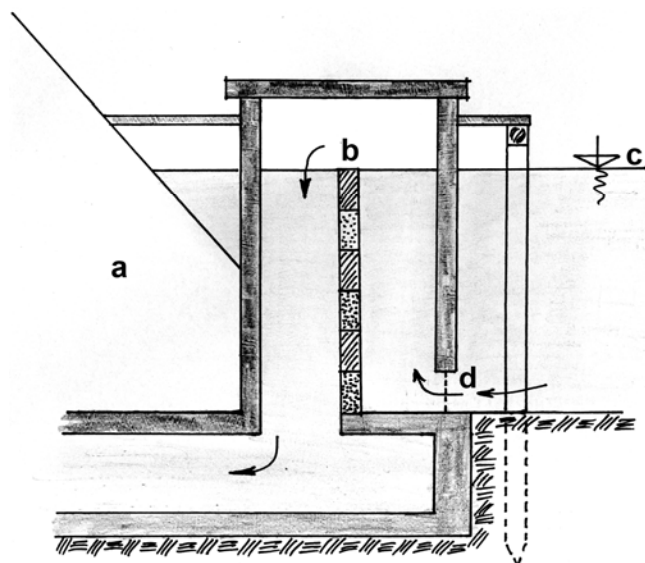


Fig. 5. Wooden monk outlet; *a* – dam, *b* – boards, *c* – water level, *d* – screen

Since the Middle Ages many ponds have been supplied with water through a system of water canals or gutters. The best known of these structures are the Opatovický canal in Eastern Bohemia (32 km, founded in 1530) and Zlatá stoka in Southern Bohemia (45 km, founded in 1520). A lot of ponds also have bypass canals which enable, if necessary, closing the water supply into the fishpond.

Ponds for fish production were built first around cloisters, which played an important role in land colonisation. It is assumed that monks acquired the skills needed for fishpond building during pilgrimages to Palestine. The new techniques of building ponds, such as dam rip-rapping, were also later brought to Europe from the Middle East by the German order of knighthood and by Templars returning from crusades.

The greatest boom of fishpond building occurred in Central Europe, in particular in Bohemia and Moravia, during 15<sup>th</sup> and 16<sup>th</sup> centuries when fish trade was one of the most profitable farming activities.

The number and surface area of fishponds have remained more or less the same since the beginning of the 19<sup>th</sup> century until today. Intensification, however, has led to a significant increase in fish production (PŘIKRYL, 2004) – Table 1.

Some fishponds played an important role in fortification of medieval towns, some were built for power generation for mills or mines and some were designed to retain water in case of flooding. It was for example the Staňkovský fishpond (Třeboň fishpond system, founded in 1556) with its 15 m high dam which was built for safety reasons.

**Table 1.** Development of total fishpond area and total fish production in Bohemia and Moravia (PŘIKRYL, 2004)

Period	Area thous. ha	Fish production kg·ha <sup>-1</sup>
14th cent.	75	40
16th cent.	180	40
18th cent.	79	30
1850	35	25
1924	44	81
1956	50	137
1965	50	210
1975	51	328
1985	52	393
1995	52	423

Even today some ponds serve also functions other than fish production, primarily functions connected with water management during flood events.

Some of the ponds supply water for irrigation, serve for secondary treatment of drained water or for power generation. Some of ponds are used nowadays also for recreation, either for angling or for water sports. Unlike in the past times, one of the most important functions of fishponds today is their landscaping and biodiversity role.

## MORPHOLOGY AND HYDROLOGY OF THE TŘEBOŇ FISHPOND SYSTEM

Because of its basin morphology with plentiful water supply Southern Bohemia has always been considered suitable for the development of fish farming. This holds true in particular for České Budějovice and Třeboň basins. The latter is very important also because it includes the largest fishpond Rožmberk of 500 ha water surface, which is situated right in the centre of the Třeboň basin. Most of the ponds of the Třeboň fishpond system lie within the Protected Landscape Area Třeboňsko, which protects this unique landscape that has been formed by man for centuries of cultural landscaping. The Protected Landscape Area Třeboňsko is simultaneously one of the six biosphere reserves in the Czech Republic. Moreover, the most valuable ponds and wetlands are protected under the Ramsar convention (site name: Třeboň fishponds).

Basic hydrologic parameters of the Třeboň pond system are shown in Table 2. It is somewhat difficult to define the area of the Třeboň fishponds system. Whereas geographically it is easily defined by the Třeboň basin, from the hydrological point of view it is important to include the whole catchment of the Lužnice River from its spring in Novohradské Mountains, including the Austrian part of the catchment

and catchments of all its tributaries. With the northern borderline delineated by the confluence of the Lužnice and Nežárka rivers, the Třeboň fishpond system has an area of 1 700 km<sup>2</sup> (Figs 1, 2).

**Table 2.** Basic hydrologic parameters of the main streams in the Třeboň fishpond system

Stream	Profile	Catchment area km <sup>2</sup>	$Q_1$	$Q_5$	$Q_{10}$	$Q_{50}$	$Q_{100}$
			m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup>				
Lužnice	Ehrendorf	268	17.0	35.0	50.0	–	110.0
Lužnice	Frahelž	1 567	16.0	34.0	48.0	106.0	145.0
Skřemelice	Hoheneich	293	18.0	32.0	46.0	–	90.0
Dračice	Klikov	153	8.4	20.0	28.0	50.0	63.0
Koštěnický	Chlum u T.	169	5.0	13.0	18.0	32.0	40.0

$Q_{N(1-100)}$  –  $N$ -year (1–100) discharge – maximal discharge with a return period of  $N$  years. Publicly accessible data provided by the Czech Hydrometeorological Institute and Povodí Vltavy.

The natural backbone of the whole area is the Lužnice River, which rises on the Austrian side of the Novohradské mountains. The most important Austrian tributary of the Lužnice River is a small river Braunaubach. At the confluence with the Lužnice River the area of the Braunaubach catchment is 293 km<sup>2</sup> (Lužnice 275 km<sup>2</sup>). The course of flood events of both rivers, or in other words the concurrence of flood wave culminations, is crucial for the course of the downstream flooding of the Lužnice River, in particular in the Novořecké splavy (New river weirs) area. There are many ponds in Braunaubach catchment, however, as their own catchments are small, their role in water retention during big flooding is negligible. The overall area of these fishponds is 400 ha with the normal volume estimated at 4.3 mln m<sup>3</sup> (ŠIMAN, 1959).

The next major tributary, the Dračice River, is situated already in the Czech Republic (catchment area – 155 km<sup>2</sup>). Like the Braunaubach, the Dračice River has also an important effect on the course of flooding in the Lužnice River. The flood wave, however, may be partly regulated in several flow-through fishponds both in the Czech Republic and in Austria (Herrenteich and Schönauerteich). The overall area of these fishponds is 279 ha with the volume estimated at 3 mln m<sup>3</sup> (ŠIMAN, 1959).

The third main tributary of the Lužnice River before the profile of Novořecké splavy is the Koštěnický Creek. There are three ponds within its catchment: Kačležský (197 ha), Staňkovský (276 ha) and Hejtman (80 ha). It is the Staňkovský pond which has an important role in water retention. Its retention volume is set by the operational guidelines to 2.4 mln m<sup>3</sup>.

One of the most important water structures of the Třeboň fishpond system is the canal „New River“. This man-made canal (finished in 1590) diverts part of the water of the Lužnice River to the Nežárka River. Three side weirs serve for water

regulation in the Lužnice River in the place of Novořecké splavy. According to the existing needs the side weirs conduct water either to the original river bed (the „Old River“, the Lužnice River itself) or to the man-made canal of the „New River“. Weirs also protect the dike, which forms the first 6.5 km of the left bank of the New River. The material used for construction of the dike is of bad quality, soft and with permeability coefficient  $K = 10^{-2}$  to  $10^{-3}$   $\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$  (ŠVARC, 1995). This is why the dike of the New River was largely damaged during most of the big flood events. It was already in 1586 during the time of its construction when the weirs on this dike were taken down by spring waters. Twenty seven metres of the dike were destroyed in the year 1670. In 1730 it was burst open at two sites, in 1804 even at five sites while the longest bank ripping was 72 m long. During the flooding of 1890 the dike was burst open at four sites and it was completely destroyed down to the impermeable subsoil. Subsequently the dike was repaired in 1891. The next reconstruction was not done until 100 years later. The first phase of repairs began in 1992 (ŠVARC, 1995). The dike was again largely damaged during the flood event in 2002 even though 70 m of the dike were cut through to prevent vast damage. Also the spring flooding in 2006 damaged the dike, in particular by many seepages.

On the New River weirs, water is regulated in compliance with the operational guidelines, however, when there is no flood discharge the flow in the Old River is regulated with respect to the management of the Rožmberk fishpond. During flood discharge the flow rates  $Q$  are maintained at  $Q = 6 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  for the Old River and at  $Q = 50 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  for the New River. If the flow rate of the Lužnice River is higher than  $56 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ , the flow rate in the New River is maintained at  $Q = 50 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  by opening the weirs and diverting water to the Old River. By maintaining the water surface approximately 1m below the dike crest, this process helps to stabilize the dike. Whereas the left bank of the New River is protected by the dike, the right one is opened to wide meadows and marshes (ca. 250 ha). This vast area retains large amounts of water during flooding (estimated retention volume of 4 mln  $\text{m}^3$ ) which usually prevents the flood waves of the New and the Nežárka rivers from culminating simultaneously. However, when a flood event is exceptionally high and there is co-culmination of the flood waves of the New and the Nežárka rivers, the towns downstream of the Lužnice River (Veselí n. L., Soběslav) are often seriously affected.

The Rožmberk pond holds water coming not only from the Lužnice River catchment (reduced by the New River outflow) but also from the catchment of the so called „Middle gutter“ (223  $\text{km}^2$ ) which drains among others also the Spolský Creek and the Cep fishpond catchments, which are very rich in precipitation. The dam thus closes up the catchment of an area of 1397  $\text{km}^2$ .

The Spolský Creek (85  $\text{km}^2$ ) and its tributaries rise in the south-east of České Budějovice in an area which has always been characterized by abrupt and heavy rains. The long-term mean annual precipitation in this catchment is 680 mm. The



watershed outlet of this catchment is the Svět fishpond (215 ha) in the close vicinity of the town of Třeboň. To mitigate the impacts of large flood events on Svět's dam (which was not equipped with the overflow spillway until 2002), the designer of this pond, Jakub Krčín, built in mid 16<sup>th</sup> century another pond, called Spolský (137 ha), above the Svět pond. The Spolský pond thus served as a reservoir for water retention. It was the ponds on the Spolský creek which were hit by the most devastating floods as will be shown later. Before reaching Rožmberk the outflow of the Svět fishpond joins with the Middle gutter, which drains a vast area of forested peatlands. Although the retention capacity of the sensitively drained peatlands is high, the spring waters of the Middle gutter overflow yearly the suburb areas of Třeboň and show clearly why the meadows of many hundreds of hectares east of Třeboň are called Wet Meadows. In the 1970s a canal was built connecting the mentioned peatland area with the Lužnice River. If the bed of this Alleviating canal (Odlehčovač) is clean, it can reduce the water supply to Třeboň and the Rožmberk fishpond by as much as  $10 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Water from the Rožmberk pond ( $6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) is used also for power generation. Its water supplies the downstream situated ponds and fish storage ponds and maintain the minimum flow in the Lužnice River ( $650 \text{ dm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ). The controlled retention volume of  $9 \text{ mln m}^3$  is delineated by the height of storage volume and the height of normal volume (spillway crest height). However, the largest flood events in the last centuries exceeded the spillway crest height often by more than 1 m.

## SOME REMARKS ON PONDS MANAGEMENT

Under normal conditions the regulation of water table depends on local fish breeding plans and must comply with the operational guidelines of every pond. The real height of water table in the fishpond may fluctuate throughout the year according to the needs of fish production. The normal height is set by the water management authorities. It commonly equals the spillway crest height, if the pond has a spillway. The water level in ponds of special importance for water management is lower than the normal height. The obtained volume represents a controlled retention volume. The obligation of the owners to maintain the normal height was set in the Mill Regulation as early as in 1814 although the normal level marks were not installed until 1870. In spite of this it has always been disputed whether this or that fishpond is filled up to the right height and would not flood the surrounding land. Before the Second World War the owner of the flooded land had the right to seek compensation if it was proven that the fishpond owner failed to open the outflow when water had risen above the normal height.

Setting the maximum height of water surface and thus the uncontrolled retention volume of the fishpond is a complicated task. For the purpose of calculations the maximum height reached in the fishpond was used, i.e. usually the height dur-

ing flood in 1890. The maxima reached during flood in 2002 were in many cases higher than those during the 1890 flood and therefore, in the new operational guidelines the lowest height of a dam crest is set as the upper level of the uncontrolled retention volume.

It holds true that the weakest link in the chain determines the strength of the whole system. The ponds with their origin in the 16<sup>th</sup> century have a lot of these weak links.

The majority of ponds in the Třeboň area have a homogenous earth dam which was built from locally accessible material, often of rather low quality. Therefore, the intense flood events often cause dam seepage.

To prevent dam from overflowing it is useful, in some cases, to break the dam through. It must be done only on the end of the dam or on side dams. It protects the surrounding land and prevents from uncontrolled damage of the fishpond. This precaution was taken for example in 1890 on the Svět fishpond's dam and later in 2006 on the side dam of the Staňkovský fishpond in order to use the retention volume of the neighbouring Špačkov fishpond. Under some circumstances, however, this precaution is inadequate to prevent large destructions as was obvious for example at the New River in 2002. Anyway, it is always true that any intervention into the main dam can lead to uncontrollable consequences.

Another weak link of a fishpond may be the outlet device. Although the original 450 years old outlet pipes have all been replaced, a lot of large fishponds still have wooden (fir, larch or exceptionally oak) pipes from the 19<sup>th</sup> century. Construction of the outlet pipes sometimes caused a wash out of material from the body of the dam where the outlet had been constructed. This led to the creation of a cavern in the body of the dam. A cavern of 5 m in diameter appeared by one of the outlets of the Rožmberk fishpond in 1915. A smaller cavern appeared also during the flood in 2002 in the Podřezaný fishpond in the Cep catchment of a great importance for water retention. Also the outlet devices themselves can fail in the most critical moments. The rusty plate stuck in the second gate of the Svět fishpond in 2002 provided tangible evidence that the water management structures had often not been properly maintained.

Not all of the fishponds are equipped with an overflow spillway for taking away the excess water. But problems occurred even in fishponds where there are overflow spillways. The spillways were often overgrown by vegetation, they are used for other purposes or racks are not properly maintained.

The spillway of the Svět fishpond has had an interesting history. Its construction project was submitted in 1891. It was planned as a spillway with gates, which were opened only in emergency. The owners of the surrounding land (meadows), in particular from Třeboň, who were threatened by the overflow challenged this project. In 1894 the project was withdrawn. A make-shift solution was found in 1930 when large outlets were built which, however, discharged water to a too small outlet drainage canal. It was the large flooding in 2002 which finally led to the

construction of an emergency spillway which was later rebuilt into a permanent overflow spillway.

The state of the water management structures on fishponds has significantly improved after the flooding in 2002. A lot of fishponds have been equipped with new overflow spillways.

Table 3 shows the different types of damages on fishponds within the Třeboň fishpond system (TRS) in 2002 related to the total fishpond damages. Similar data are presented for the whole of the Czech Republic (data provided by the Ministry of Agriculture of the Czech Republic).

**Table 3.** Fishpond damages during the 2002 flood

Damage	TFS, %	ČR, %
Crack – outflow	5.7	2.8
Dam damage due to a displaced trees	8.6	3.2
Crest damage caused by overflow	37.1	12.4
Dam seepage	5.7	6.1
Outlet destruction or damage	22.9	13.6
Overflow spillway destruction or damage	28.5	19.7

TFS – Třeboň Fishpond system, ČR – Czech Republic.

## RETENTION IN THE CATCHMENT OF THE LUŽNICE RIVER

With respect to the retention function of the ponds, the Třeboň area can be divided by the dam of the Rožmberk pond into two parts. The first part spans from the springs of the Lužnice River to the dam and the second part spans from the dam to the confluence with the Nežárka River. In the first area of 1397 km<sup>2</sup> there are about 800 fishponds with cadastral area of 5585 ha and retention volume of at least 52 mln m<sup>3</sup>. The mean retention capacity of 1 km<sup>2</sup> of this catchment is about 37 000 m<sup>3</sup>. The hydrological relations of this area are very complex as the consequences of flood events depend both on the flows in tributaries of the Lužnice River coming from the Českomoravská Vysočina highlands and water management practices. The retention capacity of ponds in the regions around Jindřichův Hradec and Dačice, which influence the Třeboň basin, was estimated by ŠIMAN (1959) to be approximately 3.5 mln m<sup>3</sup>. The retention capacity of pond systems in the Lužnice River catchment in Austria is approximately 2.5 mln m<sup>3</sup>. The catchment of the Lužnice River is able to retain around 7 mln m<sup>3</sup> of water before the streams reach the Czech Republic. With respect to flooding in the Czech Republic it is clear that the water retention of the catchment on the Austrian territory is insignificant mostly due to the character of the upstream part of the catchment, which is steep and where there are only small reservoirs whose retention capacity is very limited.

Consequently, it is the reservoirs of the Třeboň region that can provide large retention volumes.

A flood wave is extensively transformed by the Staňkovský fishpond. A flood wave with culmination  $Q_{100} = 44 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  is in this fishpond transformed to  $Q_O^{\text{TR}} = 12.60\text{--}17.07 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  depending on the chosen type of regulation. The New River and its weirs play important role in flood wave transformation as do the key fishponds Spolský and Svět which transform the flood wave in the dangerous Spolský Creek. The Spolský fishpond transforms the flood wave from  $Q_{100} = 45 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  to transformed outflow  $Q_O^{\text{TR}} = 13 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  whereas the Svět fishpond transforms the flood wave from  $Q_{100} = 36 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  to  $Q_O^{\text{TR}} = 9.75\text{--}3.32 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  depending on the chosen regulation and the use of a spillway. The controlled retention volume of 9.1 mln  $\text{m}^3$  makes the Rožmberk pond the most important reservoir in this area. During the flooding in 2002 the Rožmberk pond retained about 50–60 mln  $\text{m}^3$  of water, when the estimated inflow to the fishpond was  $540 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  after the New River dike and sand pit Cep had been broken.

A rather large retention function may be fulfilled by the vast areas of sensibly drained peatlands in the Southern part of the Třeboň region unless it is in the interest of nature protection to maintain permanently high ground water level there. If the ground water level were lowered to minus 60 cm below ground, an estimated retention volume of 5 mln  $\text{m}^3$  would be created. Also the alluvial plain of the Lužnice River near the national border (Suchdol n.L.) which is no more used for farming and marshes around the New River may be included into water retention capacity calculations. The estimated retention volumes of the former and the latter were 9 mln  $\text{m}^3$  (in 2002) and 4 mln  $\text{m}^3$ , respectively (PITHART *et al.*, 2008).

The second area of a great importance in terms of water retention of the Lužnice River is between the Rožmberk fishpond's dam and the confluence of the Lužnice and Nežárka rivers. There is about 190 fishponds in this area of 387  $\text{km}^2$  with the cadastral area of 3 600 ha and retention volume of at least 24 mln  $\text{m}^3$ . The mean retention capacity of 1  $\text{km}^2$  of this catchment is thus about 62 000  $\text{m}^3$ . Consequently, the retention capacity of this region is almost twice as high as the retention capacity of the upstream Lužnice River. Moreover, the hydrological relations of this region are less complicated. On the other hand, the region is intensely used for farming and the farming activities may influence the retention capacity of the landscape. There are also several pond systems with large retention volume in this region.

Also the Miletínský Creek, rising east of České Budějovice, is an important stream. The Vlkovický, Dvořiště, Koclířov and Velký Tisý ponds are situated directly on this stream. Their overall retention capacity was estimated at 12.6 mln  $\text{m}^3$  after floodings in 1890, 1915 and 1925. In 2002 these ponds retained 13.8 mln  $\text{m}^3$  of water.

Another interesting area is the catchment of the Dubenka Creek, which rises near the Ševětín village. An important hydrological part of this catchment is the

Záblatský fishpond. The estimate of its total safety volume was originally set to 2.08 mln m<sup>3</sup>. However, after the 2002 flood the estimate had to be corrected to 2.2 mln m<sup>3</sup>.

The last ponds of major importance for water retention in the Lužnice catchment are the Bošilecký and Horusický fishponds. They close up a catchment of 68 km<sup>2</sup> with the overall retention volume of 6.04 mln m<sup>3</sup> and can thus contribute to reduction of the flood wave culmination at the confluence of the Lužnice and Nežárka rivers.

ŠIMAN (1959) stated that the whole Lužnice catchment includes 984 fishponds with the overall cadastral area of 9 194 ha and the retention volume of 76 mln m<sup>3</sup>. At the confluence with the Nežárka River the long term mean annual flow rate of the Lužnice River is 4.92 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>. Consequently the Třeboň fishpond system and the connected subcatchments in Austria and the Czech Republic can retain 50% of the mean annual runoff of the Lužnice River. From the records of the water surface heights during water culmination in the course of the 2002 flood event it is possible to estimate the flood event retention of the Třeboň fishpond system at 110–140 mln m<sup>3</sup>. Assuming that the long term mean annual flow rate of the Lužnice River is 4.92 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>, this volume represents 70–90% of the mean total annual runoff.

## IMPORTANT FLOOD EVENTS IN THE AREA

In 1890 there was a large flood caused by a meteorological situation similar to that in 2002. Within the Spolský Creek catchment, the precipitation was 130 mm during 92 hours. The total runoff was estimated at 7.1 mln m<sup>3</sup> with the runoff coefficient of 64%. As several fishponds situated at the Spolský Creek and subsequently also the Svět pond burst open, the course of the flood event near Třeboň was very dramatic and finally the surroundings of Třeboň were flooded. A weak link of the chain was the 0.62 ha large Slavíček pond which had been in bad shape. The dam, not maintained for a long time, could not sustain the overflow of water. The dam of the Lazna pond, the next in the fishponds system, was also not properly maintained and as a consequence of incorrect handling of gates the dam was not able to hold the 60 000 m<sup>3</sup> of water coming with the flash flood and burst opened. After the water destroyed or damaged the ponds situated downstream, its volume of 7.5 mln m<sup>3</sup> hit the Svět pond's dam. The 2.5 m increase of water level could have been sustained by the Svět pond's dam, had it not been lowered near the brewery. The dam was lowered there to enable easier transport of ice from the fishpond to the cellars in the brewery. It was there that the dam was spilled over and burst open. The embankment of the Franz Josef railway to Vienna behind Třeboň could not stop the water anymore and the flood rushed through the „Wet Meadows” to the Rožmberk pond which was also in a critical situation. The damaged New River dike let the water flow back to the „Old” Lužnice River and consequently to

Rožmberk fishpond. The total water volume in the fishpond was at that moment 47.5 mln m<sup>3</sup>. The flow rate at the overflow spillway was 200 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>.

The flood in 1925 was caused by a local summer rainstorm in the Svět fishpond catchment. The mean rainfall in the catchment was 115.5 mm with a maximum of 150 mm during 12 hours. The total runoff from the catchment was 8.29 mln m<sup>3</sup>, with the 84% runoff coefficient. Ponds in the catchment sustained the power of the floods, but newly reconstructed spillways spilled away large amounts of water. Svět pond which was not equipped with an overflow spillway was the weakest link during this flood. The inflow from the Spolský fishpond filled the Svět fishpond to the level of 50 cm below the dam crest, however, strong waves posed the danger of dam overspilling. The newly reconstructed spillway of the Spolský fishpond was therefore blanked off and the outflow from this fishpond was downregulated.

In comparison to other regions in the Czech Republic, during the 2002 flood the Třeboň region did not suffer so many tragic events. However, even in this region the damage to property, including fishponds, was large. Seventy ponds owned by the Třeboň Fishery, the largest owner of the fishponds in the area, were damaged. The weak links of many water structures were identified during this flood event in many places, in particular in the improperly maintained water management structures (broken outflows, spillways, overgrown dams etc.). In spite of this, the Třeboň fishpond system retained an unbelievable amount, approximately 110–140 mln m<sup>3</sup> of water. If we add to the fishponds' retention volume also the retention capacity of the landscape in the Třeboň region we see that the total retention volume of the catchment was more than 200 mln m<sup>3</sup>, which delayed the culmination of the flood wave in the Lužnice River by more than 60 hours (CHMI, 2003). Assuming that the fishponds retained 110 mln m<sup>3</sup> of water during flood event, with the water depth of 2 m, we would need to built a reservoir of 5500 ha to retain the same amount of water. The Třeboň fishpond system is often compared with the dam reservoirs on the Vltava River. In 2002 Lipno, Římov and Orlik dam reservoirs retained 220 mln m<sup>3</sup> of water, although their retention volume is 76 mln m<sup>3</sup> (data provided by the state enterprise Povodí Vltavy).

During the spring flood of 2006 available retention volume of the ponds in the Třeboň fishpond system was 22.32 mln m<sup>3</sup>. In several cases, however, water did not reach the fish management level. The real retention of the fishponds with volume >1 000 000 m<sup>3</sup> was estimated by the Třeboň Fishery staff to be 47.96 mln m<sup>3</sup> during the culmination of the flood in the Rožmberk fishpond. The retention of the whole pond system was approximately by about 20% higher as the smaller ponds also contributed to the water retention and in some of these ponds, e.g. the Staňkovský pond, the maximum water level was reached later than in the Rožmberk pond. To improve the retention capacity of the Staňkovský pond the retention capacity of the neighbouring pond Špačkov was used by cutting through the side

dam. The retention capacity of this subcatchment was also improved by sensible water regulation. The water was not allowed to flow through the Kačležský fishpond in the upper part of the catchment. The retention volume of this fishpond of more than 1 mln m<sup>3</sup> was used in full and thus the Staňkovský fishpond was better prepared for the flood wave from the subcatchment. The total retention volume during the spring flood of 2006 of the fishponds outside the Třeboň fishpond system (already mentioned Braunaubach, Dračice and Koštěnický creeks catchments still affecting the region) reached 4.02 mln m<sup>3</sup> (data provided by Kardašova Řečice Fishery).

## CONCLUSIONS

The retention volume of all fishponds in the Třeboň region is about 50–60 mln m<sup>3</sup> of water. The real volume of water retained in the fishponds in 2002 flood was approximately 120 mln m<sup>3</sup>. This was, however, an uncontrollable state when many dams were overspilled.

A lot of ponds are not equipped with devices for safe spilling over large amounts of water. The examples from the past show that large damage was often caused when small fishponds burst open (e.g. the 0.62 ha large pond Slavíček). The earthen dams are often built of material of low quality (the New River dike). Some outlet devices are wooden.

Water management of fishponds is in compliance with the operational guidelines. Other ways of regulating may lead to financial losses for the pond owners with respect to fish production.

The retention capacity of the landscape has to be added to the retention volume of the fishponds. The retention volume of the landscape of the Třeboň region has been estimated at more than 200 mln m<sup>3</sup> in 2002.

Retention volume of river reservoirs is usually smaller than their storage volume, whereas retention volume of ponds is mostly larger than their water storage volume. This ratio is determined by morphology of a given water reservoirs. River reservoirs are constructed for storage of large water volume (e.g. for energy production). They are mostly situated in deep river valleys, where relatively short dam stores large water volume. Ponds are mostly situated in plains or basins, they are shallow and their dams are long with relatively high freeboard (comparing to the depth of water) available for water retention. During flood events in pond areas, water spills into surrounding landscape mostly rich in wetlands or meadows and flood does not cause severe damages.

Whereas the older papers about water management reported on good coordination between agriculture, forestry and fish husbandry, the reports written after the World War II expressed the fear of possible conflict of interest. These fears were justified during the flooding in 2002.

Comprehensive operational guidelines for the whole Třeboň region are important from the water management point of view.

If vegetation in the flooded areas tolerate and survive the flooding, the extent of damage is usually minor. The areas which sustain flooding can therefore be used for special forestry or farming.

A fishpond is a water management structure with many functions sensitively set into the landscape which we may call cultural landscape. If there is no fish production the pond becomes clogged and destroyed during several decades. In view of the extensive fish production it is worth trying to optimize the food chain in the fishpond and support the fish searching the natural food in order to maintain or improve the biodiversity of the ecosystem.

### Acknowledgement

Let me thank Mr. Kačány, who participated in many landscaping activities in the 1980s, Mr. Hule, a prominent authority on the history of fishponds, Mr. Kubů, former director of the Třeboň Fishery, who kindly provided me with manuscripts by Jindřich Šiman and other valuable information, and Mr. Šedivý, who is the chief engineer responsible for water management of the Třeboň Fishery.

The work was supported by the project MSM 2B20623.

### REFERENCES

1. Czech Hydrometeorological Institute: <http://www.chmi.cz>
2. Povodí Vltavy web pages: <http://www.pvl.cz>
3. PITHART D., KŘOVÁKOVÁ K., DUŠEK J., ŽALOUDEK J., 2008. Case study: Ecosystem services of a floodplain with a preserved hydrological regime, Czech Republic. In: The role of environmental management and eco-engineering in disaster risk reduction and climate change adaptation. Ed. N. Saalismaa *et al.* Geneva, ProactNet: 34–36.
4. PŘIKRYL I., 2004. Historický vývoj našeho rybníkářství a rybníčních ekosystémů. *Veronica* 1: 7–10.
5. ŠIMAN J., 1949. Vodohospodářský průzkum soudního okresu třeboňského se zvláštním zřetelem na Vitorazsko. Třeboň.
6. ŠIMAN J., 1959. Vodohospodářský plán třeboňského okresu. Okresní plánovací komise. Třeboň.
7. ŠUSTA J., 1997. Výživa kapra a jeho družiny rybníčné. *Carpio*, Třeboň
8. ŠVARC J., 1995. Oprava novořecké hráze. *Vodní hospodářství*, 10: 1–300.
9. TEPLÝ F., 1937. Příspěvky k dějinám českého rybníkářství. Praha.



## STRESZCZENIE

### **Funkcje starych stawów rybnych podczas występowania przepliwów powodziowych**

Słowa kluczowe: *hydrologia, ochrona przeciwpowodziowa, stawy rybne, zasoby wodne, zbiorniki wodne*

Stawy rybne, szczególnie hodowlane karpiove, oddziałują na reżim hydrologiczny rzek. Największy pobór wody ma miejsce w okresie wiosennym, zwykle w warunkach wysokich przepliwów, natomiast zrzut wody prowadzony jest w okresie jesiennym. Uważa się, że stawy rybne pełnią pozytywną rolę w obiegu wody w zlewni. Dotyczy to m.in. ich funkcji w ograniczaniu zagrożeń powodziowych dzięki retencjonowaniu wody w okresach występowania większych przepliwów. Na terenie Czech, w niektórych regionach, gospodarka stawowa jest bardzo rozwinięta. W wielu zlewniach zbudowano stawy o dużej powierzchni i dużej objętości retencjonowanej wody. Są to kompleksy stawów zbudowanych w dolinach rzecznych, do których woda doprowadzana jest w wyniku budowy jazu lub stopnia na rzece. Są to również zbiorniki powstałe na skutek przegrodzenia rzeki zaporą. Tworzą one wówczas tzw. stawy paciorkowe. Stawy rybne były budowane na terenie Czech oraz w innych krajach europejskich już w średniowieczu. W artykule przedstawiono krótką charakterystykę stawów rybnych wraz z ich historią oraz opisem starych rozwiązań konstrukcyjnych budowli piętrzących i upustowych. Szczególną uwagę zwrócono jednak na przedstawienie roli stawów w ograniczaniu zagrożeń powodziowych. Podane zostały przykłady ilości zretencjonowanej wody w okresach występowania przepliwów powodziowych. Podawane są przykłady świadomego, częściowego opróżniania stawów w celu zwiększenia pojemności retencyjnej, aby przechwycić maksymalny przepływ w rzece.

Received 29.09.2010

Reviewers:

*Dr Andrzej Lirski*

*Prof. Waldemar Mioduszeowski*

**Pokorný, J.; Lhotský, R. (2006): Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny. - *Vodní hospodářství* 56 (2): 31 - 34.**

# Význam mokřadů pro ovlivnění vodní bilance krajiny

Jan Pokorný, Richard Lhotský

## Klíčová slova

mokřad – retenční vody – monitoring

## Souhrn

**Mokřad je sezónně nebo trvale mělce zatopená či podmáčená plocha, kde se vytváří podmínky k rozvoji rostlin přizpůsobených k životu ve vodě. Uvádí se i další širší definice mokřadů. Stručně je vysvětlena retenční voda v mokřadech, v půdě, v rostlinách a úloha mokřadních rostlin v koloběhu vody a při disipaci sluneční energie v krajině. Je předložen jak příklad dlouhodobého monitoringu retenční vody v rašelinisti, tak příklad fungování krajiny s poměrně vysokým zastoupením mokřadů při extrémní povodni. Zmíněna je též úloha a využívání mokřadů při obnově krajiny.**

Termín *mokřad* je českým ekvivalentem anglického slova *wetland* (německy - Feuchtgebiete, francouzsky - terrains humide, rusky - pereuvlažnjonnye zemlji, slovensky - mokriade). Ekologie mokřadů se rozvíjí od padesátých let minulého století. Impulzem k rozvoji tohoto oboru byl Mezinárodní biologický program (IBP), který probíhal od konce šedesátých let. Obor ekologie mokřadů se rozvíjel v souvislosti s řešením otázek produkce sladkovodních ekosystémů. Československá věda podstatně přispěla k řešení tohoto programu a rozvoji oboru (Dykyjová, Květ 1978, Westlake et al. 1998, Květ et al. 1999, Patten 1990). Od konce šedesátých let se razí též termín mokřady (navrhli D. Dykyjová a J. Květ).

Přehled vodních a mokřadních lokalit České republiky zpracovali Chytil et al. (1999). Přehled stavu inventarizace a výzkumu mokřadů v ČR poskytuje sborník z celostátního semináře k 25. výročí Ramsarské konvence (Fošumová et al. 1996). V České republice probíhá každý druhý rok mezinárodní workshop na téma toky látek v mokřadech, referáty jsou pravidelně publikovány knižně (Vymazal 1999, 2001, 2003, 2005).

Zpravidla se uvádějí následující hlavní funkce mokřadů v krajině:

- akumulace a retenční vody,
- klimatizace evapotranspirací,
- sekvestrace (vázáni) oxidu uhličitého do biomasy a půdy,
- zadržování (vázáni) živin (kationty, dusík, fosfor i těžké kovy),
- produkce rostlinné biomasy,
- produkce ryb a dalších živočichů,
- biodiverzita – mokřady jsou nositeli druhové rozmanitosti,
- poskytují možnost rekreace.

## Definice mokřadů

Existuje více definic mokřadů. Mokřady zaujímají pozici mezi suchozemskými (terestrickými) a vodními (akvatickými) ekosystémy. Každá definice mokřadu vždy odráží potřeby či účel, pro něj byla vytvořena.

K definici mokřadů lze přistupovat dvěma odlišnými způsoby: založit ji (1) na procesech, které podmiňují jejich charakter, nebo (2) na výtčtu vnějších charakteristik, které tyto biotopy musí splňovat. První kategorie - funkční definice, jsou užívány obvykle v ekologickém kontextu, tedy pro potřeby studia a porozumění určujícím procesům, které v těchto ekosystémech probíhají. Výtčtem charakteristik jsou mokřady definovány obvykle pro legislativní účely.

Z podstaty procesů charakteristických pro mokřady vychází definice, kterou uvádějí Mitsch et Gosselink (2000):

Mokřad je ekosystém, který vzniká, když v důsledku zaplavení vodou v půdě převládá anaerobní (přesněji anoxické) procesy, což vyvolá vznik adaptací živých organismů (převážně rostlin) na zaplavení.

Do kategorie funkčních definic spadá také poněkud užší definice, která byla přijata v průběhu Mezinárodního biologického programu (IBP) (Westlake et al. 1988). Podle ní je mokřad definován jako:

*Území dominované specifickými druhy rostlin (makrofyty), jejichž produkce se odehrává převážně v atmosféře nad vodní hladinou, a přitom jsou tyto rostliny zásobeny takovým množstvím vody, které by bylo nadbytečné pro většinu ostatní druhů vyšších rostlin s prýty ve vzdušném prostředí.*

Podle definice IUCN (International Union for Conservation of Nature and Natural Resources) z r. 1971 (Gopal et al. 1990) jsou mokřady definovány jako:

*Území zaplavená vodou či zamokřená, přirozená či uměle vytvořená, dočasná či trvalá, s vodou stojatou či tekoucí, sladkou, brakickou či slanou. Zaplavená území, která jsou považována za mokřady, zahrnují rašelinisti, slatinisti s bylinnou i dřevinnou vegetací, ústí řek, zálivy, rybníky, tůně, jezera, řeky a vodní nádrže. Pokud jde o mořské a pobřežní ekosystémy, jsou zahrnuta území s hloubkou vody do 15 m.*

V podobném duchu je i definice Ramsarské úmluvy (Chytil et al. 1999, str. 15), v níž jsou mokřady definovány jako

*Území bažin, slatin, rašelinisti i území pokrytá vodou, přirozená či uměle vytvořená, trvalá či dočasná, s vodou stojatou či tekoucí, sladkou, brakickou či slanou, včetně území s mořskou vodou, jejíž hloubka při odlivu nepřesahuje 6 metrů.*

Ramsarská konvence na ochranu mokřadů byla podepsána zástupci prvých 18 států v roce 1971 v severoiránském Ramsaru. Úmluva byla podnícena snahou chránit mizející biotopy vodního ptactva, postupně se rozvinula na obecnou ochranu mokřadů a do roku 2005 ji podepsalo na 146 států. Sekretariát Ramsarské konvence (Gland, Švýcarsko) poskytuje informace o mokřadech ([www.ramsar.org](http://www.ramsar.org)).

V podmínkách ČR se často (intuitivně) rozlišují mokřady v užším slova smyslu a ekosystémy vodní (podle IUCN též mokřady) podle toho, v jakém prostředí se odehrává převážná část určujících ekologických procesů. Za mokřady považujeme často ty ekosystémy, v nichž převládá fixace uhlíku přímo z atmosféry, tedy emerzními listy mokřadních rostlin. Fixace uhlíku ponořenými částmi rostlin, ponořenými makrofyty a fytoplanktonem nehraje v takto vymezených biotopech zásadní úlohu. Na území ČR k typickým mokřadům patří:

- rákosiny (litorály rybníků),
- říční nivy,
- prameniště,
- zaplavované louky,
- lužní lesy,
- rašelinisti,
- podmáčené smrčiny.

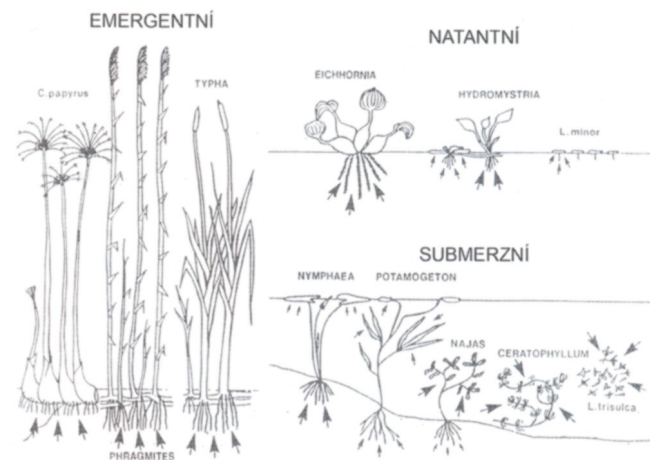
Lze převzít stručnou a výstižnou definici, kterou formuloval Patrick Denny (a wetland is a shallow, seasonally or permanently waterlogged or flooded area which normally supports hydrophytic vegetation). **Mokřad je sezónně nebo trvale podmáčená nebo mělce zatopená plocha, kde se běžně vytváří podmínky k rozvoji rostlin přizpůsobených k životu ve vodě.** Schematicky znázorněno na obr. 1.

Podle starších vymezení, která uvádějí Hejný et al. 1998 (např. Sjors 1948, Ratcliffe 1964) se za mokřady považují stanoviště s hladinou podzemní vody blízko povrchu, na nichž se vegetace musí přizpůsobit více méně trvalému zamokření.

Za vodní budeme považovat ty ekosystémy, v nichž probíhá fixace uhlíku převážně pod vodou prostřednictvím fytoplanktonu nebo makrofyt. Fotosyntéza v mokřadních ekosystémech probíhá tedy převážně na vzduchu, zatímco ve vodních ekosystémech převážně ve vodě.

Materiál EU „Wetlands Guidance“, který slouží jako dodatek k Evropské rámcové směrnici o vodě, mokřady nedefinuje ale popisuje jejich funkce v krajině.

Mokřadní rostliny jsou charakteristické schopností tolerovat zatopení kořenů i stonků. Zatímco běžné terestrické rostliny (včetně obilnin, ovocných stromů a většiny plodin) po několikadenním zatopení vodou hynou, Rostliny mokřadní zátopy tolerují, protože jsou schopny přivádět vzduch do zatopených orgánů, jsou méně citlivé k produktům anaerobního metabolismu, neztrácejí schopnost likvidovat volné radikály.



Obr. 1. Schéma typů mokřadních rostlin (Patrick Denny)



Mokřady (evidované) zaujímají přibližně v ČR 117 408 ha, což je 1,5 % plochy státu. Mokřady ubývají na celém světě, ustupují měsícům, komunikacím a odvodňují se zejména pro účely zemědělské produkce, většina zemědělských plodin totiž netoleruje zaplavení. Navíc, odvodnění tropických a subtropických mokřadů zamezuje množení komárů snižuje výskyt malárie.

Úlohu mokřadů ve vodní bilanci krajiny lze pojednat v následujícím členění:

- Akumulace vody v půdě
- Retence vody nad povrchem půdy při záplavě
- Retence vody v biomase rostlin
- Koloběh vody (evapotranspirace – kondenzace) svázaný s disipací sluneční energie

### Akumulace vody v mokřadní půdě

Mokřadní půda je charakterizována vyšším obsahem organických látek, které se v půdě prosycené vodou hromadí – v půdě chudé na kyslík převládá akumulace organických látek nad jejich rozkladem. Proto jsou nívní půdy a půdy na místech odvodněných mokřadů úrodné. Nejvyšší obsah organických látek mají rašeliny. Organické látky v půdě zvyšují schopnost půdy vázat vodu. Minerální půdy váží méně vody, po utužených půdách voda stéká, strukturními minerálními půdami rychleji protéká. Mokřadní půdy tedy váží vodu a umožňují její recyklaci transpirací prostřednictvím kořenujících rostlin. Odvodněné mokřadní půdy podléhají rozkladu (mineralizaci). Vznikající oxid uhličitý se uvolňuje do atmosféry zatímco uvolňované živiny přecházejí do vody a způsobují eutrofizaci povrchových vod. Rozklad mokřadních půd je provázen poklesem terénu. Je známo, že odvodněná území v Holandsku během dvou staletí „poklesla“ o několik metrů a terén se tak dostal pod úroveň mořské hladiny. Rychlost rozkladu mokřadní půdy po jejím odvodnění je o jeden až dva řády vyšší nežli její tvorba hromaděním organických látek.

### Retence vody nad povrchem půdy

je evidentní ve funkčních nivách toků, kde dochází při zvýšeném průtoku vody k jejímu rozlívání. Mokřad (niva) je porostlý vegetací, která snáší zatopení, takže po ústupu záplavy vegetace nehyne ale naopak intenzivně roste a využívá tak dostatek vody a živin. Většina zemědělských plodin a lesních stromů déletrvajících záplavu nesnáší a odumírá. Záplava v odvodněné rekultivované nivě tedy poškozuje vegetaci zatímco záplava v nivě porostlé vegetací mokřadní spíše zvyšuje produkci rostlin. Niva zatopená vodou o průměrné hloubce 0,5 metru při rozloze 600 ha zadrží 3 miliony kubických metrů vody. Zkušenosti získané po vyhodnocení následků povodně z roku 2002 ukazují, že dlouhodobou záplavu přežily nejenom vrby ale i duby a jasan. Následkem postanoxického efektu hynuly břízy a překvapivě i olše. Rostliny získávají lepší odolnost vůči zatopení, pokud jsou vystaveny kolísavé hladině podzemní vody a občasně záplavě – jejich kořenový systém se rozvíjí lépe a je flexibilní.

### Retence vody v rostlinách

Mokřadní rostliny obsahují přibližně 10% sušiny a 90% vody. Za rok naroste na metru čtverečném v našich podmínkách v mokřadech 0,5 – 1,0 kg sušiny rostlin. V jednom kilogramu sušiny bylo navázáno přibližně 9 kg vody. Na vytvoření jednoho kilogramu sušiny se ovšem spotřebovalo 100 – 200 litrů vody (transpirační koeficient). Zásadní otázkou je, zda voda transpirovaná voda mizí z porostu nebo zda kondenzuje zpět. V aridních oblastech se ztrácí (otevřený koloběh) v územích s dostatkem vegetace vodní pára kondenzuje zpět, voda obíhá, a tlumí se tak výkyvy teplot.

Víceleté mokřadní porosty váží několik desítek litrů vody na metr čtverečný ve formě živé rostlinné biomasy (tzv. zelená voda).

### Koloběh vody v mokřadech

Evapotranspirace je zásadním procesem disipace sluneční energie v krajině, je definována jako výdej vody porostem. Jde tedy o výpar vody z půdy (evaporace) a výdej vody rostlinami (transpirace). Různé typy rostlin mají různou schopnost transpirace. Rostliny přizpůsobené k životu za nedostatku vody (xerofyty, sukulenty) mají nízkou transpiraci, naopak rostliny mokřadní dokáží transpirací převést vysoké množství vody. Jehličnaté stromy mají obecně nižší transpiraci nežli stromy listnaté. V našich podmínkách se za slunného dne ve vegetační sezóně z mokřadních porostů odpaří několik litrů vody z metru čtverečného za den (Příbáň, et al. 1992). Evapotranspirace bývá po několika slunných dnech většinou limitována nedostatkem vody. V aridních zavlážených oblastech musejí farmáři počítat se ztrátami vody evapotranspirací i vyššími nežli je 10mm za den. To je hodnota vyšší nežli odpovídá tzv. potenciální evapotranspiraci. Energií na výpar vody dodává nejenom sluneční záření, ale i teplý a suchý vzduch, který přichází

z okolí. Mokřadní rostliny dostatečně zásobené vodou v pokusném zařízení nedaleko Arlonu (Belgie) byly schopné odebrat za den a odpařit i více než 20 litrů vody z metru čtverečného (Kučerová et al. 2001).

V mokřadních porostech se většina sluneční energie spotřebovává právě na výpar vody. Podíl mezi množstvím energie uvolňované jako teplo (zjevné teplo, sensible heat) a množstvím energie, které se váže evapotranspirací do vodní páry (skupenské teplo, latent heat) se nazývá Bowenův poměr.

### Retenční schopnost rašeliníště

Dlouhodobá měření na rašeliníšti Červené blato v CHKO a Biosferické rezervaci Třeboňsko umožnila vyhodnotit schopnost různých porostů zadržovat vodu v závislosti na množství srážek (Kolmanová et al. 1999). Viz graf na obr. 2., který ukazuje i situaci v červenci v roce 1997 po dvou obdobích extrémně vysokých srážek (povodně na Moravě). Z grafu je zřejmé, že rašeliníště bylo nasyceno vodou po první vysoké srážce a druhou již nemohlo zadržet.

Retenční schopnost krajiny s vysokým zastoupením mokřadů se projevila při povodni v roce 2002. Z grafu kulminačních průtoků řek Vltavy, Otavy a Lužnice při povodni v srpnu v roce 2002 (Bouček 2003) je na průtoku řeky Lužnice patrně zploštění kulminační vlny i opoždění kulminace o cca 60 hodin; důvodem je rozlívání vody v Třeboňské pánvi. Voda se zdržela v jedné přirozené nivě řeky Lužnice a jejích přítoků a dále ve výtopách rybníků. Například rybník Rožmberk zadržoval desetnásobek obvyklého objemu vody. Množství vody zadržané třeboňskou rybníční soustavou v srpnu 2002 bylo srovnatelné s retencí přehrad vltavské kaskády.

### Využití mokřadů při obnově krajiny

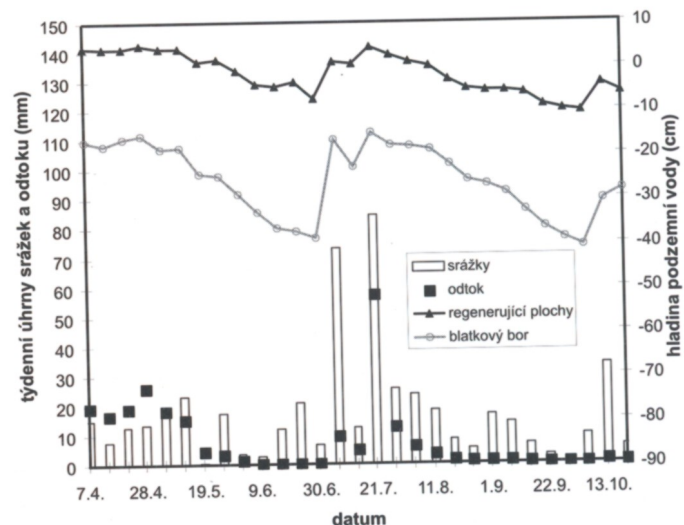
Krajina dlouhodobě využívaná ztrácí vodu a trvalou vegetaci. Archeologové nacházejí obvykle staré civilizace pod nánosy písku. Nedostatkem vody trpí často i civilizace současné. V Austrálii (NSW) selhávají současné principy hospodaření a vodohospodářské legislativy. Vodní nádrže, ze kterých se čerpá voda do největších měst (Sydney), trpí dlouhodobým nedostatkem vody. Farmáři nesmí proto vodu zadržovat vodu na svých pozemcích. Krajina tak ztrácí vodu i trvalou vegetaci. Z úzkého vodohospodářského hlediska je evapotranspirace procesem, kterým se ztrácí voda z povodí (Calder 1990). Někteří farmáři vědomě porušují zákon a zadržují dešťovou vodu, aby podpořili rozvoj trvalé vegetace, a tak postupně zlepšují půdu a mikroklima. Jde o činnost z hlediska setrvalého hospodaření prospěšnou avšak protizákonnou. Takové hospodaření praktikuje například Peter W. (Natural sequence farming) nebo Antony Coote na cca 2 300 ha zemědělské půdy.

Mokřadů se využívá též při obnově krajiny po těžbě uhlí v Sokolovské pánvi. Mokřady zakládáné jednoduchým způsobem na výspěch zadržují vodu a živiny a vytváří se v nich rychleji půda bohatá na organické látky.

Mokřady příznivě ovlivňují mikro- a mezoklima, což lze demonstrovat pomocí satelitních snímků krajiny pořízených v oblasti IČ spektra. Takové teplotní mapy ukazují nižší rozdíly teplot v krajině s relativním dostatkem vody jako je například Třeboňsko oproti Mostecku, které následkem povrchové těžby vody postrádá.

### Literatura

Bouček, J. a kol. (2003): Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.M. Podbabská 30, SIS ČHMÚ



Obr. 2. Graf průběhu srážek, odtoku a hladin podzemní vody na dvou staništích rašeliníště Červené blato v průběhu vegetační sezóny roku 1997 (Kolmanová et al. 1999)



- Calder, I. R. (1990): Evaporation in the Uplands. John Wiley and Sons, Chichester, New York, Brisbane, Toronto, Singapore. pp 148
- Dykjovová, D.; Květ, J. (1978): Pond Littoral Ecosystems, Structure and Functioning. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, pp. 464
- Fořumová, P.; Hakr, P.; Husák, Š. (eds.) (1996): Mokřady České republiky. Sborník abstraktů z celostátního semináře k 25. výročí Ramsarské konference. Třeboň 3. - 5. 12. 1996. Český ramsarský výbor, MŽP, Botanický ústav AVČR, pp. 167
- Gopal, B.; Květ, J.; Löffler, H.; Masing, V.; Patten, B.C. (1990): Definition and Classification. In: Patten, B.C. et al. Wetlands and Shallow Continental Water Bodies, vol. I. SPB Academic Publishing bv, The Hague, The Netherlands, pp. 9 - 15.
- Hejný, S.; Segal, S.; Raspopov, I. M. (1998): General ecology of wetlands. In: Westlake, D.F.,
- Květ, J.; Szczepański, A., 1998, The Production Ecology of Wetlands, The IBP Synthesis, Cambridge University Press 568 pp
- Chytil, J.; Hakrová, P.; Hudec, K.; Husák, Š.; Jandová, J.; Pellantová, J., (eds) (1999): Mokřady České republiky - přehled vodních a mokřadních lokalit České republiky, Český ramsarský výbor, 326 pp.
- IUCN (1971): The Ramsar Conference: Final Act of the International Conference on the Conservation of Wetlands and Waterfowl. Special Supplement, IUCN Bulletin 2(19):1 - 4
- Kolmanová, A., Rektoris, L., Přibáň, K. (1999): Retention ability of bog pine peat bog ecosystem and its response to downpour precipitation. In: Vymazal J.(ed.) Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands. Backhuys Publishers, Leiden, pp 177 - 182
- Kučerová, A.; Pokorný, J.; Radoux, M.; Němcová, M.; Cadelli, D.; Dušek, J. (2001): Evapotranspiration of small-scale constructed wetlands planted with ligneous species. In: Vymazal, J.(ed.) Transformation of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands, pp. 413 - 427.
- Květ, J.; Jeník, J.; Soukupová, L. (1999): Freshwater wetlands and their sustainable future. A case study of Třeboň Biosphere Reserve, Czech Republic, Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. pp 494.
- Mitsch, J. W.; Gosselink, J. G. (2000): Wetlands, John Wiley and Sons, Inc. pp 920
- Patten, B. C.(ed.) (1990): Wetlands and Shallow Continental Water Bodies. Volume 1. Natural and Human Relationships, SPB Academic Publishing bv The Hague, The Netherlands, pp 758
- Přibáň, K.; Jeník, J.; Ondok, J. P.; Popela, P. (1992): Analysis and Modeling of Wetland Microclimate. The Case Study Třeboň Biosphere Reserve., Academia, Praha, 144 pp.
- Vymazal, J. (1999): Nutrient Cycling and Retention in Natural and Constructed Wetlands. Backhuys Publishers, Leiden, pp 198
- Vymazal, J. (2001): Transformation of Nutrients in Natural and Constructed Wetlands, Backhuys Publishers, pp 519
- Vymazal, J. (2003): Wetlands, Nutrients, Metals and Mass Cycling. Backhuys Publishers, pp 374
- Vymazal, J. (2005) : Natural and Constructed Wetlands, Nutrients, Metals and Management. Backhuys Publishers pp. 417
- Westlake, D. F.; Květ, J.; Szczepanski, A. (eds.) (1988): Ecology of Wetlands. IBP-Wetlands Synthesis Volume. Cambridge University Press, London.
- Westlake, D. F.; Květ, J.; Szczepanski, A. (eds.) (1998): The Production Ecology of Wetlands, The IBP Synthesis, Cambridge University Press, 568 pp.

RNDr. Jan Pokorný, CSc.

ENKI, o.p.s.

Ústav systémové biologie a ekologie AVČR

Dukelská 145, 379 01 Třeboň

email: pokorny@enki.cz

Mgr. Richard Lhotský

ENKI, o.p.s.

Dukelská 145, 379 01 Třeboň

Relevance of Wetlands for Water Balance in the Landscape (Pokorný, J.; Lhotský, R.)

#### Key Words

wetlands - water retention - monitoring

Wetlands are understood as shallow, seasonally or permanently waterlogged or flooded areas which normally supports hydrophytic vegetation. Various definitions of wetlands are given. Water retention above soil surface, in wetland soil and role of wetland plants in water cycle and in solar energy dissipation are briefly explained. Examples of long term monitoring water retention in a peat bog and functioning of a wetland landscape during flood are given. Role of wetlands in landscape restoration is mentioned.

## ? Právní poradna !

Mám malou vodní elektrárnu u svého domu, bývalého mlýna. Voda k ní je přiváděna z vodního toku náhonem dlouhým asi 600 m. Z mé vodní elektrárny je pak voda odváděna zpět do vodního toku odpadem dlouhým asi 100 m.

Mám povolení k nakládání s vodami- využití vodní síly k výrobě elektrické energie podle zákona č. 138/1973 Sb. V současné době mi zdejší obecní úřad tvrdí, že nemám všechna potřebná povolení k nakládání s vodami a provozuji svou vodní elektrárnu v rozporu s platnými předpisy. Je tomu tak?

#### Odpověď:

Vodní elektrárna, respektive její stavební část, náhon i Vámi zmiňovaný „odpad“ i jez, který patrně slouží k vzdouvání povrchové vody ve vodním toku, jsou vodními díly podle ustanovení § 55 odst.1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů.

Některá vodní díla slouží k nakládání s vodami, které je možné jen na základě povolení příslušného vodoprávního úřadu podle tohoto vodního zákona nebo podle povolení vydaného tehdy příslušnými vodo-hospodářskými orgány podle předchozích předpisů, např. podle zákona č. 138/1973 Sb., o vodách, ve znění pozdějších předpisů.

Vodní zákon definuje nakládání s vodami v ustanovení § 2 odst. 9 jako jejich vzdouvání pomocí vodních děl, využívání jejich energetického potenciálu, jejich využívání k plavbě nebo plavení dřeva, k chovu ryb nebo vodní drůbeže, jejich odběr, vypouštění, odpadních vod do nich a další způsoby jimiž lze využívat jejich vlastností nebo ovlivňovat jejich množství, průtok, výskyt nebo jakost.

Ve Vašem případě zcela jistě dochází ke změně výskytu povrchových vod jejich odváděním náhonem z koryta vodního toku a ovlivňováním průtoku vodního toku.

V místě Vaší vodní elektrárny dochází k využití energetického potenciálu povrchové vody a dále je povrchová voda odváděna zpět do vodního toku „odpadem“ kde dochází rovněž ke změně průtoku.

Zda se v konkrétním případě jedná o nakládání s vodami, k němuž je třeba povolení podle vodního zákona, případně o jaké povolení se jedná, řeší příslušný vodoprávní úřad. Ve Vašem případě má tedy obecní úřad, jako vodoprávní úřad, pravdu a kromě povolení k využití vodní síly k výrobě elektrické energie, podle vodního zákona využití energetického potenciálu, je třeba k provozu Vaší vodní elektrárny ještě povolení k přivádění povrchové vody náhonem a jejímu odvádění „odpadem“.

Jaroslava Nietscheová  
prom. práv.

### ? § ? § ?

Máte-li nějakou vodo-hospodářskou otázku, na kterou hledáte odpověď, pošlete ji k nám do redakce, nejlépe e-mailem na [stransky@vodnihospodarstvi.cz](mailto:stransky@vodnihospodarstvi.cz). Pokusíme se najít někoho, kdo na otázku zná i odpověď. Vaše redakce

Agentura ochrany přírody a krajiny ČR  
ve spolupráci s projektem Technologie Transfer Wasser  
zvou na odborné školení

### VODOHOSPODÁŘSKÉ REVITALIZACE

Kongresové centrum Výzkumného ústavu Silva Taroucy  
pro krajinu a okrasné zahradnictví v Praze – Průhonických  
e-mail [Petr\\_Bulena@nature.cz](mailto:Petr_Bulena@nature.cz)  
nebo na adresu AOPK ČR,  
130 23 Praha 3, Kališnická č. 4-6

**Lhotský, R.(2006): Retenční funkce Třeboňské rybniční soustavy. -  
*Vodní hospodářství* 56 (12): 410 - 414.**



# Retenční funkce Třeboňské rybníční soustavy

Richard Lhotský

## Klíčová slova

Třeboňsko – rybníky – povodně – retence - Lužnice

## Souhrn

Od doby svého vzniku (především 16. století) plnily rybníky Třeboňské rybníční soustavy (TRS) nejen funkci rybochovnou, ale i akumulační a retenční. Některé z těchto rybníků byly dokonce již jako retenční nádrže vystavěny. Třeboňská rybníční soustava se nachází v horním povodí řeky Lužnice (cca 1700 km<sup>2</sup>) a při povodních vykazuje retenci 50 – 70 mil. m<sup>3</sup>. Při extrémních povodních, např. v roce 2002 zadržely rybníky TRS 110 – 140 mil. m<sup>3</sup>, šlo ovšem o neovladatelný stav, během kterého docházelo již k významným škodám na rybnících, ohrožujícím jejich vodohospodářskou funkčnost. Retenční funkce rybníků na Třeboňsku je významná, je ovšem nutné udržovat technické vybavení a vodohospodářské objekty na rybnících v řádném stavu. TRS jako celek by měla mít vypracován vlastní manipulační řád.



Povodeň v roce 2002 i jarní záplavy 2006 zasáhly i oblast jihočeských rybníčních soustav, především v oblasti Třeboňské pánve a Blatenska. S obavami vzhlíželi obyvatelé rybníků blízkých obcí k nádržím, které byly dosud v zájmu lidí v parných měsících jako koupaliště a na podzim, kdy vydávají šupinaté plody, v některých případech se obavy lidí tragicky naplnily, ve většině případů však rybníky náporu vod úspěšně vzdorovaly. Přispívají tedy rybníky významně k transformaci povodně, nebo mohou být slabým článkem a to, že nebylo více zničených vesnic pod jejich hrázi je pouze zázkamem?

## Historie třeboňských rybníků

Je těžko říci, kdy se v kraji České kotliny objevily první umělé vodní nádrže. Jisto je, že jejich funkce rybochovná nebyla první funkcí, pro kterou byly stavěny, jako tomu bylo kupříkladu v římském impériu a jeho piscinách, nádržích určených k přechovávání čerstvých ryb. Domníváme se, že první funkcí budovaných vodních nádrží bylo stahovat vodu z osídlované krajiny a umožňovat její obdělávání. Při tomto odlesňování žehem, zdárření, se do prohlubní stahovala voda, nyní již neodpařovaná vegetací. Jednu takovou velkou prohlubeň bychom dnes hledali na Novohradsku - později osazena hrází, stala se rybníkem Žárem, jedním z největších tzv. nebeských rybníků. Snad ještě starší nádrže bychom našli v oblastech hornictví, voda z umělé zřízovaných nádrží sloužila k praní vytěžené rudy. Takto jsou zmiňovány rybníky Českomoravské vysočiny nebo Strakonicka. Voda z rybníků brzy poháněla vodní kola mlýnů, vitorazských hamrů, trkačů – čerpadel odčerpávajících vodu ze stříbrných dolů Rudolfovska. Kdybychom použili současnou terminologii, takto nalézáme funkci energetickou. Když ve 13. století začaly měřičkové Řádu Německých rytířů se stavbou rybníků pánevních, dostávala svou dnešní tvář i dosud bažinatá krajina Třeboňska a Jindřichohradecka.

S tím, jak rychle se během dvou, tří století rozvíjela stavba rybníků (stavů) a jejich technologie – tarasné hráze, výpusť, objevuje se potřeba větší regulace vodních poměrů v kraji a to jak ve smyslu přívodu vody, tak i ochrany před náhlými povodněmi. Oblast Třeboňska je znala dobře, přicházely dokonce ze tří stran – od jihu po Lužnici, od jihovýchodu, z Jindřichohradecka a Novobystřicka po říčkách Skřemelici, Dračici a Hostici, dnešním Koštěnickém potoce a od jihozápadu po Spolském potoce. Není účelem tohoto článku detailněji se zabývat historií Třeboňské rybníční soustavy, ale uvedme si alespoň některé klíčové stavby.

Štěpánek Netolický, první z významných stavitelů, vybudoval mimo jiné jedny z nejkrásnějších (a nejurodnějších) rybníků Třeboňska – Velký Tisý, Opatovický, Koclířov, Kaňov, Záblatý, Horusický, ale především vybudoval Zlatou stoku (45,2 km) rozšířením a prodloužením stávající Landštejnské strouhy. Zlatá stoka, jakkoliv je dílem užitečným při manipulaci s vodou v rybníční soustavě (zásobuje vodou téměř 2700 ha rybníčních ploch), její funkce při extrémních povodňových stavech je velice omezená, její koryto má malou kapacitu. Štěpánek Netolický byl otcem myšlenky založit nad Třeboní rozložitý rybník Hrádeček, vlastní stavbu provedl až jeho nástupce Mikuláš Rutard. Hráze se ale vortila a opakovaně neunesla přívaly vod ze srážkově vydatné oblasti Cepského povodí. Mikuláš Rutard se ovšem na Chlumecku projevil jako mimořádný vodohospodář. Koryto povodňově zákeřného Koštěnického potoka (pův.

410

Hostice) přesunul jižně a zaústil do Lužnice o 3 km (!) výše proti proudu. Vědomí si ovšem mimořádně ničivých účinků povodní na Koštěnickém p., vybudoval v polovině 16. století rybník Staňkovský, jehož téměř patnáct metrů vysoká hráz měla odolat i těm největším vodám. Dílo svým celkovým objemem přes 7 mil. m<sup>3</sup> po právu patří mezi klíčová vodohospodářská díla celé oblasti.

Nejnámější vodohospodářské úpravy na Třeboňsku přišly s nástupem Jakuba Krčína. Jeho střežným dílem je pochopitelně rybník Rožmberk, ovšem plánovaný již Štěpánkem, monumentální rybníční pomník vládnoucímu rodu, který svou hrází uzavírá povodí o ploše 1375 km<sup>2</sup>. Ze dvou stran potřeboval Krčín ochránit Rožmberk. Největší nebezpečí znamenala pochopitelně řeka Lužnice, na jejímž toku hráz Rožmberka leží. K ochraně Rožmberka vystavěl Krčín tzv. Novou řeku, umělý, 13,5 km dlouhý kanál dokončený roku 1590, který měl sloužit k odvedení velkých vod z Lužnice do Nežárky, čímž byla ochráněna hráz Rožmberka. Další hrozbou pro jeho Rožmberk (ostatně i pro město Třeboň) byl a stále je Spolský potok, na jehož toku už ale Krčín vystavěl rybník Svět a Spolský.

Po zlaté době českého rybníčního stavitelství přišla třicetiletá válka, která znamenala naprostý úpadek rybníčního hospodaření, ze kterého se rybníky již nikdy zcela nevzpamatovaly. Zavedení pěstování cukrové řepy a potřeba orné půdy v 19. století byly další ranou pro rybníkářství, ovšem oblast Třeboňska, na rozdíl např. od Pardubicka, a to i období přestála. Ve výčtu rybníkářů nesmíme opomenout v 19. a 20. století Josefa Šustu, který se věnoval především intenzifikaci chovu ryb a oblastí vodohospodářské se věnoval pouze okrajově. Skvělymi znalci vodohospodářských poměrů byli ovšem Ing. Jindřich Šiman a projektant vodních staveb, Ing. Josef Bezpalec, zvláště souhrnná díla „Vodohospodářský průzkum soudního okresu Třeboňského“ (1949) a „Vodohospodářský plán třeboňského okresu“ (1959) prvého z dvojice jmenovaných nebyla dosud překonána.

K významným úpravám odtokových poměrů v Třeboňské pánvi došlo v šedesátých, sedmdesátých a osmdesátých letech 20. století. Tehdy se realizovaly vodohospodářské soubory staveb odstraňující především havarijný stav objektů a hrází na mnoha rybnících, úpravy na stech kilometrech toků a stok v lučních, polních, lesních ( $Q_1 - Q_2$ ) a v zastavěných tratích obcí ( $Q_{100}$ ) s ohledem na povodňové průtoky. Z pohledu retence rybníků je nutné zmínit především: rekonstrukci hráze v havarijním stavu a vybudování sdruženého výpustního objektu rybníka Hejtmána, vybudování „Odlehčovače“ (viz níže), úpravy a budování objektů na Zlaté stoce často v několikametrové vrstvě rašeliny, rekonstrukce Novořeckých splavů. Investiční náklad těchto staveb již tehdy dosáhl několika set milionů korun. Pro závažnost a složitost celé vodohospodářské problematiky na Třeboňsku zřídil tehdejší generální dodavatel, Hydroprojekt Praha, speciální detašované pracoviště v Třeboni. Vodohospodářské stavby byly již tehdy budovány s ohledem na podmínky zařazení Třeboňska na seznam biosférických rezervací UNESCO a ve spolupráci s nově zřízenou Správou CHKO Třeboňsko.

## Vodohospodářské poměry Třeboňské rybníční soustavy

Vymezení oblasti Třeboňské rybníční soustavy je poněkud problematické. Zatímco geograficky je snadno definovatelné Třeboňskou pánvi, vodohospodářsky je nutné vzít v úvahu celé povodí Lužnice od pramene (Novohradské hory), přes rakouské území včetně jejích přítoků. Pravá část povodí Lužnice tak zasahuje až ke Kunžaku, Jindřichovu Hradci a Nové Bystřici. Ani levá strana povodí není z nejménších. Pramenné oblasti zde nacházíme na východních svazích Lišovského prahu nedaleko Rudolfa (Spolský a Miletínský potok) nebo u Dolního Bukovska, Drahošic či Ševětína. Ohraničíme-li tedy Třeboňskou rybníční soustavu ze severu soutokem Lužnice s Nežárkou, pak dostáváme území o ploše 1700 km<sup>2</sup>. Na druhou stranu, rybníky Třeboňské pánve spadající do povodí Nežárky nejsou do Třeboňské rybníční soustavy zahrnuté.

Přirozenou páteří celého území je pochopitelně řeka Lužnice, pramenící na rakouské straně Novohradských hor. Nejvýznamnějším rakouským přítokem Lužnice je říčka Braunaubach (Skřemelice, Klášterecký potok), pramenící jižně od obce Klášter na Novobystřicku. Na soutoku s Lužnicí nedaleko rakouského Gmündu má Skřemelice povodí 293 km<sup>2</sup> (Lužnice 275 km<sup>2</sup>) a průběh povodní na obou tocích, resp. souběh kulminací je rozhodující pro průběh povodně na dolním toku Lužnice, především v oblasti tzv. Novořeckých splavů. V povodí Skřemelice se nachází řada rybníků, které ovšem, pro malá vlastní povodí, nemají větší retenční význam při větších povodních. Celková plocha těchto rybníků je 400 ha s odhadnutým normálním objemem 4,3 mil. m<sup>3</sup> [4], [5].

Dalším významným přítokem je až na českém území Dračice (povodí - 155 km<sup>2</sup>), pramenící rovněž na Novobystřicku. Také ona má, podobně jako Skřemelice, významný vliv na průběh povodně na Lužnici, povodňovou vlnu lze však do určité míry ovlivnit několika průtočnými rybníky v České republice i v Rakousku (Herrenteich a Schönauerteich). Celková plocha těchto rybníků je 279 ha s odhadnutým normálním objemem 3 mil. m<sup>3</sup> [5].



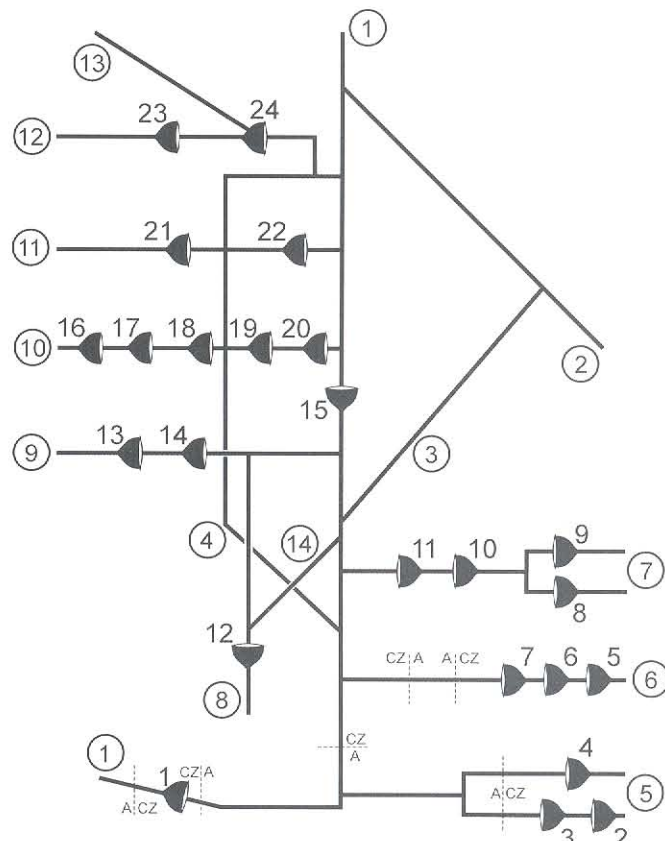
Třetím klíčovým přítokem Lužnice před profilem „Novořeckého rozvodí“ je Koštěnický potok (Kačležský p., Hostice), pramenící jižně od Kunžaku na Jindřichohradecku. Na jeho toku nalezneme tři významné rybníky, Kačležský (197 ha), Staňkovský (276 ha) a Hejtman (80 ha), z nichž především Staňkovský má významnou retenční funkci, ostatně jako akumuláční a retenční byl vystavěn. Jeho retenční objem je stanoven manipulačním řádem na 2,4 mil. m<sup>3</sup>.

Jednou z nejvýznamnějších vodohospodářských staveb Třeboňské rybníční soustavy je Nová řeka, umělý kanál odvádějící část průtoku Lužnice do Nežárky. K manipulaci s vodou Lužnice (rozdělení mezi Novou řekou a Starou řekou – Lužnicí) slouží dva „Novořecké splavy“ – Jemčina a Splav a třetí, 1600 m níže na Nové řece položený „Dušákovský splávek“. V první části svého toku je Nová řeka na svém levém břehu ohrázována v délce zhruba 6,5 km. Materiál využitý ke stavbě hráze byl místní, značně nekvalitní a nesoudržný [6]. Však také novořecká hráz utrpěla při většině velkých vod rozsáhlé škody. Již během stavby, v roce 1586, strhaly jarní vody Dušákovský splav, že se k němu ani Krčín „dostati nemohl“. V roce 1670 byla poničena hráz v délce 27 m, roku 1730 byla protržena na dvou místech, roku 1804 dokonce na pěti místech, přičemž nejdelší nátrž byla dlouhá 72 m. Při povodni 1890 byla hráz protržena na 4 místech, hráz byla splavena až na nepropustné podloží. Následně byla novořecká hráz opravena v roce 1891 [1]. Na další opravy hráze čekala přes sto let, první etapa opravy začala v roce 1992 [6]. K rozsáhlé destrukci novořecké hráze došlo během povodně 2002 i přesto, že hráz byla v délce 70 m překopána, aby se zabránilo jejímu většímu poškození. Rovněž během jarní povodně 2006 došlo k poškození novořecké hráze, především řadou prusaků s vyplavením zeminy.

Manipulace s vodou na Novořeckých splavech se řídí manipulačním řádem, platí však, že za nepovodňových průtoků se do Staré řeky přepouští voda dle potřeb rybníka Rožmberka. Za nižších povodňových průtoků se udržuje na Staré řece průtok  $Q = 6 \text{ m}^3/\text{s}$  a Nové řece průtok do  $Q = 50 \text{ m}^3/\text{s}$ . Při průtocích na Lužnici větších než  $56 \text{ m}^3/\text{s}$  se dělí průtok postupným otevíráním splavů a převáděním vody do Staré řeky. Zatímco levý břeh Nové řeky je chráněn hráží, pravá strana je otevřena do širokých luk a močálů (cca 250 ha) a působí jako významný retenční prostor odhadovaného objemu 4 mil. m<sup>3</sup>, který obvykle postačuje k tomu, aby se povodňová vlna Nové řeky nesetkala s kulminací Nežárky. Při mimořádných situacích (jarní povodně, opožděná kulminace povodně na Nežárce) však k souběhu kulminací může dojít, což mívá neblahé důsledky pro sídla na dolním toku Lužnice (Veselí n.L., Soběslav).

Zraky vodohospodářů i obyvatel vesnic a měst podél Lužnice se při povodních obrazejí především k Rožmberku, jehož hráz uzavírá nejen povodí Lužnice (odlehčené Novou řekou), ale i povodí tzv. Prostřední stoky (205 km<sup>2</sup>), která v sobě zahrnuje srážkově velmi vydatné povodí Spolského potoka a Cepské povodí. Celkem tak hráz Rožmberka uzavírá povodí o ploše 1375 km<sup>2</sup>.

Spolský potok (85 km<sup>2</sup>) a jeho přítoky pramení v oblastech západně a jihovýchodně od Ledenic, v oblastech, které se vždy vyznačovaly prudkými a vydatnými srážkami, průměrná dlouhodobá roční srážka na povodí je 680 mm [8]. Jeho závěrový profil tvoří rybník Svět (215 ha) v těsném sousedství Třeboně. Aby jeho tvurce, Jakub Krčín, zmínil možné dopady velkých vod na jeho hráz, která až do roku 2002 nebyla vybavena bezpečnostním přelivem, vybudoval nad ním rybník Spolský (137 ha), který tak plnil funkci retenční nádrže. Jak uvidíme později, právě rybníky na Spolském potoce byly postiženy nejničivějšími povodněmi. Odpad od rybníka Světa se před Rožmberkem spojuje s Prostřední stokou, výše nazývanou Podřezanskou, která odvodňuje rozsáhlé oblasti lesních



**Obr. 1 - Třeboňská rybníční soustava – hlavní toky a významné rybníky. Toky: 1. Lužnice, 2. Nežárka, 3. Nová řeka, 4. Zlatá stoka, 5. Skřemelice, 6. Dračice, 7. Koštěnický potok, 8. Prostřední stoka, 9. Spolský potok, 10. Miletínský potok, 11. Dubenka, 12. Bošilecký potok, 13. Bukovský potok, 14. Odlehčovač. Rybníky: 1. Kapelníkuv, 2. Kačer, 3. Romavský, 4. Lesní, 5. H. a D. Žižpašský, 6. Osika, 7. Mnišský, 8. Panský, 9. Kačležský, 10. Staňkovský, 11. Hejtman, 12. Podřezanský, 13. Spolský, 14. Svět, 15. Rožmberk, 16. Zvíkovský, 17. Vlkovický, 18. Dvořistě, 19. Koclířov, 20. Velý Tisý, 21. Záblatý, 22. Ponědražský, 23. Bošilecký, 24. Hrusický,**

rašeliníšť u obcí Cep a Bor na Suchdolsku. Jakkoliv vysoká je retenční schopnost odvodněných ploch třeboňských rašeliníšť, jarní vody v Prostřední stoce každoročně zaplavují předměstské části Třeboně a návštěvníkům města ukazují, proč se několika set hektarové plochy luk východně od Třeboně jmenují právě „Mokrý louky“. Pro odlehčení byl v sedmdesátých letech vybudován umělý kanál tzv. Odlehčovač, spojující Cepské povodí s Lužnicí, který, v případě pročištěného koryta, může odvádět až 10 m<sup>3</sup>/s a doslova odlehčuje Třeboni, když norná stěna na Podřezanské stoce snižuje její průtok za nižších povodňových stavů na 6,0 m<sup>3</sup>/s (do Q25).

Rybník Rožmberk (vodní plocha při hospodářské hladině – 480 ha, katastrální plocha – 675 ha) [8] plní, podobně jako ostatní větší vodní nádrže, několik funkcí. Vedle rybochovné jde především o retenční funkci – transformaci povodňových vln a významná je rovněž funkce akumuláční. Voda z nádrže se v množství



**Obr. 7 – Přepad vody přes bezpečnostní přeliv Rožmberka, duben 2006 (foto autor)**



**Obr. 8 – Protržená hráz rybníka Nový Vdovec – patrná homogenní zemní hráz (foto autor)**



6 m<sup>3</sup>/s využívá pro výrobu elektrické energie, dále slouží k napájení níže položené Nadějské rybníční soustavy a sádek u samotného Rožmberka a v neposlední řadě zajišťuje minimální průtok v Lužnici pod nádrží (minimální průtok 650 l/s). Rybník Rožmberk je vybaven mohutným, 57 m širokým bezpečnostním přelivem. Po poškození v roce 2002 byl přeliv zásadním způsobem opraven. Objem ovladatelného retenčního prostoru 9,1 mil. m<sup>3</sup> je vymezen kótou zásobního prostoru a kótou normální hladiny (prahu bezpečnostního přelivu). Významné povodně posledních století ovšem přesahovaly kótu přelivu mnohdy o více než 1 metr, při extrémních povodních dokonce 2 m.

Schéma hlavních toků a významných rybníků Třeboňské rybníční soustavy je na obr. 1.

## Retence rybníků

Manipulace s hladinou ve většině rybníčních nádržích je za normálních okolností podřízena rybochovnému účelu nádrže a je přesně popsána v manipulačním řádu. Široká veřejnost je často zmatena z vodohospodářského a rybářského názvosloví - to, co se v žargonu označuje za „normál“ je vodohospodářskou terminologií hladina stálého nadržení, přesněji řečeno hospodářská hladina. Skutečná hladina, na kterou je rybník napuštěn, může v průběhu roku kolísat podle potřeb rybníčního hospodaření. Tato hladina je udržována manipulací s výpustním zařízením. Normální hladina je u většiny rybníků dána kótou přelivné hrany bezpečnostního přelivu, je-li rybník přelivem vybaven. u vodohospodářsky významných rybníků je hospodářská hladina obvykle níž než normální hladina a prostor, který takto vzniká představuje ovladatelný retenční prostor nádrže. Ačkoliv povinnost vlastníkům určit a dodržovat normální hladiny byla předepsána již v roce 1814 mlýnským řádem, k osazování tzv. normálů (cechů označujících normální hladiny) na větších rybnících došlo až po roce 1870. I přesto docházelo a stále dochází ke sporům, zda ten či onen rybník není více napuštěn a nevytápí cizí pozemky. V předválečných letech platilo, že v případě zatopení cizích pozemků se mohl jejich vlastník domáhat náhrad prokázal-li, že majitel rybníka opomenul otevřít jeho výpusti včas, tedy ve chvíli, kdy voda začala stoupat nad stanovený normál.

Určení maximální hladiny rybníka, a tedy stanovení neovladatelného retenčního prostoru je problematické. Často se pro výpočet retence používala kóta maximálního známého vzdutí v nádrži, což byla obvykle hladina při povodni 1890. Rok 2002 tyto hodnoty v mnoha případech překonal, a tak se v nově tvořených manipulačních řádech považuje za horní hranici neovladatelného retenčního prostoru nejnižší kóta koruny hráze.

Obecně platí, že systém je tak slabý, jak slabý je jeho nejslabší článek. u rybníků, jejichž původ sahá do renesance, je možné slabých článků najít hned několik.

U většiny rybníků Třeboňska najdeme homogenní zemní hráze stavěné

**Tab. 1 – Poškození rybníků při povodni 2002**

Poškození	TRS (%)	ČR (%)
Protržení – výpust	5,7	2,8
Poškození hráze vývratem stromu	8,6	3,2
Poškození koruny	37,1	12,4
Průsak hráze	5,7	6,1
Zničení n. poškození výpustí	22,9	13,6
Zničení n. poškození BP	28,5	19,7

TRS – Třeboňská rybníční soustava

z materiálu, který byl lokálně k dispozici, často z materiálu značně nekvalitního. Při extrémních povodních dochází často k průsakům hrází, ale obvykle nedojde k rozsáhlému poškození nebo destrukci, pokud není hráz přelita. Překopání hráze, pokud možno v jejím navázání na rostlý terén, jako jeden z prostředků ochrany území nebo ochrany před nekontrolovanou destrukcí, může být v řadě případů účinný. Tak tomu bylo například v roce 1656 na východní konci hráze Rožmberka, v roce 1890 na hrázi Světa či v menším v roce 2006 při překopání boční hráze Staňkovského rybníka a využití retence sousedního Špačkova. Někdy ani tak razantní zásah nezabrání rozsáhlé destrukci, např. situace na Nové řece v roce 2002.

Jiným slabým článkem může být výpustní zařízení. Nejde pochopitelně o původní, 400 let staré potrubí, ale celá řada i velkých rybníků dosud používá dřevěné (jedle, modřín, zcela výjimečně dub) potrubí z 19. století. Vzhledem ke konstrukci výpustních trub docházelo v některých případech k vyplavování materiálu z tělesa hráze v místě výpustí a ke vzniku pecky, kaverny v tělese hráze. Právě taková pecka s průměrem 5 m se objevila na jedné z výpustí Rožmberka v roce 1915, ve vypjatých dnech srpna 2002 pak v menším na retenčně poměrně významném rybníce Podřezanském, v Cepském povodí. Samotná výpustní zařízení mohou selhat v kritických momentech: neudržovaná, zarezlá a vzprícená lopata na druhém výpustním potrubí rybníka Světa byla v roce 2002 důkazem, jak nedusledně se

k vodohospodářským objektům mnohdy přistupovalo.

Ne všechny rybníky jsou vybaveny bezpečnostním přelivem po převedení velkých vod. Ale ani u rybníků, které přelivem vybaveny jsou, nebylo vždy vše v pořádku. Bezpečnostní přelivy byly v mnoha případech poddimenzované, zarostlé vegetací, využívané pro jiné činnosti, česlové stěny neudržované.

Zajímavým vývojem prošel bezpečnostní přeliv na rybníce Svět. Jeho projekt byl k projednání předložen v roce 1891. Šlo o přeliv 8 m široký, hrazený, otevíraný jen v případech krajní nouze. Proti projektu se postavili majitelé pozemků (luk) ohrožených vodou z přelivu, především zástupci města Třeboně. V roce 1894 byl projekt nakonec stažen z projednávání. V roce 1930 se potřeba zvýšení kapacity odtoku dočasně (do roku 2002) vyřešila vybudováním kapacitních výpustí, ovšem s málo kapacitní odpadovou stokou. O vybudování bezpečnostního přelivu na Světě tak rozhodla až povodeň 2002, kdy byl vybudován nejprve havarijní přeliv a později přestavěn do současné podoby.

Stav vodohospodářských objektů na rybnících se po povodni 2002 výrazně zlepšil, na řadě rybníků byly vybudovány nové bezpečnostní přelivy, či průlehy v hrázích, pro vodohospodářsky významné rybníky jsou aktualizovány a upřesňovány manipulační řady.

V **tabulce 1.** jsou uvedena nejvýznamnější poškození rybníků Třeboňské rybníční soustavy (TRS) v roce 2002 k celkovému počtu poškozených rybníků a obdobné škody pro celou ČR (údaj MZe).

Z pohledu retenční funkce třeboňských rybníků je možné celou oblast rozdělit profilem hráze Rožmberka na oblast Lužnice od pramenu až po hráz Rožmberka a oblast Lužnice od hráze Rožmberka po soutok s Nežárkou. První oblast zaujímá plochu 1375 km<sup>2</sup> s počtem rybníků zhruba 800 o katastrální výměře 5585 ha s retenčním prostorem min. 52 mil. m<sup>3</sup>. Na 1 km<sup>2</sup> povodí je tak k dispozici cca 37 tis. m<sup>3</sup>. Jde o oblast mimořádně složitou, kde jsou pozdější účinky povodňových situací závislé na přítocích Lužnice od Českomoravské vysočiny a na včasné manipulaci. Retence rybníků Jindřichohradecka a Dačicka, které ovlivňují třeboňskou pánev, odhaduje Šiman [5] na zhruba 3,5 mil. m<sup>3</sup>, retence rybníčních soustav v povodí Lužnice v Rakousku je zhruba 2,5 mil. m<sup>3</sup>. Před vstupem Lužnice či jejích přítoků na území ČR je možné počítat s retencí cca 7 mil m<sup>3</sup>. Je patrné, že retence rybníků na rakouském území je pro povodňovou situaci v ČR vcelku nevýznamná, zvláště vzhledem k charakteru povodí a rybníčních nádrží – strmé povodí a malými nádržemi, jejichž retence se rychle zaplní. Mimořádné retenční prostory tak připadají pro klíčové nádrže Třeboňska. Velký transformační účinek vykazuje rybník Staňkovský, povodňová vlna s kulminací  $Q_{100} = 44 \text{ m}^3/\text{s}$  je nádrží transformována na odtok podle variant manipulace  $Q_{0}^{\text{TR}} = 12,60 - 17,07 \text{ m}^3/\text{s}$  [8]. Zásadní význam pro průběh povodně má manipulace na Novořeckých splavech, z dalších klíčových rybníků jde především o rybníky Spolský a Svět, které transformují povodňové průtoky na nebezpečném Spolském potoce. Spolský rybník vykazuje transformaci PV z  $Q_{100} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $Q_{0}^{\text{TR}} = 13 \text{ m}^3/\text{s}$ . Svět pak transformaci PV z  $Q_{100} = 36 \text{ m}^3/\text{s}$  na  $Q_{0}^{\text{TR}} = 9,75 \text{ m}^3/\text{s}$ , resp. na  $Q_{0}^{\text{TR}} = 3,32 \text{ m}^3/\text{s}$  podle způsobu manipulace a využití bezpečnostního přelivu [8]. Retence Rožmberka, hlavního hráče v oblasti, je 9,1 mil. m<sup>3</sup> v ovladatelném retenčním prostoru [8].

Nezanedbatelnou retenční funkci v jižní části Třeboňska mohou mít rozsáhlé plochy citlivě odvodněných rašelinišť v Cepském povodí, pokud není v zájmu ochrany přírody trvale vysoká hladina podzemní vody. Retenční prostor při zaklesnutí hladiny podzemní vody na -60 cm je možné odhadovat na cca 5 mil m<sup>3</sup>. Obdobně je možné do kalkulace odtoků zahrnout i retence hospodářsky již nevyužívaných niv Lužnice v prostoru Nová Ves n.L. – Suchdol n.L. (9 mil. m<sup>3</sup> – 2002) a již zmíněných Novořeckých močálech (4 mil. m<sup>3</sup> – odhad)

Druhý, pro Lužnici retenčně významná oblast leží od hráze Rožmberka po soutok Lužnice s Nežárkou. Někdy bývá toto území ve starších pramenech označováno jako tzv. Malá Lužnice. Jeho rozloha je 387 km<sup>2</sup> s počtem rybníků zhruba 190 o katastrální výměře 3600 ha s retenčním prostorem min. 24 mil. m<sup>3</sup>. Na 1 km<sup>2</sup> povodí je tak k dispozici cca 62 tis. m<sup>3</sup> [5]. Z uvedeného vyplývá, že území má téměř dvojnásobnou retenční kapacitu rybníků na jednotku plochy, navíc jde o území s vodohospodářskými poměry jednoduššími, než oblast horní Lužnice. Na druhou stranu jde o oblast zemědělsky intenzivně využívanou, což může retenci krajiny ovlivnit. Zde nalezneme několik rybníčních soustav s významným retenčním prostorem.

První oblastí je povodí Miletínského potoka s rybníkem Vlkovickým na jeho počátku. Dále na jeho toku leží retenčně důležité rybníky – Dvořiště, Koclířov a Velký Tisý. Jejich úhrnná retenční kapacita po povodních 1890, 1915 a 1925 byla udávána na 12,6 mil m<sup>3</sup>. Při povodni 2002 zadržely zmíněné rybníky 13,8 mil m<sup>3</sup>.

Druhou oblastí je povodí Dubenec, pramenící jižně od obce Ševětín. Nezastupitelnou retenční funkci zde má ryb. Zábalský, jehož uváděný celkový ochranný prostor o objemu 2,08 mil m<sup>3</sup> musel být po povodni 2002 opraven na 2,2 mil m<sup>3</sup>.

Posledními významnými rybníky z hlediska retence vody jsou Bošilecký



a Horusický, které uzavírají povodí 68 km<sup>2</sup> velké a celkovou retencí 6,04 mil. m<sup>3</sup> mohou přispět ke snížení kulminace Lužnice pod soutokem s Nežárkou.

Pro celé povodí Lužnice pro profil soutoku s Nežárkou udává Šiman [5] 984 rybníků s celkovou katastrální výměrou 9194 ha s retenčním objemem 76 mil. m<sup>3</sup>. Při průměrném dlouhodobém ročním průtoku Lužnice při soutoku s Nežárkou 4,92 m<sup>3</sup>/s představuje retence Třeboňské rybníční soustavy a souvisejících mezipovodí v Rakousku a ČR téměř 50 % průměrného ročního odtoku Lužnice. Ze záznamů měření výšky hladin při kulminačních stavech v roce 2002 je možné odvodit (s určitou mírou chyby) povodňovou retenci Třeboňské rybníční soustavy až na 110 – 140 mil. m<sup>3</sup>. Při výše uvedeném průměrném dlouhodobém ročním průtoku Lužnice 4,92 m<sup>3</sup>/s představuje tento objem 70 – 90 % průměrného ročního odtoku Lužnice.

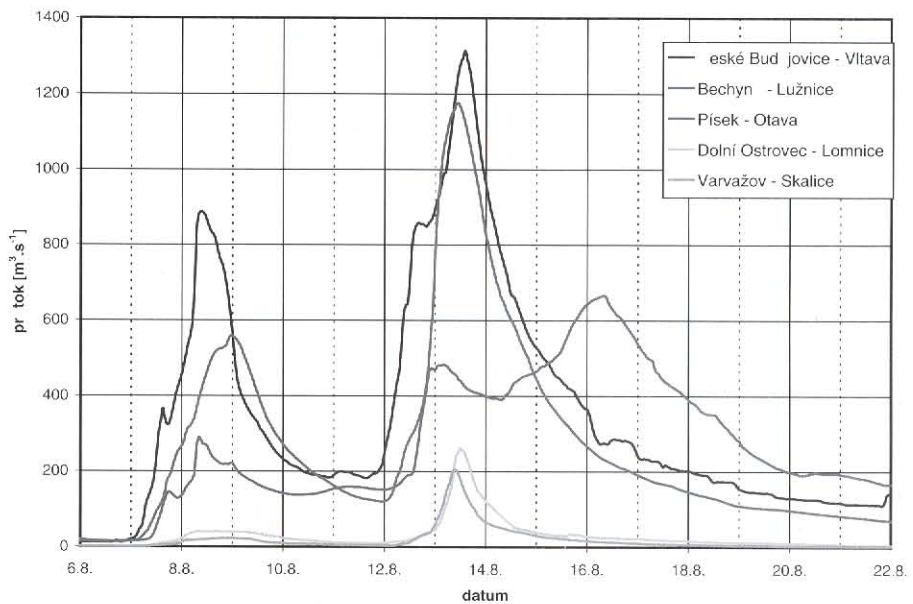
### Vybrané povodňové události

*„Veliká voda na den Seslání Ducha svatého přišla asi tři hodiny nad ránem. Nikdyž prve tak veliká nebyvala a již jsme si řekli, že nám všechny rybníky potrhá. Již na hráz vstupovala, a tak se zdálo, že všechno prlení polámala. V sobotu dali jsme tu hráz zkopati, nic nemohlo postačiti. k šturmu udeřeno a několik jiných rybníků na tom panství zkopati museli, neb několik dní ustavičně přšelo a vody se náramně rozmnožily.“*

Takto informoval Jakuba Krčína o povodni na Netolicku v letních dnech 1582 Matěj z Veveří, jak dokládá rožmberský archivář Václav Březan.

Povodňové události jsou dokumentovány od doby výstavby rybníků s větší či menší přesností. Významnější povodňové škody utrpěly rybníky Třeboňska především při povodních 1549, 1606, 1656, 1663, 1709, 1730, 1736, 1804, 1829, 1876, 1890, 1925 a 2002. Zatímco při většině povodní docházelo ke škodám na zemědělských pozemcích, povodně 1709, 1730, 1804, 1890 a 2002 zasáhly a poškodily i obytné a hospodářské budovy v celé oblasti a především v Mezimostí (dnešní součást Veselí nad Lužnicí), kde se voda při povodni v roce 1730 udržela mezi domy přes půl roku. [3]

V roce 1890 došlo k rozsáhlé povodni vlivem podobné meteorologické situace jako v roce 2002. V povodí Spolského potoka spadlo během 92 hodin 130 mm srážek. Celkový odtok z povodí byl odhadován na 7,1 mil. m<sup>3</sup>, součinitel odtoku 64 % [5]. Průběh nad Třeboní byl velice dramatický ve chvíli, kdy došlo na Spolském potoce k řetězovému protržení několika rybníků, posléze k protržení hráze Světa a zaplavení okolí Třeboně. Na začátku řetězu událostí stál zanedbatelný, 0,62 ha veliký rybníček Slavíček. Dlouhodobě neudržovaná hráz nevydržela přelití. Ledenický rybník Lazna, rovněž s neudržovanou hrází, kvůli nevhodné manipulaci se stavidly nevydržel tuto bleskovou povodeň a hráz povolila pod 60-ti tisíci metry krychlovými vody. Když tato voda strhala nebo poškodila níže položené rybníky udeřila již v objemu 7,5 milionů m<sup>3</sup> na hráz Světa. Dvou a půl metrové zvýšení hladiny by světská hráz zvládla, nebýt snížení hráze poblíž pivovaru. Pivovarští si prosadili toto snížení kvůli přepravě ledu do svých sklepů. Zde došlo k přelití hráze a posléze k jejímu protržení. Násep železniční dráhy Františka Josefa do



Obr. 2 – Kulminace hlavních přítoků do nádrže Orlík při povodni 2002 (ČHMÚ, 2003)

Vídně za Třeboní byl pak již snadným soustem pro příval, který se hnál Mokřými loukami k Rožmberku. Ani ten na tom nebyl nejlépe, protřezenou novořeckou hrází odtékala voda zpět do koryta Lužnice (Staré řeky) a do Rožmberka. Celkový objem vody v rybníku tehdy činil 47,5 mil. m<sup>3</sup> a přes hranu bezpečnostního přelivu přepadalo 200 m<sup>3</sup>/s vody.

V roce 1925 nešlo o plošné příčné srážky, ale o lokální letní přívalový déšť, který zasáhl oblast povodí rybníka Světa. V povodí spadlo v průměru 115,5 mm srážek s maximem 150 mm za 12 hodin. Celkový odtok z povodí byl odhadován na 8,29 mil. m<sup>3</sup>, součinitel odtoku 84 % [5]. Rybníky v povodí sice odolaly tlaku vody, ovšem nově rekonstruované přelivy převáděly velké množství vody. Rybník Svět, nemaje toto zařízení, byl tentokrát nejslabším článkem. Odtok vody ze Spolského rybníka mohl naplnit Svět na úroveň 50 cm pod korunu hráze. Nově rekonstruovaný bezpečnostní přeliv Spolského byl proto zahrazen a odtok vody regulován.

Na Třeboňsku nedošlo při povodni 2002 k tolika tragickým událostem, jako v jiných místech ČR, přesto i zde došlo k velkým poškozením majetku, rybníky nevyjímaje. Na Třeboňsku došlo k poškození sedmdesáti rybníků ve vlastnictví Rybářství Třeboň, a.s., který je v oblasti největším vlastníkem rybníků. Na řadě míst se prokázaly slabiny historických vodních děl, mnoho desítek let nedostatečná údržba vodohospodářského zařízení – výpustí, přelivů, vegetace na hrázích a podobně. Rybník Rožmberk hrál při zadržení povodňové vlny klíčovou úlohu. Maximální hladina převýšila hospodářskou hladinu o 4,19 m, z čehož lze odvodit retenci – 8,3 mil. m<sup>3</sup> v ovladatelném prostoru (po hranu přelivu) a cca 35 mil. m<sup>3</sup> v neovladatelném prostoru, tedy celkem zhruba 43 mil. m<sup>3</sup>. Kulminační přítok lze jen odhadovat a po součtu přítoku z Lužnice po protržení novořecké hráze a ochranné hráze pískovny Cep a z povodí Prostřední stoky dosahoval 500 – 600 m<sup>3</sup>/s. Odtok z rybníka byl odhadován na 200 m<sup>3</sup>/s (základové výpusti a především bezpečnostní



Poškození bezpečnostního přelivu Rožmberka, říjen 2002 (foto autor)



Východní předměstí Třeboně zaplavené vzlutím Rožmberka a přítokem od havarijního přelivu Světa a Prostřední stoky, srpen 2002 (foto J. Ševčík)



přeliv). Při kulminaci zaplavoval rybník území o ploše 1616 ha [9].

Celá Třeboňská rybníční soustava zadržela rekordních 110 – 140 mil. m<sup>3</sup>. K retenci rybníků je nutné připočítat retenci krajiny Třeboňska, celková retence území je odhadována na více než 200 mil. m<sup>3</sup>, což znamenalo zpoždění kulminace Lužnice o více než 60 hodin (**obr. 2.**). Kdybychom pro malé ekonomické hrátky použili retenci rybníků při povodni 110 mil. m<sup>3</sup>, pak při dvoumetrové hloubce bychom potřebovali k zadržení vody vystavět nádrží o ploše 5500 ha. Metodické příručky uvádějí orientační cenu 1 ha nové malé nádrže 1 milion korun. Výstavba by tedy stála minimálně 5,5 miliardy. Povodňové škody na třeboňských rybnících ve výši 100 milionů jsou v porovnání s takovou částkou zanedbatelné. Třeboňská rybníční soustava je často porovnávána s retencí vybraných děl vltavské kaskády. Přehrady Lipno I, Římov a Orlík v roce 2002 zadržely přes 200 mil. m<sup>3</sup>, přičemž vyhrazený retenční prostor činí 76 mil. m<sup>3</sup> [9].

Pro zachycení jarní povodně 2006 byl v rybnících třeboňské soustavy k dispozici objem 22,32 mil. m<sup>3</sup> v ovladatelném retenčním prostoru – tj. u rybníků prostor mezi hospodářskou hladinou a normální hladinou – kótou přelivu, ale i v prostoru stálého nadržení, neboť rybníky v řadě případů nedosahovaly kóty hospodářské hladiny. Skutečná retence rybníků s objemem vody nad 1 mil. m<sup>3</sup> odhadovaná pracovníky Rybářství Třeboň, a.s. (osobní sdělení) byla v době kulminace hladiny Rožmberka 47,96 mil. m<sup>3</sup>. V celé soustavě byla retence ještě zhruba o 20 % vyšší, protože byla využita retence rybníků menších a u některých rybníků došlo ke kulminaci hladiny po kulminaci Rožmberka, např. u r. Staňkovského. Při manipulaci s tímto rybníkem byla plně využita i retence sousedního rybníka Špačkova překopáním hráze v místě zavázání i manipulace s vodou v povodí – r. Kačležský v horní části povodí nebyl pouštěn, využil retenční prostor o objemu více než 1 mil. m<sup>3</sup> a Staňkov byl svou retencí připraven pro objem PV z mezipovodí. Celková retence rybníků mimo třeboňskou pánev, ale ovlivňujících tuto oblast (povodí již zmíněných toků Skřemelice, Dračice, Koštěnický p.), dosáhla při jarní povodni 2006 objemu 4,02 mil. m<sup>3</sup> (Rybářství Kardašova Řečice – osobní sdělení).

## Shrnutí

- Retenční objem rybníčních nádrží Třeboňska je cca 50 - 70 mil. m<sup>3</sup> vody.
- Skutečný objem zadržené vody v rybnících v roce 2002 byl 110 - 140 mil. m<sup>3</sup> vody. Šlo ovšem o neovladatelný stav, kdy docházelo i k přelévání hráží.
- Řada rybníků není vybavena zařízením pro bezpečné převedení velkých vod, z příkladu historických povodní je zřejmé, že velké škody způsobilo protržení malých rybníků (např. v roce 1890 rybník Slavíček – 0,62 ha)
- Technické provedení vodohospodářských objektů v mnoha případech odpovídá době svého vzniku, případně pozdějším opravám – sypané zemní hráze z nekvalitního materiálu (hráze Nové řeky), dřevěná výpustní zařízení.
- Vodohospodářské manipulace na rybnících se řídí schváleným manipulačním řádem. Jakákoliv jiná manipulace představuje pro majitele rybníku nebezpečí ekonomických ztrát v chovu ryb. Výjimkou je manipulace s rybníkem Rožmberkem.
- K retenci rybníků je třeba připočítat retenci rybníční krajiny Třeboňska, v roce 2002 byla odhadována na více než 200 mil. m<sup>3</sup>.
- Zatímco staré vodohospodářské práce hovoří o dobré koordinaci zemědělství – lesnictví – rybářství a vodního hospodářství, práce poválečné vyjadřují obavy z rozdělených zájmů. Po 50 letech se obavy autorů zcela a beze zbytku naplnily při povodni 2002.
- Naprosto nejdůležitějším poznatkem je absence komplexního manipulačního řádu pro území vodohospodářsky tak významné, jako



Sanace odtoku od bezpečnostního přelivu Rožmberka (foto autor)

je Třeboňsko.

- Charakterem manipulace s prostory v rybníčních nádržích zaplňují se retenční prostory již při nástupu povodňové vlny, její kulminaci však nemusí zachytit. v celku krajiny je však i tato retence významná a účinná. Větší průtoky je však nutné bezpečně převést.
- Zcela bezkonkurenční je funkce rybníků pro akumulaci vody v krajině.
- Pokud vegetace v záplavou postižené krajině toleruje zatopení, pak jsou škody na porostech minimální. I tyto plochy jde ekonomicky zhodnotit.

## Poděkování:

Autor článku si dovoluje poděkovat Ing. Hulemu a Ing. Kačánymu za rozpravy o vodohospodářských poměrech Třeboňska a cenné připomínky k práci a pracovníkům Rybářství Třeboň, a.s. za poskytnutí manipulačních řádů rybníků a dat z měření hladin rybníků při povodních 2002 a 2006.

## Literatura:

- [1] Bezpalec, J.: Die Wasserbauten im Wittingauer Teichgebiete nach der Hochwasser-katastrophe vom Jahre 1890. Wien, 1897.
- [2] Hule, M.: Rybníkářství na Třeboňsku. Carpio, Třeboň, 2003.
- [3] Matlas, P.: Historie povodní na Třeboňsku – přednáška, 2006
- [4] Šiman, J.: Vodohospodářský průzkum soudního okresu třeboňského se zvláštním zřetelem na Vitorazsko, Třeboň, 1949.
- [5] Šiman, J.: Vodohospodářský plán třeboňského okresu. Okresní plánovací komise, Třeboň, 1959.
- [6] Švarc, J.: Oprava novořecké hráze, Vodní hospodářství, 10, 1995.
- [7] Ekologie a ekonomika Třeboňska, sborník přednášek, Třeboň, 1978.
- [8] Manipulační řády rybníků
- [9] Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002. ČHMÚ, 2003.

**Mgr. Richard Lhotský**  
ENKI, o.p.s.  
Dukelská 145  
379 01 Třeboň  
tel.: 384 406 114  
email: lhotsky@enki.cz

*Retention Function of the Trebon Fishpond System (Lhotský, R.)*

## Key Words

*Třeboň region – Fishponds – Flood - retention, Lužnice river*

Since their construction mostly in 16th century, fishponds of the Trebon fishpond system (TRS) have fulfilled fish producing function as well as accumulation and retention functions. Some of Trebon's fishponds were even built as a retention reservoirs. Trebon fishpond system is situated in upper Luznice watershed area (c. 1700 km<sup>2</sup>), whole fishpond system including upper watershed areas in Austria and Czech republic consists of almost 1000 fishponds ponds of total area more than 9000 ha and its flood retention is 50 - 70 mil. m<sup>3</sup>. During extreme floods (e.g. 2002) fishponds in TRS hold 110 – 140 mil. m<sup>3</sup>, but the situation was beyond control and damages occurred which deteriorated water management function. In order to ensure important retention capacity of TRS, proper maintainance of fishpond technical equipment is necessary and emergency regulations for the whole system should be elaborated.



Budování havarijního přelivu na rybníku Svět, srpen 2002 (foto autor)

**Lhotský, R. et al. (2011): Pilotní studie zaměřená na zhodnocení transformace sluneční energie a retence živin vybraného agroekosystému s důrazem na ochranu a kvalitu vod odtékajících ze zemědělské krajiny. - *Studie pro MZe ČR.***

**Pilotní studie zaměřená na zhodnocení  
transformace sluneční energie a retence živin  
vybraného agroekosystému s důrazem na ochranu  
a kvalitu vod odtékajících ze zemědělské krajiny**

**Mgr. Richard Lhotský**

## 1. Obsah

1. Obsah.....	1
2. Charakteristika modelového území, charakteristika agroekosystému, stanovený management hospodaření.....	2
3. Měřicí zařízení .....	14
4. Výsledky a diskuze .....	19
5. Závěr .....	59

## **2. Charakteristika modelového území, charakteristika agroekosystému, stanovený management hospodaření**

### **2.1. Charakteristika a popis území založeného pilotního projektu (k.ú.; povodí; drenážní systém)**

Území sledované v pilotním projektu se nachází cca 5 km severozápadně od Třeboně, nedaleko obce Dunajovice, která leží na severozápadním okraji povodí sledovaného území.

Území se rozkládá na okraji Chráněné krajinné oblasti a biosférické rezervace Třeboňsko, v oblasti Třeboňské pánve, na přechodu geomorfologického podcelku Lomnická pánev, okrsku Borkovická pánev do vyššího reliéfu podcelku Lišovského prahu, podokrsku Štěpánovická pahorkatina. Součástí sledovaného dílčího povodí je nejvyšší bod Štěpánovické pahorkatiny, Dunajovická hora (504 m), tvořená granity mrákotínského typu a granulity. Na východ se Dunajovická hora příkře svažuje do zmíněné Borkovické pánve tvořené třetihorními pískovci a jílovcí na svazích Dunajovické hory a čtvrtohorními písčito-jílovitými usazeninami v nižších polohách a podél drobných vodních toků. (Zpracováno volně podle materiálů Správy CHKO Třeboňsko).

Půdy ve sledované lokalitě jsou typu jílovitých hnědých půd, a pseudoglejí.

Sledované území se odvodňováno do řeky Lužnice, drobné vodní toky se spojují v rybníčních soustavách. V širších souvislostech je sledované území součástí povodí rybníka Kaňov a jeho rybníční soustavy, kterou je možné rozdělit do tří větví.

1. Větev Břilická – odvodňující zemědělskou půdu Břilicka a část zalesněného území jihovýchodně od Dunajovické hory. V Břilické větvi nalézáme rybníky Prelátská, Markovský, Verfle, Červenka, Tisý u Břilic, Starý u Břilic, Bičan, Stružky, Čínátl, Břilický.

2. Větev Dunajovická – odvodňující lesní komplex Dunajovické hory, zemědělské pozemky mezi Břilicemi a Dunajovicemi a v okolí Dunajovic. V Dunajovické větvi nacházíme rybníky Beranský, Travný, Vydymáček, Malý Nový, Nový u Dunajovic, Ráček, Velký Toušný a Nový u Břilic.

3. Větev Přesecká – odvodňující zemědělské pozemky u Dunajovic a Přeseky. Její součástí jsou rybníky Vobojský a Sedmilhář.

Sledované dílčí povodí, jehož závěrový profil tvoří hráz rybníka Nový u Dunajovic, zahrnuje severní okraj lesního komplexu Dunajovické hory s vlastním vrcholem ve výšce 504 m nad mořem, ovšem část vrcholové partie je odvodňována do bývalého a dnes zatopeného lomu. Cca 200 m východně od vrcholu Dunajovické hory jsou prameny svedené do potrubí ke studánce u kaple sv. Kříže. Odsud je veden trativod bučinou až do rybníka Vydymáček (cca 200 m). Rybník Vydymáček je vypouštěn přes požerákovou výpusť do otevřeného odpadního

kanálu, který se po cca 250 m pravobřežně napojuje na otevřený příkop probíhající severně podél lesa. Po cca 600 m ústí tato vodoteč do obnoveného rybníka Malý Nový, jehož odpadní kanál ústí do rybníka Nový u Dunajovic v jeho jižní části.

Severozápadní část Dunajovické hory je částečně odvodňována přes rybník Trávný, jehož odpadní kanál směřuje severozápadně k silnici Dunajovice – Lišov, ovšem po cca 300 metrech je téměř zazemněn a slouží jako trativod. Podél zmíněné silnice probíhá silniční příkop zaústěný 150 m před Dunajovicemi do malého rybníčku U Křížku na kótě 474 m. Do této vodoteče byl dříve zaústěn i odtok od rybníka Hlinský, který je dnes nefunkční a zhruba 15 let zalesněn. Odtokový kanál od jednoduché požerákové výpusti rybníčku U Křížku směřuje dále k Dunajovicím, po cca 50 m se spojuje s levým přítokem a pokračuje dále na východ jako zatrubněný kanál, do kterého ústí větve plošného odvodnění zemědělsky využívaných pozemků lokality Chrance („Široký k potoku“). Po cca 350 m pokračuje vodoteč v otevřeném korytě a po dalších cca 750 metrech ústí do rybníka Nový u Dunajovic. Do tohoto rybníka je zaústěna rovněž jižní část pozemků lokality „Chrance“ a to cca 150 metrů jižně pod vyústěním otevřeného koryta popisovaného výše v textu.

Rybník Nový u Dunajovic je vypouštěn přes požerákovou výpusť do rybníka Ráček, rybník je vybaven rovněž bezpečnostním přelivem v pravém zavázání hráze, odpad od přelivu je veden jižně od rybníka Ráček a ústí do rybníka Velký Toušný, kam ústí i odtok od výpusti rybníka Ráček. Cca 600 m východně od vrcholu Dunajovické hory je nově rekonstruovaný rybník Beranský, jehož odtoková stoka prochází východní částí lesního komplexu Dunajovické hory (cca 800 m), dále přes bývalý rybník Zadný a přes rybník Trávný ústí do Velkého Toušného rybníka. Tato větev není nijak propojena s povodím zájmového území, je však v jeho těsném sousedství, proto je okrajově zmíněna.

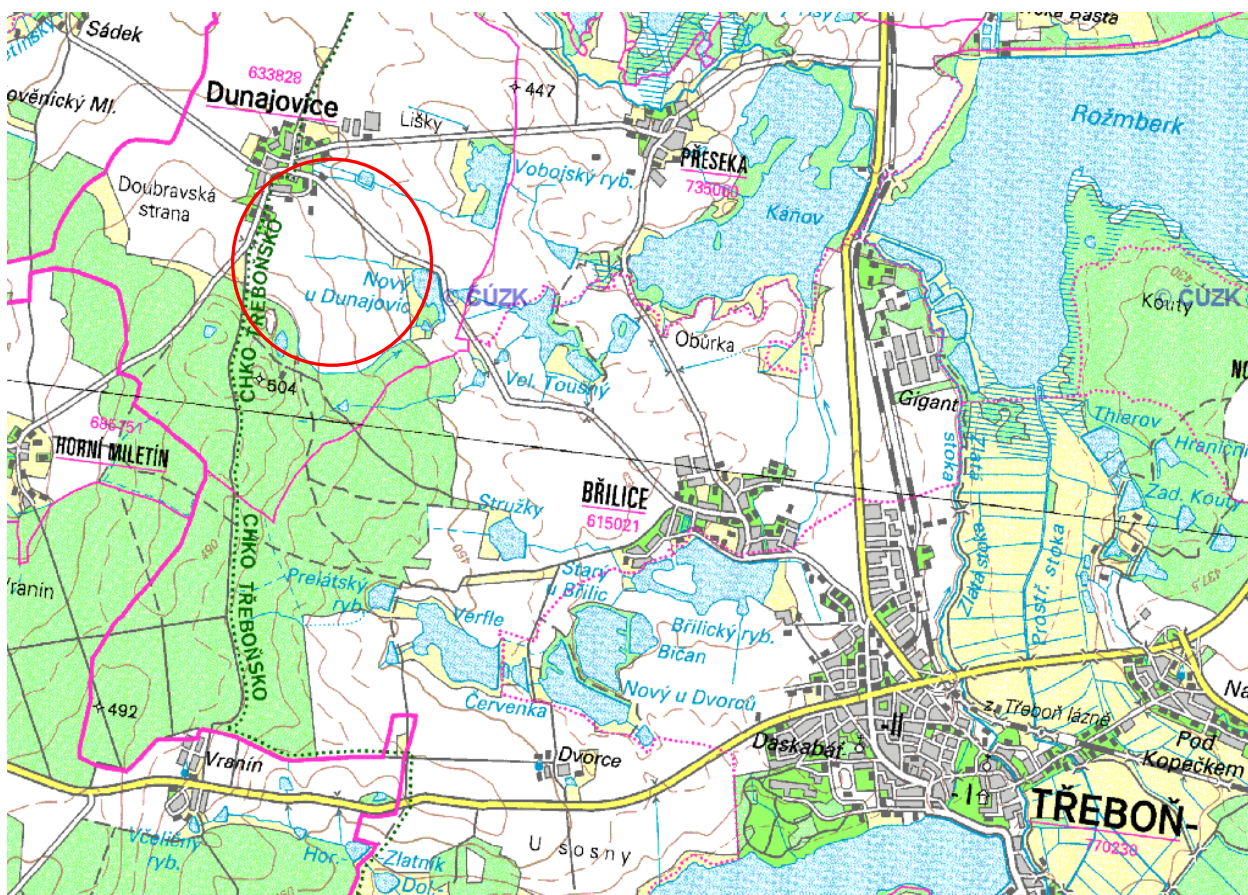
Katastrální plochy zmíněných rybníků:

Nový u Dunajovic	5,61 ha
Malý Nový	0,28 ha
Vydymáček	439 m <sup>2</sup>
Trávný	1,07 ha, zatopeno však max. 0,6 ha
U Křížku	718 m <sup>2</sup>
Beranský	0,61 ha

Správně leží předmětné území na katastru obce Dunajovice.



Obr. 1 – Orientační mapa s vyznačením zájmového území

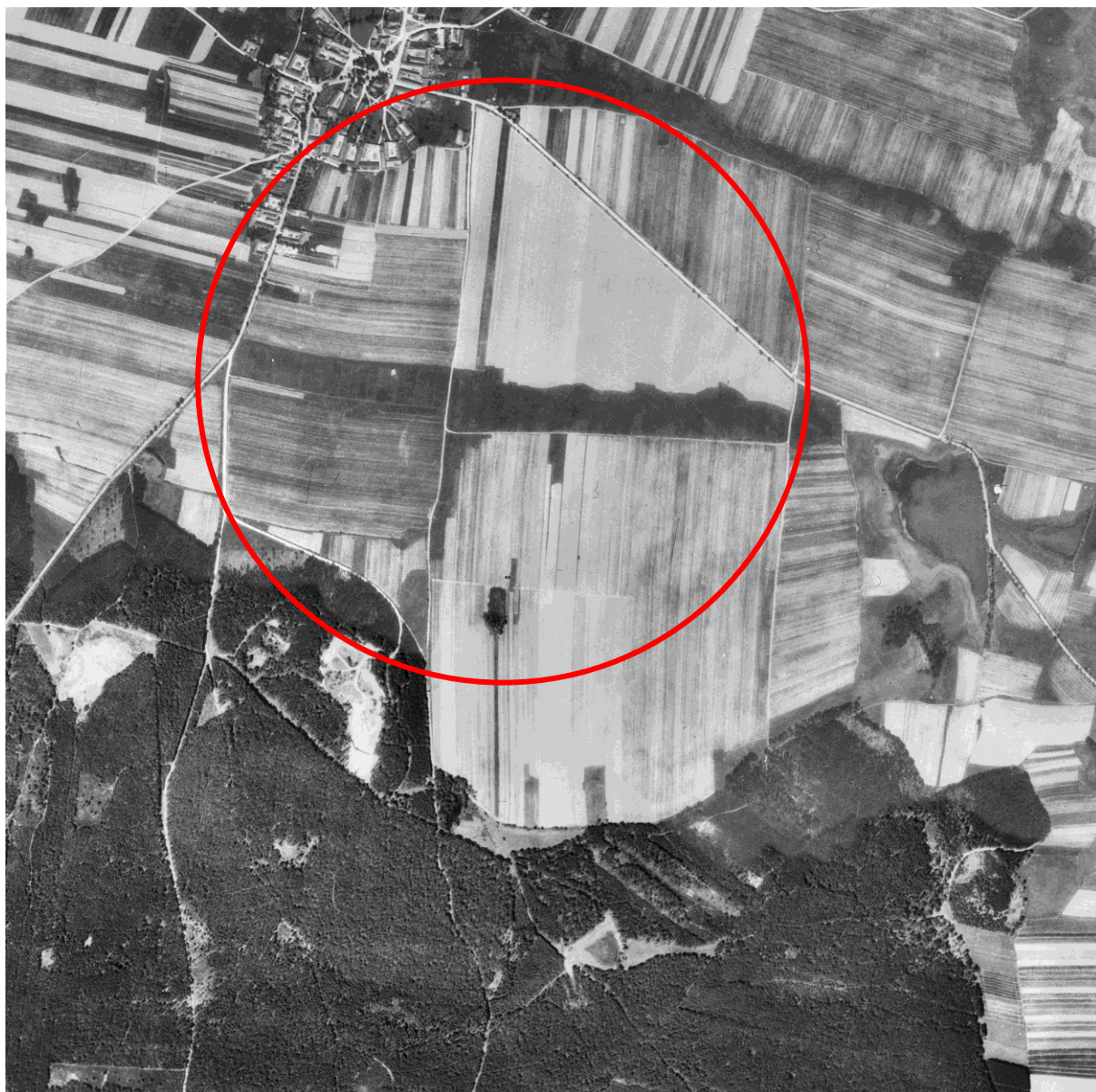


**Obr. 2 - Snímek císařského povinného otisku stabilního katastru (1826-1830, 1837-1843) s orientačním vyznačením zájmového území (Český úřad zeměměřičský a katastrální)**

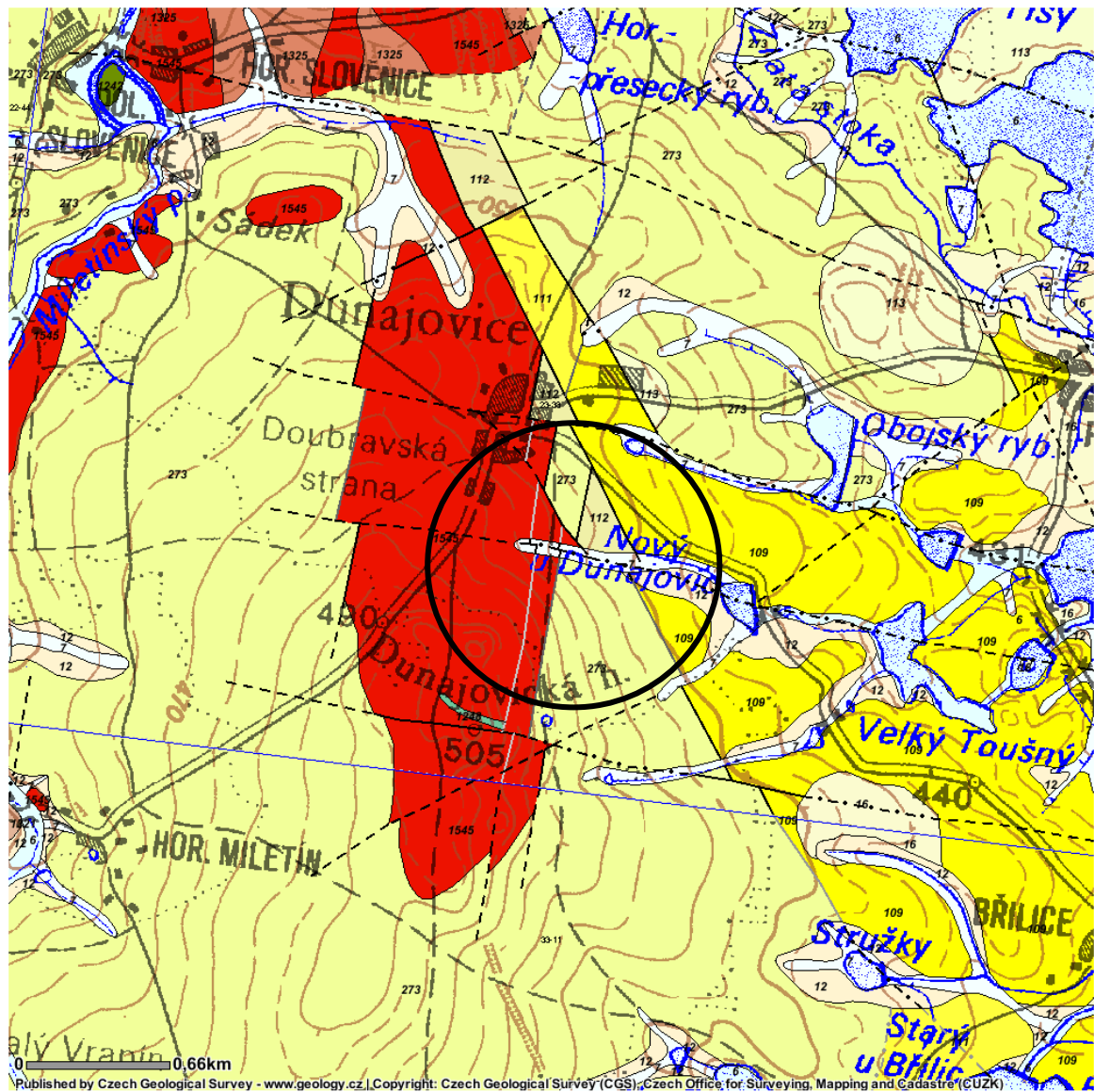




**Obr. 3 – Ortofotomapa z roku 1953 s orientačním vyznačením zájmového území**  
(Cenia)



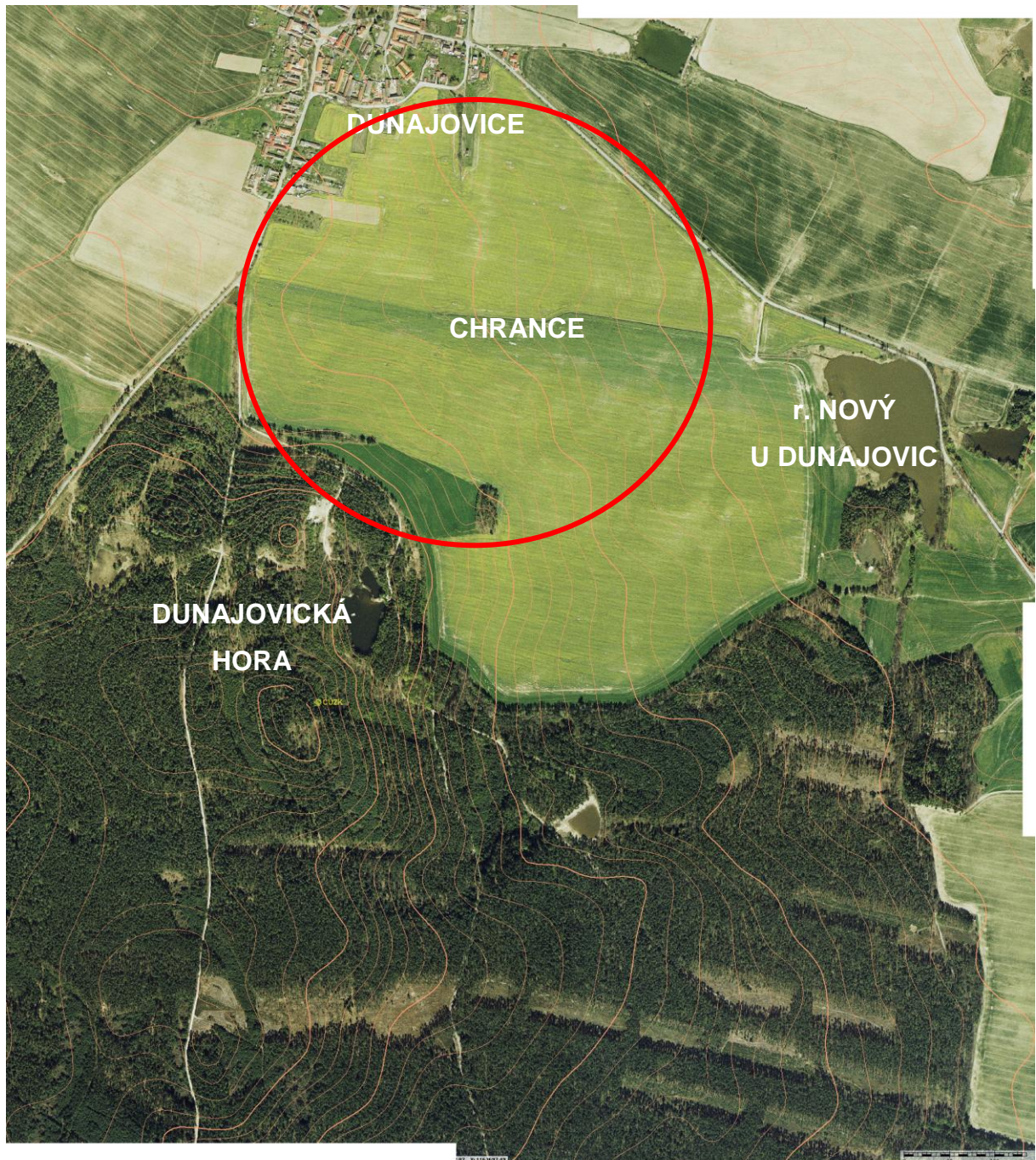
Obr. 4 – Geologická mapa s orientačním vyznačením zájmového území (GeoInfo)



- smíšený sediment [ID: 7]
- písčito-hlinitý až hlinito-písčítý sediment [ID: 12]
- spraš a sprašová hlína [ID: 16]
- štěrky, písky a jíly pestré, uhelné jíly, montmorilonitové jíly, diatomity [ID: 109]
- bazální slepence a pískovce, jíly, jílovité písky, pískovce, uhelné jílovce [ID: 112]
- pískovce, slepence, jílovce a prachovce [ID: 273]
- amfibolit [ID: 1248]



**Obr. 5 – Současná ortofotomapa (2009) s vyznačením vrstevnic s orientačním vyznačením zájmového území (Český úřad zeměměřičský a katastrální)**



## **2.2. Charakteristika agroekosystému na základě mapových podkladů, zejména map vodohospodářských úprav.**

Během řešení projektu se podařilo získat původní projekty odvodnění pozemků, které byly prováděny v rámci stavby „DUNAJOVICE III“ od roku 1983. Jak uvádí Technická zpráva stavby, tehdejší vlastník předmětného území – Velkovýkrmny Třeboň požadoval odvodnění pozemků kvůli vysokému stupni jejich zamokření. V případě lokality Dunajovice – Chrance, šlo o odvodnění a zlepšení vodního režimu na ploše 48,9 ha. Odvodněná plocha představuje dnešní zájmové území.

Odvodněné území se rozkládá východně od „Dunajovické hory“ z kóty 482,0 m n.m. až po kótu 444 m n.m. u rybníka Nový u Dunajovic. V odvodňované ploše se nacházel otevřený a zpevněný kanál, který, jak vyplývá z přiloženého otisku Stablního katastru, se nachází v ose původní drobné vodoteče obklopené mokřými loukami. Na ostatní ploše byla orná půda.

Odvodnění pozemků bylo provedeno systematickou trubkovou drenáží s rozchodem 7, 9 a 11 m s hloubkou sběrných drenů 1 m a doplněno záchytným trubním vedením i otevřenými příkopy, které odvádějí vodu z cizích povrchových a drenážních vod. Specifický drenážní odtok byl v případě předmětné lokality stanoven na  $0,8 \text{ l/s} \cdot \text{ha}^{-1}$ . Sběrné dreny jsou vyrobeny z keramických a flexibilních PVC materiálů (prům. 5 cm), svodné dreny z keramických a tvrdých PVC materiálů doplněných o betonové trouby TBR průměru 20 a 30 cm. Ty byly navrženy pro úseky se sklonem větším, než 2 promile. Drenážní vody byly svedeny do stávajících i nově budovaných kanálů a šachtic.

Drenážní vody jsou svedeny do rybníka Nový u Dunajovic, který leží ve východní části zájmového území při silnici Dunajovice – Břilice. Rybník má katastrální plochu 5,61 ha, jeho vlastníkem je obec Dunajovice, rybník je v nájmu Rybářství Třeboň Hld. a.s., jeho vodní plocha je 4,9 ha.

V roce 2002 a 2006 byl rybník postižen výraznými splachy během povodní.

### **2.3. Popis a analýza způsobu hospodaření na modelovém území se zaměřením na kvantifikaci vstupů a výstupů agroekosystému.**

#### **Rostlinná produkce**

V roce 2010 byla na lokalitě Chrance pěstována kukuřice odrůdy Crispi určená pro silážování a následné využití v bioplynové stanici Třeboň. Kukuřice byla zasetá 28.4.2010, sklizeň proběhla 2.10.2010. Kukuřice byla sklizena při sušině 32 – 33 %, tzv. silážní hmota. Výnos byl 35 t/ha silážní hmoty. V roce 2009 byla na poli ponechána sláma z předchozí sklizně jarního ječmene v množství 3,5 t/ha, která byla zapodmítána.

V roce 2010 byla plocha hnojena před osetím hnojivem Amofos NP 12-52 (fosforečné hnojivo) v množství 100 kg.ha<sup>-1</sup>. Hnojivo Amofos NP 12-52 obsahuje minimálně 52 % fosforu ve formě P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> a 12 % ± 1,0 % dusíku v amonné formě. Zároveň byla plocha hnojena dusíkatým hnojivem DAM 390 (obs. celk. N min. 30 %) v množství 400 kg.ha<sup>-1</sup>. V červnu 2010 byla plocha opakovaně hnojena dusíkatým hnojivem DAM 390 v množství 200 kg.ha<sup>-1</sup>.

Pro posílení porostu bylo v červnu rovněž použito antidepresivního a stimulačního prostředku Route (Chemtura Europe Ltd.) v množství 1,28 l.ha<sup>-1</sup>. Jde o prostředek s obsahem 8,5 % zinku ve formě komplexu s octanem amonným. Zinek ovlivňuje hromadění a transport sacharidů a aktivuje syntézu bílkovin, čímž podporuje tvorbu auxinu. Prostředek se používá v kombinaci s herbicidy.

Na ochranu rostlin byly použity přípravky Gardoprim Plus Gold (Syngenta Crop Protection AG) na ploše 12 ha podél otevřeného kanálu v množství 4 l.ha<sup>-1</sup>, který je určený k hubení jednoletých plevelů v kukuřici. Účinnými látkami jsou terbuthylazin a metolachlor-S. Dále byl na ploše použit selektivní herbicid Guardian extra (Monsanto Europe S.A.) v množství 3,5 l.ha<sup>-1</sup>. Tento přípravek obsahuje terbuthylazin a acetochlor.

Při agrochemickém zkoušení půd (AZP) bylo v roce 2007 analyzováno 14 vzorků půdy z celé lokality Chrance, tj. z 90 ha, která zahrnuje i zkoumanou plochu tohoto projektu. Tabulka 2 uvádí aritmetické hodnoty obsahu dostupných látek v lokalitě Chrance.

**Tab. 2 – Výsledky AZP Chrance (K+K Břilice Ing. Kačerovský, 2007) – aritmetické průměry**

	pH	Potřeba vápnění CaO t.ha <sup>-1</sup> .rok <sup>-1</sup>	P mg . kg <sup>-1</sup>	K mg . kg <sup>-1</sup>	Mg mg . kg <sup>-1</sup>	Ca mg . kg <sup>-1</sup>
Průměr	6,0	0,38	59	123	143	1626
Směrodat. odchylka	0,4		14	24	16	262

### **Rybniční hospodaření**

Rybník Nový u Dunajovic slouží k odchovu tzv. zadržené násady kapra obecného (viz níže). Dvouletému režimu odpovídá i způsob hospodaření na rybníku, tj. především použití hnojiv, vápnění a krmení.

#### *Použití hnojiv*

Ke hnojení rybníka se používá chlévská mrva, ovšem vzhledem k ceně byla na rybníku Nový u Dunajovic použita v posledních letech pouze jednou, a to v roce 2008 v celkovém množství 20 t.

#### *Vápnění*

K melioračnímu a hnojivému vápnění se používá mletý dolomitický vápenec aplikovaný na hladinu nebo v zimě na led.

Celkové množství dodaného vápence:

2006 – 1,5 t

2007 – 0,245 t

2008 – 2,4 t

2009 – 1,2 t

2010 – 2,5 t

#### *Krmení*

Vzhledem k poměrně vysokým obsádkám kapřího plůdku pro produkci zadržené násady je potřeba doplňovat přirozenou potravu v rybníce průmyslovými krmivými. Na rybníku Nový u Dunajovic se používá krmivo pro kapří násadu a produkčního kapra označované KP2 (výr.



Zemědělské služby Dynín, a.s. a jiní). Granule KP2 obsahují pšenici, triticales, ječmen setý, pšeničné otruby, sójový extrahovaný šrot toastovaný, sójový olej, uhličitan vápenatý, dihydrofosforečnan vápenatý, premix vitamínů a mikroprvků (informace výrobce). Příkrmování začíná v prvním horku v létě (červenec, srpen), ve druhém horku již na jaře (duben). Krmení je ukončeno v září. Ryby jsou příkrmovány denně.

Celkové množství použitého krmiva KP2:

2006 – 4,70 t (první horko)

2007 – 11,89 t (druhé horko)

2008 – 7,42 t (první horko)

2009 – 11,30 t (druhé horko)

2010 – 1,10 t (první horko)

Granulované krmivo KP2 obsahuje pšenici, triticales, ječmen setý, pšeničné otruby, sójový extrahovaný šrot toastovaný, sójový olej a další přísady upravující konzistenci, vitamíny a mikroprvky.

**Tab. 3 - Násada K0 a výlovek K2:**

	K0 - K2			
	násada K0	násada K0	výlovek K2	výlovek K2
	ks	kg	ks	kg
2006 - 2007	800 000		100 300	5 250
2008 - 2009	1 200 000		166 700	6 350
2010 - 2011	800 000			

#### **2.4. Charakteristika hospodaření (extenzivní/intenzivní).**

Na lokalitě Chrance probíhá klasická zemědělská prvovýroba formou intenzivního zemědělství. Kolem intenzivně obdělávané orné půdy jsou osety pásy s jetelotravní směsí.

Rybník Nový u Dunajovic je užíván jako dvouhorkový plůdkový výtažník pro odchov tzv. zadržené násady kapra do velikosti K2, tzn. v poměrně vysokých obsádkách (50 000 – 100 000 ks K0 na 1 ha), kdy je plůdek přes zimu komorován. Během první sezóny je z nasazeného plůdku K0 odchován plůdek K1 (jednoletý plůdek), který je přes zimu v rybníku komorován (přezimován). Po ukončení druhé vegetační sezóny je pak loven dvouletý kapr K2 (násada).

Vzhledem k vyšším obsádkám je nutné kapra výrazněji přikrmovat. Vedlejšími druhy ryb jsou amur bílý a lín obecný.

Způsob hospodaření na rybníku je **polointezifikační** ve smyslu Metodického pokynu pro posuzování žádostí o výjimku z ustanovení § 39 odst. 1 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), ve znění pozdějších předpisů pro použití závadných látek ke krmení ryb [§ 39 odst. 7 písm. b) vodního zákona] a k úpravě povrchových vod na nádržích určených pro chov ryb [§ 39 odst. 7 písm. d) vodního zákona] (Ministerstvo životního prostředí, Č.j. 800/418/02, Ministerstvo zemědělství, Č.j. 35508/2002-6000) z 28. 11. 2002.

### 3. Měřicí zařízení

Lokalita Chrance byla osazena telemetrickou meteorologickou stanicí typu M4016 (Fiedler-Mágr). Stanice je vybavena univerzálním dataloggerem, telemetrickou stanicí s vestavným GSM/GPRS modulem, programovatelným řídicím automatem a senzory.

Vybavení telemetrické stanice M4016-G3:

1. Pyranometr Kipp&Zonen CM3 dopadající globální záření
2. Pyranometr Kipp&Zonen CM3 globální odražená radiace
3. Anemometr směr a rychlost větru (Fiedler-Magr)
4. 2x Snímač RV + t snímače teploty a relativní vlhkosti (Fiedler-Magr)
5. VIRRIB – čidlo relativní vlhkosti půdy (Fiedler-Magr)
6. 10x čidlo teploty Pt 100 (Fiedler-Magr)
7. SR02 srážkoměr (Fiedler-Magr)

Snímače teploty a vlhkosti vzduchu byly instalovány do úrovně 2 m, což odpovídalo vrcholu kukuřičného porostu a do úrovně 4 m, což odpovídalo výšce 2 m nad kukuřičným porostem.

Data naměřená prostřednictvím dataloggeru meteorologické stanice a měrného přelivu jsou automaticky ukládány na server firmy Fiedler-Magr, která zajišťuje úschovu a servis dat pro všechny stanice ENKI, o.p.s. Přístup k datům je chráněn uživatelským heslem.

Pro měření průtoků byl v měrném profilu zřízen **měrný přeliv**. Navržen byl **kombinovaný trojúhelníkový a obdélníkový přeliv**. Trojúhelníková část je s vrcholovým úhlem  $\alpha=45^\circ$  (pro přesnější měření velmi malých průtoků je přesnější, než přeliv Thomsonův). Výška trojúhelníkové části je 0,3 m. Obdélníková část má šířku 0,9 m, výška je 0,2 m.

Jako materiál přelivu byl použit ocelový plech 10 mm. Před přeliv byl následně osazen ultrazvukový snímač výšky hladiny US 1200 (Fiedler-Magr) s vlastním zdrojem, záznamem a přenosem dat. Časový krok byl zvolen na 10 minut.

Přeliv byl osazen do betonové patky, založení ve dně 0,5 m. Přelivná hrana ve vrcholu trojúhelníka byla umístěna 0,05 m nade dnem. Před přelivem byla ponechána poslední žlabovka dna, na svazích bylo provedeno odkopání a opevnění se stávajícím lícem příloženými

deskami TBM 2-25. Spára před ocelovou deskou-přelivnou hranou je vyspárována jílem. V délce 30,0 m nad přelivem je koryto vyčištěno (odstranění nánosů ze dna)..

Pro výpočet konzumní křivky trojúhelníkového přeřadu platí:

$$Q = 1,331(\text{tg}\alpha/2)^{0,996} \cdot h^{2,47}$$

Q...průtok při dokonalém přeřadu ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )

$\alpha$ ...vrcholový úhel (navrřeno 45°)

h...výřka přeřadového paprřku (m)

<b>h</b>	<b>h<sup>2,47</sup></b>	<b>Q</b>
(m)	(m)	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
0,00	0,000	0,000
0,10	0,00339	0,002
0,20	0,01877	0,010
0,30	0,05111	0,028

Pro výpočet konzumní křivky obdřlníkového přeřadu je pouřitý Bazinův vztah:

$$Q = m \cdot b \cdot (2 \cdot g)^{0,5} \cdot h_{\text{obd}}^{1,5}$$

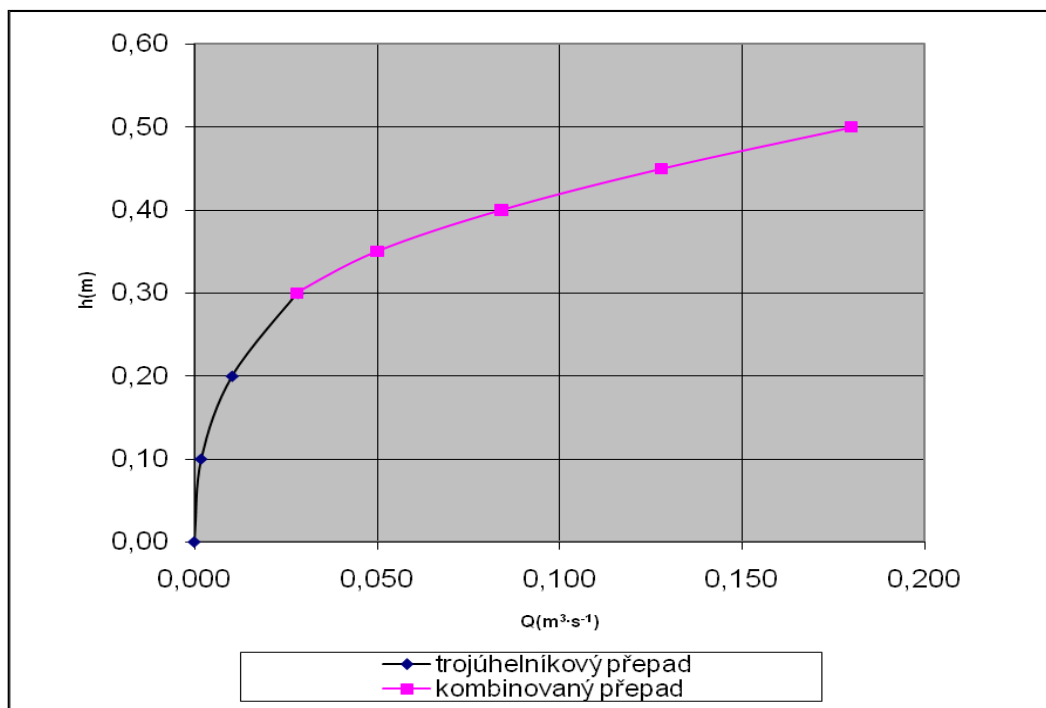
m... součinitel přeřadu

<b>h</b>	<b>h<sub>obd</sub></b>	<b>B</b>	<b>S</b>	<b>m</b>	<b>Q</b>
(m)	(m)	(m)	( $\text{m}^2$ )		( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )
0,35	0,05	1,83	0,424	0,446	0,020
0,40	0,10	2,00	0,519	0,422	0,053
0,45	0,15	2,17	0,622	0,416	0,096
0,50	0,20	2,34	0,734	0,413	0,147

Výřledná závislost  $Q = f(h)$  :

h	(m)	0,0	0,1	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
Q	( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ )	0,000	0,002	0,010	0,028	0,050	0,084	0,128	0,180

**Obr. 6 - Konzumní křivka  $Q=f(h)$  měrného přelivu Dunajovice - Chrance**



### 3.1. Metodika stanovení kontinuálního měření vodivosti a teploty vody.

Kontinuální měření vodivosti a teploty vody bylo zajištěno instalací čidla pro měření konduktivity a teploty ESV 11 firmy Fiedler, která byla připojena na záznamové a přenosové zařízení hladinoměru.

### 3.2. Metodika odběrů vzorků a analýza základních chemických parametrů drenážní vody a vody odtékající ze sledovaného pole: pH, alkalita (KNK), kationty ( $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+}$ , $\text{K}^+$ , $\text{Na}^+$ ), anionty (sírany, chloridy), celkový dusík, dusičnany, amoniak, celkový fosfor a rozpuštěný fosfor, nerozpuštěné látky, organický uhlík.

Vzorky vody pro fyzikálně-chemické a chemické analýzy byly odebírány ve čtrnáctidenních intervalech (14 – 16 dnů) odběrem vody do 2 litrových PE lahví. Vzorky vody byly odebírány pod měrným přelivem, na hladině rybníků Nový u Dunajovic a Ráček a pomocí metrové sondy i jako vodní sloupec (1 m) v obou zmíněných rybnících. Vzorky z rybníků byly odebírány v místě výpusti. Odebrané vzorky byly okamžitě převezeny do laboratoře.

pH a vodivost vzorku byla stanoveny pomocí přístroje WTW Multi Lab P5, P4 720.

KNK<sub>4,5</sub> byla stanovena potenciometrickou titrací s 0.1 M HCl pomocí TitroLine easy.

Dále byl stanovován obsah nerozpuštěných látek, aniontů  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N,

$\text{PO}_4^{3-}$ -P,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{NH}_4^+$ -N a kationty  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  a také obsah rozpuštěného železa, zinku a manganu.

Stanovení obsahu nerozpuštěných látek bylo provedeno jako stanovení sušiny zachycené na předváženém filtru Whatman GF/C, při teplotě 105 °C a vyjádřeno jako hmotnost nerozpuštěných látek  $\text{mg.l}^{-1}$ .

$\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{PO}_4^{3-}$ -P,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  a  $\text{NH}_4^+$ -N byly stanoveny metodou průtokové injekční analýzy (Růžička a Hansen 1981), která využívá spektrofotometrické principy stanovení jednotlivých složek s využitím automatického analyzátoru FIAstar<sup>TM</sup> 5000 a FIAstar<sup>TM</sup> 5012 (FOSS Analytical AB Sweden, 2008).

Koncentrace amoniakálního dusíku ( $\text{NH}_4^+$ -N) byla stanovena metodou plynové difúze. Působením hydroxidu sodného vzniká plyný amoniak, který pak reaguje se směsí acidobazických indikátorů. Výsledná změna zabarvení směsi je měřena fotometricky (Tecator AN 5220).

Koncentrace dusitanového dusíku ( $\text{NO}_2^-$ -N) byla stanovena reakcí dusitanu se sulfanylamidem a *N*-(1-naftyl)-ethylendiaminem. Vzniklé purpurové azobarvivo je měřeno fotometricky při 540 nm (Tecator AN 5201). Koncentrace dusičnanového dusíku ( $\text{NO}_3^-$ -N) je stanovena jako dusitany po redukci na Cd sloupci.

Koncentrace rozpuštěného reaktivního fosforu ( $\text{PO}_4^{3-}$ -P) byla stanovena reakcí s molybdenanem. Vzniklá kyselina fosfomolybdenová, která je redukována na fosfomolybdenovou modř chloridem cínatým v prostředí kyseliny sírové. Modré zabarvení je měřeno spektrofotometricky při 720 nm (Tecator AN 5240).

Koncentrace chloridů ( $\text{Cl}^-$ ) byla stanovena reakcí chloridů s thiokyanatanem rtuťnatým. Reakcí vzniká chlorid rtuťnatý a thyokyanatanové ionty, které po reakci s dusičnanem železitým vytvářejí červeně zbarvený komplex. Výsledná barva je měřena fotometricky při 470 nm (Tecator AN 5256).

Koncentrace síranů ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) byla stanovena reakcí síranů s bariem z methylthymolového komplexu. Síranové ionty separují v alkalickém prostředí barium z komplexu methylthymolová modř-  $\text{BaCl}_2$ . Výsledkem je pokles absorbance původně modře zbarveného komplexu při 620 nm a vzestup absorbance při 470 nm (Tecator ASTN 42/92).

Ca, Mg, K, Na, Fe, Zn a Mn, byly stanoveny metodou absorpční atomové spektrometrie na přístroji Varian SpectrAA-640.

Pomocí TOC analyzáru FORMA CS byly stanoveny koncentrace celkového uhlíku (TC) a celkového organického uhlíku.

Analýzu aniontů a fyzikálně-chemické analýzy provedla laboratoř ENKI, o.p.s., analýzu kationtů provedla Laboratoř aplikované ekologie katedry krajinného managementu ZF JČU v Českých Budějovicích.

## 4. Výsledky a diskuze

### 4.1. Odtokové poměry

V povodí rybníka Nový u Dunajovic byla instalována automatická meteostanice a automatický měrný přeliv na vlastním přítoku do rybníka. Data byla shromažďována od 10.8.2010 do 30.11.2010.

**Tab. 4 – Srážkově-odtokové poměry – údaje ČHMÚ k vodoprávnímu řízení pro vybudování přelivu**

Dlouhodobá průměrná roční výška srážek na povodí (Pa) v mm 676  
Dlouhodobý průměrný průtok ( $Q_a$ ) v  $m^3 \cdot s^{-1}$  (Třída IV.) 0,003  
M-denní průtoky ( $Q_{Md}$ ) v  $l \cdot s^{-1}$  (Třída IV.)

M	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	300	330	364
$Q_M$	6	4	3	3	2	2	2	1	1	0,8	0,6	0,4	0,2

**Tab. 5 – Srážkově-odtokové poměry**

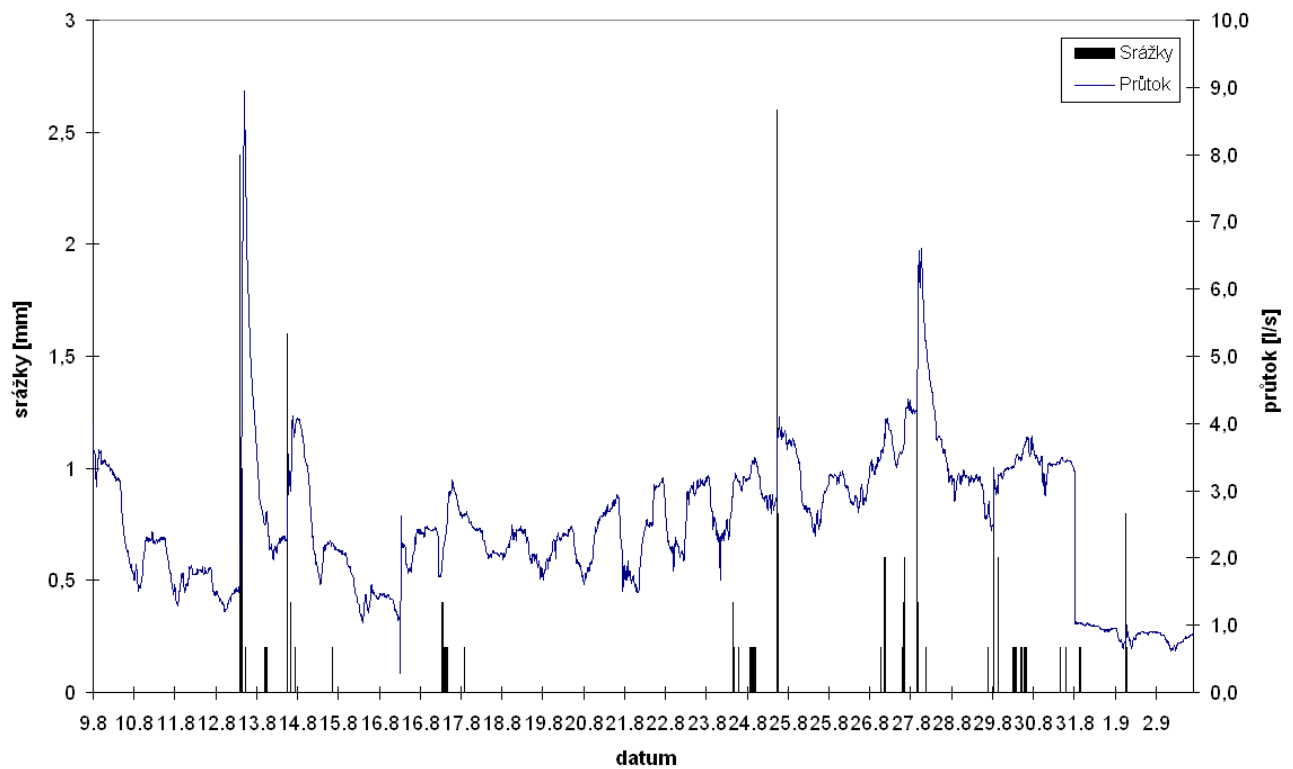
	srpen	září	říjen	listopad
Naměřené měsíční úhrny srážek [mm]	34	40	14	24
Měsíční úhrny srážek JČ 2010 [mm] *	131	56	15	46
Dlouhodobý srážkový normál JČ 1961-1990 [mm] *	82	51	37	43
Srážkový úhrn [ $m^3 \cdot ha^{-1}$ ]	338	400	140	238
Objem odtoku [ $m^3 \cdot ha^{-1}$ ]	104	83	35	40
Součinitel odtoku [%]	27	21	25	17

Pozn.: \*) Zdroj ČHMÚ – Územní srážky v roce 2010

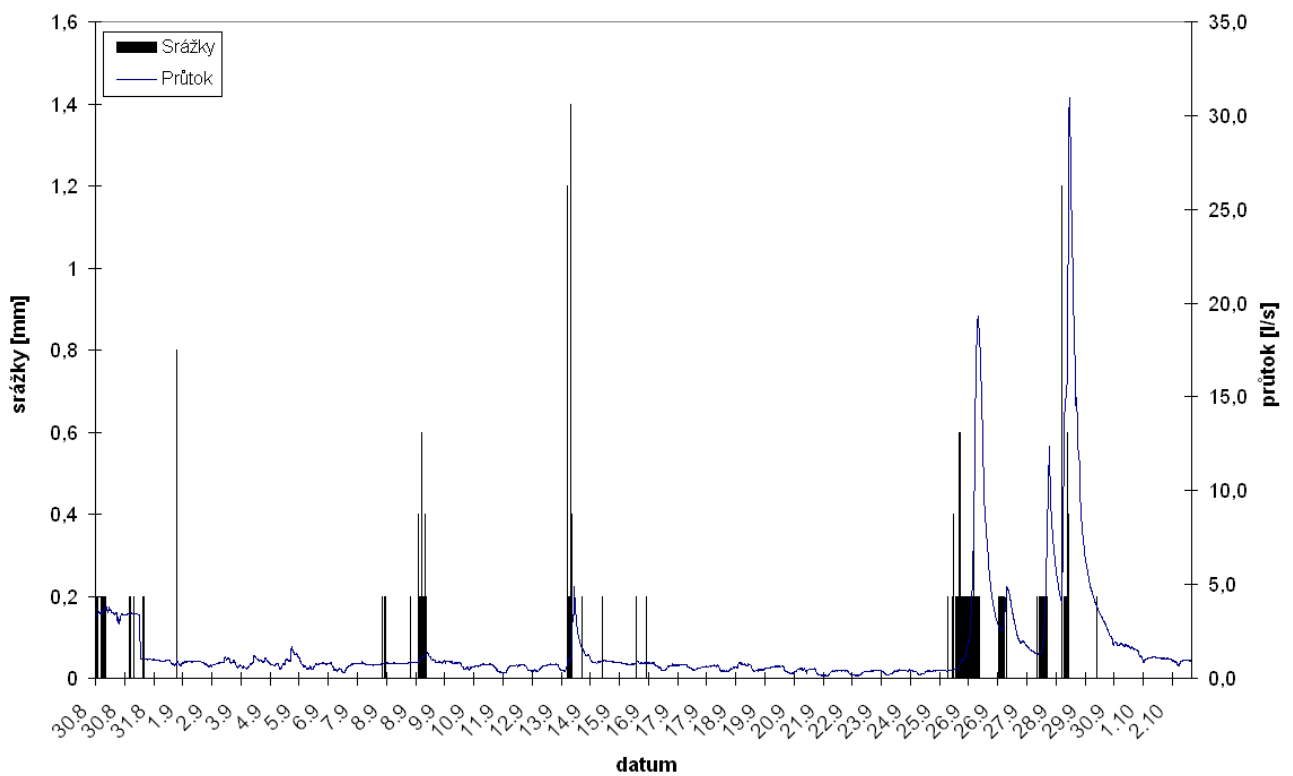
Průběhy srážek a odtoků v jednotlivých měsících jsou znázorněny na obrázcích 7 – 11.



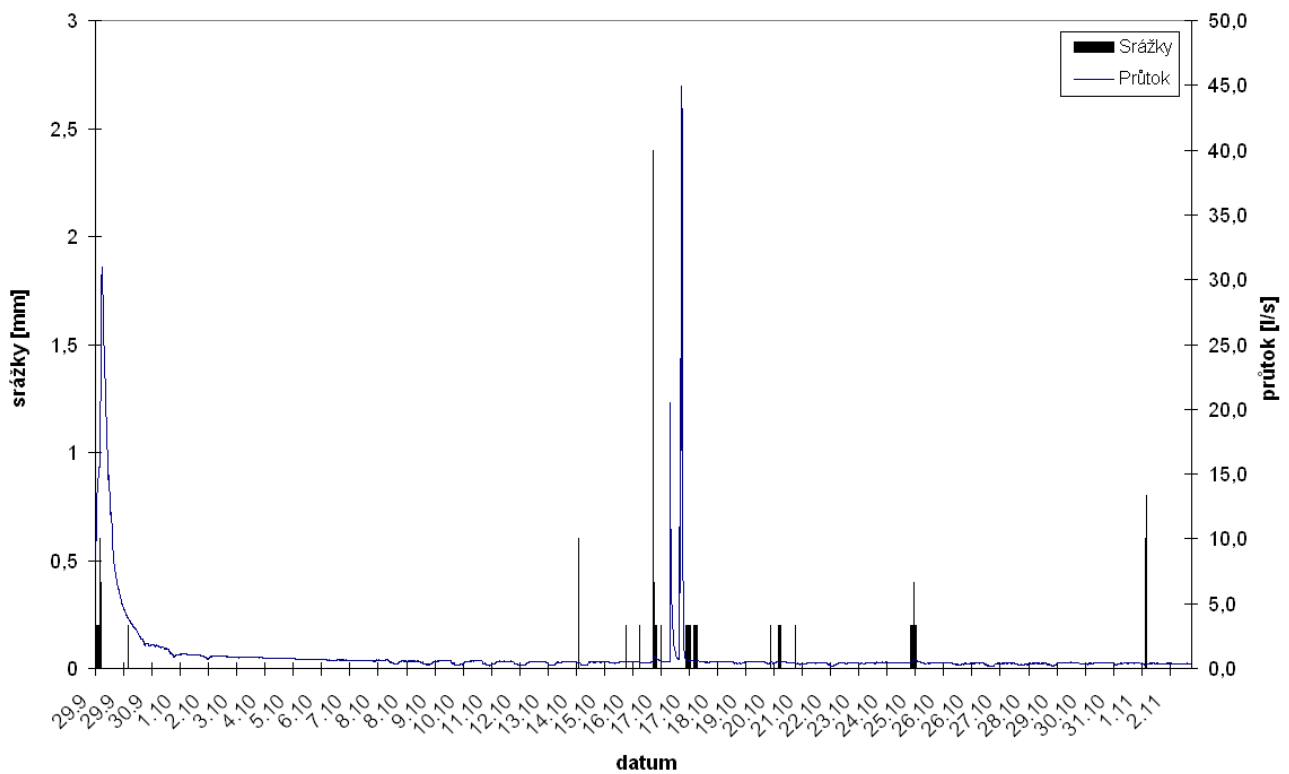
**Obr. 7 – Průběh srážek a průtoku – srpen 2010**



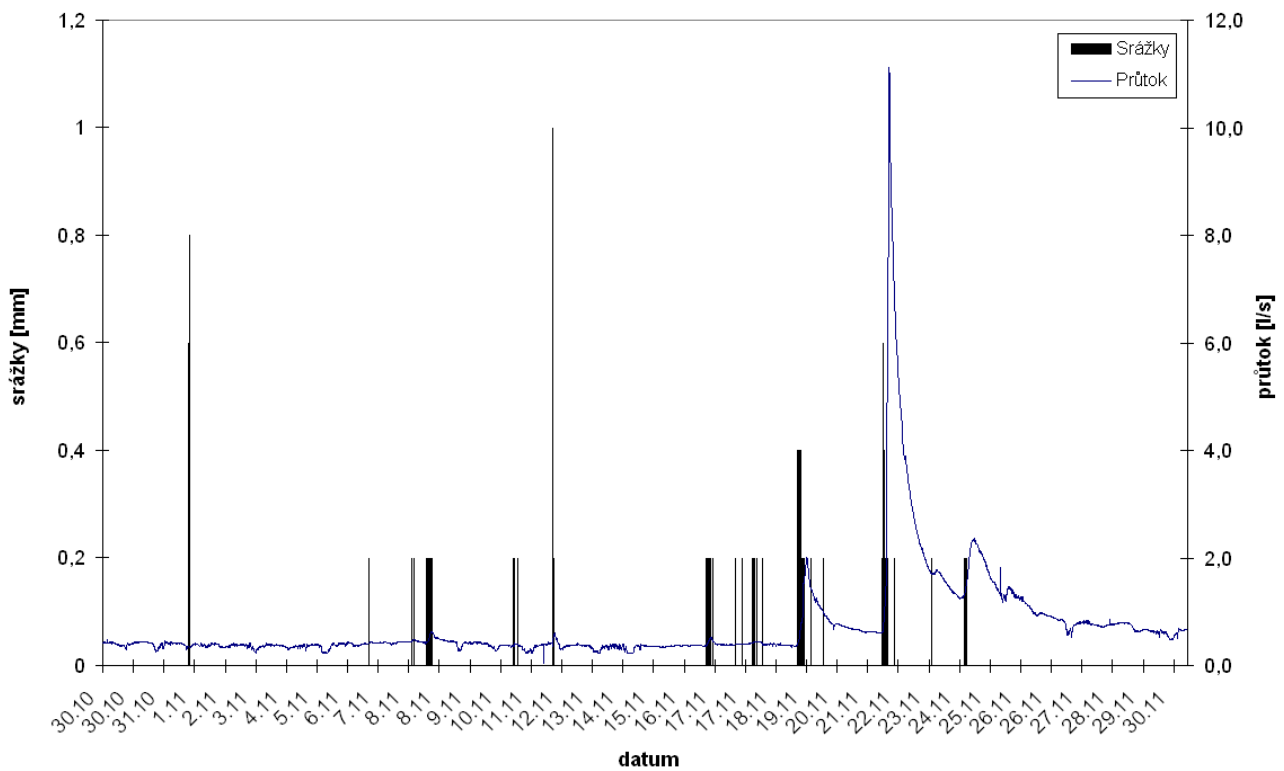
**Obr. 8 – Průběh srážek a průtoku – září 2010**



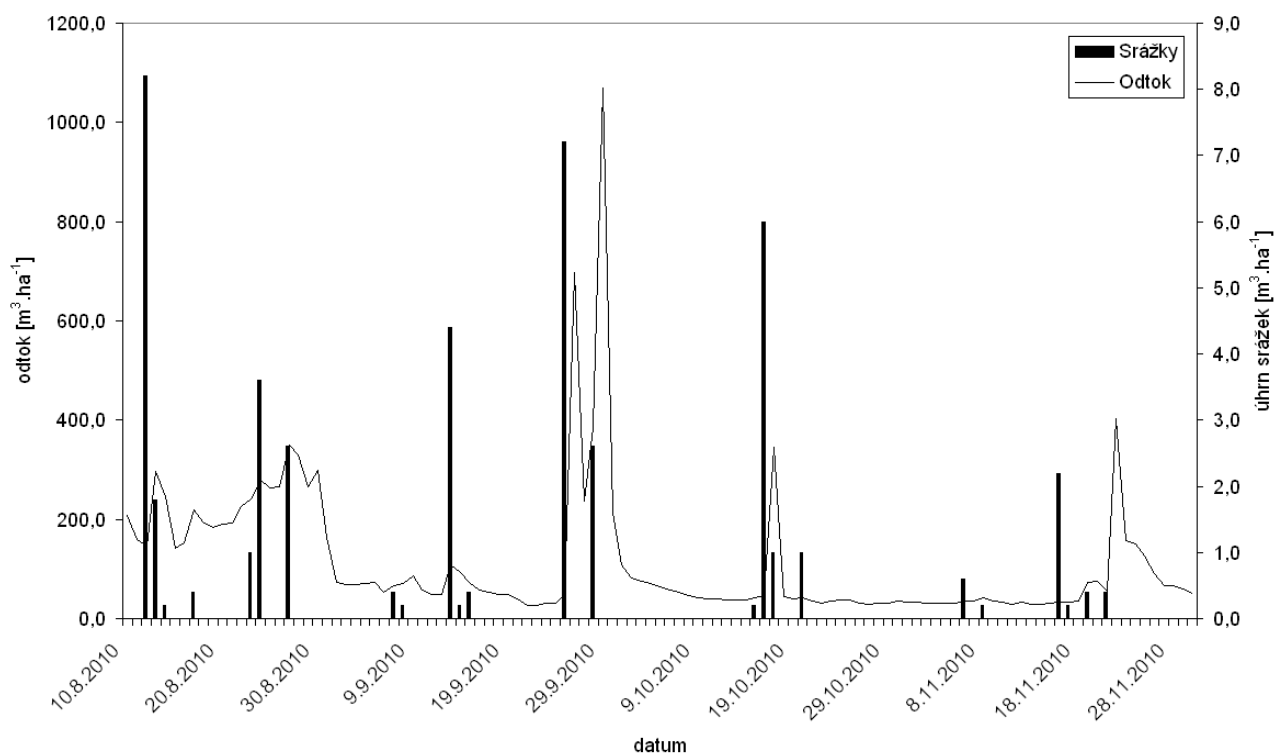
**Obr. 9 – Průběh srážek a průtoku – říjen 2010**



**Obr. 10 – Průběh srážek a průtoku – listopad 2010**



**Obr. 11 – Denní objemy srážek a denní objemy odtoku během sledovaného období.**



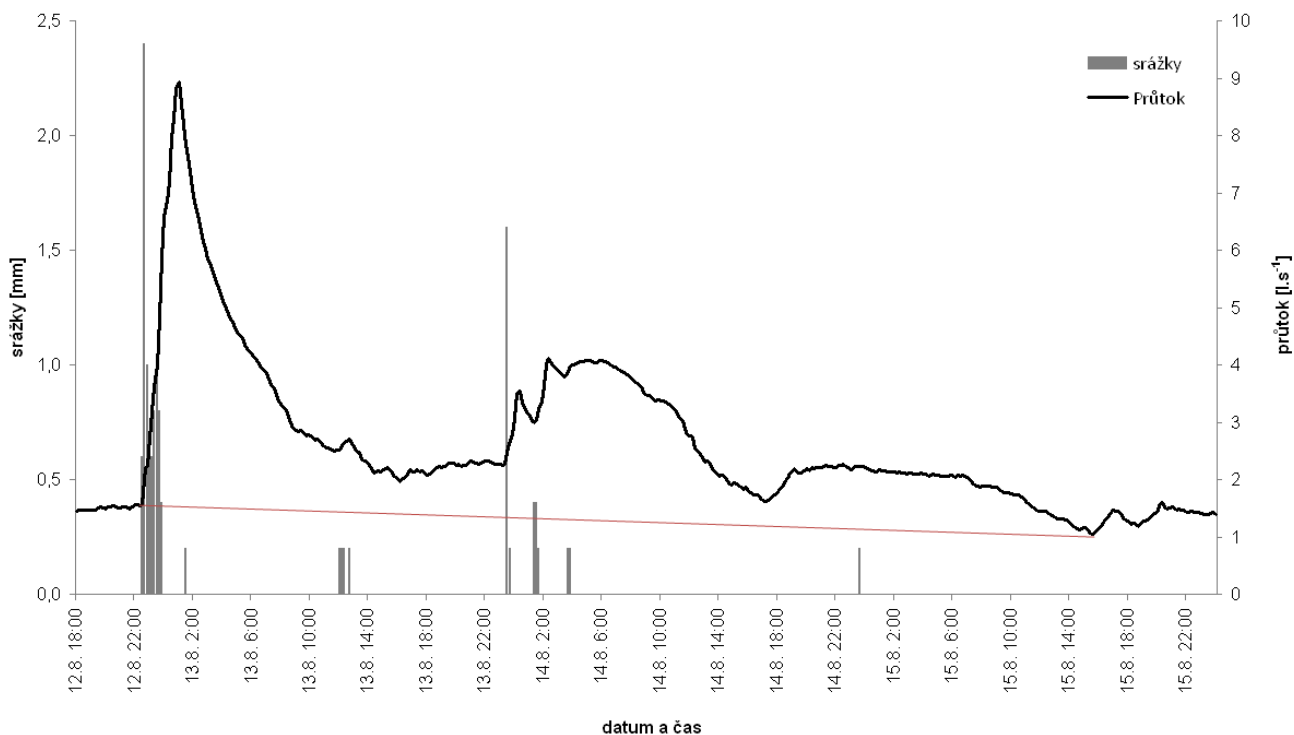
Ve dnech 12. – 15. srpna 2010 byla zaznamenána první vyšší průtoková vlna s kulminací v noci ze 12. – 13. srpna s průtokem  $8,94 \text{ l.s}^{-1}$ , což je hodnota překračující 30 denní průtok uvedený v Tab. 4.

Průběh průtokové vlny je zobrazen na Obr. 12 – 14.

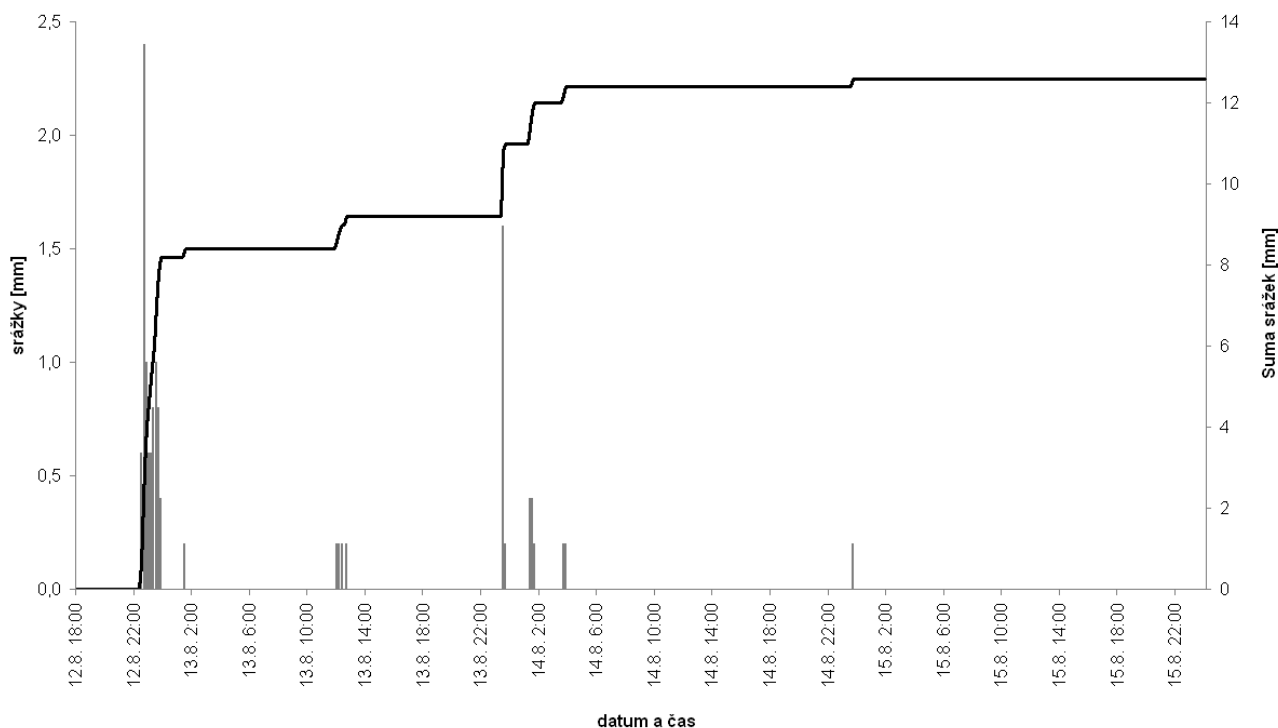
#### Parametry průtokové vlny 12. – 15.8.2010

Počáteční průtok	$\text{l.s}^{-1}$	1,56
Počátek průtokové vlny		12.8.2010 22:30
Konec průtokové vlny		15.8.2010 12:30
Objem průtokové vlny	$\text{m}^3$	652
Objem srážek	$\text{m}^3$	6 161
Součinitel odtoku	%	11

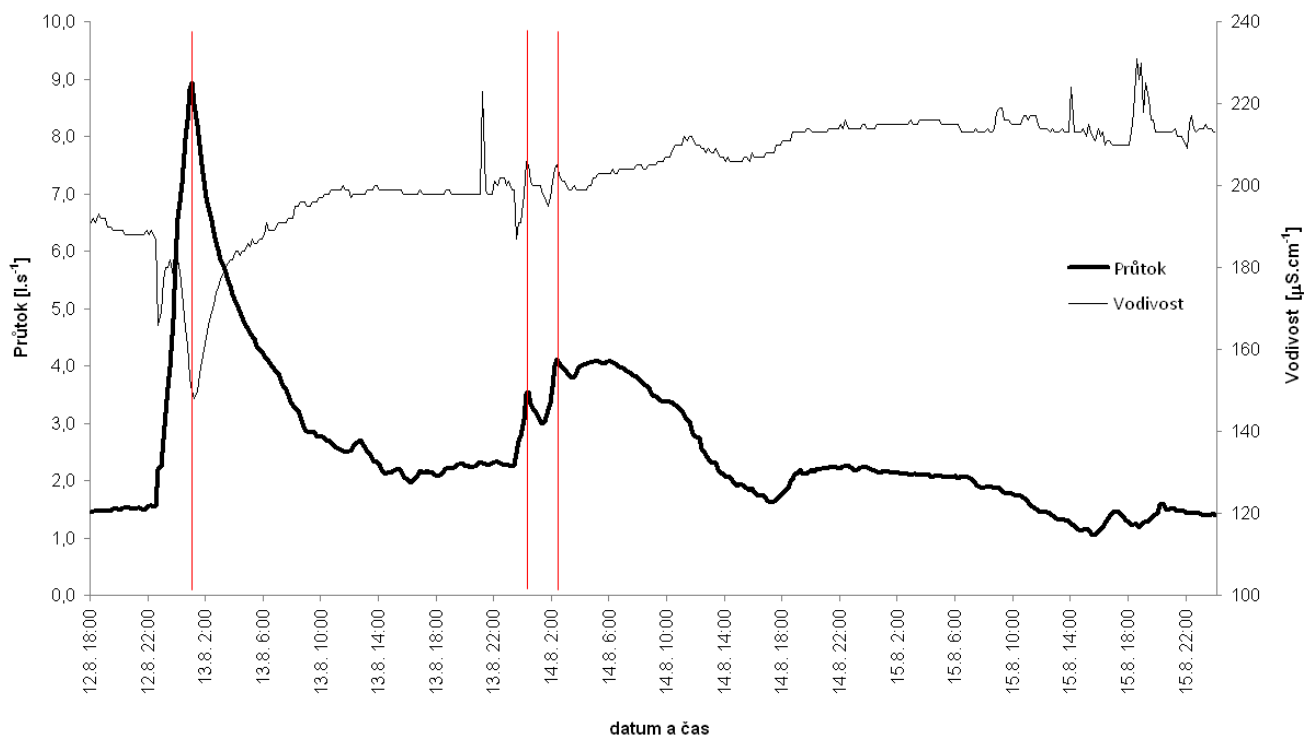
**Obr. 12 – Průběh průtokové vlny ve dnech 12. – 15. 8. 2010**



**Obr. 13 – Graf intenzity a sumy příčných srážek ve dnech 12. – 14. 8. 2010**



**Obr. 14 – Graf vodivosti a průtoku během průtokové vlny ve dnech 12. – 14. 8. 2010**



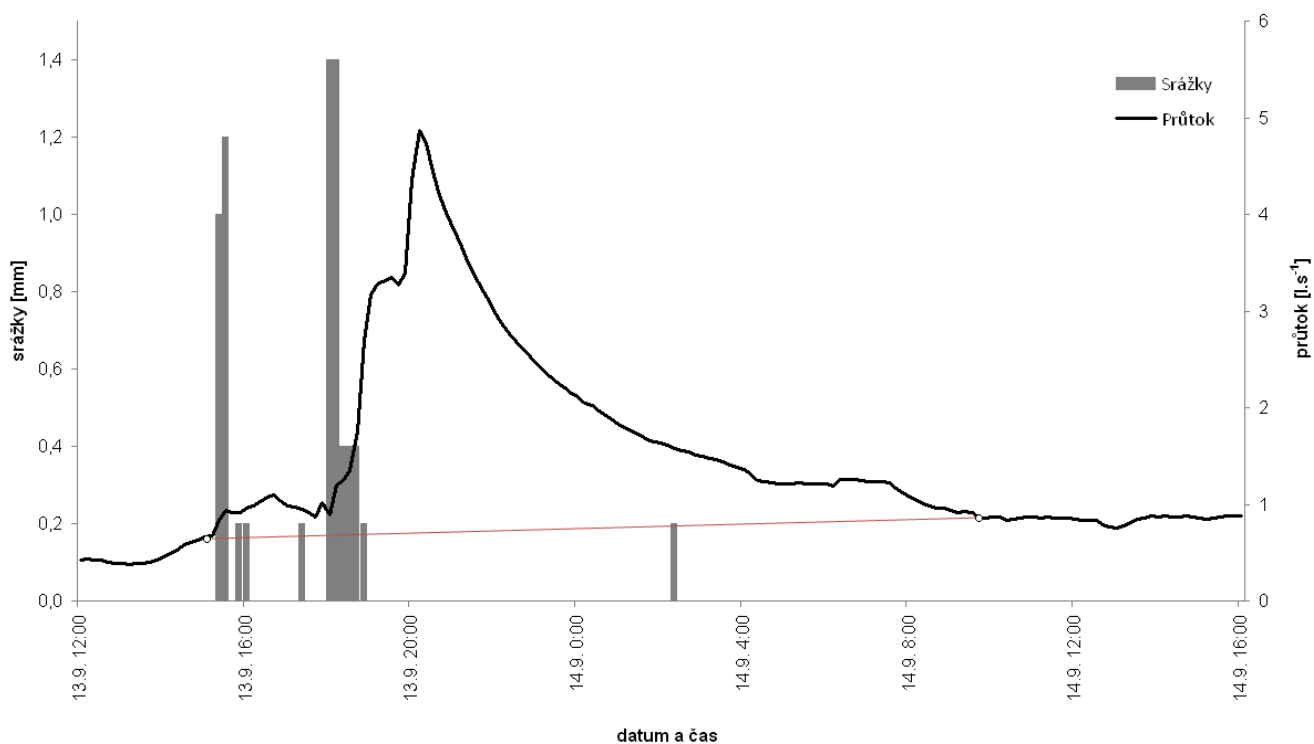
Další průtoková vlna byla zaznamenána dne 13. září s hlavní kulminací ve večerních hodinách. Kulminační průtok byl  $4,87 \text{ l.s}^{-1}$ , což odpovídá zhruba  $Q_{40d}$ .

Průběh průtokové vlny je zobrazen na Obr. 15 – 17.

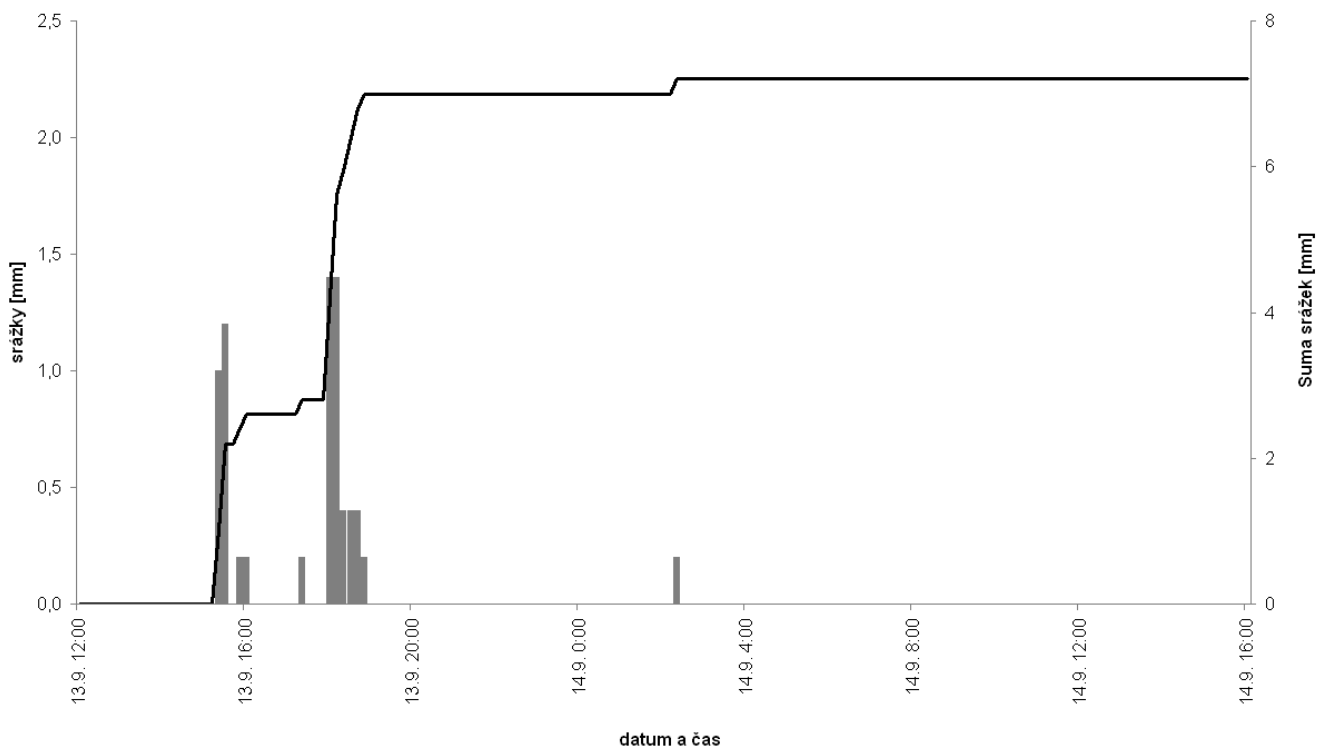
#### Parametry průtokové vlny 13.9.2010

Počáteční průtok	$\text{l.s}^{-1}$	1,56
Počátek průtokové vlny		13.9.2010 15:10
Konec průtokové vlny		14.9.2010 8:40
Objem průtokové vlny	$\text{m}^3$	118
Objem srážek	$\text{m}^3$	3 521
Součinitel odtoku	%	3

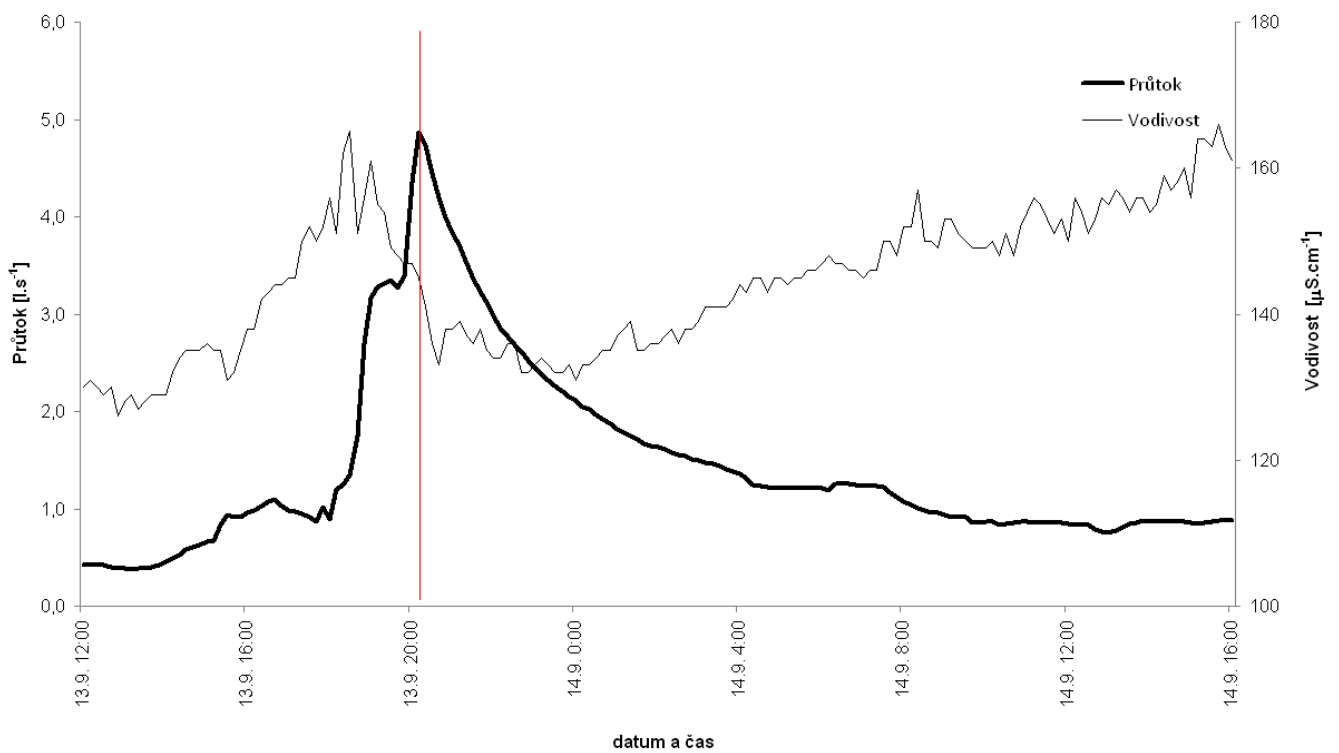
**Obr. 15 – Průběh průtokové vlny dne 13.9.2010**



**Obr. 16 – Graf intenzity a sumy příčných srážek dne 13.9.2010**



**Obr. 17 – Graf vodivosti a průtoku během průtokové vlny dne 13.9.2010**



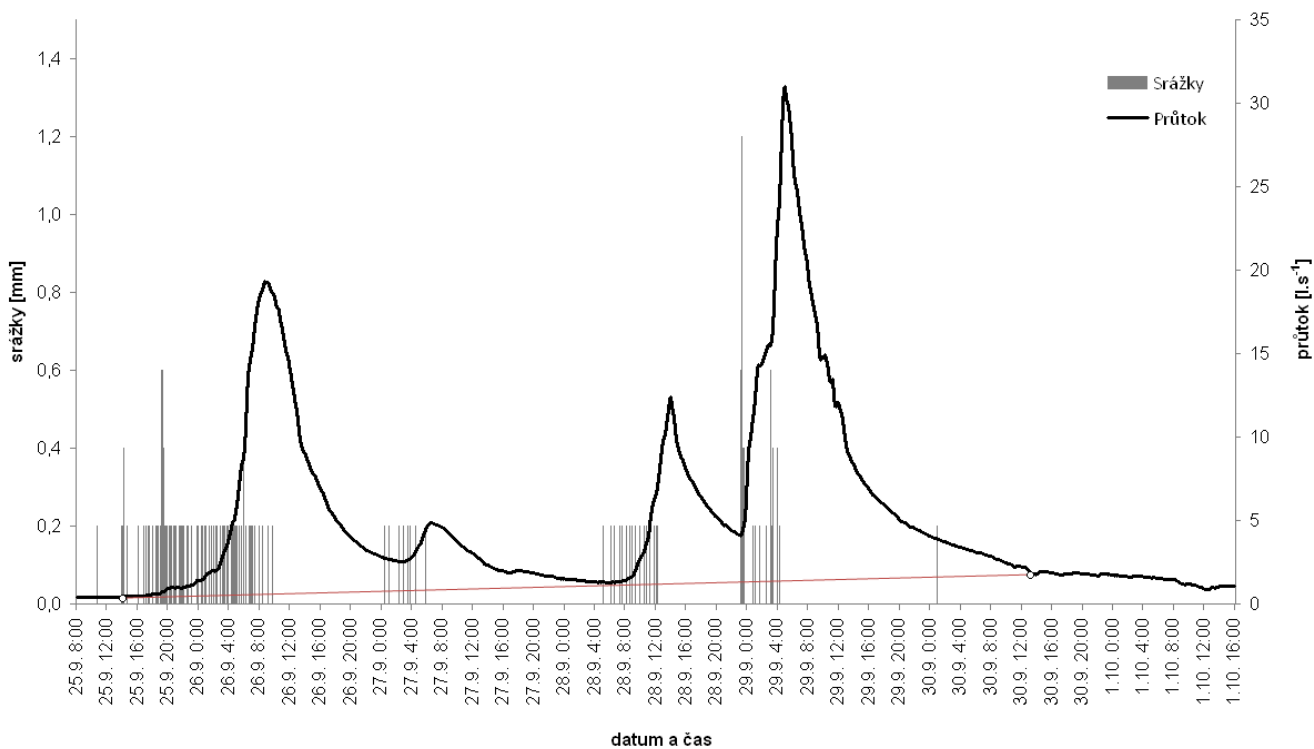
Ve dnech 25. – 30. září 2010 zasáhly oblast ČR vydatné trvalé srážky. Zaznamenané průtokové vlny měly 2 hlavní kulminace. První kulminace s průtokem  $19,29 \text{ l.s}^{-1}$  proběhla v ranních hodinách 26.9., druhá kulminace s průtokem  $31 \text{ l.s}^{-1}$  proběhla v ranních hodinách 29.9.

Průběh průtokové vlny je zobrazen na Obr. 18 – 20..

Parametry průtokové vlny 25. – 30.9.2010

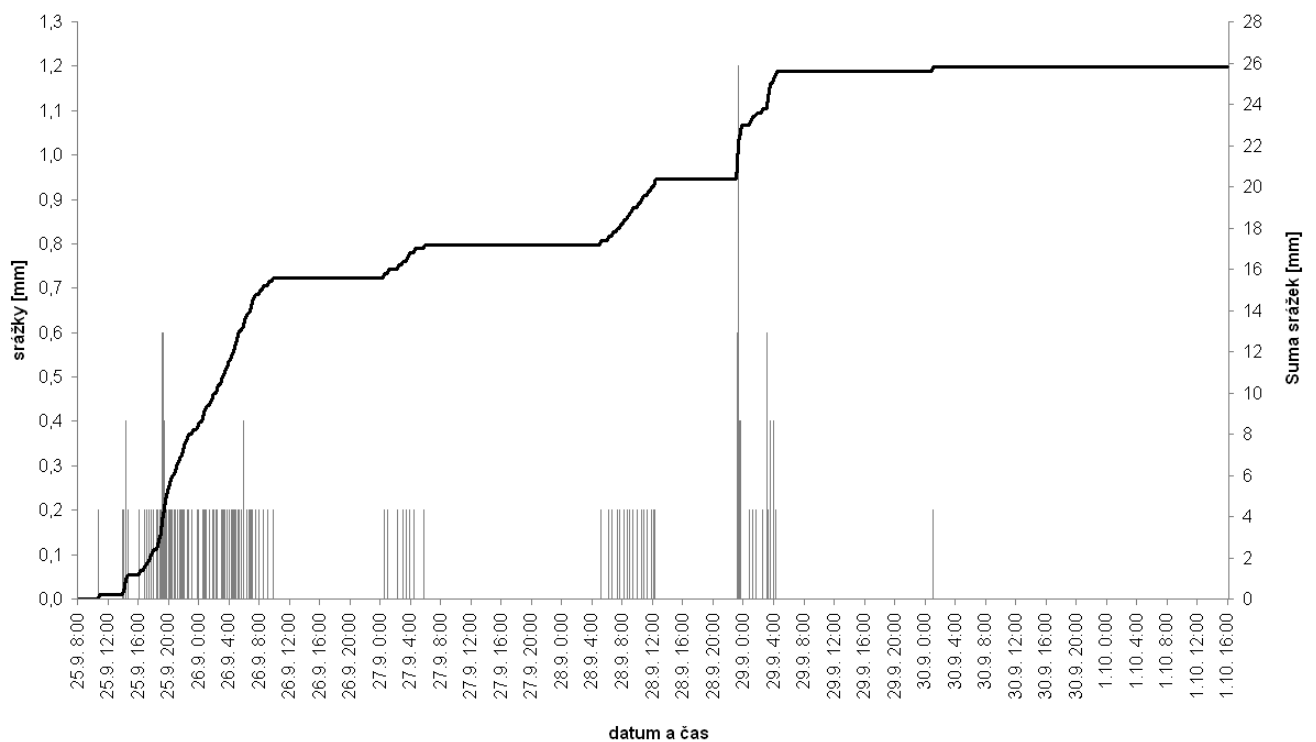
Počáteční průtok	l/s	0,44
Počátek průtokové vlny		25.9.10 14:00
Konec průtokové vlny		30.9.10 13:20
Objem průtokové vlny	m3	2 562
Objem srážek	m3	12 616
Součinitel odtoku	%	20

**Obr. 18 – Průběh průtokové vlny ve dnech 25. - 30.9.2010**

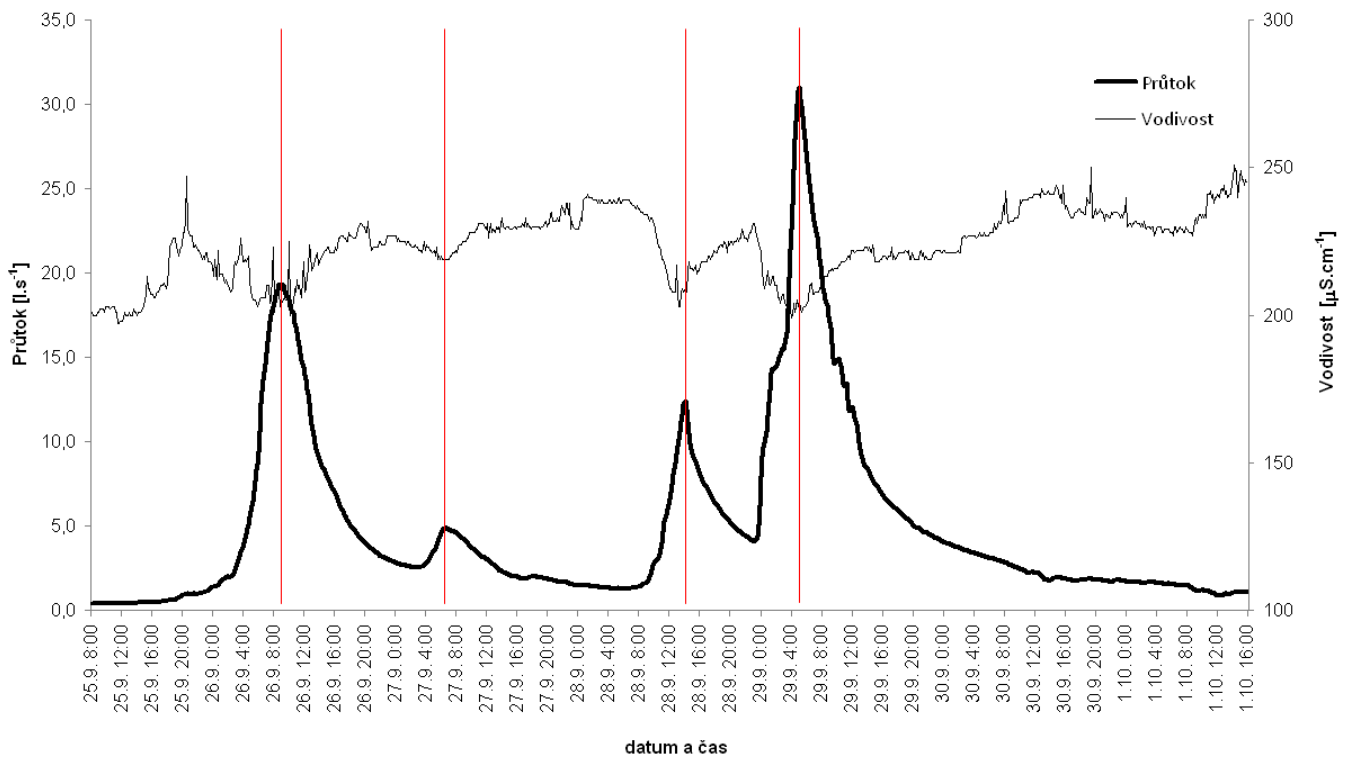




**Obr. 19 – Graf intenzity a sumy příčných srážek ve dnech 25. - 30.9.2010**



**Obr. 20 – Graf vodivosti a průtoku během průtokové vlny ve dnech 25. - 30.9.2010**



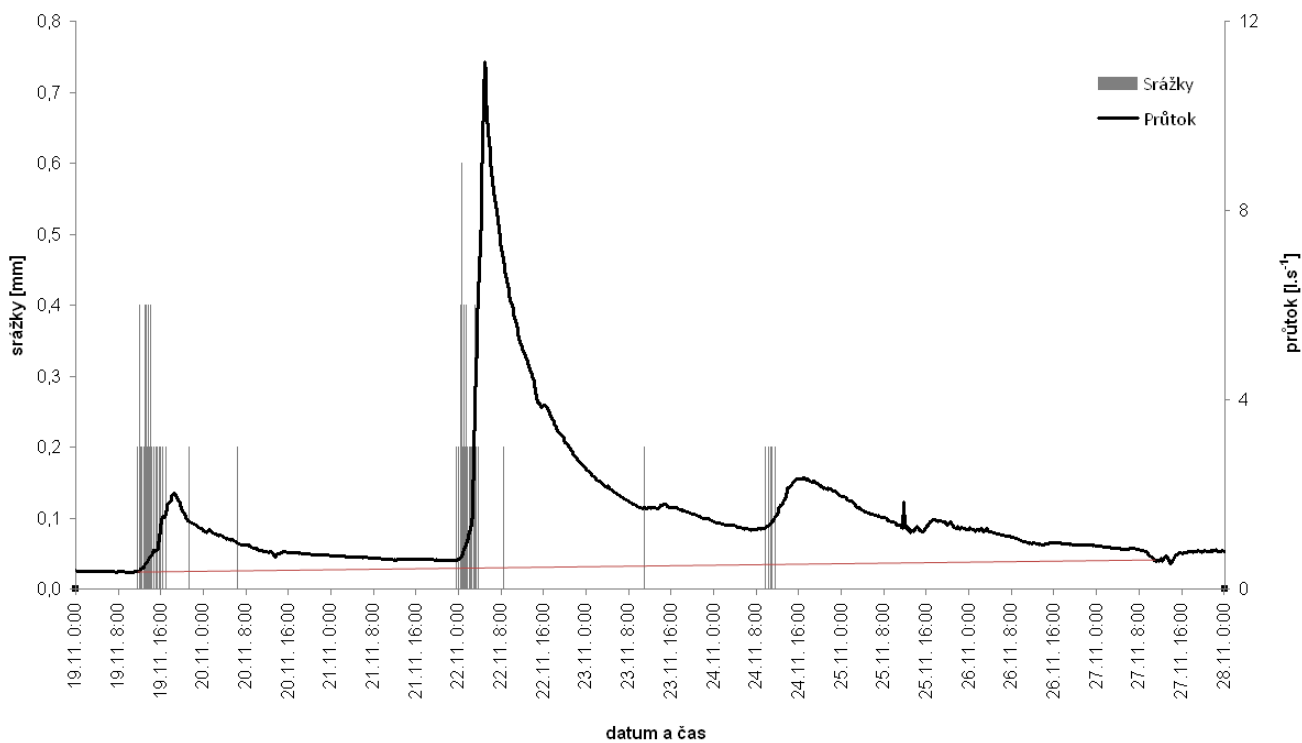
Ve dnech 19. - 24.11.2010 byly zaznamenány 3 vyšší průtokové vlny, přičemž průtoková vlna dne 22.11.2010 kulminovala na hodnotě průtoku  $11 \text{ l.s}^{-1}$ , což je hodnota překračující 30 denní průtok uvedený v Tab. 6.

Průběh průtokové vlny je zobrazen na Obr. 21 – 23.

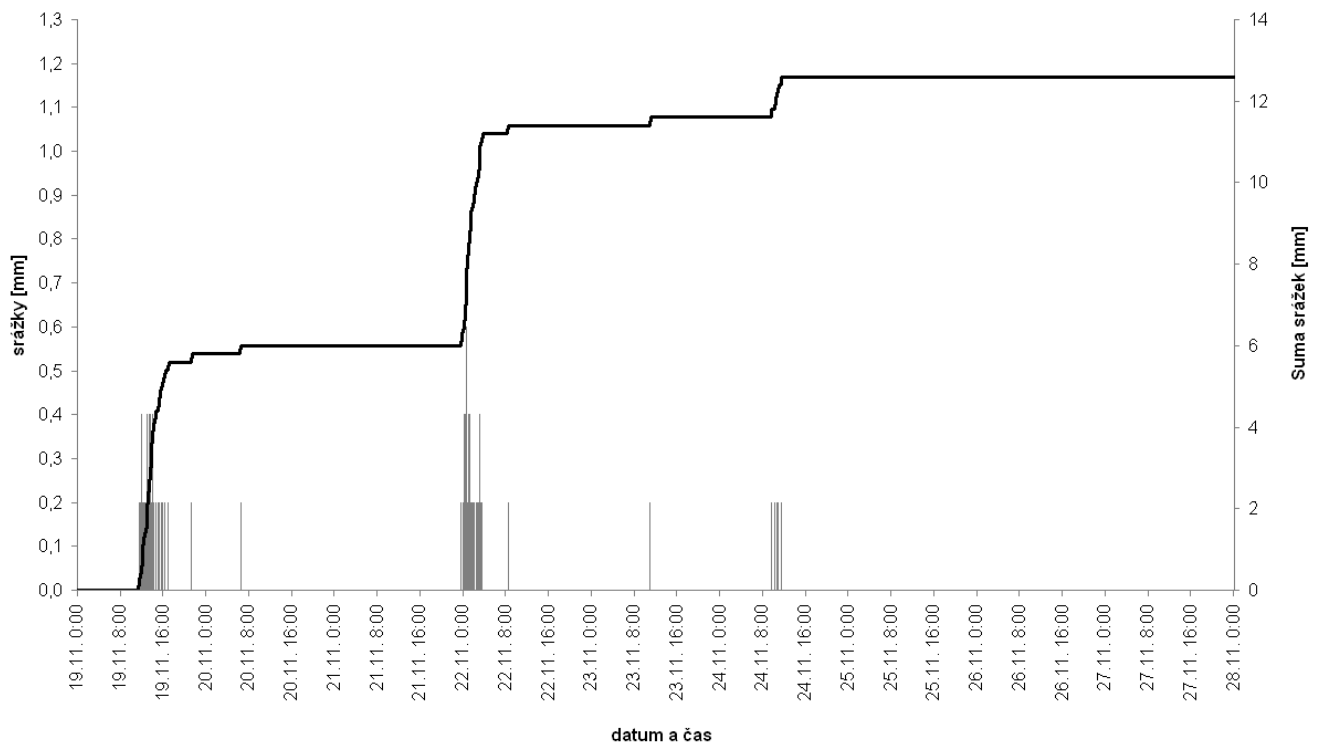
#### Parametry průtokové vlny 19. – 24.11.2010

Počáteční průtok	$\text{l.s}^{-1}$	0,36
Počátek průtokové vlny		19.11.2010 10:50
Konec průtokové vlny		27.11.2010 10:10
Objem průtokové vlny	$\text{m}^3$	1 145
Objem srážek	$\text{m}^3$	6 161
Součinitel odtoku	%	19

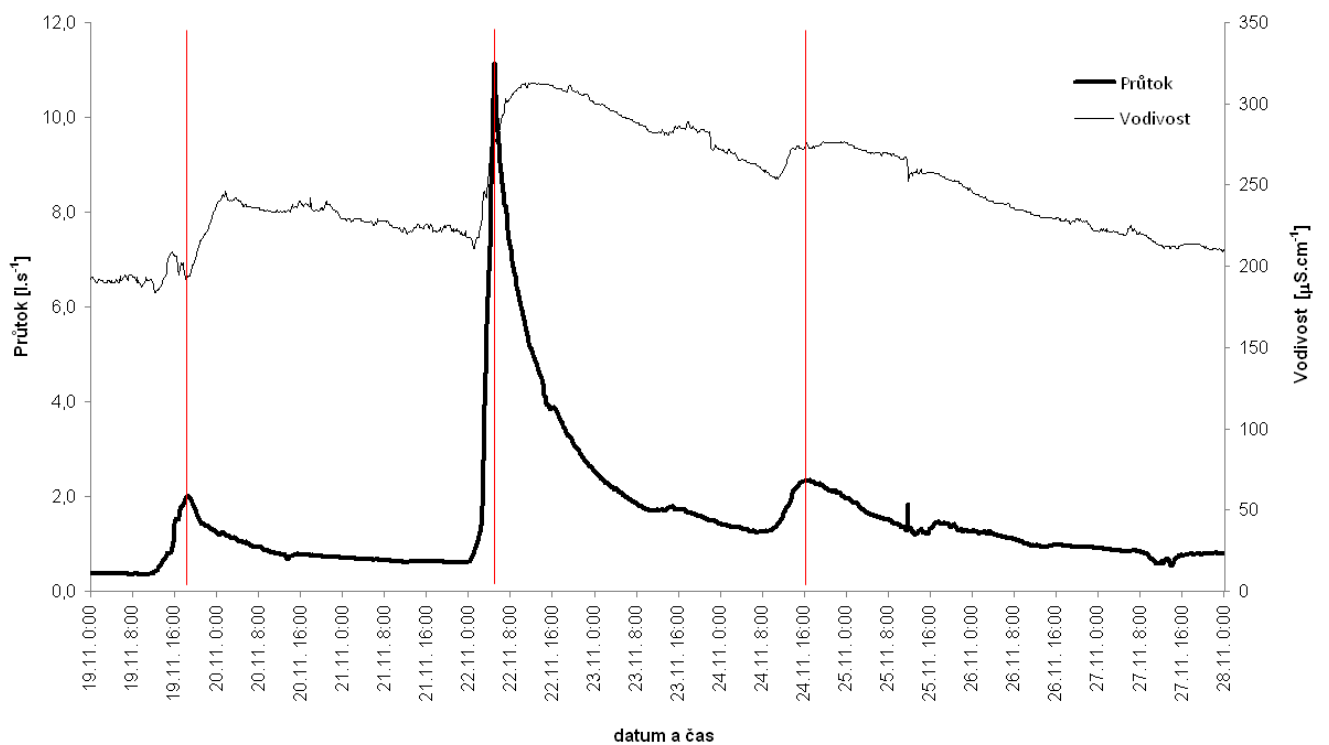
**Obr. 21 – Průběh průtokové vlny ve dnech 19. – 24.11.2010**



**Obr. 22 – Graf intenzity a sumy příčných srážek ve dnech 19. – 24.11.2010**



**Obr. 23 – Graf vodivosti a průtoku během průtokové vlny ve dnech 19. – 24.11.2010**



## 4.2. Elektrická vodivost vody - konduktivita

Konduktivita je úměrná koncentraci, resp. aktivitě iontů rozpuštěných ve vodě.

Konduktivita byla měřena kontinuálně na měrném přelivu v intervalu 10 minut v průběhu celé sezóny, tj. od 10.8. do 30.11.2010. Tento interval odpovídal intervalům ostatních meteorologicko-hydrologických měření. Vedle kontinuálního měření byla konduktivita rovněž měřena během analýz odebraných vzorků jak ve vodě přitékající do rybníka, tak v obou rybníčních nádržích.

Výsledky měření konduktivity v odebraných vzorcích ukazuje tab. 6.

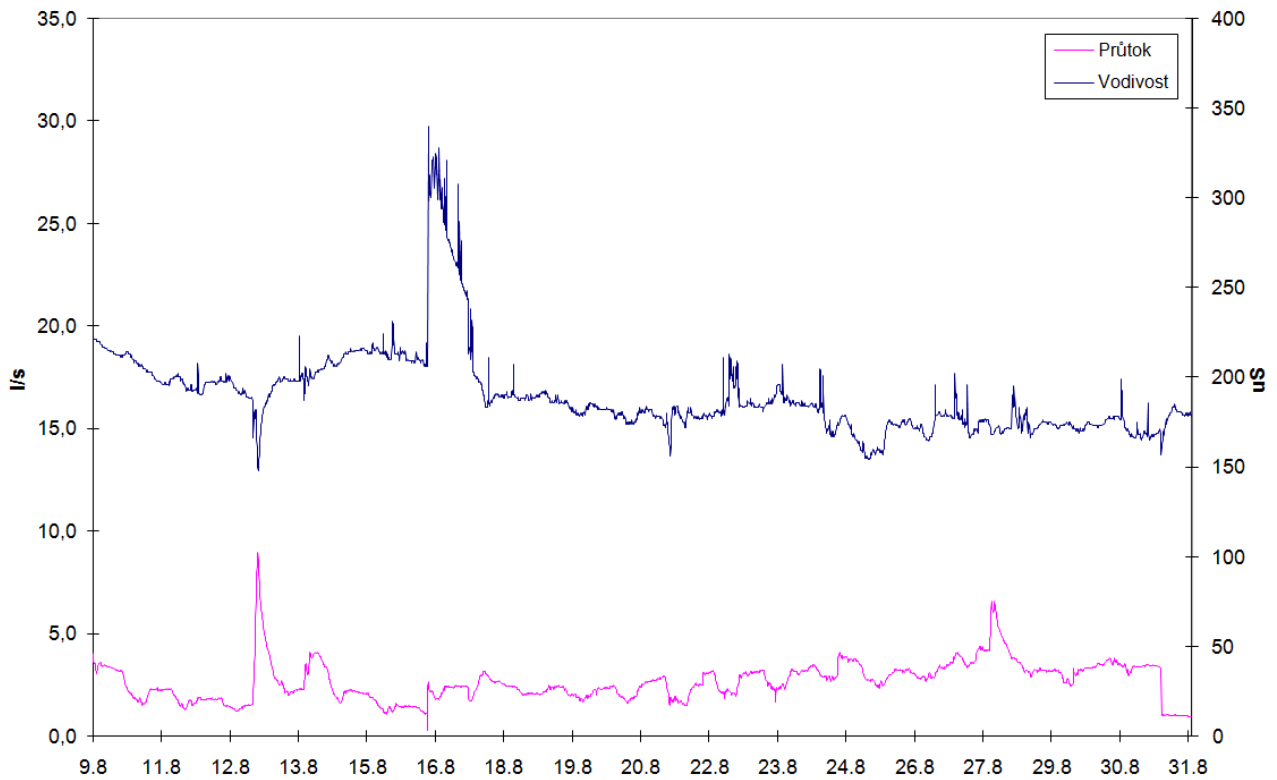
Výsledky kontinuálního měření konduktivity v měrném profilu jsou zobrazeny na obrázcích 24 – 27. Z nich je patrné, že 12. srpna došlo k poklesu vodivosti v souvislosti s lokální srážkou a zvýšením průtoku. Významné zvýšení vodivosti se shoduje s výkyvem průtoku ve dnech 16.8. a 30.8. a bylo způsobeno opravou měrného přelivu a dobudování vývařiče, resp. skluzu. V září je zřejmý vzrůst vodivosti ve druhé polovině měsíce – vysvětlujeme si tento jev sníženým příjmem živin rostlinami a celkově sníženou aktivitou rostlin – kukuřice postupně usychala. Konec září přinesl období významných srážek, ovšem proti průtoku nejsou změny vodivosti příliš patrné. Na grafu je vyznačen den sklizně kukuřice, a to 2. října.

V říjnu 2010 je znatelný významný vzrůst vodivosti v týdnu bezprostředně po sklizni kukuřice. Nabízí se vysvětlení, že je to následek posekání a odstranění vegetace. Je nutno ještě uvážit, do jaké míry mohla ke zvýšení vodivosti přispět nesklizená a rozsekaná biomasa rostlin, která zůstala v odvodňovací strouze. K významné změně vodivosti došlo během dvou krátkých a výrazných srážkových epizod 17. – 18.10. S vyšším průtokem vodivost rapidně klesla, nedocházelo nejspíš k vyplavování iontů, ale k naředění. Naopak v listopadu je závislost vodivosti na průtoku rovněž patrná, ovšem tentokrát přímá závislost a hodnoty vodivosti rostly spolu se zvyšujícím se průtokem.

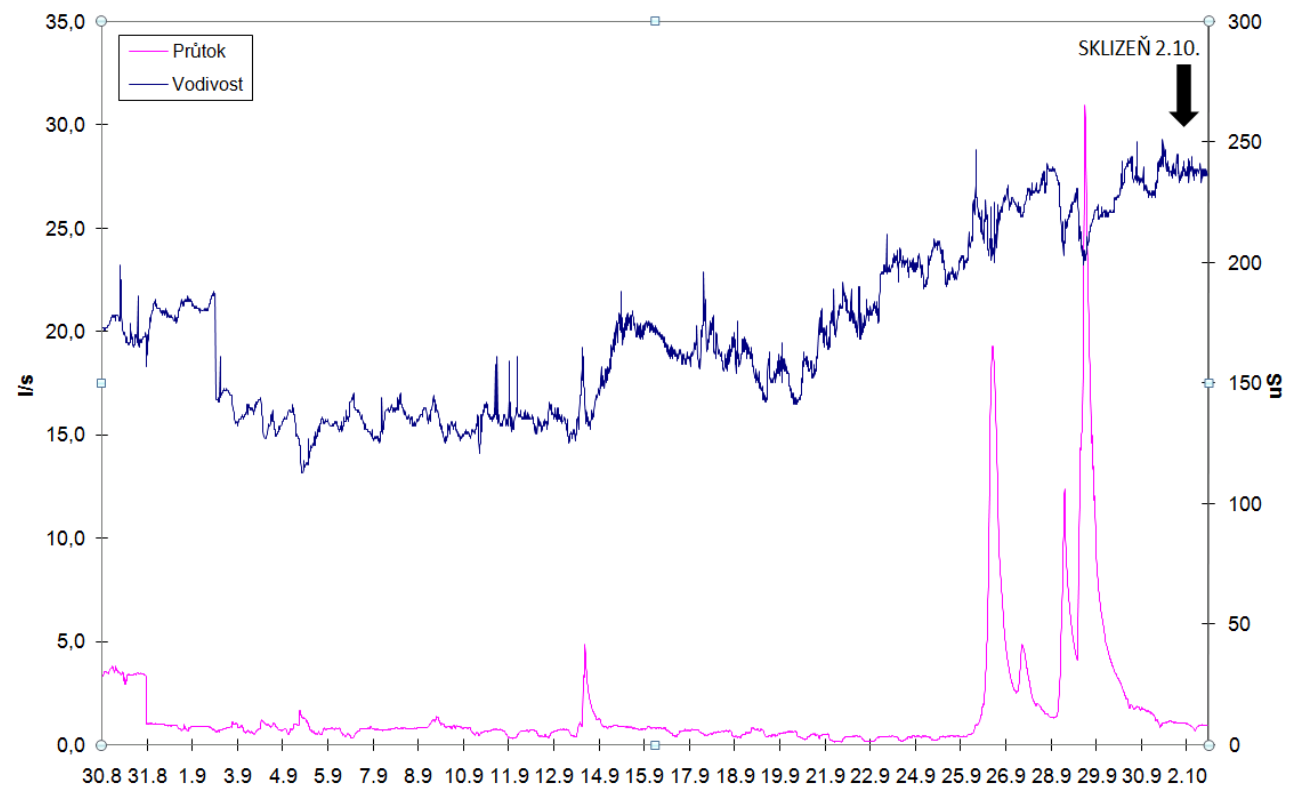
**Tab. 6 – Aktuální hodnoty konduktivity ( $\gamma$ )****17.8.    31.8.    14.9.    30.9.    14.10.    27.10.    11.11.    25.11.**

<b>Lokalita</b>	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$	$\gamma$ $\mu\text{S.cm}^{-1}$
Dunajovice přeliv	223,3	170,0	157,9	264,8	237,0	206,1	207,2	329,0
Nový u Dunajovic hladina	194,9	226,0	249,5	257,9	260,0	268,3	274,4	276,8
Nový u Dunajovic profil	194,8	226,0	250,4	253,7	261,2	266,6	277,1	276,9
Ráček hladina	217,2	226,0	-	264,2	297,3	309,0	323,0	-
Ráček profil	216,4	227,0	-	266,7	302,0	314,0	325,0	-

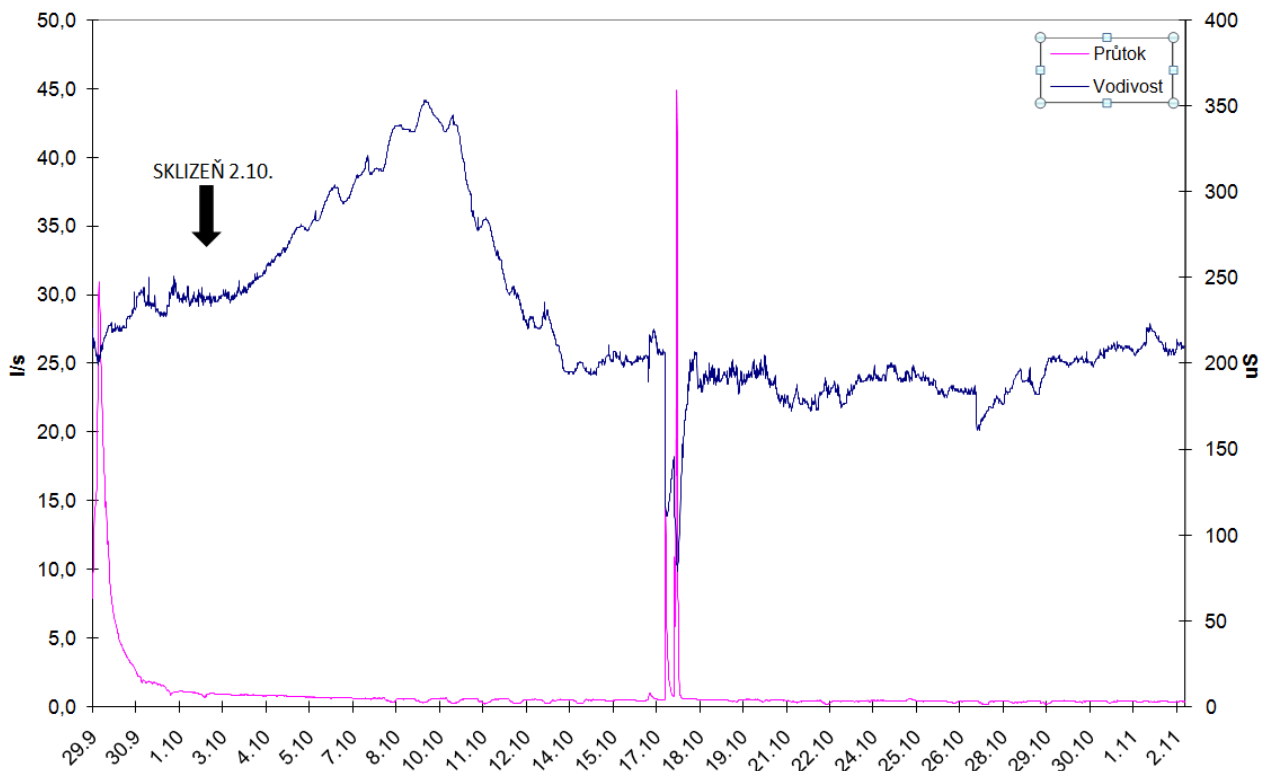
**Obr. 24. Vodivost a průtok – srpen 2010**



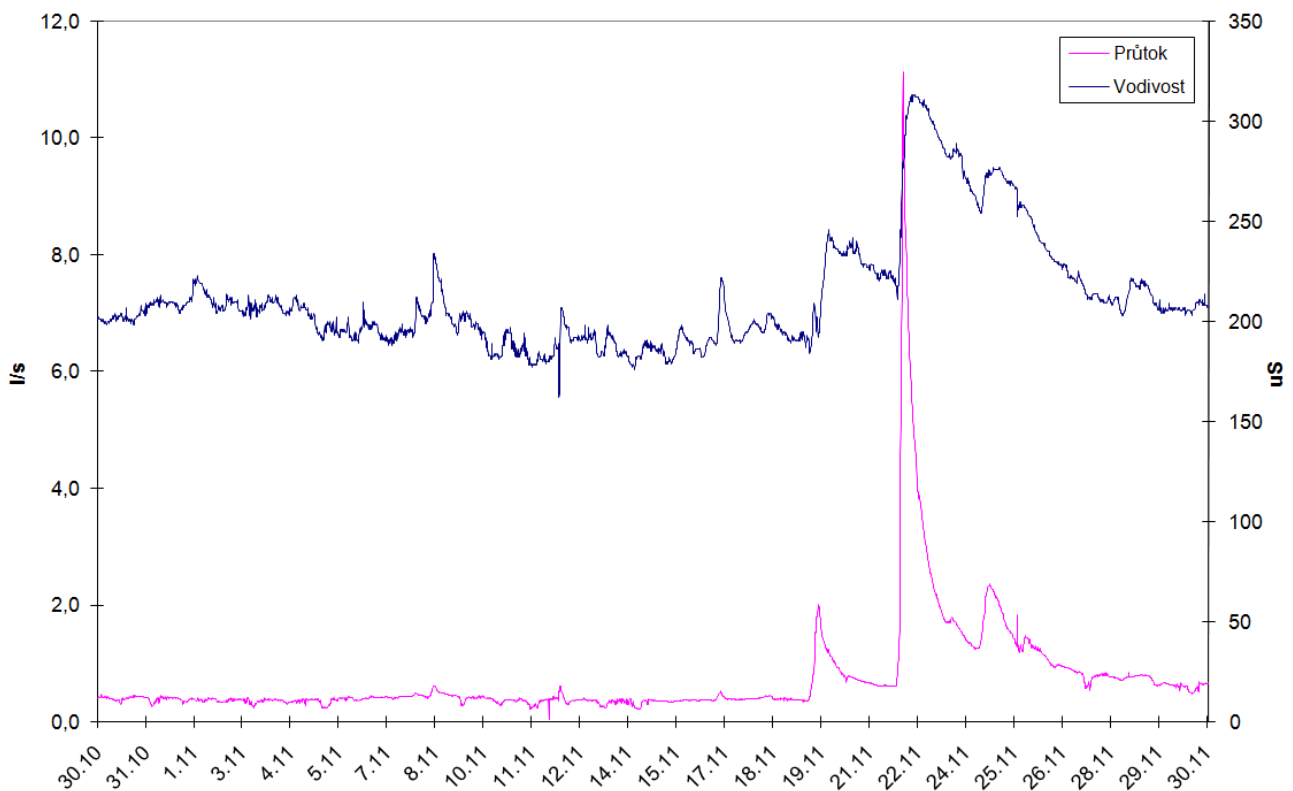
**Obr. 25. Vodivost a průtok – září 2010**



**Obr. 26. Vodivost a průtok – říjen 2010**



**Obr. 27. Vodivost a průtok – listopad 2010**





### 4.3. pH a kyselinová neutralizační kapacita (KNK)

Voda odtékající z pole je slabě alkalická v rozsahu pH 7,1 – 7,4 s jedinou výjimkou 7,8 (11.11.). Téměř neutrální pH je v souladu s hodnotami KNK, které se pohybují v rozsahu 0,75 – 1,2 mmol.l<sup>-1</sup>. Dvě mezní hodnoty jsou výjimečné, většinou se hodnoty KNK pohybovaly okolo 0,9 mmol/l. Je zřejmé, že voda odtékající z pole zásobuje rybník alkalitou, která je vyšší nežli přirozené pozadí chudých půd na Třeboňsku. V některých případech je KNK rybníční vody na Třeboňsku vyšší nežli 1mmol/l, to je ovšem způsobeno soustavným vápněním a zásobou uhličitanu v sedimentech. Tato zásoba se projevuje vzestupem KNK v průběhu vegetační sezóny, jak se uhličitan vápenatý rozpouští ze sedimentu po reakci s oxidem uhličitým, který se uvolňuje v postupně se ohřívajícím sedimentu a vzhledem k dlouhé době zdržení vody v rybníku (cca 3 měsíce) přetrvává do podzimních měsíců. Na jeho uvolňování se podílejí i ryby rytím ve dně, zvláště při vysokých obsádkách při nadržené násadě.

Vyšší hodnoty pH změřené v rybníční vodě jsou očekávané, a jsou způsobeny fotosyntetickým příjmem oxidu uhličitého, který je spojen se zvyšováním pH (asimilační pH).

**Tab. 7 – Aktuální hodnoty pH a kyselinové neutralizační kapacity (KNK<sub>4,5</sub>).**

	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
<b>Lokalita</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>	<b>pH</b>
Dunajovice přeliv	7,3	7,4	7,3	7,0	7,4	7,3	7,8	7,1
Nový u Dunajovic hladina	9,3	7,7	7,6	7,8	7,9	8,0	7,7	7,9
Nový u Dunajovic profil	9,3	7,7	7,6	7,8	8,1	8,0	7,7	7,8
Ráček hladina	7,9	7,7	-	8,2	7,5	7,8	7,5	-
Ráček profil	8,0	7,7	-	8,2	7,5	7,8	7,5	-

<b>Lokalita</b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>	<b>KNK<sub>4,5</sub> mmol.l<sup>-1</sup></b>
Dunajovice přeliv	0,748	0,858	0,885	1,200	0,913	0,898	0,973	0,927
Nový u Dunajovic hladina	1,546	1,968	2,242	2,300	2,371	2,437	2,527	2,404
Nový u Dunajovic profil	1,539	1,966	2,248	2,301	2,395	2,430	2,529	2,406
Ráček hladina	1,848	1,995	-	2,339	2,551	2,697	2,856	-
Ráček profil	1,818	1,992	-	2,346	2,547	2,698	2,848	-

#### 4.4. Uhlík

Uhlík byl stanovován ve vzorcích vody odebíraných ve čtrnáctidenních intervalech. Graf na obr. 28 ukazuje celkové denní odtoky uhlíku z povodí (48,9 ha) v den odběru. Více než patrný je pokles odtoku všech forem uhlíku po sklizni kukuřice a zasetí další plodiny (pšenice), tj. od 3.10.2010. Zvýšení celkového odtoku uhlíku je zapříčiněno spíše zvýšeným průtokem během srážek než vyšší koncentrací, byť i tato, jak plyne z tab. 2, rovněž vzrostla ve všech formách.

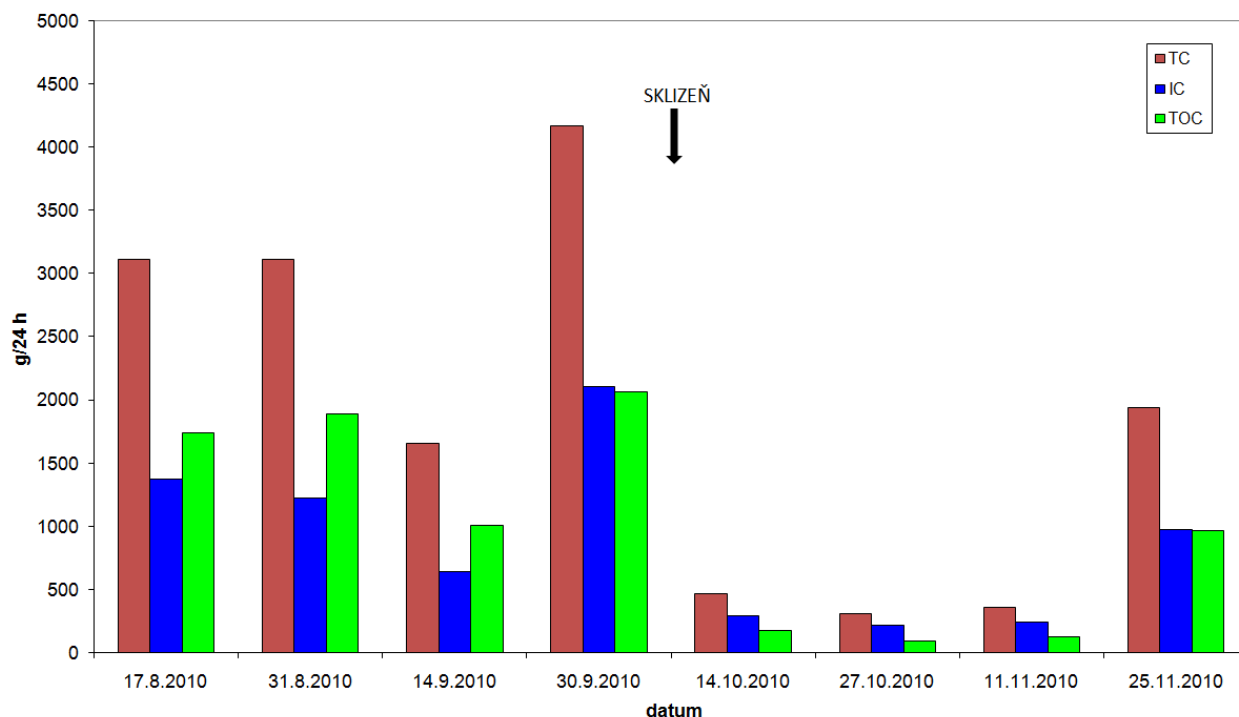
**Tab. 8 – Aktuální koncentrace uhlíku ve vzorcích vody (TC – celkový uhlík, IC – anorganický uhlík, TOC – celkový organický uhlík)**

Lokalita	filtr	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
		TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>	TC mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	100	14,25	18,89	17,80	19,63	12,33	10,57	12,48	15,35
Nový u Dunajovic hladina	100	23,76	31,46	30,88	33,06	33,23	35,45	37,29	33,65
Nový u Dunajovic profil	100	24,32	32,47	32,31	33,47	34,22	34,42	37,21	35,24
Ráček hladina	100	30,15	33,77	-	32,63	36,89	40,57	41,12	-
Ráček profil	100	29,85	33,85	-	30,57	38,04	39,75	40,53	-
Dunajovice přeliv	GFC	14,73	23,57	18,10	20,97	12,33	10,63	11,57	15,08
Nový u Dunajovic hladina	GFC	29,79	38,83	37,71	38,67	37,92	32,12	33,01	32,27
Nový u Dunajovic profil	GFC	29,63	38,67	39,53	39,39	37,66	32,94	32,67	32,64
Ráček hladina	GFC	30,78	33,58	-	38,51	38,46	35,88	39,17	-
Ráček profil	GFC	30,39	33,18	-	38,72	38,62	37,33	38,04	-

Lokalita	filtr	IC	IC	IC	IC	IC	IC	IC	IC
		mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	100	6,29	7,42	6,94	9,90	7,71	7,41	8,21	7,71
Nový u Dunajovic hladina	100	11,50	17,38	17,55	19,33	19,49	19,12	22,63	19,71
Nový u Dunajovic profil	100	11,67	17,79	18,52	19,60	21,60	19,11	22,00	21,44
Ráček hladina	100	16,24	19,05	-	18,68	22,79	23,82	25,31	-
Ráček profil	100	16,04	18,75	-	16,84	23,53	23,14	24,69	-
Dunajovice přeliv	GFC	6,37	10,55	6,85	10,07	7,73	7,38	7,75	7,71
Nový u Dunajovic hladina	GFC	11,98	17,80	18,18	19,71	19,66	19,53	21,30	19,09
Nový u Dunajovic profil	GFC	12,05	17,85	18,97	21,15	18,27	21,49	19,60	21,03
Ráček hladina	GFC	16,30	18,03	-	21,53	22,95	22,72	24,47	-
Ráček profil	GFC	16,12	18,03	-	21,52	22,57	23,77	23,36	-

Lokalita	filtr	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
		TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>	TOC mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	100	7,96	11,47	10,86	9,73	4,62	3,16	4,27	7,64
Nový u Dunajovic hladina	100	12,26	14,08	13,33	13,73	13,74	16,33	14,66	13,94
Nový u Dunajovic profil	100	12,65	14,68	13,79	13,87	12,62	15,31	15,21	13,80
Ráček hladina	100	13,91	14,72	-	13,95	14,10	16,75	15,81	-
Ráček profil	100	13,81	15,10	-	13,73	14,51	16,61	15,84	-
Dunajovice přeliv	GFC	8,36	13,02	11,25	10,90	4,60	3,25	3,82	7,37
Nový u Dunajovic hladina	GFC	17,81	21,03	19,53	18,96	18,26	12,59	11,71	13,18
Nový u Dunajovic profil	GFC	17,58	20,82	20,56	18,24	19,39	11,45	13,07	11,61
Ráček hladina	GFC	14,48	15,55	-	16,98	15,51	13,16	14,70	-
Ráček profil	GFC	14,27	15,15	-	17,20	16,05	13,56	14,68	-

**Obr. 28. Denní celkové odtoky uhlíku z povodí v různých formách (TC – celkový uhlík, IC – anorganický uhlík, TOC – celkový organický uhlík).**



#### 4.5. Dusík

Dusík byl ve vzorcích vody analyzován v několika formách. Amoniakální dusík byl ve zvýšené míře vyplavován ve druhé polovině sezóny, což souvisí s jeho nižším příjmem rostlinami ke konci sezóny. Řádově se liší koncentrace amoniakálního dusíku v přítokové vodě do rybníka Nový u Dunajovic a v rybnících samotných. Zvýšený odtok amoniakálního dusíku 30.9. je způsoben vyšším průtokem (Tab. 9, Obr. 25, Obr. 29), ale i vyšší koncentrací amoniaku v povrchových a drenážních vodách po výrazných srážkách. I přesto je drenážní voda v kategorii Neznečištěná voda pro parametr amoniakální dusík ve smyslu ČSN 72 7221.

Dusitanový dusík vykazuje vyšší koncentrace po sklizni (koncentrace jsou vyšší), celkový odtok je však závislý na celkovém odtoku vody, kdy je patrné naředování dusitanů vyšším průtokem, což je patrné u dvou významných srážkových epizod (konec září a konec listopadu), kdy průtoky dosahovaly 30 resp. 10 l/s (obr. 25, 27), zatímco koncentrace dusitanů byla v obou případech stejná (0,017 mg/l) a nikoliv nejvyšší (max. 0,0649 mg/l). Přesto je celkový denní odtok nejvyšší právě 30.9. (Obr. 30), kdy byl denní objem odtoku 212 m<sup>3</sup>.

Oproti dusitanovému dusíku nepozorujeme ředění koncentrací u dusičnanového dusíku během vyšších průtoků. Nejvyšší koncentrace dusičnanového dusíku v přítokové vodě do rybníka Nový u Dunajovic byly zaznamenány 17.8., 30.9. a 25.11.2010 (Tab. 9), kdy zároveň byly zaznamenány dva nejvyšší denní objemy odtoku vody ze všech odběrových dní – 218,3, 212,4 a 126,2 m<sup>3</sup>. V tyto dny je rovněž nejvyšší celkový denní odtok dusičnanového dusíku z povodí (Obr. 31). Stejně závěry platí i pro celkový dusík – Tab. 9, Obr. 32. Je nutné podotknout, že aktuální koncentrace dusičnanového dusíku řadí přítokovou vodu do rybníka do třídy II. – IV., tj. mírně až silně znečištěná (ČSN 757221). Voda v obou sledovaných rybnících je pak ve všech odběrových termínech v kategorii I, tj. neznečištěná.

**Tab. 9 – Aktuální koncentrace dusíku ve vzorcích vody**

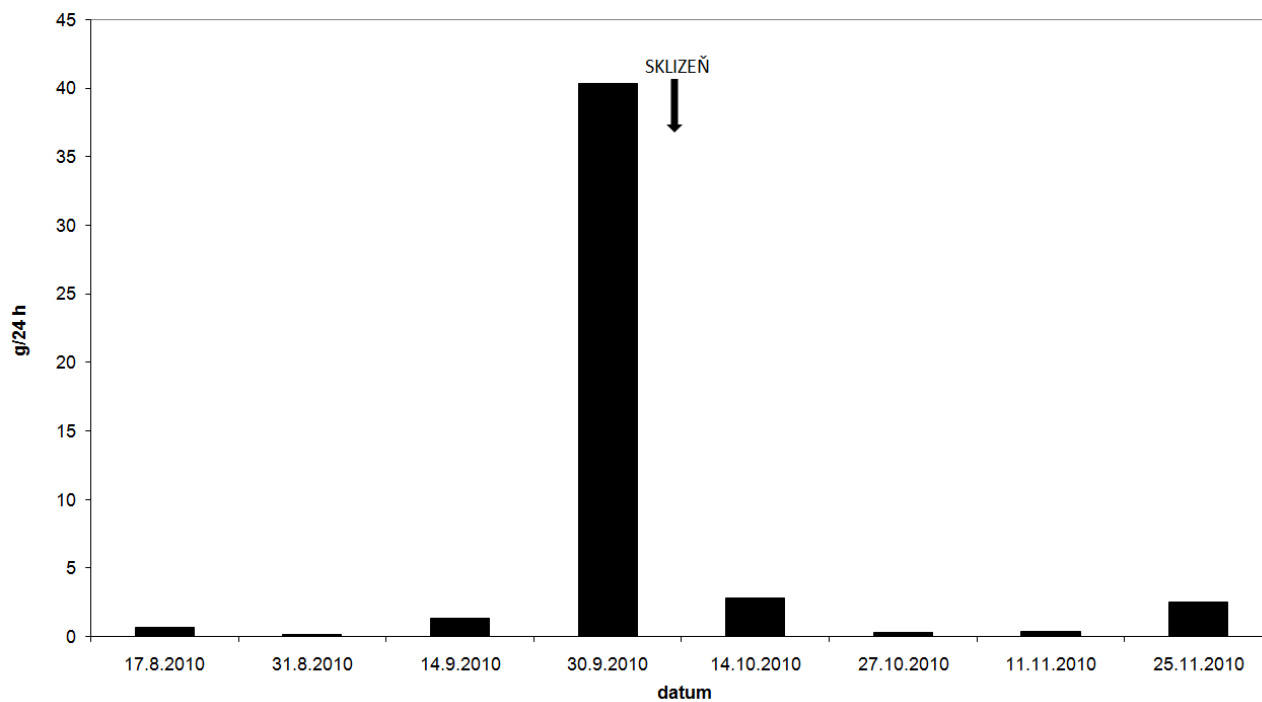
Lokalita	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,003	0,001	0,015	0,190	0,074	0,010	0,013	0,020
Nový u Dunajovic hladina	0,001	0,002	0,003	0,013	0,003	0,010	0,003	0,003
Nový u Dunajovic profil	0,003	0,004	0,000	0,009	0,007	0,005	0,003	0,005
Ráček hladina	0,055	0,070		0,013	0,007	0,000	0,100	
Ráček profil	0,054	0,069		0,008	0,011	0,004	0,020	

	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
Lokalita	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,011	0,018	0,0154	0,0172	0,0649	0,033	0,023	0,017
Nový u Dunajovic hladina	0,094	0,007	0,0027	0,0119	0,0044	0,004	0,003	0,013
Nový u Dunajovic profil	0,098	0,006	0,0038	0,0128	0,0035	0,002	0,003	0,011
Ráček hladina	0,005	0,010		0,0033	0,0051	0,002	0,003	
Ráček profil	0,005	0,012		0,0024	0,0022	0,001	0,002	

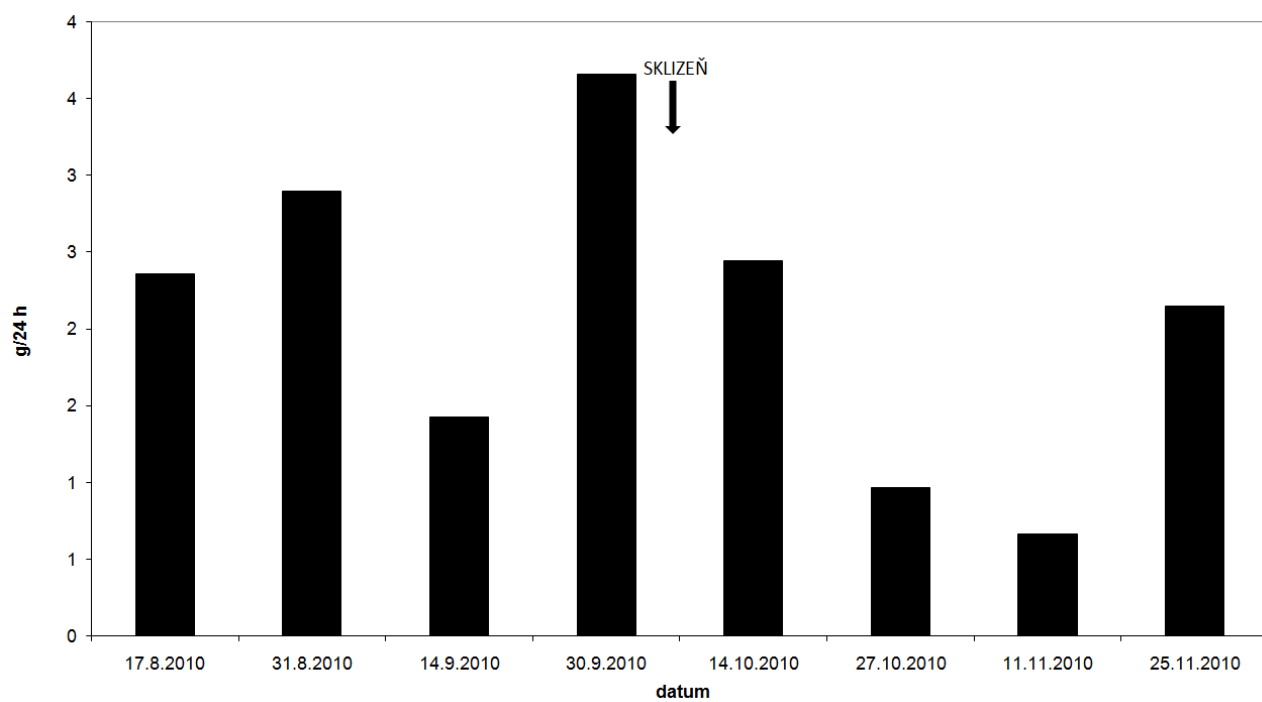
Lokalita	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> -N mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	6,75	3,320	2,439	7,750	6,183	5,620	4,840	13,620
Nový u Dunajovic hladina	2,14	0,096	0,010	0,432	0,017	0,090	0,021	0,846
Nový u Dunajovic profil	1,87	0,003	0,007	0,409	0,009	0,088	0,031	0,646
Ráček hladina	0,04	0,026		0,014	0,007	0,087	0,027	
Ráček profil	0,03	0,024		0,020	0,008	0,088	0,012	

Lokalita	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>	TN mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	8,432	4,289	3,797	16,357	7,649	6,157	6,375	22,539
Nový u Dunajovic hladina	4,599	2,658	2,566	2,961	2,455	1,411	2,147	2,823
Nový u Dunajovic profil	4,415	2,664	2,779	2,900	2,478	1,310	2,346	2,756
Ráček hladina	1,436	1,499		2,135	2,004	1,605	2,005	
Ráček profil	1,484	1,574		2,258	2,016	1,562	1,988	

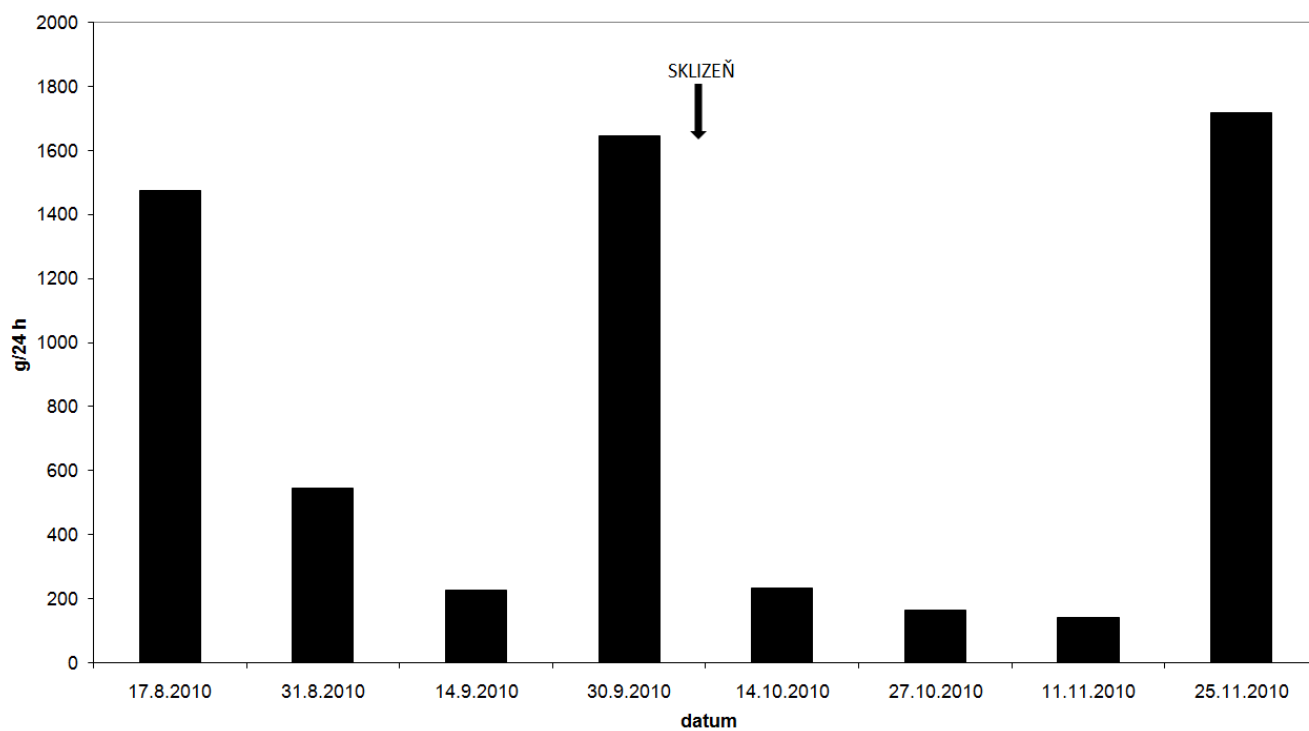
**Obr. 29. Denní celkové odtoky amoniakálního dusíku z povodí (48,9 ha)**



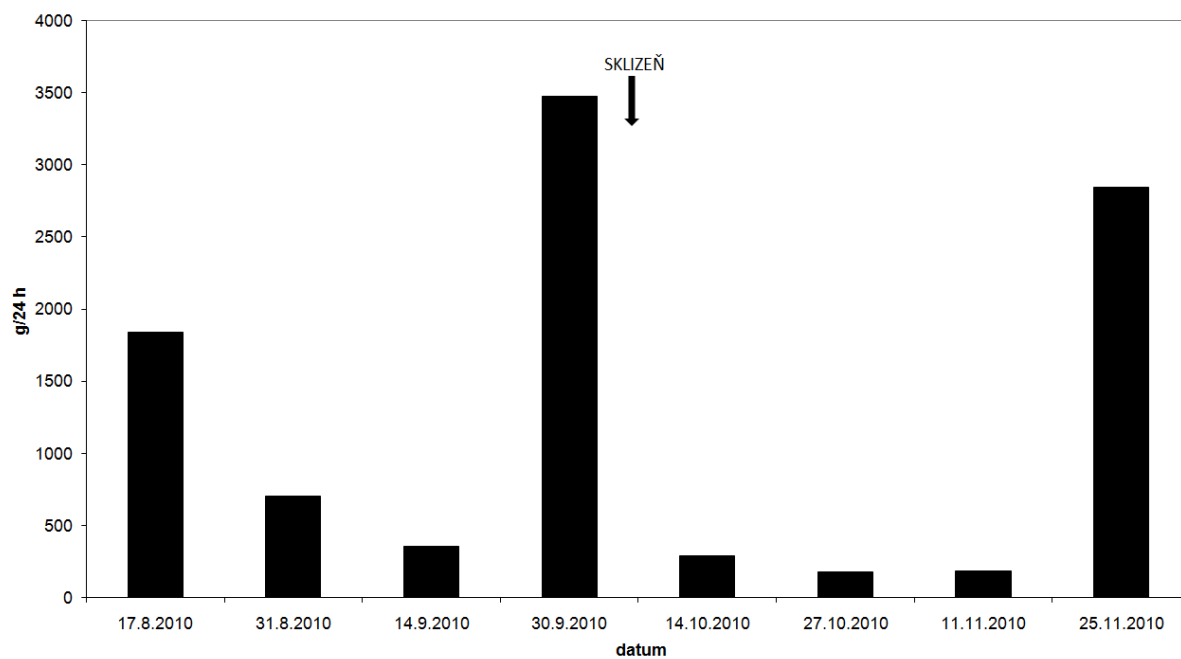
**Obr. 30 – Denní celkové odtoky dusitanového dusíku NO<sub>2</sub>-N z povodí (48,9 ha)**



**Obr. 31 – Denní celkové odtoky dusičnanového dusíku NO<sub>3</sub>-N z povodí (48,9 ha)**



**Obr. 32 – Denní celkové odtoky celkového dusíku z povodí (48,9 ha)**





#### 4.6. Fosfor, sírany, chloridy, sodík, draslík, hořčík, vápník

I v případě fosforečnanového fosforu se během srážkových epizod vyplavují ve větší míře fosforečnany, o čemž svědčí vyšší aktuální koncentrace 17.8., 30.9. a 25.11. (tab. 10) a zvyšuje se celkový odtok, jak je patrné pro zmíněné dny na obr. 10. Změřené koncentrace celkového fosforu řadí vodu přitékající do rybníka do kategorie II. – III. (mírně znečištěná až znečištěná) s extrémem při srážkové epizodě na konci listopadu, kdy aktuální koncentrace 0,677 mg.l<sup>-1</sup> zařadila vodu do kategorie IV. – silně znečištěná (tab. 10). Jak z tabulky č.10, tak z obrázku 33 je zřejmé, že vyšší srážky vyplavují z půdy vyšší koncentrace fosforu a celkové odtoky jsou vyšší. Vyšší koncentrace fosforu nacházíme i ve vodě obou rybníků v povodí.

Sírany nevykazují výrazný trend nebo závislost během sledovaného období. S ohledem na změřené aktuální koncentrace a přepočtený odtok síranů podle denních odtoků vody z povodí je patrné vyšší vyplavování (vyšší koncentrace), která ale není patrná u odběru 30.9, bezprostředně po významných srážkách. (Tab. 9, Obr. 35).

V případě chloridů není příliš patrné zvýšené vyplavování během srážek, ačkoliv jejich odtok během srážkových epizod je vyšší, což je tedy dáno vyšším objemem odtoku vody (Obr. 36). Na druhou stranu je patrné zvýšení koncentrace chloridů v období po sklizni kukuřice, tj. od 2.10. do konce sledovaného období, tj. do 30.11. (Tab. 10).

**Tab. 10 - Aktuální koncentrace dalších aniontů ve vzorcích vody**

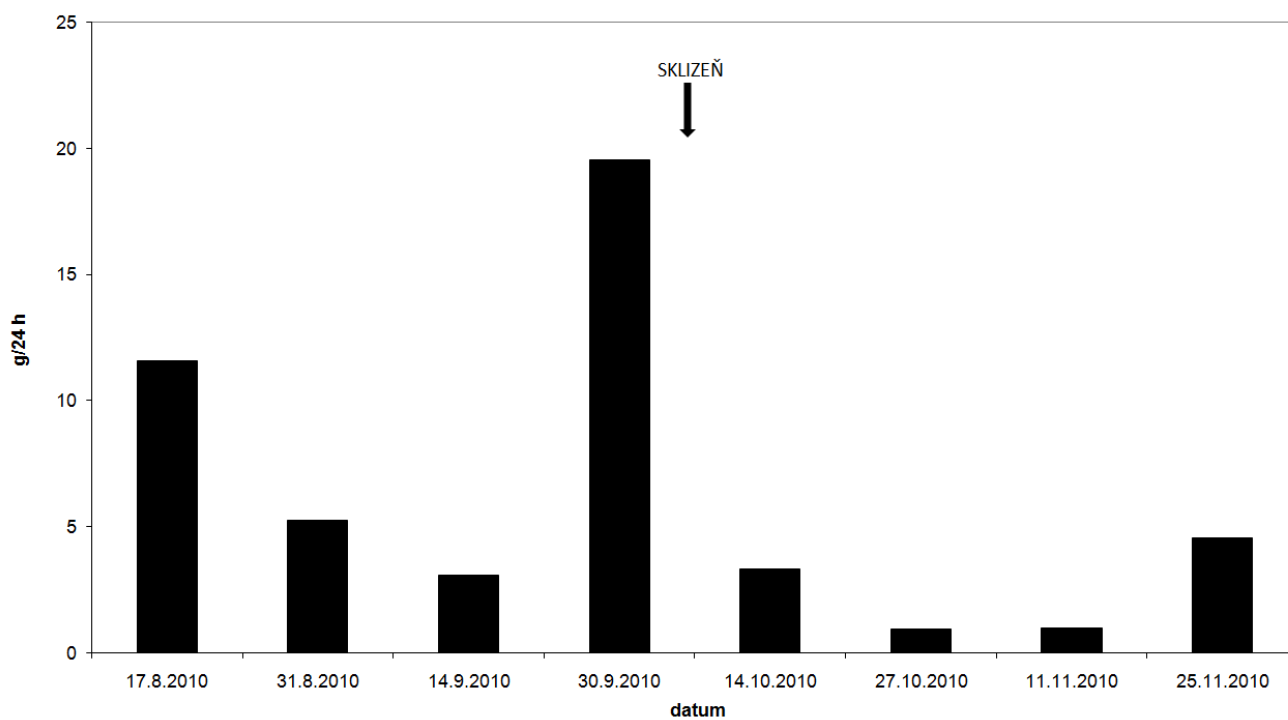
Lokalita	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>	PO <sub>4</sub> -P mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,053	0,032	0,033	0,092	0,088	0,032	0,034	0,036
Nový u Dunajovic hladina	0,037	0,018	0,017	0,021	0,025	0,020	0,130	0,017
Nový u Dunajovic profil	0,033	0,014	0,021	0,020	0,018	0,016	0,013	0,013
Ráček hladina	0,051	0,027		0,018	0,017	0,014	0,014	
Ráček profil	0,054	0,027		0,019	0,022	0,014	0,013	

Lokalita	TP	TP	TP	TP	TP	TP	TP	TP
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,112	0,098	0,137	0,180	0,175	0,116	0,109	0,677
Nový u Dunajovic hladina	0,270	0,372	0,335	0,291	0,281	0,111	0,212	0,160
Nový u Dunajovic profil	0,245	0,364	0,343	0,278	0,259	0,122	0,217	0,164
Ráček hladina	0,148	0,117		0,231	0,189	0,142	0,137	
Ráček profil	0,143	0,125		0,236	0,186	0,136	0,142	

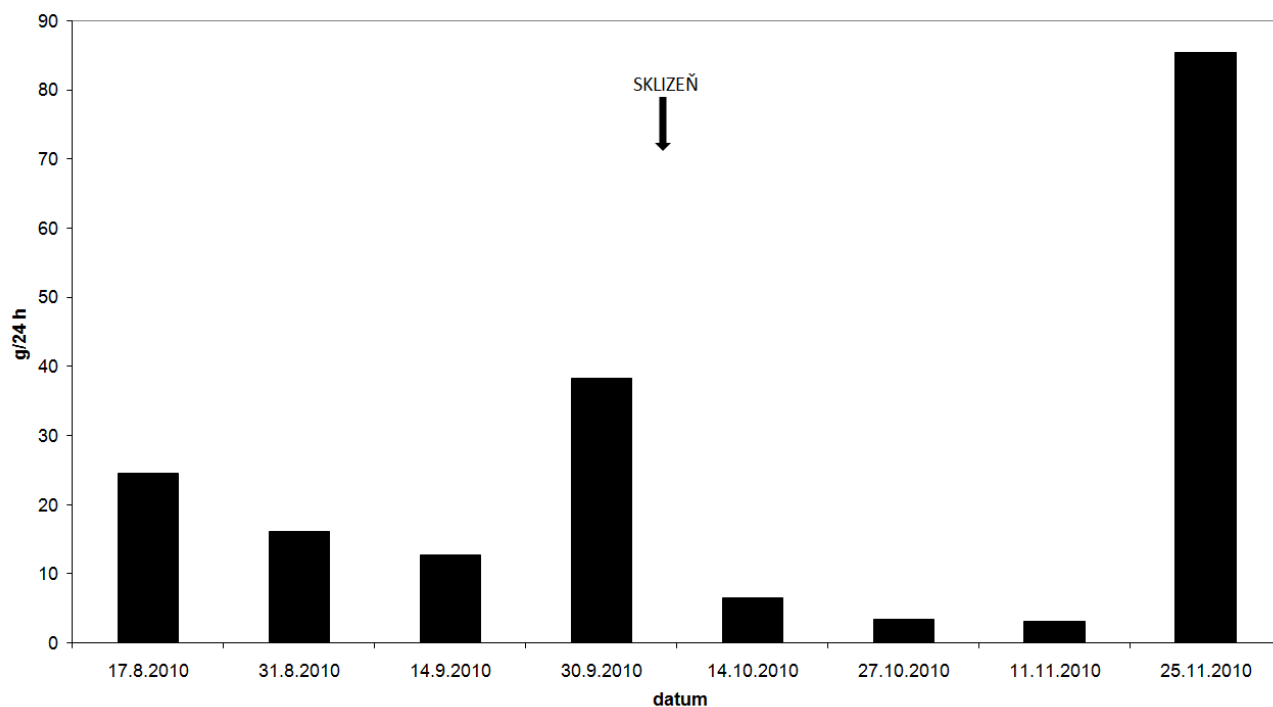
	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.	11.11.	25.11.
Lokalita	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	20,52	14,74	11,80	11,12	5,88	14,74	16,00	37,17
Nový u Dunajovic hladina	12,98	15,41	11,32	5,64	7,23	3,53	11,39	13,87
Nový u Dunajovic profil	11,99	13,63	16,42	9,29	15,32	2,65	9,06	10,48
Ráček hladina	11,08	14,10		9,53	9,58	3,48	14,71	
Ráček profil	11,11	12,56		7,23	6,60	2,81	14,99	

Lokalita	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>	Cl <sup>-</sup> mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	11,03	8,27	5,74	7,107	13,696	11,38	11,76	9,81
Nový u Dunajovic hladina	3,75	5,42	5,979	6,191	7,243	5,70	5,83	6,45
Nový u Dunajovic profil	3,16	5,47	5,178	5,369	6,123	5,43	5,74	5,99
Ráček hladina	5,24	5,83		6,662	7,537	5,75	6,32	

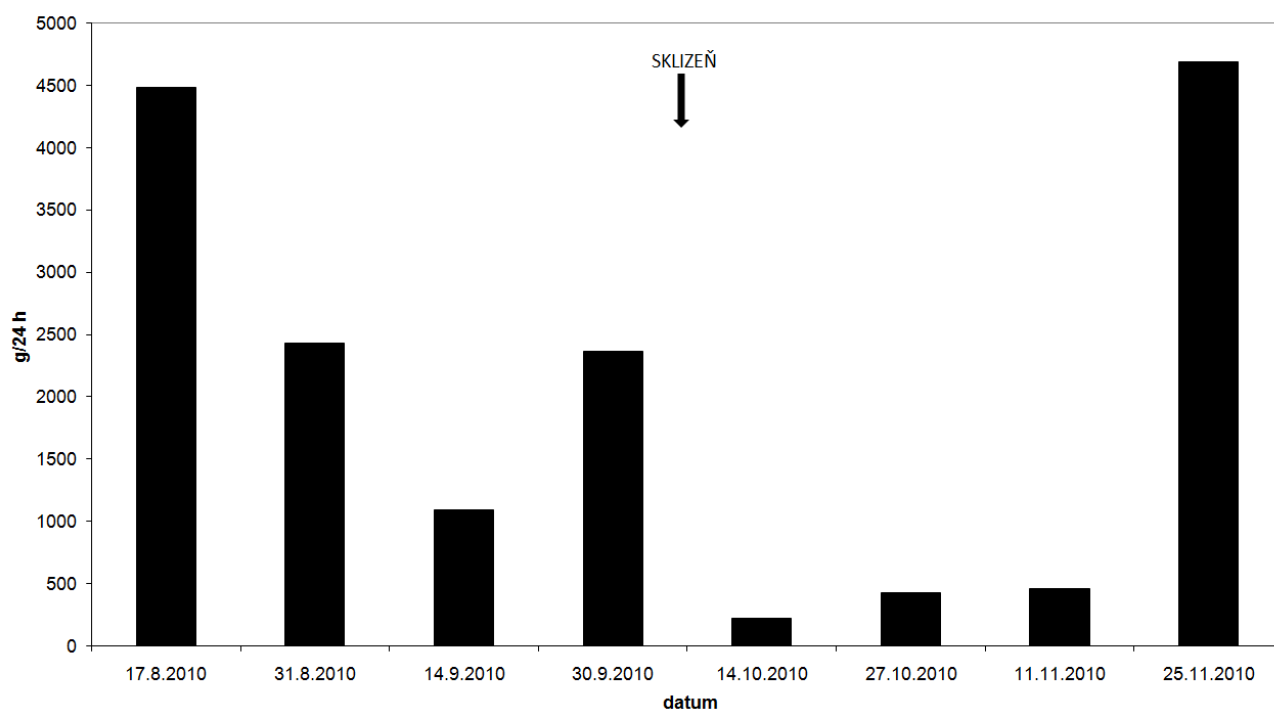
**Obr. 33 – Denní celkové odtoky fosforečnanového fosforu PO<sub>4</sub>-P z povodí (48,9 ha)**



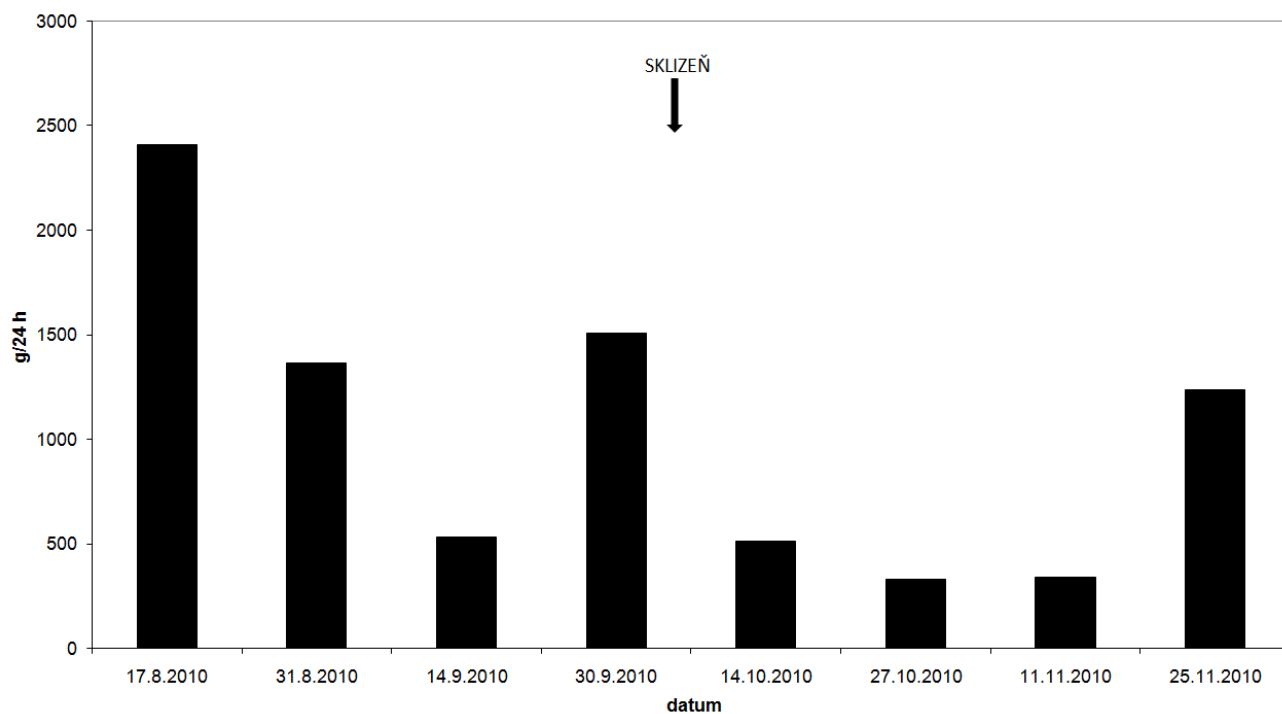
**Obr. 34 – Denní celkové odtoky celkového fosforu TP z povodí (48,9 ha)**



**Obr. 35 – Denní celkové odtoky síranů z povodí (48,9 ha)**



**Obr. 36 – Denní celkové odtoky chloridů z povodí (48,9 ha)**



## 4.7. Kationty

Sodík je považován za prvek, který člověk vnáší do potravního řetězce. Vyplavování sodíku není považováno za vážnou ztrátu, indikuje spíše pohyb splaškových vod, statkových hnojiv.

Vážné jsou ztráty draslíku, hořčíku a vápníku. Koncentrace draslíku v odtékající vodě z pole se pohybují mezi 2 – 3mg.l<sup>-1</sup>, hořčíku 4,6 – 7mg.l<sup>-1</sup> a vápníku 12,6 – 21mg.l<sup>-1</sup>. Je zřejmé, že koncentrace vápníku dosahují hodnot poloviny mmol.l<sup>-1</sup>, což je v krajině na vápník chudé, významný příspěvek pro recipient a významná ztráta pro pole.

Pozoruhodné je zjištění, že se zvyšujícím se průtokem následkem dešťových srážek se odtékající voda „nenaředí“, vodivost a koncentrace kationtů se udržují na stejné úrovni, v některých případech dokonce koncentrace iontů stoupá se zvyšujícím se průtokem po srážkách. Znamená to, že odnos látek významně stoupá s dešťovými srážkami. Je nutné zaměřit se na zadržení dešťových srážek nejenom prevencí povodní, ale i pro snížení ztrát látek z povodí a zlepšování kvality vody.

**Tab. 11 - Aktuální koncentrace kationtů ve vzorcích vody**

Lokalita	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.
	Na mg.l <sup>-1</sup>	Na mg.l <sup>-1</sup>	Na mg.l <sup>-1</sup>	Na mg.l <sup>-1</sup>	Na mg.l <sup>-1</sup>	Na mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	8,630	7,52	6,040	7,420	10,700	10,50
Nový u Dunajovic hladina	4,200	5,21	5,100	5,060	5,290	5,07
Nový u Dunajovic profil	4,430	5,06	5,210	5,070	5,130	3,80
Ráček hladina	4,650	4,97		4,860	4,930	4,98
Ráček profil	4,650	4,82		4,690	4,890	5,05

Lokalita	K	K	K	K	K	K
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	2,640	3,29	2,730	3,300	2,540	2,04
Nový u Dunajovic hladina	3,640	4,68	4,370	4,160	4,230	3,83
Nový u Dunajovic profil	3,740	4,70	4,560	4,100	4,200	2,64
Ráček hladina	4,520	5,34		4,790	5,920	6,16
Ráček profil	4,570	5,35		4,550	5,790	6,14

Lokalita	17.8.	31.8.	14.9.	30.9.	14.10.	27.10.
	Mg mg.l <sup>-1</sup>	Mg mg.l <sup>-1</sup>	Mg mg.l <sup>-1</sup>	Mg mg.l <sup>-1</sup>	Mg mg.l <sup>-1</sup>	Mg mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	6,220	5,83	4,610	7,010	6,550	5,96
Nový u Dunajovic hladina	4,990	7,63	7,090	6,950	7,450	7,28
Nový u Dunajovic profil	4,900	7,49	7,210	6,960	8,180	6,15
Ráček hladina	6,750	8,35		7,090	8,040	8,30
Ráček profil	6,670	8,37		6,940	7,720	8,24

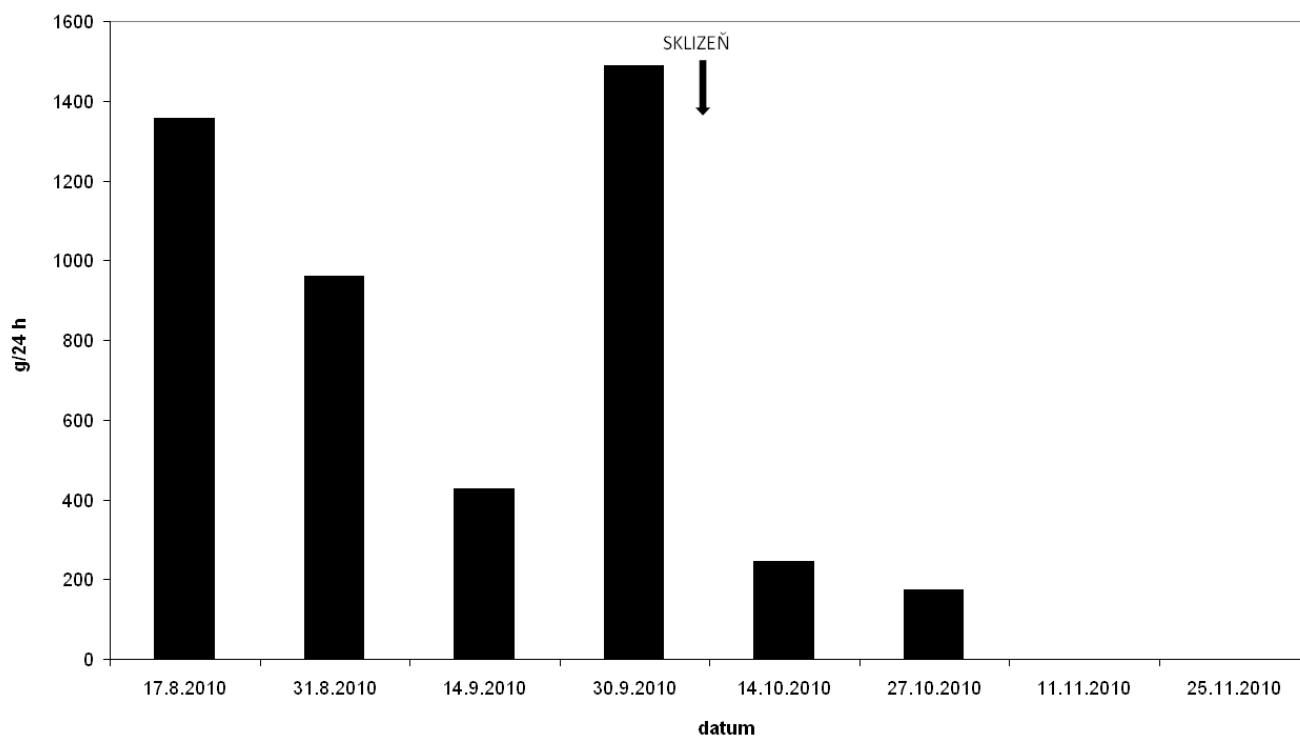
Lokalita	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca	Ca
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	17,200	15,6	14,100	21,100	17,100	12,60
Nový u Dunajovic hladina	22,400	30,8	27,100	27,700	29,300	31,20
Nový u Dunajovic profil	21,600	30,8	27,100	27,500	69,500	30,60
Ráček hladina	24,300	29,9		32,400	32,700	40,60
Ráček profil	21,400	31,7		33,000	31,200	39,40

Lokalita	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,240	0,394	0,503	0,978	0,325	0,124
Nový u Dunajovic hladina	0,151	0,406	0,080	1,130	0,227	0,127
Nový u Dunajovic profil	0,135	0,102	0,080	0,476	0,251	0,147
Ráček hladina	0,544	0,331		0,133	1,290	0,361
Ráček profil	0,850	0,176		0,094	0,108	0,166

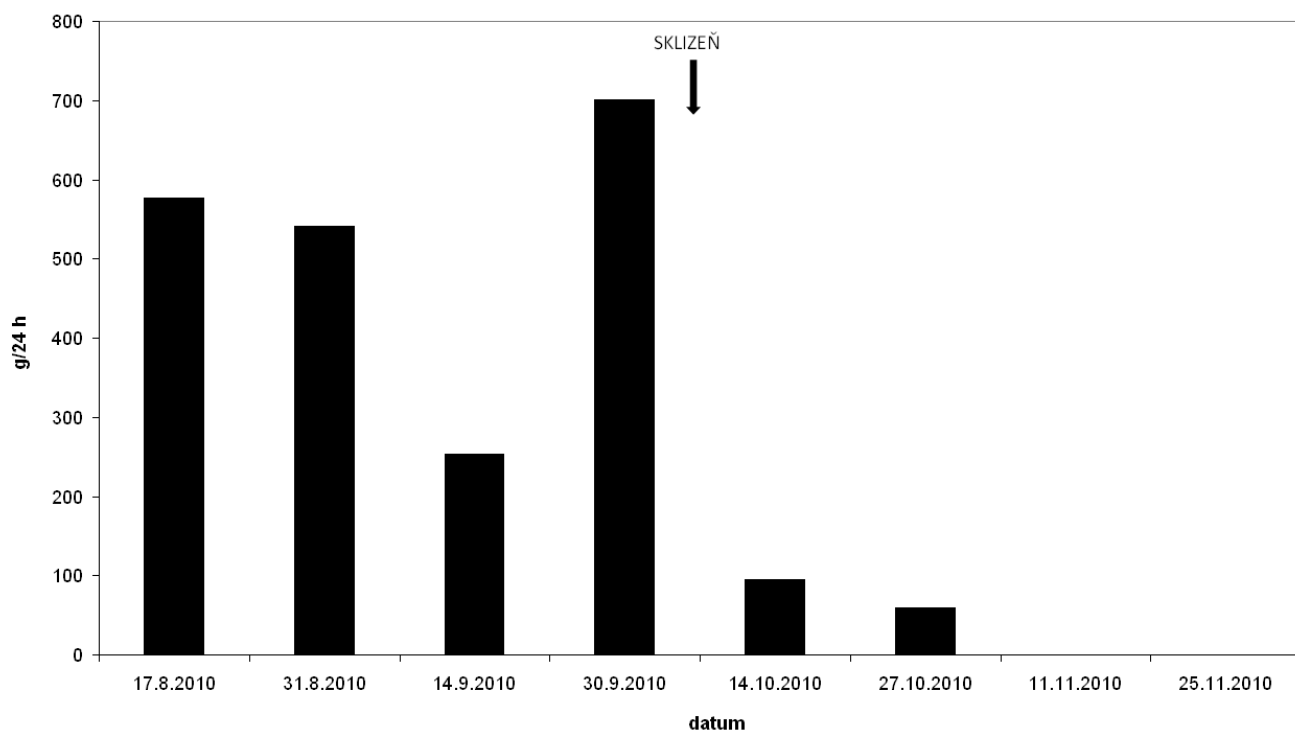
Lokalita	Mn	Mn	Mn	Mn	Mn	Mn
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,020	0,080	0,046	0,055	0,030	0,020
Nový u Dunajovic hladina	0,034	0,118	0,102	0,930	0,020	0,048
Nový u Dunajovic profil	0,020	0,116	0,079	0,148	0,090	0,053
Ráček hladina	0,098	0,058		0,038	0,114	0,104
Ráček profil	0,108	0,137		0,216	0,001	0,104

Lokalita	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn	Zn
	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	mg.l <sup>-1</sup>
Dunajovice přeliv	0,066	0,057	0,031	0,100	0,029	0,046
Nový u Dunajovic hladina	0,055	0,069	0,045	0,093	0,047	0,046
Nový u Dunajovic profil	0,064	0,068	0,042	0,082	0,057	0,053
Ráček hladina	0,058	0,067		0,069	0,064	0,048
Ráček profil	0,081	0,056		0,078	0,001	0,031

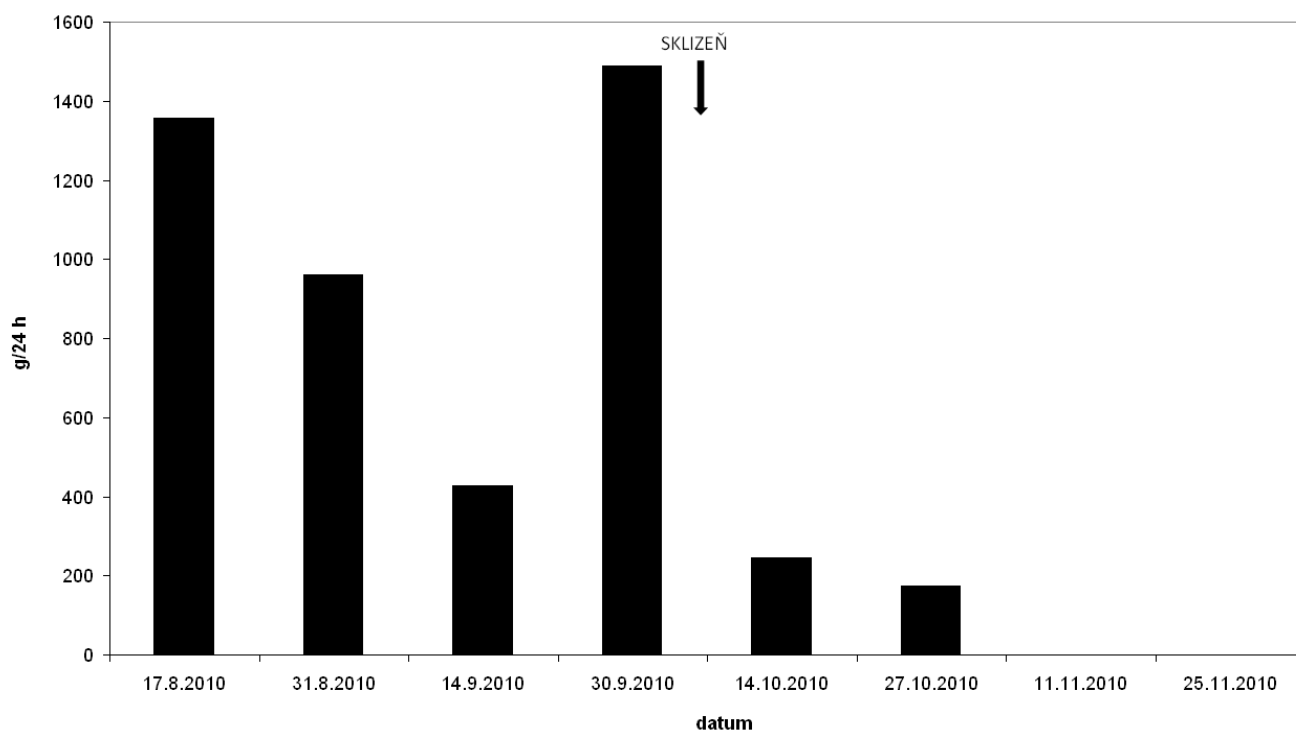
**Obr. 37 – Denní celkové odtoky sodíku z povodí (48,9 ha)**



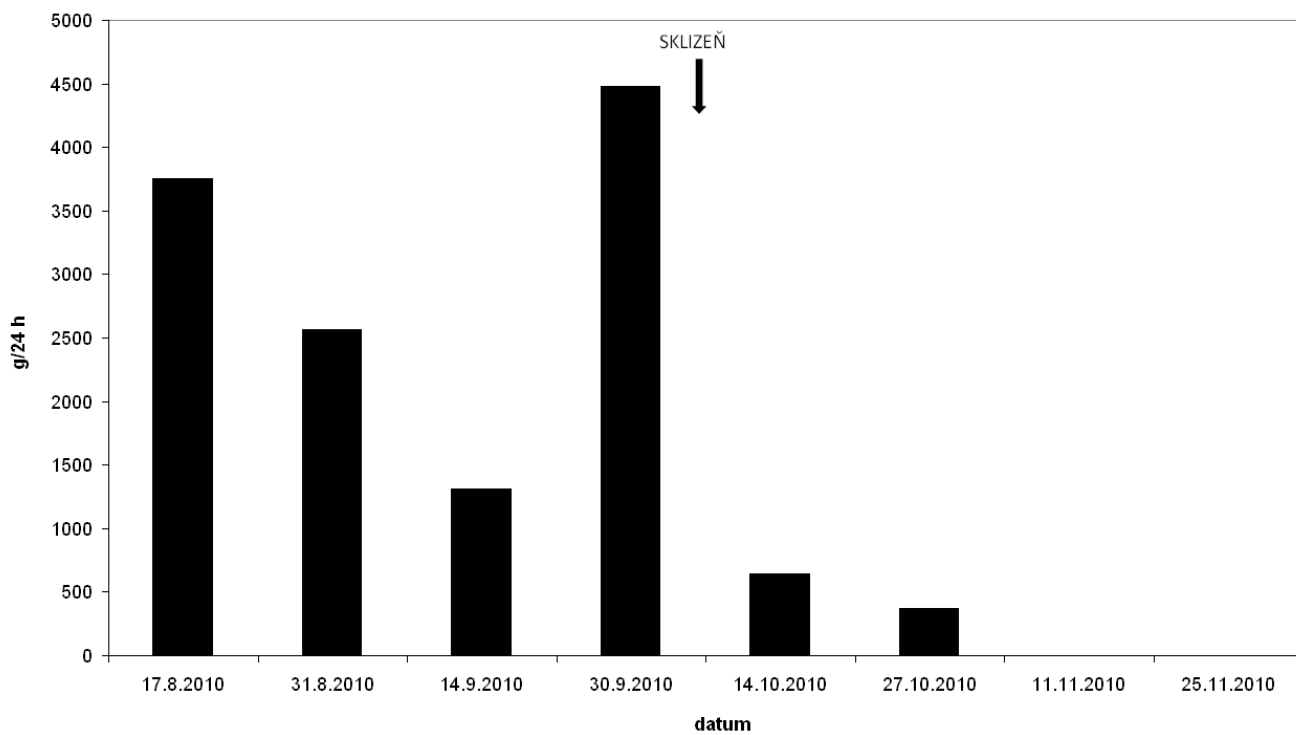
**Obr. 38 – Denní celkové odtoky draslíku z povodí (48,9 ha)**



**Obr. 39 – Denní celkové odtoky hořčíku z povodí (48,9 ha)**



**Obr. 40 – Denní celkové odtoky vápníku z povodí (48,9 ha)**





#### **4.8. Závislost vodivosti na iontech**

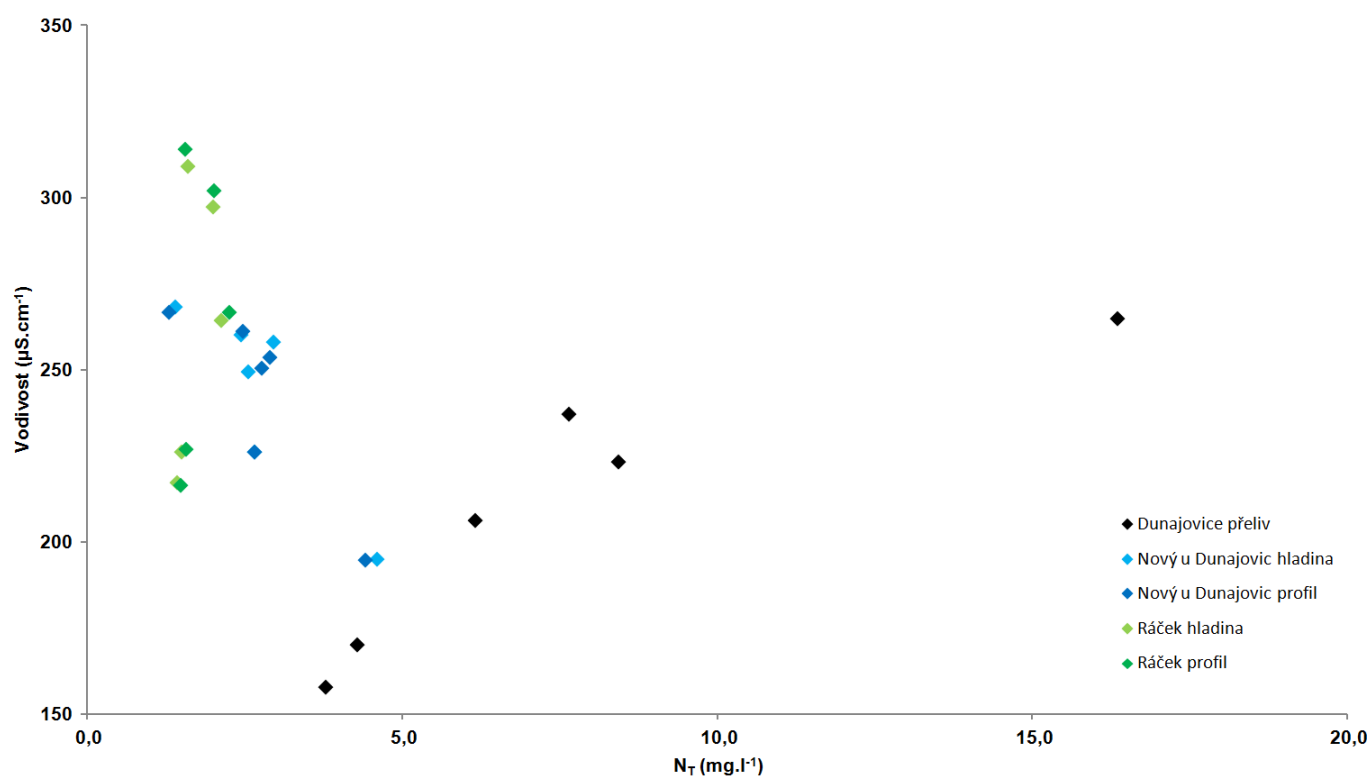
V případě vody odtékající z pole se elektrická vodivost vody jeví závislá především na celkovém dusíku (korelační koeficient  $r = 0,96$ ), dále na hořčíku (korelační koeficient  $r = 0,92$ ), případně na vápníku (korelační koeficient  $r = 0,76$ ).

Elektrická vodivost vody v prvním rybníku soustavy (Nový u Dunajovic) vykazuje velmi vysokou těsnost závislosti na KNK (korelační koeficient  $r = 0,998$  a  $0,999$ ) a hořčíku (korelační koeficient  $r = 0,920$  a  $0,755$ ), těsnou závislost na koncentraci celkového dusíku (korelační koeficient  $r = -0,869$  a  $-0,860$ ), dále na chloridech (korelační koeficient  $r = 0,847$  a  $-0,855$ ).

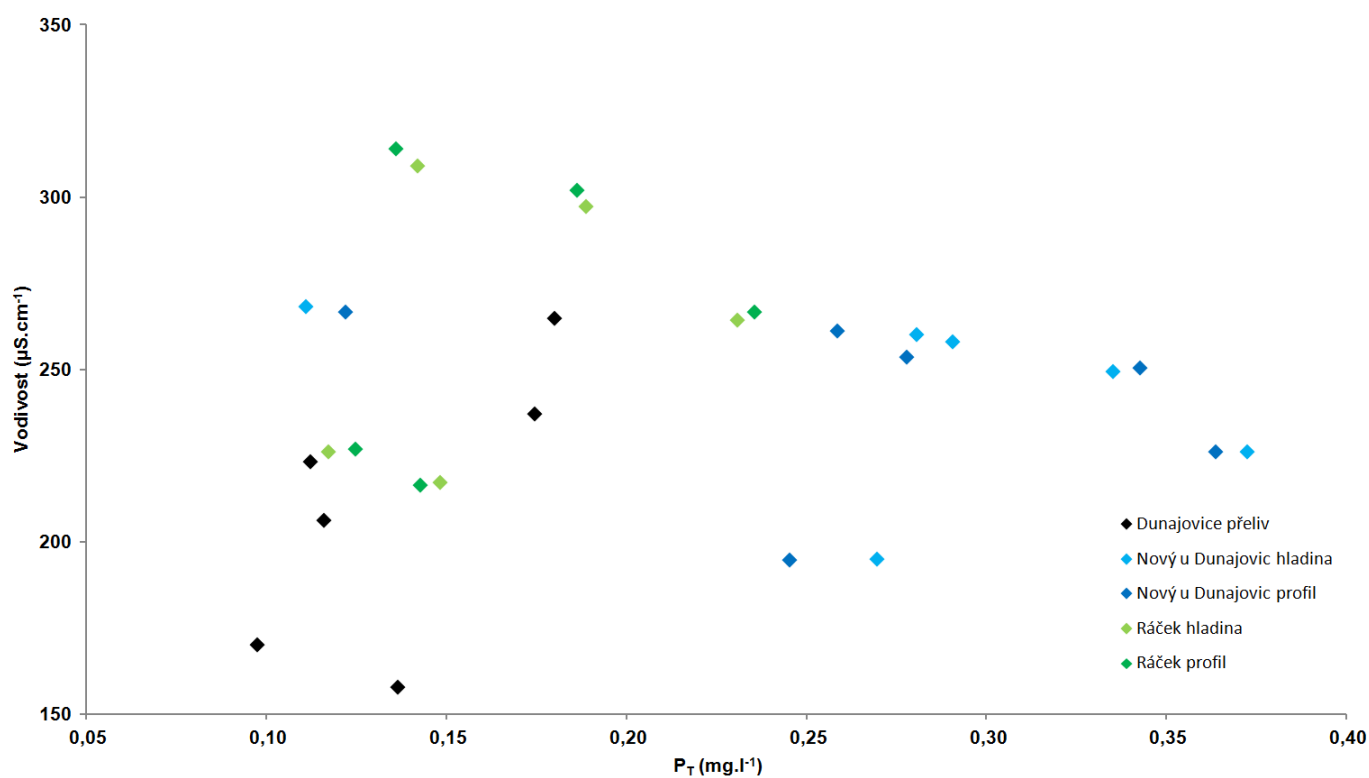
Elektrická vodivost vody ve druhém rybníku soustavy (Ráček) vykazuje velmi vysokou těsnost závislosti na KNK (korelační koeficient  $r = 0,995$  a  $0,992$ ) a těsnou závislost na koncentraci draslíku (korelační koeficient  $r = 0,817$  a  $0,735$ ), a vápníku (korelační koeficient  $r = 0,878$  a  $0,767$ ).

Grafy č. 41 – 49 i tabulka č. 12 ukazují závislosti elektrické vodivosti vody v měrném profilu i v obou sledovaných rybnících na iontech. Je zřejmé, že v některých případech je tyto závislosti liší.

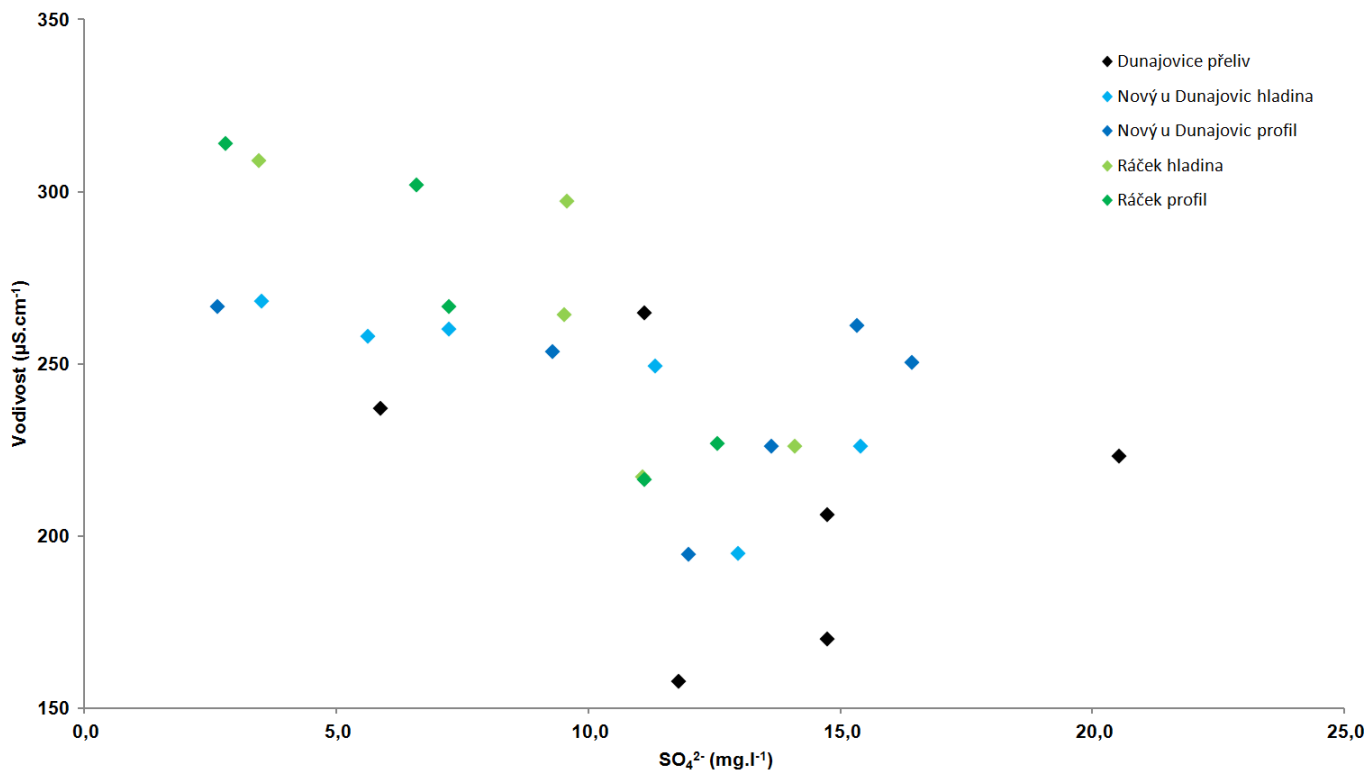
**Obr. 41 – Závislost vodivosti na celkovém dusíku**



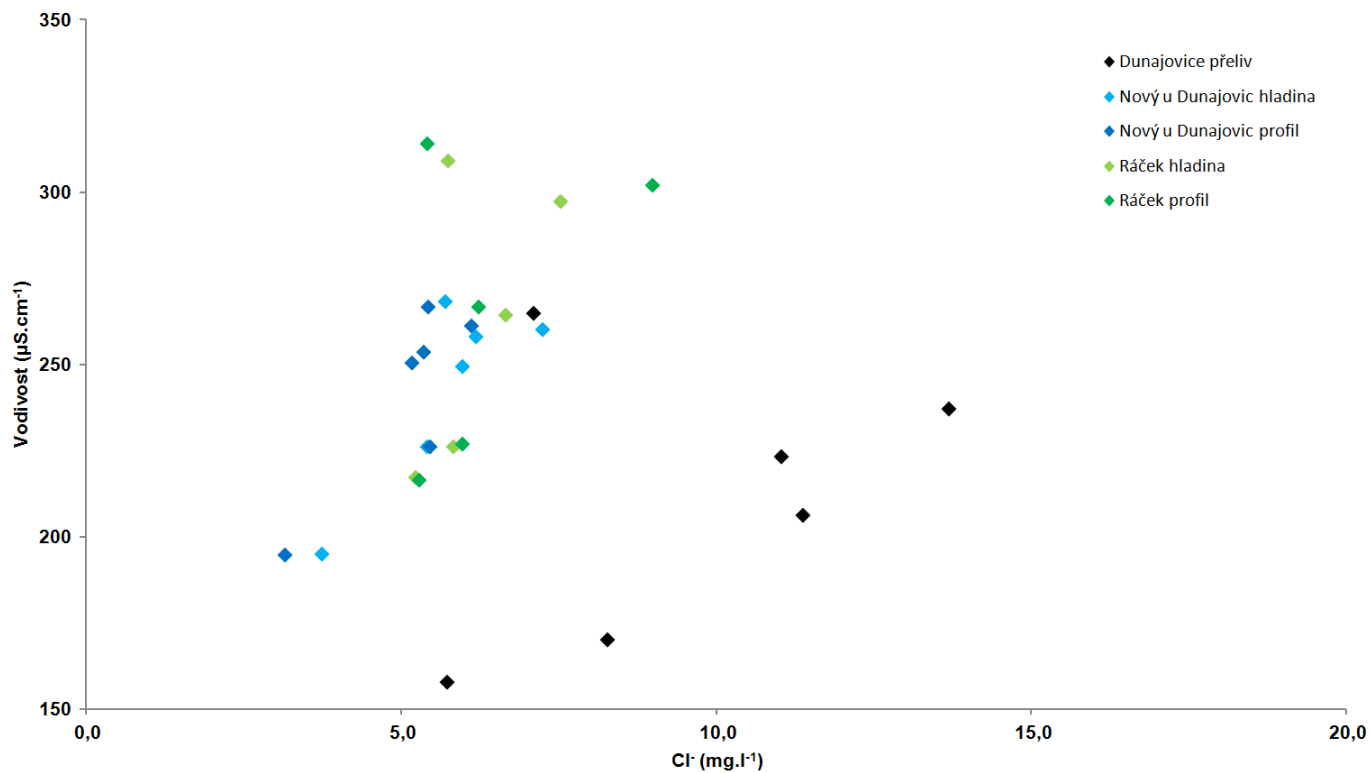
**Obr. 42 - Závislost vodivosti na celkovém fosforu**



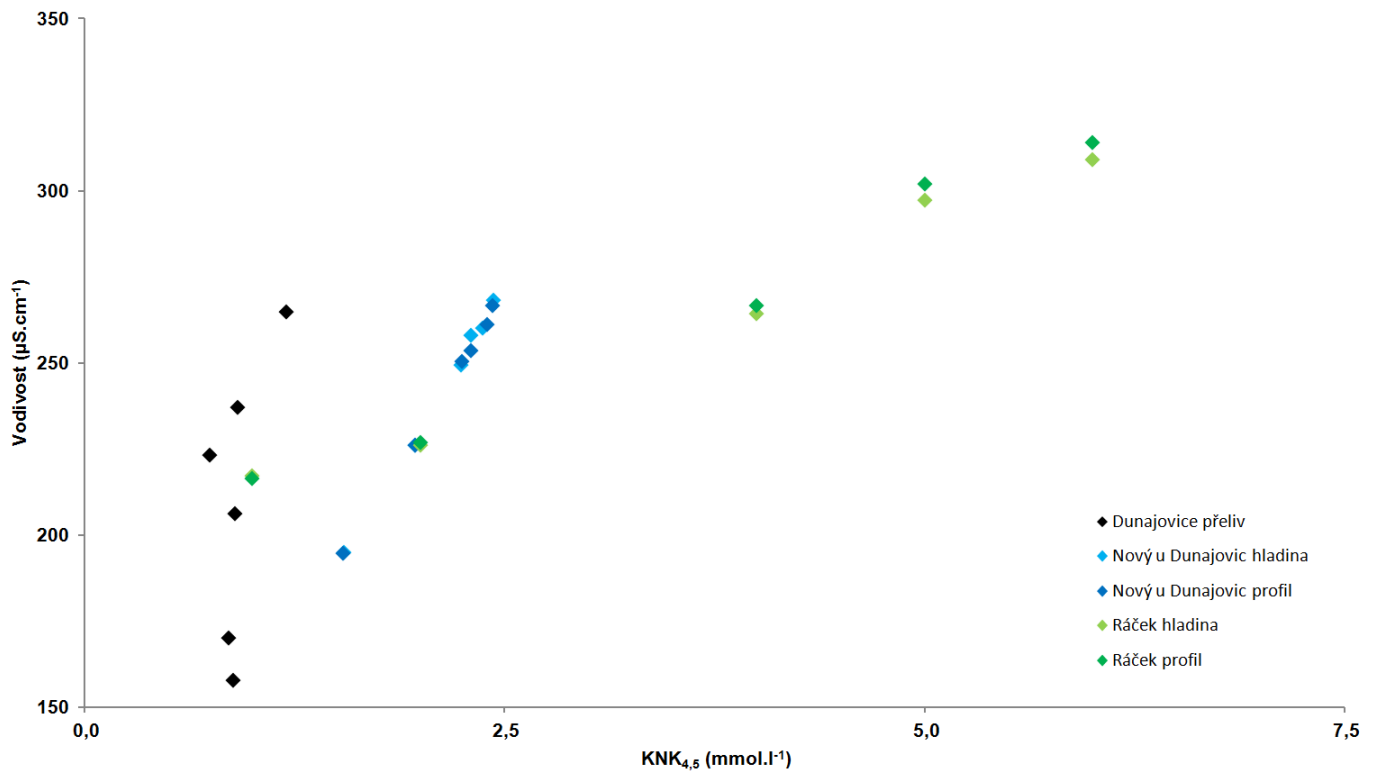
**Obr. 43 – Závislost vodivosti na síranech**



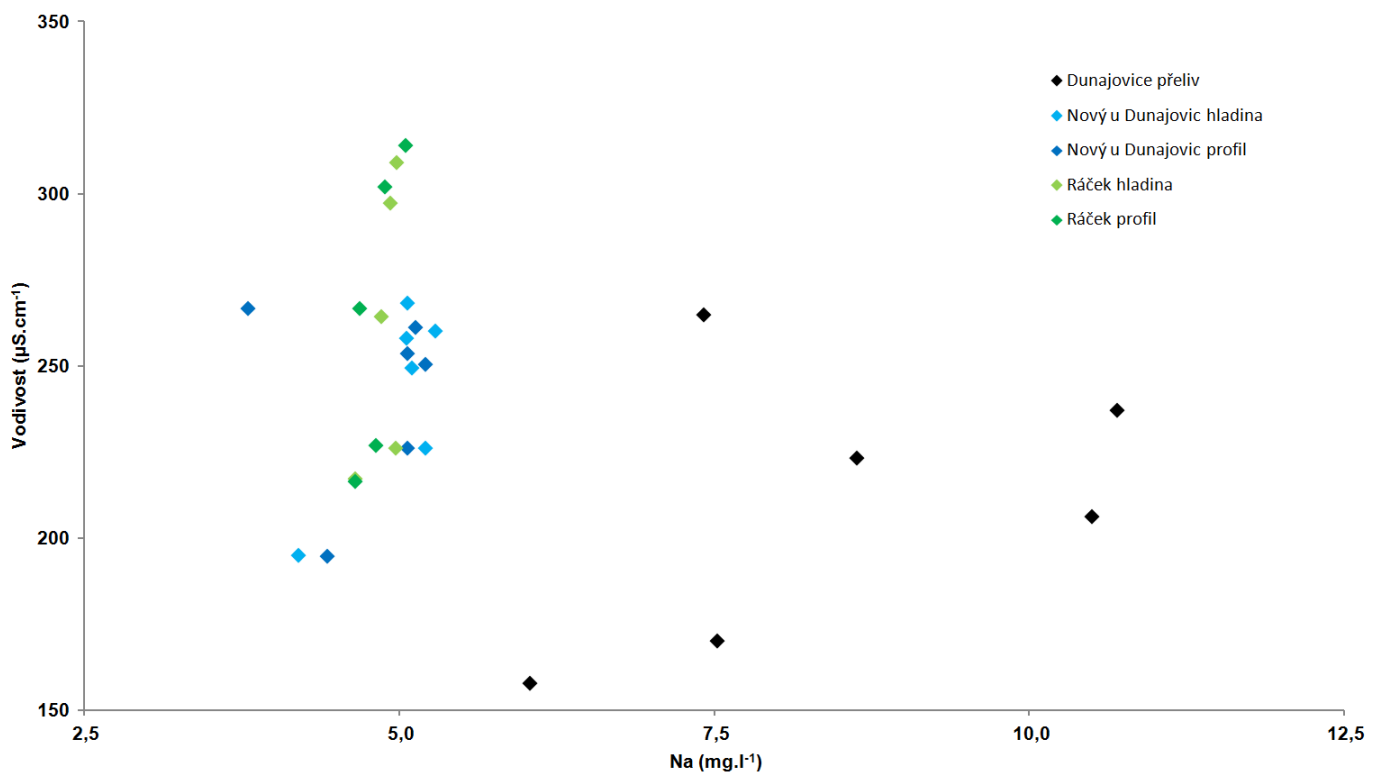
Obr. 44 – Závislost vodivosti na chloridech



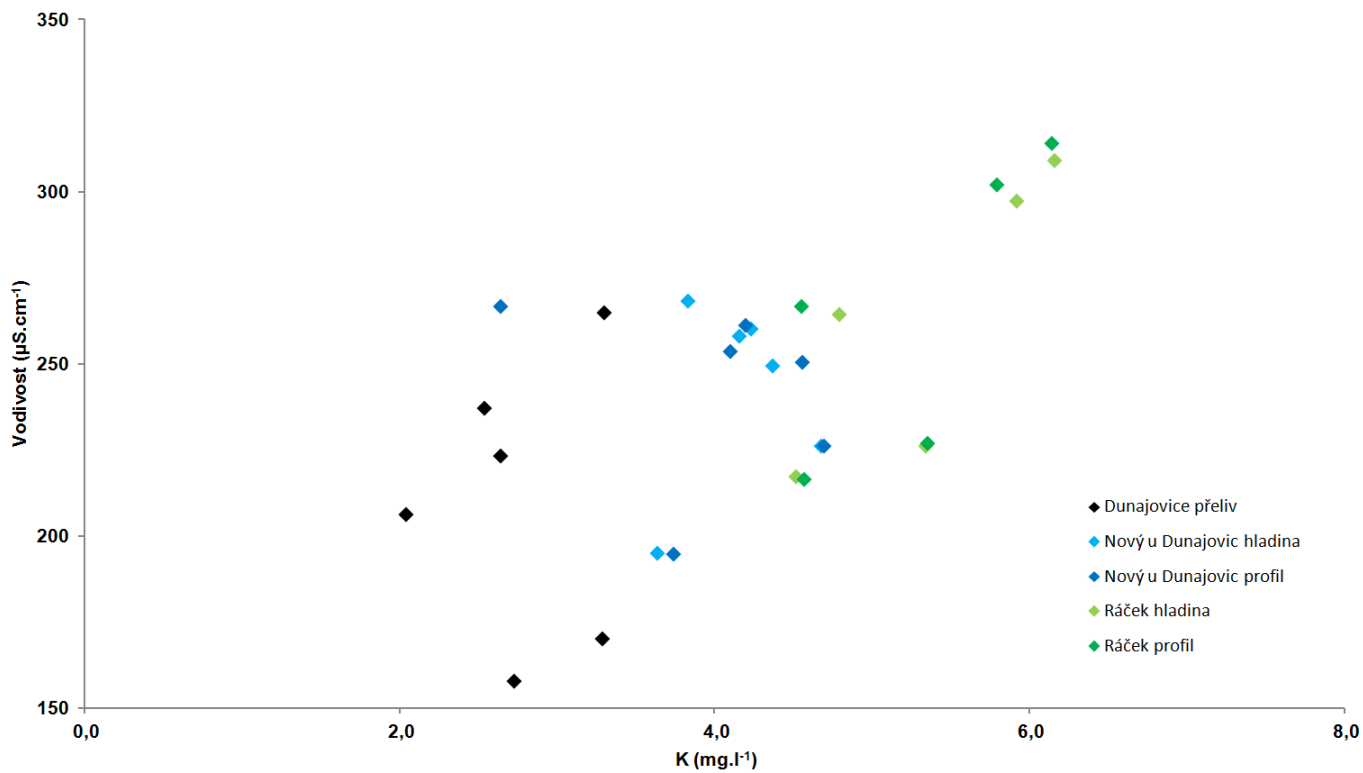
Obr. 45 – Závislost vodivosti na KNK



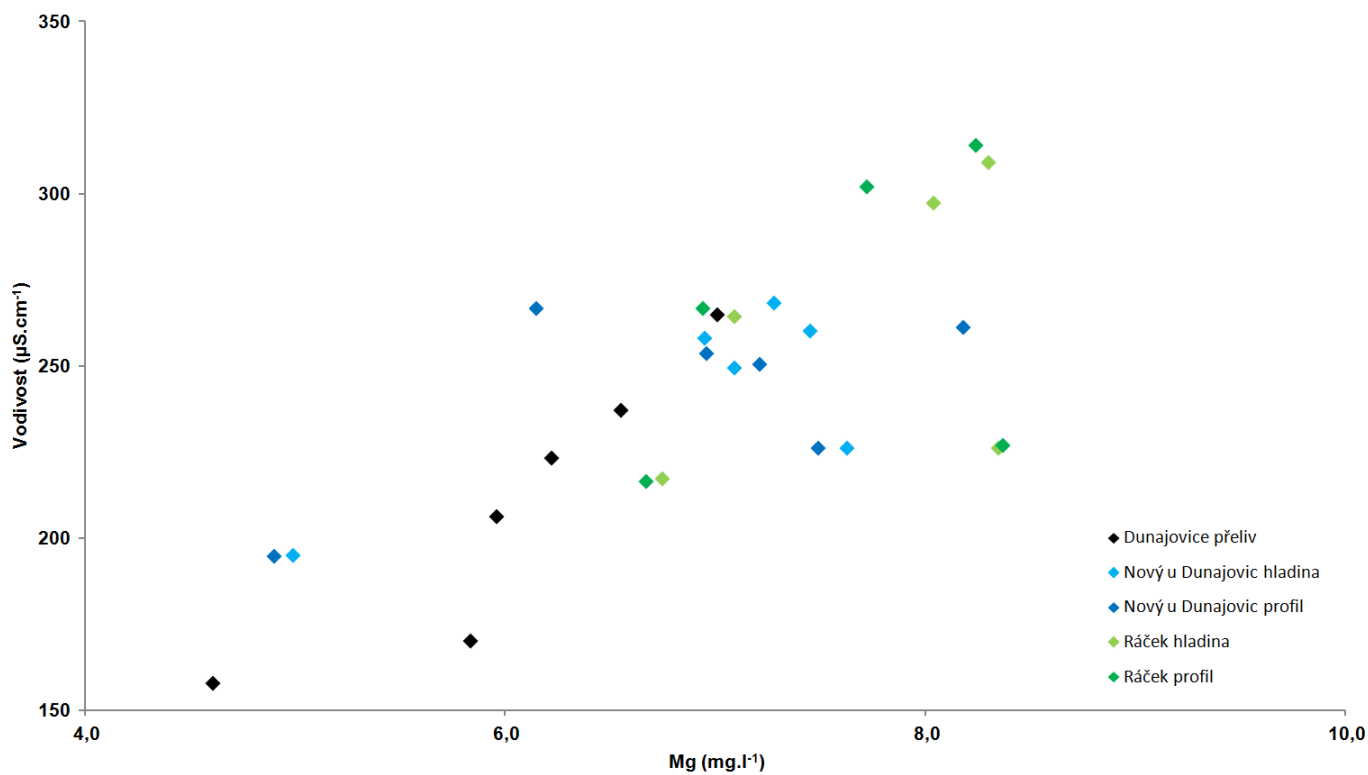
Obr. 46 – Závislost vodivosti na sodíku



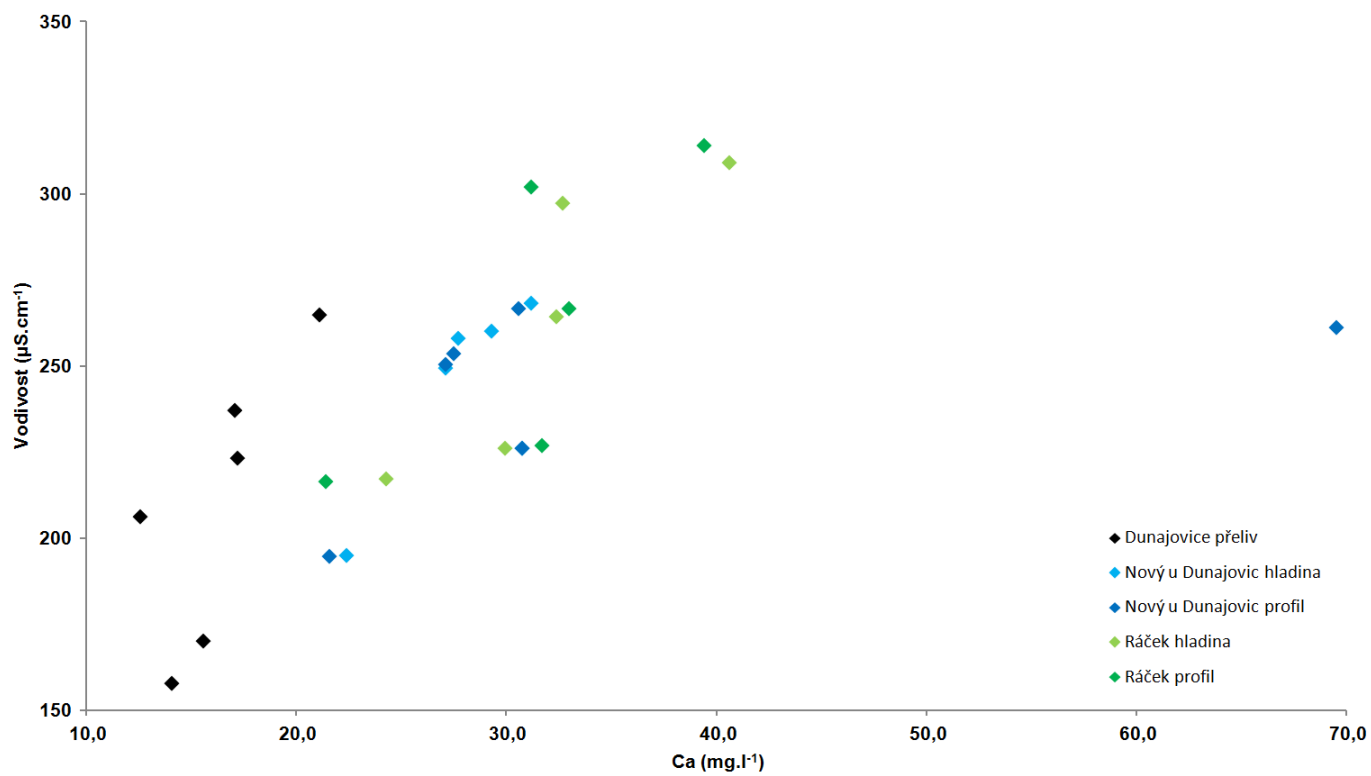
Obr. 47 – Závislost vodivosti na draslíku



Obr. 48 – Závislost vodivosti na hořčíku



Obr. 49 – Závislost vodivosti na vápníku



**Tab. 12 – Statistické charakteristiky závislosti elektrické vodivosti vody na iontech**

	Korelační koeficient	Koeficient determinace	Regresní koeficienty	
	r	R <sup>2</sup>	a	b
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na celkovém dusíku</b>				
Dunajovice přeliv	0,892	0,7961	148,269	7,915
Nový u Dun. hladina	-0,869	0,7560	306,842	-23,090
Nový u Dun. profil	-0,860	0,7401	306,664	-23,406
Ráček hladina	0,507	0,2567	147,637	66,310
Ráček profil	0,356	0,1270	184,048	45,630
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na celkovém fosforu</b>				
Dunajovice přeliv	0,679	0,4610	100,273	804,599
Nový u Dun. hladina	-0,390	0,1519	275,851	-119,621
Nový u Dun. profil	-0,301	0,0908	267,666	-95,215
Ráček hladina	0,322	0,1040	213,625	296,858
Ráček profil	0,263	0,0690	224,042	249,298
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na síranech</b>				
Dunajovice přeliv	-0,212	0,0449	233,100	-1,770
Nový u Dun. hladina	-0,794	0,6300	287,206	-4,752
Nový u Dun. profil	-0,273	0,0745	259,065	-1,467
Ráček hladina	-0,812	0,6592	345,159	-8,628
Ráček profil	-0,938	0,8790	350,225	-10,541
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na chloridech</b>				
Dunajovice přeliv	0,395	0,1561	158,770	5,355
Nový u Dun. hladina	0,847	0,7177	126,395	20,363
Nový u Dun. profil	0,855	0,7318	124,961	22,877
Ráček hladina	0,561	0,3145	104,242	25,545
Ráček profil	0,448	0,2005	182,903	12,892
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na KNK</b>				
Dunajovice přeliv	0,564	0,3183	70,489	151,975
Nový u Dun. hladina	0,998	0,9952	66,662	82,138
Nový u Dun. profil	0,999	0,9976	71,389	79,538
Ráček hladina	0,995	0,9893	3,107	113,575
Ráček profil	0,992	0,9845	-1,145	116,816
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na sodíku</b>				
Dunajovice přeliv	0,431	0,1857	129,576	9,479
Nový u Dun. hladina	0,790	0,6235	-30,952	54,871
Nový u Dun. profil	0,021	0,0004	237,224	1,023
Ráček hladina	0,599	0,3587	-618,900	180,723
Ráček profil	0,787	0,6200	-761,043	212,956
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na draslíku</b>				
Dunajovice přeliv	0,055	0,7961	148,269	7,915
Nový u Dun. hladina	0,202	0,7560	306,842	-23,090
Nový u Dun. profil	-0,225	0,7401	306,664	-23,406
Ráček hladina	0,817	0,2567	147,637	66,310
Ráček profil	0,735	0,1270	184,048	45,630
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na hořčíku</b>				
Dunajovice přeliv	0,920	0,8469	-66,349	45,798
Nový u Dun. hladina	0,755	0,5696	94,256	21,529
Nový u Dun. profil	0,607	0,3685	144,674	14,298
Ráček hladina	0,480	0,2302	56,353	26,785
Ráček profil	0,382	0,1458	99,530	21,835

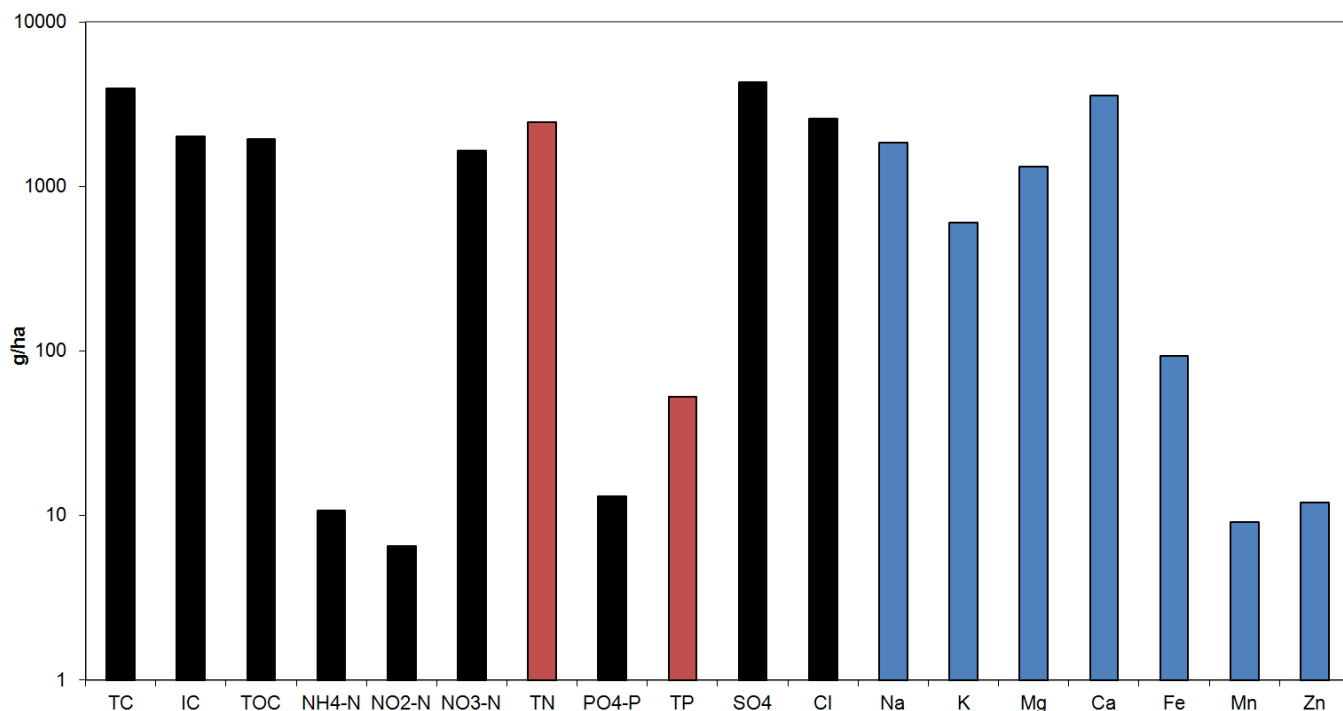
	Korelační koeficient	Koeficient determinace	Regresní koeficienty	
<b>Závislost elektrické vodivosti vody na vápníku</b>				
Dunajovice přeliv	0,759	0,5755	39,945	10,436
Nový u Dun. hladina	0,710	0,5037	72,299	6,071
Nový u Dun. profil	0,466	0,2169	217,198	0,722
Ráček hladina	0,878	0,7717	66,160	6,145
Ráček profil	0,767	0,5886	103,089	5,174



#### 4.9. Odtoky látek z povodí

Naměřené hodnoty průtoků a aktuálních koncentrací nám umožnily určit celkový odtok látek během sledovaného období 10.8. – 30.11.2010. Celkový objem odtoku vody z povodí (48,9 ha) byl 12 774 m<sup>3</sup>. Obrázek 41 ukazuje graf množství odtoku látek vztažený na 1 ha povodí za celé sledované období.

**Obr. 50 – Specifické odtoky látek z povodí za sledované období (10.8. – 30.11.2010)**



Červená barva – celkové obsahy dusíku (TN) a fosforu (TP), modrá barva – kationty (U kovů byl odběr ukončen k 31.10.)

## 5. Závěr

Srážky ve sledované lokalitě byly během vegetační sezóny 2010 nižší, než jaké se uvádějí pro celou oblast jižních Čech jak v roce 2010, tak v dlouhodobém přehledu, jak je patrné z tabulky 5. Během vegetační sezóny jsme zhodnotili několik významných srážkových epizod s úhrny srážek v rozsahu od 7,2 mm až po 25,8 mm.

Elektrická vodivost měřená na měrném profilu, který představuje závěrový profil drenážní soustavy sledovaného dílčího povodí, se pohybovala mezi 158 – 329  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Až na výjimky mají rybníky vyšší vodivost, než drenážní voda.

pH vody odtékající z pole je mírně alkalická, v rozsahu 7,1 – 7,4. Hodnoty pH v rybnících jsou vyšší. Kyselinová neutralizační kapacita ( $\text{KNK}_{4,5}$ ) rybníků je vyšší než  $\text{KNK}_{4,5}$  vody v závěrovém profilu drenážní soustavy.

Koncentrace celkového uhlíku na odtoku z pole se pohybují mezi 10,5 – 19,6  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ , v rybnících jsou koncentrace celkového uhlíku vyšší následkem vyšší  $\text{KNK}_{4,5}$  a produkce organických látek.

Koncentrace celkového dusíku (TN) v odtékající vodě z pole jsou zřetelně vyšší než TN v rybnících. Dusík ve vodě odtékající z drenáží je ve formě dusičnanů, který v eutrofním prostředí rybníka s anaerobním dnem podléhá denitrifikaci, je následně spotřebován fytoplanktonem a uvolňuje se do vzduchu jak ve formě  $\text{N}_2$ , tak ve formě amoniaku.

Přísun fosforu z pole do rybníka se zvyšuje se srážkami a celková koncentrace fosforu v rybnících je zpravidla vyšší než v přitékající vodě. Vzhledem k absenci hnojení se jeví jediným možným vstupem fosforu krmení (dávka fosforu ve formě krmení je v řádu stovek mikrogramů fosforu na litr vody), ale nezanedbatelný bude jistě efekt hromadění fosforu v sedimentu (a vodě) přítokem z pole.

Koncentrace síranů ve vodě přitékající do rybníka je zpravidla vyšší než v rybníční vodě, což si vysvětlujeme jejich redukcí v anaerobním prostředí sedimentů dna (vznik sirovodíku).

Pokles koncentrací chloridů odpovídá poklesu dusíkových iontů, což vysvětlujeme, vzhledem k rozpustnosti NaCl, začleněním do potravního řetězce.

Odnos kationtů z pole stoupá s dešťovými srážkami, vzestup koncentrace vápníku vysvětlujeme zásobou vápna ve dně a uvolňováním Ca iontů z anaerobního dna (stejně tak hořčíku). Vzestup koncentrace vápníku navíc odpovídá vzestupu kyselinové neutralizační kapacity ( $\text{KNK}_{4,5}$ ).

**Lhotský, R.; Kajan, M. (2010): Využití biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu. – In: *Sborník Mezinárodní konference Výstavba a provoz bioplynových stanic*, Třeboň, 2010, p. 131 - 139.**

---

## Využití biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu

---

**Mgr. Richard Lhotský, Ing. Miroslav Kajan**

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, [lhotsky@enki.cz](mailto:lhotsky@enki.cz), [aqua@trebon.cz](mailto:aqua@trebon.cz)

### **Souhrn**

*V současnosti pozorujeme zvýšený zájem o využití rostlinné biomasy při anaerobních fermentacích. Nejčastějším zdrojem biomasy v našich podmínkách se stává kukuřice, její zvýšené pěstování však může přinést nebezpečí vodní eroze a degradaci půd. Na druhé straně je možné využívat travní biomasu z lokalit, které nejsou vhodné pro intenzivní produkční zemědělství, ale jejich údržba je vhodná a žádoucí s ohledem na údržbu krajiny, což je jedním z dalších úkolů zemědělství. Práce předkládá výsledky laboratorních testů anaerobní digesce biomasy z různých ploch s travními porosty a porovnává dosažené výsledky.*

*On the present we can observe increasing interest in using plant biomass in anaerobic fermentation plant. Maize has become the widest used plant in spite the fact its planting represents increasing danger of a water erosion and a soil degradation. On the other hand we can use a grass biomass from areas not suitable for intensive agriculture, but their maintenance is useful and desirable with regard to landscape maintenance as one of the function of agriculture. Paper presents results of laboratory anaerobic digestion tests of the grass biomass from different areas and results are compared.*

### **Klíčová slova**

*Bioplyn, anaerobní digesce, trvalé travní porosty, biomasa, laboratorní testy*

### **Úvod**

Anaerobní fermentace organických látek v bioplynových stanicích spojená s produkcí a následním využitím bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla, patří k stabilně rostoucímu segmentu obnovitelných zdrojů energie. Nespornou výhodou této technologie je možnost zpracovávání organických látek i s relativně nízkým obsahem sušiny. Další výhodou je nezávislost výroby energie na počasí a možnost regulace výkonu v průběhu dne a roku. V roce 2007 zájímala výroba elektrické energie z bioplynu třetí místo v rámci OZE v ČR, po vodních elektrárnách a biomase. V uvedeném roce bylo v bioplynových zařízeních vyrobeno 8,3 GWh elektrické energie a instalovaný elektrický výkon přesáhl 50 MW.

Podle průběžného monitoringu již provozovaných bioplynových stanic a stanic připravovaných k výstavbě, se v naprosté většině případů předpokládá zpracovávání rostlinné biomasy jako nosného substrátu. Rostlinná biomasa tvoří přes 50 % hmotnostních všech substrátů. Z toho až 80 % představuje kukuřičná siláž a zbytek jiná fytomasa, převážně z trvalých travních porostů. V přepočtu na obsah energie představuje vnos rostlinné biomasy až 80 % energetického obsahu všech substrátů.

Kukuřice je nedílnou součástí osevních postupů. Její význam spočívá ve vysokém nárůstu biomasy a technologicky poměrně nenáročných pěstebních postupech. V České republice se vysévá přibližně 200 000 ha kukuřice na siláž. Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál, kolem 324 000 MJ/ha. Tato skutečnost je také předpokladem k dobrému zhodnocení biomasy celých rostlin na výrobu energie. Na druhé straně, pěstování kukuřice představuje zvýšené nebezpečí vodní eroze. Kukuřice netvoří dřevný porost a podmínky na povrchu půdy jsou příznivé pro odnos zeminy z pozemku při přívalových srážkách. Zařazení vysokého podílu kukuřice v osevním postupu není vhodné ani z důvodu bilance a kvality organické hmoty v půdě.

Prozatím nedostatečně využívaným zdrojem rostlinné biomasy pro bioplynové stanice je biomasa z trvalých travních porostů (TTP).

Plochy trvalých travních porostů (louky a pastviny) představují v České republice téměř 23 % výměry zemědělské půdy (cca 970 000 hektarů). Produkční potenciál TTP se odvíjí od geologicko-petrografických podmínek, půdního typu a druhu půd, nadmořské výšky, teploty. Závisí na srážkách, expozici pozemku, hladině spodní vody, použité prátotechnice aj. Roční výnosy se proto pohybují v širokém rozpětí od 2 do 16 t.ha<sup>-1</sup> suché hmoty. V současnosti, kdy jsou trvalé travní porosty využívány převážně extenzivně dosahuje průměrný roční výnos biomasy kolem 3 tuny sušiny z hektaru

Travní hmota z TTP je využívána hlavně ke krmení skotu. Až 50 % pokles stavu skotu v posledních několika letech je hlavním důvodem přebytků fytohmoty z těchto ploch. To negativně ovlivňuje zájem o jejich obhospodařování. Nevhodný způsob obhospodařování TTP může vést k postupné degradaci - změnám půdní úrodnosti, bilanci vodního režimu, erozi, zaplevelování apod.

Vedle své produkční funkce plní však TTP i celou řadu dalších významných funkcí mimoprodukčních. V posledních letech získává na významu především vodohospodářská funkce trvalých travních porostů, jež zahrnují i funkci protierozní. Hejduk (2006) uvádí srovnání povrchového odtoku z travního porostu a kultur zemědělských plodin na orné půdě po přívalovém dešti (12.5.2004, celkový úhrn srážek 22,5, doba trvání 35 minut). Odtok z porostu kukuřice – 132,0 m<sup>3</sup>/ha, z brambor – 102,0 m<sup>3</sup>/ha, ozimé pšenice – 23,5 m<sup>3</sup>/ha a z travního porostu 3,4 m<sup>3</sup>/ha.

Vedle hlavní vodohospodářské funkce TTP je možné jmenovat celou řadu dalších funkcí, například ukládání CO<sub>2</sub>, biofiltrace, biodiversifikace, funkce estetická a krajinná a podobně.

**Produktivitou** lučních porostů a jejich využitím k produkci bioplynu se zabývá řada autorů, mezi nejzajímavější práce patří Moeller, Nielsen, a Christensen (2007). Z porovnání metlicové a chřasticové louky vyplývá produkce metanu cca 250 až 310 litrů metanu na kilogram organické hmoty lučního porostu. Druhé sklizně vykazují nižší výtěžnost bioplynu. Ačkoliv produkce bioplynu je vyšší u kukuřice, energetická bilance (poměr energetické spotřeby při pěstování a energie získané) u kukuřice a extenzivních lučních porostů dává možnost obě skupiny porovnat. Navíc vlhkomilné až mokřadní travní společenstva působí jako živinová past (nutrient trap). Autoři hodnotí i možnost dodatečného hnojení draslíkem, které zlepšuje výtěžnost bioplynu u travních porostů.

Mezi nejproduktivnější travní druhy podmáčených luk patří chřastice rákosovitá, známá také pod starým označením lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Výnosy se uvádějí 15 t sena z hektaru, při hnojivé závlaze pak až 20 t sena z hektaru (Hlávková, 1980). Vysoká produkce i nenáročné stanovištní podmínky předurčují dnes chřastici rákosovitou k energetickému využití. Skandinávské a další země již cíleně pěstují chřastici rákosovitou pro výrobu pelet.

Pěstováním chřastice rákosovité pro energetické účely se zabývá i práce Strašila, Váni a Káše (2005), kteří uvádějí výnosy chřastice rákosovité. Pro nehnojené plochy získali průměrné výnosy 4,60 – 8,45 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, u porostů hnojených 30 kg N.ha<sup>-1</sup> výnosy 5,74 – 9,02 t sušiny.ha<sup>-1</sup> a u porostů hnojených 60 kg N.ha<sup>-1</sup> pak výnosy 6,94 - 10,04 t sušiny.ha<sup>-1</sup>.

Chřastice rákosovitá vyžaduje pro růst dostatečné zásobení vodou, uvádí se, že na jeden kilogram sušiny spotřebuje rostlina 700 – 800 l vody (Hlávková, 1980). Velice dobře snáší i dlouhodobé zaplavení, Regal uvádí 30 dní (Hlávková, 1980), ostatně je dnes často využívána v kořenových čistírnách odpadních vod. Ačkoliv se dnes nijak nepředpokládá cílené pěstování

chrastice pro bioplynové využití, zvládnutí technologie časně sklizně v záplavových oblastech a využití v AD rozšiřuje substrátovou základnu aniž by byly negativně ovlivněny environmentální funkce porostu. Zároveň by bylo možné využívat aluviální plochy účelně, s minimálním rizikem povodňových škod na porostu.

Použití travní biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu má určitá specifika vycházející hlavně z chemického složení biomasy. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno charakterem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc může být ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsob hnojení, doba sklizně, počet sečí, technologie konzervace atd.

Řada pokusů byla prováděna s jednodruhovými porosty trav, domníváme se, že rozdíly mezi různě sklizeným směsným porostem jsou vyšší než mezi jednotlivými druhy a řada prací naši domněnku podporuje.

### **Materiál a metodika**

V rámci projektu 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ řeší autoři dílčí úkol Technicko ekonomické posouzení anaerobní fermentace fytomasy, v jejímž rámci se zaměřují na efektivitu využívání biomasy TTP.

Při řešení úkolu se vychází z hlavní hypotézy: “Nedá očekávat statisticky významný rozdíl v produkci bioplynu, resp. metanu mezi jednotlivými typy travních porostů, resp. biotopů, ani mezi čerstvou a silážovanou biomasou. Rozdíly se dají očekávat mezi vzorky z různých sklizní, tedy z různých stádií zralosti“.

Pro srovnávací analýzy produkce bioplynu v laboratorních testech byla použita biomasa z různých oblastí. Pro porovnání byly testovány vzorky kukuřičné siláže z hybridu kukuřice na siláž (*Atletico*).

### **Vybrané lokality**

**Mokrý Louky u Třeboně** jsou klíčovou lokalitou vzhledem k poptávce po využití travní biomasy. Jde o území rozprostírající se východně od města Třeboně o celkové rozloze cca 450 ha. Mokrý Louky jsou dlouhodobě modelovým územím pro studium přirozených produktivit mokřadních ekosystémů..

Luční porosty jsou dnes extensivně využívány, částečně hnojené digestátem (fugátem) z bioplynové stanice R.A.B., s.r.o. Třeboň v množství 40 t.ha<sup>-1</sup>.

Společnost K+K Břilice hospodaří na cca 285 ha podmáčených luk v severní části Mokrých Luk a na zhruba 100 ha v severní části Mokrých Luk. Sklizeň travní hmoty začíná obvykle v polovině května, druhá seč připadá na začátek července a případná třetí seč připadá na začátek září. Průměrný roční výnos sena je 4 t/ha. Podle informací pracovníků společnosti K+K Břilice jsou hektarové náklady cca 8000 Kč.

V roce 2008 byla produkce Mokrých luk následující (informace K+K Břilice)

1. seč: 106 q/ha v zelené hmotě
  2. seč: 116 q/ha v zelené hmotě
- Celkem roční výnos: 222 q/ha v zelené hmotě.  
Sklizená plocha: 275 ha (rok 2008)

V rámci lokality Mokré louky byly definovány dvě dílčí lokality, nazvané Mokré louky suchá část a Mokré louky vlhká část.

Pro porovnání byly zvoleny další 3 lokality s trvalými travními porosty:

Lokalita **Paseky** se nachází jižně od města Horní Stropnice, cca 1 km od obce Paseky. Jde o extenzivně obhospodařovaný luční porost na východním svahu Kraví hory. Vlastníkem porostu je soukromě hospodařící zemědělec, Ing. Blíženeček. Sklizená fytomasa je využita ke krmení ovcí a koní. První seče probíhají na konci června, 2. seč do konce srpna, 3. seč se provádí výjimečně. Produkce je odhadována na 3 – 4,5 t/ha. Náklady nejsou specifikovány.

Lokalita **Hojná voda** se nachází na jihozápadním okraji obce Hojná Voda, v sedle mezi Kraví horou a Vysokou v Novohradských horách. Pronajímatelem pozemku je 1. Jihočeská zemědělská a.s.

Lokalita **Vatín** je součástí výzkumné stanice pícninářské. Nachází se v regionu Českomoravské vrchoviny, 7 km jižně od Žďáru nad Sázavou, na jižní hranici CHKO Žďárské vrchy. Nadmořská výška 540 m n.m.

Skližen 3 – 4 x ročně. Z nehojeného travního porostu je možné získat 3 – 4 t/ha suché biomasy. První seč poskytuje 65 % roční sklizně.

Charakteristiky lokalit jsou uvedeny v tabulce 1.

### **Sběr, úprava a analýza biomasy**

Fytomasa z jednotlivých lokalit byla odebírána v průběhu první seče v roce 2008. Posečená biomasa byla nařezána na velikost částic (řezanky) v rozmezí 1-3 cm. Vzniklá řezanka byla rozprostřena do vrstvy o výšce cca 5 cm a ponechána k proschnutí při venkovních teplotě na sušinu kolem 30 %. Poté byla inokulována postřikem 0,2 % roztoku silážního konzervačního přípravku Microsil ExtraPlus (fy Medipharm CZ, Hustopeče u Brna), obsahujícího bakterie mléčného kvašení. Následně byla inokulovaná řezanka plněna do 5 l skleněných širokohrdlých láhví na hutnost 550 - 650 gramů na litr. Biomasa v láhvi byla překryta mikrofolií, zatížena vodou v plastovém vaku. Po hermetickém uzavření byly láhve uskladněny ve tmě při teplotě kolem 15 °C po dobu dvou měsíců. Skleněné láhve byly průběžně vizuálně kontrolovány na případný obsah plísní. Silážované vzorky byly pak dále použity k analýzám a k testům. Chemické analýzy byly prováděny dle jednotlivých příloh k vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 124/2001 Sb.

### **Kultivační testy**

Pro výpočet teoretické produkce bioplynu resp. metanu ve vzorcích biomasy na základě jejich chemických analýz byly použity dvě metody – metoda „Zielwert-Futteroptimierung“ ZIFO (Rutzmoser, 2002) a metoda dle Amona (Amon, 2004).

**Metodika výpočtu dle Amona** je založená na lineárním regresním modelu, vycházejícím z naměřených produkcí metanu v závislosti na složení a druhu testované biomasy. Produkce metanu je vyjádřena v „normo“ litrech tj. při tlaku 101,3 kPa a teplotě 0 °C, vztažena na organickou sušinu.

**Metodika dle ZIFO** vychází ze složení a stupně odbourání pro produkci bioplynu rozhodujících komponent biomasy.

Laboratorní kultivační testy byly prováděny na kultivačním zařízení ENKI, Třeboň. Metodika testů a vyhodnocení výsledku je v souladu s mezinárodně uznávanou německou normou pro testování vody, odpadní vody a kalů, kalů a sedimentů s modifikacemi s. No. 2.6.4. - 2.6.11 (DIN 38414, 1985-06). Princip testů je založen na anaerobním rozkladu fytomasy a měření objemu produkovaného bioplynu. Suspenze testované biomasy a inokula (anaerobní kal z Bioplynové stanice Třeboň) je fermentovaná po dobu 30 dní za nepřístupu vzduchu ve speciálních skleněných nádobách o objemu 1000 ml, uložených ve vodní lázni, temperované na teplotu 40°C. Vznikající bioplyn je jímán v eudiometrické trubici.

## Výsledky

V tabulce 2 jsou uvedeny analýzy silážované biomasy z jednotlivých lokalit trvalých travních porostů a vzorku kukuřičné siláže. Obsah sušiny u jednotlivých vzorků se u travní siláže pohybuje v rozmezí 22,2 % (Hojná Voda) až po 50 % (Mokrý louky - suchá část). Obsah sušiny u kukuřičné siláže je 28,7 %. Přes rozdílnou sušinu je u dalších sledovaných parametrů jasný rozdíl mezi vzorky travní a kukuřičné biomasy. Obsah organických látek v sušině se u travní biomasy pohybuje v úzkém rozmezí (91,7 - 93,3). Výjimkou je nižší obsah organické sušiny (88,5 %) u biomasy z podmáčené části Mokřých luk. U kukuřice je obsah organické sušiny vyšší 96,6 %. Vyšší obsah organické sušiny v biomase u kukuřice a tím i nižší obsah popelovin je jedním z předpokladů vyšší produkce bioplynu.

**Tab. 2 - Složení siláže travních porostů a kukuřice**

Parametr	jednotky	Paseky	Hojná voda	Mokrý louky suché	Mokrý louky vlhké	Vatín	Kukuřice Atletico
sušina	%	22,8	22,2	50	38,3	31	28,7
organické látky v sušině	% v sušině	93,3	91,7	91,4	88,5	92,6	96,6
proteiny	% v sušině	10,7	11,8	16,5	16,7	9,8	7,3
vláknina	% v sušině	32,6	33,3	25,7	25,1	33	16
lipidy	% v sušině	3,2	3,7	4,2	3,9	3	4,3
popel	% v sušině	6,7	8,3	8,6	11,5	7,4	3,4
BNVL	% v sušině	46,8	42,9	45	42,8	46,8	69

BNVL – bezdusíkaté látky výtahkové

Z hlediska potencionální produkce bioplynu je důležité složení organické hmoty co do obsahu proteinů, lipidů a sacharidů (vláknina + BNVL). Nejnížší obsah proteinů je u vzorku kukuřice (7,3 %), když u trav se pohybuje v rozmezí 9,8 % - 16,7 %. Vyšší hodnota proteinů je dána hnojením. Obsah lipidů je ze všech parametrů nejnížší (3,0 % - 4,3 %) a u obou druhů vzorků (kukuřice a trávy) srovnatelný. Výraznější rozdíly mezi kukuřičnou a travní biomasou jsou v obsahu vlákniny a BNVL. Zatímco obsah BNVL se u jednotlivých vzorků trav pohybuje v rozmezí 42,8 % - 46,8 %, u kukuřice je téměř o 50 % vyšší (69 % BNVL v sušině). Obráceně, u kukuřice je výrazně nižší obsah vlákniny.



## Produkce bioplynu

Metoda ZIFO umožňuje na základě složení biomasy (proteiny, lipidy, sacharidy) vypočítat jak celkovou produkci bioplynu tak koncentraci metanu v bioplynu. Při použití vztahu dle Amona se získají jenom produkce metanu. V kultivačních testech nebyly použité naměřené koncentrace metanu ve vznikajícím bioplynu ze dvou důvodů. V průběhu testu se koncentrace metanu ve vznikajícím bioplynu měnila v závislosti na rychlosti rozkladu jednotlivých složek. A dále hodnota složení bioplynu byla ovlivněna složením bioplynu vznikajícího z inokula - anaerobní kal vznikající při fermentaci kejdy prasat, který má vzhledem k vyššímu zastoupení proteinů i vyšší koncentrace metanu. Vzhledem k vysoké koncentraci sacharidického podílu v testovaných substrátech (vláknina + BNVL) lze předpokládat a provozní výsledky to potvrzují, že obsah metanu v bioplynu u sledovaných substrátů se pohybuje v souladu s metodikou ZIFO v rozmezí 52 - 54 % objemových. Koncentrace metanu pro jednotlivé druhy travní biomasy a kukuřičné siláže získané na základě složení a výpočtu dle metody ZIFO byly proto použity i pro výpočet metanu v bioplynu získaného v kultivačních testech.

Tabulka 3 uvádí teoretické produkce bioplynu a metanu dle metody ZIFO a dle metody Amona a zároveň uvádí naměřené hodnoty produkce bioplynu v laboratorním testu.

Tabulka 3 – Vypočtené hodnoty produkce bioplynu a metanu a naměřené kumulativní produkce bioplynu a metanu po 30 dnech inkubace.

Parametr	jednotky	Paseky	Hojná voda	Mokrý louky suché	Mokrý louky vlhké	Vatín	Kukuřice Atletico
<b>BIOPLYN</b>							
ZIFO	$l_N/kg OS$	563,6	564,4	558,2	557,0	564,1	564,0
Amon	$l_N/kg OS$	-	-	-	-	-	-
Test	$l_N/kg OS$	520	517	530	521	502	621
<b>METAN</b>							
ZIFO	$l_N/kg OS$	298	301	303	303	297	296
Amon	$l_N/kg OS$	277	295	316	311	271	313
Test	$l_N/kg OS$	295	300	315	321	286	337
% metanu v bioplynu	%	53	53	54	54	53	52

Průběh produkce bioplynu u TTP a kukuřice ukazuje graf č.1.

## Diskuze

V práci jsou uvedeny výsledky složení a produkce metanu resp. bioplynu siláže travní biomasy z pěti lokalit trvalých travních porostů. Pro porovnání byl testován vzorek kukuřičné siláže hybridu kukuřice *Atletico*. Jednotlivé lokality TTP se liší nadmořskou výškou, převládajícími druhy trav, porostovým typem, vodním a živinovým režimem. Obsah

organických látek v sušině byl u travní biomasy nižší (91,7 % - 93,3 %) než u kukuřice (96,6 %). Nejvyšší podíl tvořili ve všech vzorcích bezdušikaté látky výtěžkové. U travní biomasy to bylo 42,8 % - 46,8 % a u kukuřice až 69 %. Druhou nejvýznamnější složkou byla vláknina. Obě „sacharidické“ složky tvořili přes 70 % organické hmoty sledovaných vzorků. Obsah proteinů byl u vzorku kukuřice 7,3 % a u trav se pohyboval v rozmezí 9,8 % - 16,7 %. Obsah lipidů je ze všech parametrů nejnižší jak u trav tak u vzorku kukuřice (3,0 % - 4,3 %).

Byla porovnaná produkce metanu resp. bioplynu vzniklého při laboratorních kultivačních testech anaerobní fermentace se dvěma matematickými modely. Metodou lineárního regresního modelu dle Amona a metody ZIFO, vycházející ze složení a stupně odbourání pro produkci bioplynu rozhodujících komponent biomasy. Byla prokázána shoda výsledků kultivačních testů a numerických modelů u vzorků travní biomasy. Jenom v případě kukuřičné siláže vychází výsledky produkce metanu u metody ZIFO v porovnání s kultivačními testy o 12 % nižší.

Výsledky vznikly během řešení projektu NPV 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“.

## Literatura

DIN 38414 (1985-06): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens (S 8)

Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Pötsch, E. (2004): Biogas production from maize and clover grass estimated with the methane energy value system.. In: EurAgEng: AgEng2004 Engineering the Future, 12 – 16 September 2004, Leuven, Belgium.

Hejduk, S. (2006): Hydrologický význam travních porostů. 6. Evropská letní akademie ekologického zemědělství, Lednice na Moravě, 29.6. – 1.7.2006

Hlávková, H. (1980): Produkce některých bylinných druhů mokřadních ekosystémů. Diplomová práce. Praha, VŠZ.

Møller, H. B., Nielsen, L., Christensen, T.B. (2007): Biogas production from different types of biomass and grass species from meadows. Nordic Association of Agricultural Scientists, Copenhagen, 87-88, 2007.

Rutzmoser K. und Dr. Spann B., Zielwert-Futteroptimierung, Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub, 2002

Stražil, Z., Váňa, V., Káš, M. (2005): The reed canary grass (*phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilization. Res. Agr. Eng., 51 (1): s. 7-12.

Tab. 1 – Charakteristiky lokalit odběru travního porostu

	Mokré louky suchá část	Mokré louky vlhká část	Paseky	Hojná Voda	Vatín
nadmořská výška (m. n m.)	480	480	600	830	540
převládající druhy	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Carex vesicaria</i> , <i>Poa palustris</i>	<i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Carex acuta</i> , <i>Carex vesicaria</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Calamagrostis canescens</i>	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Anthriscum sylvestris</i> , <i>Trisetum flavescens</i> , <i>Veronica chamaedrys</i> , <i>Bromus erectus</i>	<i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Taraxacum sect. Ruderalia</i> , <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Heracleum sphondylium</i> , <i>Veronica chamaedrys</i>	<i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Trisetum flavescens</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Centaurea maces</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Alopecurus pratense</i> , <i>Galium album</i> , <i>Heracleum sphondylium</i> , <i>Trifolium pratense</i> .
zařazení dle katalogu biotopů ČR	intenzivně obhospodařované louky (X5)	vegetace vysokých ostríc (M1,7)	intenzivně obhospodařované louky (X5)	intenzivně obhospodařované louky (X5)	ovsíkové mezofilní louky (T1,1)
porostový typ	<i>Alopecuretum pratense</i>	<i>Phalaridetum</i>	<i>Festucetum pratense</i>	ruderalní	<i>Arrhenatheretum elatioris</i>
vodní režim	mezofytní (H <sub>3</sub> )	mezohygrofytní (H <sub>4</sub> )	mezofytní (H <sub>3</sub> )	mezofytní (H <sub>3</sub> )	mezoxerofytní (H <sub>2</sub> )
živinový režim	mezoeutrofní (N <sub>4</sub> )	mezotrofní až mezoeutrofní (N <sub>3</sub> - N <sub>4</sub> )	mezotrofní až mezoeutrofní (N <sub>3</sub> - N <sub>4</sub> )	eutrofní (N <sub>5</sub> )	mezotrofní (N <sub>3</sub> )
jarní pícninářská hodnota (body)	100	-	82	79	-

**Kajan, M.; Lhotský, R. (2008): Anaerobní fermentace rostlinné biomasy. - In: *Havlíčková K. a kol.(eds.): Rostlinná biomasa jako zdroj energie*. VÚKOZ. Průhonice 2008. p. 45 - 60.**



# Rostlinná biomasa jako zdroj energie



Kamila Havlíčková a kol.

Průhonice 2008



Tab. 16 Naměřené provozní hodnoty parametrů drtičů a štěpkovače

Typ stroje	Výkon kg·h <sup>-1</sup>	Spotřeba paliva l·h <sup>-1</sup>	Počet pra- covníků obsluhy	Výkon na pracovníka kg·min <sup>-1</sup>	Náklady na Kč·kg <sup>-1</sup>				Celkové náklady Kč·kg <sup>-1</sup>
					obsluhu	traktor <sup>3)</sup>	energii	amortizaci <sup>4)</sup> stroje	
DH 10	580		3	3,22	0,52	–	0,03	0,04	0,59
	902		5	3,01	0,55	–	0,03	0,02	0,60
DH 12	1032		3	5,73	0,29	0,39	0,06	0,02	0,76
	1709		5	5,70	0,29	0,23	0,06	0,01	0,59
PZ 110mb	533 <sup>1)</sup>	4,6	3	2,96	0,56	–	0,26	0,16	0,98
	391 <sup>2)</sup>	3,42	2	3,25	0,51	–	0,26	0,22	0,99

<sup>1)</sup> otáčky motoru 1 700·min<sup>-1</sup><sup>2)</sup> otáčky motoru 1 900·min<sup>-1</sup><sup>3)</sup> nájem traktoru 400 Kč·h<sup>-1</sup><sup>4)</sup> předpokládá se provoz: 1 000 h·rok<sup>-1</sup>, doba odpisů: 4 roky

ceny strojů:

DH 10.....84 000,- Kč

DH 12.....83 000,- Kč

PZ 110mb....340 000,- Kč

## 5 Anaerobní fermentace rostlinné biomasy

Podle předběžných údajů Ministerstva průmyslu a obchodu se v roce 2007 hrubá výroba elektřiny z OZE podílela na celkové hrubé tuzemské spotřebě elektřiny cca 4,7 %. (MPO). U všech druhů OZE kromě vodních elektráren došlo k meziročnímu nárůstu výroby elektřiny. Výroba elektřiny z biomasy vzrostla o třetinu především vzhledem k rozsáhlejšímu spalování dřevní štěpky, odpadu, pilin, celulózoých výluhů apod.

Vzhledem k novým instalacím výrazně vzrostla výroba elektřiny ve větrných elektrárnách o 153 % a fotovoltaických systémech dokonce o 307 %. Výroba elektřiny z bioplynu má stabilně rostoucí trend a to u všech kategorií výrobců. Výrazně vzrostla výroba elektřiny v „zemědělských“

bioplynových stanicích (více jak 30 GWh). V roce 2007 bylo z bioplynu vyrobeno zhruba 210 GWh elektřiny.

Jak vyplývá z tabulky, výroba elektrické energie z OZE v roce 2007, přes instalaci nových výkonů je v porovnání s rokem 2006 nižší. Důvodem byla nižší výroba ve vodních elektrárnách z důvodu horších hydrologických podmínek. Závislost na vnějších jevech ovlivňuje využití instalovaného výkonu i u větrných elektráren a fotovoltaických systémech.

Představu o ročním využití instalovaného elektrického výkonu zdroje získáme vydělením roční produkce elektrické energie instalovaným výkonem (Ky), případně přepočteného na teoretický počet dnů v roce, kdy zdroj „běží“ na instalovaný jmenovitý výkon.

Tab. 17 Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v roce 2007 – předběžná data (MPO)

	Hrubá výroba elektřiny	Hrubá výroba elektřiny	Meziroční změna	Podíl na hrubé výrobě elektřiny	Podíl na hrubé tuzemské spo- třebě elektřiny
	v roce 2006	v roce 2007	2006/2007	v roce 2007	v roce 2007
	GWh	GWh	%	%	%
Vodní elektrárny	2 550,70	2 092,20	-18 %	2,40 %	2,90 %
Biomasa celkem	731,1	970	33 %	1,10 %	1,30 %
Bioplyn	175,8	210	19 %	0,20 %	0,30 %
Větrné elekt- rárny	49,4	125,1	153 %	0,10 %	0,20 %
Tuhé komunální odpady (BRO)	11,3	12	6 %	0,00 %	0,00 %
Fotovoltaické systémy	0,5	2,2	307 %	0,00 %	0,00 %
Celkem OZE	3 518,80	3 411,50	-3 %	3,90 %	4,70 %

Tab. 18 Roční využití instalovaného elektrického výkonu

	Vodní elektrárny	Fotovoltaika	Větrné elektrárny	Bioplynové stanice	Jaderné elektrárny
Ky	0,28	0,11	0,13	0,92	0,82
Dny/rok	102	40	47	332	299

Jak vyplývá z uvedené tabulky, kde jsou zpracované údaje ze statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu pro OZE za rok 2006, největší využití instalovaného výkonu v průběhu roku je u bioplynových stanic, kde na rozdíl od ostatních OZE můžeme výkon ovlivňovat dávkováním substrátu.

Na základě průzkumu stávajících a plánovaných bioplynových stanic bylo zjištěno, že jako hlavní substrát, v kofermentaci s jinými substráty, bude používána rostlinná biomasa a to hlavně kukuřičná a travní siláž. Oba substráty představují spolu v průměru téměř polovinu (42 % hmotnostních) všech zpracovávaných surovin (KAJAN, 2007).

Tab. 19 Předpokládané zastoupení zpracovávaných substrátů

Substrát	Podíl v hmotnostních %
Kukuřičná siláž	35
Travní siláž	7
Hovězí kejda	22
Kejda prasat	19
Ostatní	17

Význam rostlinné biomasy pro výrobu bioplynu je ještě výraznější, když hmotnostní podíl je přepočten na obsah energie. Tuna kukuřičné siláže poskytne kolem 200 Nm<sup>3</sup> bioplynu, což je téměř desetkrát více než z tuny kejdy hospodářských zvířat (20–30 Nm<sup>3</sup>). Rozdíl v měrné produkci bioplynu je především odrazem obsahu organických látek v jednotce hmotnosti. Kukuřičná a travní siláž při průměrném obsahu sušiny 35 % obsahuje 90–95 % organických látek v sušině na rozdíl od hodnot dosahovaných v kejdě, kde obsah sušiny se pohybuje v rozmezí 3–7 % sušiny s 75–85 % podílem organických látek. To znamená, že rostlinná biomasa se podílí v průměru téměř 90 % energie na energetickém obsahu vznikajícího bioplynu.

## 5.1 Zdroje a složení rostlinné biomasy ve vztahu k anaerobní fermentaci

### 5.1.1 Kukuřičná siláž

Jak bylo uvedeno, hlavním substrátem pro zemědělské bioplynové stanice je kukuřičná siláž. Pro využití kukuřice na výrobu bioplynu jsou tyto důvody:

- kukuřice má jeden z nejvyšších výnosových potenciálů biomasy na jednotku plochy,
- do budoucna lze očekávat další nárůst výnosu biomasy z jednotky plochy,

- technologie pěstování a silážování kukuřice je rozvinutá a propracovaná,
- technologií pěstování lze respektovat i požadavky ochrany životního prostředí.

Kukuřice je nedílnou součástí osevních postupů. Její výhoda spočívá ve vysokém nárůstu biomasy a technologicky poměrně nenáročných a zavedených pěstebních postupech a uskladnění. Z hlediska pěstování jí vyhovují hlavně teplejší oblasti České republiky. S růstem nadmořské výšky klesá výnos biomasy a ve vyšších polohách podhorských a horských oblastí kromě sníženého výnosu nadzemní biomasy zrno zpravidla nedozrává. Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál, a to přibližně 324 000 MJ/ha. V porovnání s obilovinami, které produkují asi 216 000 MJ·ha<sup>-1</sup>, je energetický přínos kukuřice jednoznačný.

V České republice se pro účely krmení hospodářských zvířat vysévá přibližně 320 000 ha kukuřice. Její plošné zastoupení je v kukuřičné, řepařské, obilnářské a bramborářské výrobní oblasti přibližně stejně zastoupeno. V pastvinářských oblastech je její zastoupení velmi nízké nebo zcela chybí. Pro pěstování kukuřice na výrobu bioplynu nejsou v zemědělských podnicích překážky, které by neumožňovaly navýšení ploch pro pěstování kukuřice.

Nevýhodou pěstování kukuřice, především na svazích, je zvýšené nebezpečí vodní eroze. Kukuřice netvoří drnový porost a podmínky na povrchu půdy jsou příznivé pro odnos zeminy z pozemku při přívalových srážkách. Kukuřice je vysoký spotřebitel rostlinných živin. Nelze snižovat doporučené dávky hnojení z důvodu šetření nákladů na hnojení. Pokud zemědělská praxe omezuje přísun fosforu a draslíku do půdy, nutně klesá využití dusíku k nárůstu biomasy. Ve svém důsledku jde o pokles výnosu, snížení úrovně staré půdní síly jako základu disponibility výživného stavu pěstovaných rostlin, tudíž i výživy kukuřice, která by byla následně pěstována.

Stabilní a vysoké výnosy biomasy jsou základním předpokladem vysoké výtěžnosti bioplynu. V šlechtitelských programech firem je dnes „energetická kukuřice“, což představuje vytvořit hybridy se zvýšeným výnosem biomasy. Hybridy kukuřice vhodné k energetickým účelům by v blízké době měly být schopny produkce až 30 t·ha<sup>-1</sup> sušiny. Hybridy kukuřice na výrobu biomasy by měly v době nejvyšší produkce biomasy dosáhnout voskové zralosti – obsah sušiny 28–32 %.



### 5.1.2 Krátkodobé a dočasné porosty na orné půdě

Na orné půdě jsou pěstovány porosty krátkodobé (1–3 užitkové roky) nebo dočasné (4–6 užitkových let = mimo rok založení). V obou případech jsou tyto porosty součástí osevních postupů. V našich podmínkách jsou tradičně používány směsi trav a leguminóz (zejména jetele lučního), které poskytují 2–5 sečí za rok (podle průběhu počasí, způsobu využití sklizené píce a termínu zaorávky porostu).

Jedním z nejproduktivnějších travních druhů je jílek mnohokvětý (italský), který při podzimním výsevu poskytuje při adekvátní výživě v příznivých oblastech produkci sena nad 20 t·ha<sup>-1</sup>. V následující tabulce jsou uvedeny výsledky odrůdových pokusů ÚKZÚZ z několika lokalit (3 seče, hnojeno 220 kg N·ha<sup>-1</sup>).

Tab. 20 Produkce čerstvé píce a sena jílků mnohokvětých v roce 2005

Lokalita	HOR	HRA	CHT	KUD	STV	Průměr
Výnos čerstvé píce (t·ha <sup>-1</sup> )	101,6	75,2	81,5	65,2	79,5	80,6
Výnos sena (t·ha <sup>-1</sup> )	22,30	16,94	15,13	15,07	14,68	16,82

Tab. 21 Charakteristika pokusných stanovišť

Lokalita	Kód lokality	Nadmořská výška (m)	Průměrná roční teplota (°C)	Roční úhrn srážek (mm)	Půdní typ a druh
Horažďovice	HOR	475	7,8	585	KMm-ph
Hradec nad Svitavou	HRA	450	7,4	616	HMm-jh
Chrastava	CHT	345	8,0	738	HMI-ph
Krásné Údolí	KUD	647	6,3	602	KMm-hp
Staňkov	STV	370	8,1	537	HMm-h

hodné, neboť se snadno silážují, dobře využijí živiny z digestátu a na rozdíl od silážní kukuřice nepředstavují riziko eroze půdy a splachů herbicidů.

V praxi jsou mnohem častěji pěstovány jetelotravní směsi, které mají oproti čistým porostům trav a jetelovin řadu předností (HEJDUK, 2004). Nejčastěji jsou tyto směsi složeny z 1–2 druhů trav (mezirodové hybridy, bojínek luční, tetraploidní jílků) a jetele lučního, na lepších půdách v nižších polohách i vojtěšky seté. Jeteloviny umožňují dosažení vysoké produkce směsi i bez dusíkatého hnojení (rhizobiální fixace N ze vzduchu) a díky hlubokému kořenovému systému nejsou tak citlivé na přísušky jako samotné trávy.

V letech 1998–1999 probíhal na Výzkumné pícninářské stanici ve Vatíně (6 km jižně od Žďáru n. Sázavou) pokus s osmi krátkodobými jetelotravními směsmi české a rakouské proveniencí. Výsledky jsou uvedeny v tab. 22. Porosty byly založeny bez krycí plodiny. Výsledky dosud nebyly publikovány (interní materiály Ústavu pícninářství). Klimatické a půdní podmínky stanoviště Vatín jsou uvedeny v tab. 23. Podrobnější údaje o sestavování a způsobu vyu-

Jílek jednoletý se vysévá až na jaře a poskytuje několik sečí v roce zásevu. Vzhledem ke kratší vegetační době poskytuje nižší výnosy píce než jílek mnohokvětý z podzimního výsevu.

Krátkodobé jílků mají řadu předností i nevýhod. Hlavní výhodou je rychlý růst, velmi dobrá kvalita píce (vysoký obsah vodorozpustných cukrů, snadná silážovatelnost), levné osivo, zlepšování struktury půdy a obsahu humusu. Nevýhodou jsou vysoké nároky na hnojení (zejména N), vyšší nároky na úrodnost půdy (nesnáší silně kyselé, suché či zamokřené půdy) a citlivost na letní přísušky (výrazný pokles produkce i kvality píce).

Pro produkci bioplynu jsou jejich vlastnosti velmi vý-

živání krátkodobých jetelotravních porostů na orné půdě uvádí publikace (HRABĚ A KOL., 2004).

V roce 2004 byl na třech výrazně odlišných stanovištích (Vatín, Zubří u Rožnova p. Radhoštěm a Troubsko u Brna) založen rozsáhlý pokus pro zjištění produkční schopnosti 5 druhů trav (srha laločnatá, bojínek luční, jílek vytrvalý, kostřava luční a lipnice luční) a 4 druhů leguminóz (jetel luční, jetel plazivý, jetel švédský a štirovník růžkatý) v čistých kulturách i ve směsích tab. 24. V rámci každého druhu bylo do pokusu zařazeno minimálně 5 odrůd. Porosty byly založeny bez krycí plodiny, výnos byl sledován až od 1. užitkového roku (po prvním přezimování). Dosud jsou zpracovány pouze 2 užitkové roky, které ukazují některé výrazné rozdíly mezi stanovišti.

Z tabulky je patrné, že nejproduktivnější pícninou v průměru obou let a všech stanovišť je jetelotravní směs (jetel luční + bojínek luční + mezirodové hybridy). Dávka dusíku byla k této směsi pouze 30 kg N na jaře, porost byl sklizen třikrát ročně. Čisté travní porosty byly hnojeny dávkou 140 kg N·ha<sup>-1</sup> a sklizeny třikrát, pouze jílek vytrvalý byl hnojen dávkou 160 kg N·ha<sup>-1</sup> a sklizen pětkrát (simulace pastevního využití).



## Rostlinná biomasa jako zdroj energie

Tab. 22 Výnosy jetelotrav v suchém stavu (t·ha<sup>-1</sup>). Projekt AKTION – stanoviště Vatín 1998–1999, (P + K, bez N), rok výsevu 1998 (suchý rok, bez krycí plodiny)

Varianta číslo – označení	Výnos sena (t·ha <sup>-1</sup> )		
	1998	1999	Σ
<b>Rakouské směsi</b>			
1 Feldfutter-intenzivmischung (IR)	3,39	13,44	16,83
2 Rotkleegrasmischung (RR)	3,70	14,45	18,15
3 Luz.-Rotkleegrasmischung (LR)	2,90	12,84	15,74
4 Wechselwiessenmischung (WR)	3,39	12,12	15,51
<b>České směsi</b>			
5 Vojtěško-travní směs (VT)	3,18	9,33	12,51
6 Krátkodobá jetelotavní směs (JJT-1)	3,68	14,07	17,75
7 Vojtěško-jetelotavní směs (VJT)	3,09	12,52	15,61
8 Luční směs pro střídavé využívání (DJT-1)	3,49	13,47	16,96
Průměr 1–8			16,13

Tab. 23 Charakteristika jednotlivých stanovišť s produkčními pokusy trav a leguminóz v rámci pokusu NAZV QF 4034

Lokalita	Nadm. výška	Prům. roční teplota	Roční úhrn srážek	Půdní typ
Vatín (V)	540 m	6,1 °C	736 mm	Acid Cambisol
Rožnov – Zubří (Z)	345 m	7,6 °C	903 mm	Stagno-gleyic Cambisol
Troubsko (T)	270 m	8,4 °C	537 mm	Chernozem

Tab. 24 Produkce sena vybraných pícnin (t·ha<sup>-1</sup>) v prvních dvou užitkových letech na výše uvedených stanovištích (HEJDUK ET AL., 2007)

Pícnina	2005				2006			
	T	Z	V	Průměr	T	Z	V	Průměr
Jetel luční	18,4	14,3	11,2	14,6	16,5	9,5	11,7	12,5
Jetelotavní směs	20,3	14,9	14,1	16,4	16,7	10,1	13,5	13,4
Bojínek luční	11,0	13,5	12,2	12,2	7,4	14,4	10,8	10,9
Kostrava luční	8,8	10,6	13,2	10,8	5,9	12,6	9,6	9,4
Srha laločnatá	11,2	24,3	14,1	16,5	8,8	15,0	8,1	10,6
Jílek vytrvalý	7,1	11,0	9,5	9,2	5,6	9,0	8,1	7,6

Pozn.: T – Troubsko, Z – Rožnov – Zubří, V – Vatín

Výhodu jetele lučního z hlediska hlubšího zakořenění vidíme zejména na stanovišti Troubsko, které má nejnižší úhrn srážek a výrazně se zde projeví rozdíl mezi produkcí jetele a čistých trav. I v tomto relativně suchém a teplém prostředí však směs s travami poskytla vyšší výnos, než samotný jetel, což je způsobeno jednak lepším využitím slunečního záření (odlišná orientace listů) a podzemního prostoru (odlišná hloubka kořenů a způsob jejich růstu).

U trav je patrné, že nejlépe se vyrovnává se suchem srha laločnatá, která poskytla v obou letech v Troubsku nejvyšší výnosy a v prvním užitkovém roce byla nejproduktivnějším travním druhem na všech stanovištích. Ve druhém užitkovém roce se však výnosově nejlépe projevil bojínek luční, který je tradiční travou ve vyšších oblastech a výborně přezimuje i v zimních obdobích s nepříznivými podmínkami. Vysoká produkční úroveň zkoušených trav je spojena s mnohem vyššími dávkami živin, než jsou běžně používány

v současné zemědělské praxi.

### 5.1.3 Trvalé travní porosty

Trvalý travní porost (TTP) je definován (zákon č. 252/1997 Sb., o zemědělství) jako stálá pastvina, popřípadě souvislý porost s převahou travin, určený ke krmeným účelům nebo k technickému využití, který může být nejdéle 5 let rozorán za účelem zúrodnění.

Plochy trvalých travních porostů tvoří dlouhodobě přibližně jednu čtvrtinu celkové výměry obhospodařované zemědělské půdy České republiky. Plošně zaujímá travní biom 16 % výměry státu, ale v podhorských a horských oblastech tvoří až 37 % krajiny. Na území dnešní ČR byly louky a pastviny zakládány již před staletími k pastvě a produkci zásob krmiva pro mimovegetační období.



Neustále se snižující stavy skotu v průběhu posledních 15 let jsou hlavním důvodem poklesu zájmu o produkční funkci travních porostů. Kromě produkční funkce plní však TTP i celou řadu dalších významných funkcí. S rozvojem turistiky jako významného ekonomického faktoru národního hospodářství je kladen důraz na funkci estetickou, krajinnotvornou a rekreační. Stále ještě není dostatečně doceněna funkce biofiltrační a protierozní. Například způsobí-li srážky na půdě bez porostu odtok  $100 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , tak u ploch osetych kukuřicí to je  $46\text{--}66 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ , u obilnin  $32\text{--}38 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$  a u travních porostů jenom  $0\text{--}7 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Mimoprodukční funkce travních porostů jsou ovlivněny správným obhospodařováním – prateotechnikou. Nevhodný způsob obhospodařování vede ke změnám půdní úrodnosti, bilanci vodního režimu, erozi, zaplevelování apod. Jedním ze základních prvků péče o TTP je sečení a sklízení narostlé biomasy.

Přebytečnou fytomasu je možné využít k energetickým účelům. Anaerobní fermentace travní biomasy na bioplyn má oproti přímému spalování několik zásadních výhod. Není potřeba předsoušet zpracovávanou biomasu, vznikající bioplyn je možno využít k výrobě tepla a elektrické energie, případně po úpravě dodávat do sítě zemního plynu. Digestát (zbytek po fermentaci) obsahuje prakticky nezměněné množství minerálních látek obsažených v původní biomase, to umožňuje recyklaci živin spojené se zvyšováním produkce biomasy a následné snížení měrných provozních nákladů na sklizeň.

Trvalé louky a pastviny skýtají podle RYCHNOVSKÉ ET AL. (1985) při minimu investované energie velké množství píce s poměrně širokou sklizňovou dobou. Produkce krmných jednotek z pastvin je 3–5× levnější než z orné půdy. Tam jsou sice dosahované výnosy vyšší, ale za cenu většího přísunu dodatečné energie ve formě pesticidů, hnojiv, lidské práce, mechanizačních prostředků a fosilních paliv potřebných k jejich pohonu. Podle ALBERDY (1980) činí celosvětově využívání trvalých přirozených travních porostů jen 2,76 % potenciálně možné produkce. I v Evropě, kde je toto procento nejvyšší, činí jen 24,7 %.

BUCHGRABER ET GINDL (2004) uvádí, že tržby za zemědělské produkty u zemědělských podniků hospodařících na travních porostech v Rakousku jsou méně než poloviční oproti podnikům hospodařícím na orné půdě. Přesto však varují před další přeměnou travních porostů na novou ornou půdu, neboť to nemá hospodářský význam a z celospolečenského pohledu je to rizikové. Rozorávání trvalých travních porostů v minulosti bylo zdůvodňováno nutností zvýšení zemědělské produkce. Ale právě toho mohlo být podle BÁRA (1984) dosaženo s minimálními prostředky rozumným využíváním luk a pastvin a ne jejich likvidací.

Plochy trvalých travních porostů uvádí Český statistický úřad ([www.czso.cz](http://www.czso.cz)). V letech 1993–2001 jsou uvedeny zvlášť výměry luk, pastvin a jejich součet. V roce 2002 ČSÚ zru-

šil členění na louky trvalé a pastviny a uvádí výměru sklizených TTP. Tím také poklesly údaje výměry o 100 000–150 000 hektarů oproti údajům z katastru evidence nemovitostí (KOHOUTEK, 2006). Výměra luk v letech 1993–2001 se pohybovala v rozmezí 550 000–650 000 hektarů. Výměra ploch evidovaných jako pastviny byla v porovnání s trvalými loukami přibližně poloviční, 230 000–280 000 hektarů. Ve sledovaném období byla celková výměra TTP nejnižší v roce 1993 (776 000 ha). Pak je možné sledovat postupný nárůst až na hodnotu 940 000 hektarů v letech 2000–2001. V roce 2006 dosahovala výměra trvalých travních porostů v ČR 889 388 ha, přes 80 % z jejich celkové výměry se nachází v bramborářské a horské oblasti.

Procentuální zastoupení ploch v jednotlivých krajích je v průběhu sledovaných let stálé. Největší výměry TTP v rámci ČR jsou v kraji Jihočeském (cca 17 %) a Plzeňském (cca 12 %). Dále následuje kraj Vysočina (9,5 %) a Moravskoslezský kraj (cca 9,0 %). V těchto čtyřech krajích je lokalizována téměř polovina (47,5 % v roce 2006) z celkové výměry TTP v ČR.

Produkční potenciál trvalých travních porostů se odvíjí od geologicko-petrografických podmínek, genetického půdního typu a druhu půd, nadmořské výšky, teploty, srážek, expozice pozemku, hladiny spodní vody, botanického složení porostu, použité pratechniky aj.

Jak vyplývá z údajů ČSÚ, průměrné výnosy sena z TTP se v letech 1993–2006 pohybují v rozmezí  $2,41 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  v „suchém“ roce 2003 a  $3,45 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  v roce 1995. Průměr ve sledovaném období je  $3,06 \text{ tun}$  sena z hektaru. Průměrný výnos z pastvin v letech 1993–2001 byl  $2,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ , když produkce z luk byla v průměru o cca 40 % vyšší ( $3,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ ). Průměr z TTP celkem za období 1993–2001 byl  $3,1 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

Výnosy v jednotlivých lokalitách ČR se pohybují v širokém rozpětí od 2 do  $16 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$  suché hmoty (LEŠTINA, 2006). Potenciál výnosové schopnosti trvalých travních porostů, nelimitovaných živinami a vodou je ještě vyšší. V podmínkách ČR dopadá v průměru  $3\,980 \text{ MJ} \cdot \text{m}^{-2}$  energie ve formě slunečního záření. Z toho fotosynteticky aktivní záření (FAR) činí kolem 45 % tj.  $1\,790 \text{ MJ}$ . Za předpokladu obsahu  $17 \text{ GJ} \cdot \text{kg}^{-1}$  sušiny biomasy a 3 % účinnosti přeměny FAR činí teoretický výnosový potenciál sušiny biomasy (nadzemní i podzemní část)  $32 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ .

#### 5.1.4 Limitující faktory produkce travních porostů

V našich podmínkách limituje produkci píce travních porostů nejčastěji nedostatek vody a živin. V horských oblastech může být limitující také nízká teplota (krátká vegetační doba) a nedostatek slunečního záření (velká oblačnost). Celková produkce a rychlost fotosyntézy je však ovlivňována nejen průměrnými, ale často právě extrémními faktory.

Podle REGALA (1987) lze dosáhnout maximální pro-



## Rostlinná biomasa jako zdroj energie

dukce píce z travních porostů tam, kde jsou všechny ekologické faktory v optimu. V našich podmínkách je to průměrná roční teplota v rozmezí 7–8 °C a roční úhrn srážek nad 700 mm, popř. dostupnost vztlínající podzemní vody. Nepříznivé meteorologické podmínky v jednotlivých letech způsobují snížení výnosů TTP až o 20 %. Na tvorbu výno-

su trav se příznivě podílí vysoké teploty v březnu a v dubnu a naopak podprůměrné teploty v květnu a červnu, které souvisí s vyšší srážkovou činností (tab. 25). Ani vysoké dávky dusíku nemohou kompenzovat nepříznivý průběh počasí. V suchém roce se vysoká dávka N plně nevyužije a může se reziduálně projevit až v následujícím roce.

Tab. 25 Vliv teplot a srážek na výnos lučního sena (REGAL, 1987)

Rok	Prům. denní teploty (°C)		Úhrn srážek za vegetaci (mm)	Výnos sena (t·ha <sup>-1</sup> )	
	měsíc III + IV	měsíc V + VI		ČSSR	srha + 300 kg N
1976	3,85	15,65	207	3,23	8,55
1977	5,60	14,15	427	4,31	17,81

## Výživa travních porostů

Dlouhodobý trend snižování stavu skotu v ČR je hlavním důvodem poklesu zájmu o zvyšování produkce biomasy z TTP. Dotační tituly na mimoprodukční funkce zemědělství nejsou vázány na množství sklizené biomasy. Podmínkou vyplacení finančního příspěvku je provedení minimálně dvou sečí do daných termínů v průběhu roku. Vzhledem k nákladům na sečení, svoz a uskladnění přebytečné biomasy je pro příjemce dotace výhodnější dosažení nižší produkce. V případě využití biomasy ke krmení nebo výrobě energie je naopak výhodnější dosahovat co nejvyšších produkcí, jelikož rozhodující ekonomické náklady na produkci fytohmoty, sečení a svoz, jsou vztaženy na jednotku plochy.

Součástí trvalé péče o TTP by mělo být nejen pravidelné odstraňování biomasy sečením či pastvou, ale i navrácení živin zpět do koloběhu. Při jednostranném odčerpávání látek ekosystému dochází postupně k narušení látkové a energetické rovnováhy, k postupnému ochuzování stanoviště, poklesu druhové diversity, produkčnosti a k celkové degradaci travních porostů (JIRŠTĚ, 2006).

Vzhledem k tomu, že závlahy travních porostů se u nás již běžně neprovádějí, zůstává základním intenzifikačním prostředkem hnojení, zejména dusíkaté. Hnojení dusíkem vede ke změně botanické skladby porostu – podpoře výskytu trav a některých širokolistých bylin na úkor leguminóz a projevuje se na botanickém složení nejvýrazněji ze všech živin, (nevyskytuje-li se v půdě deficit jiné živiny). N hnojením se zvětšuje hmotnost výhonků, zvětšuje se pokryvnost listové plochy a mění se kvalita píce.

Hnojení dusíkem je dle VELICHA (1986) z energetického hlediska efektivní, pokud účinnost 1 kg aplikovaného N je alespoň 15,4 kg sušiny. HALVA ET AL. (1976) zjistili vhodnou úroveň N hnojení v pozdějších letech u dočasných pastevních porostů na Českomoravské vrchovině 250–300 kg·ha<sup>-1</sup>, při níž přírůstek sušiny na 1 kg N činí 18–20 kg.

KRÁLOVEC A LIPAVSKÝ (1991) stanovili na základě rozsáhlého výživářského pokusu optimální dávku živin z hlediska energetické efektivnosti v našich podhorských podmínkách (Závišín, 750 m n. m.) 100 kg N, 22 kg P a 50 kg K·ha<sup>-1</sup>. Tato dávka poskytla v průběhu 9 let průměrný výnos 6,5 t·ha<sup>-1</sup>. Výnosy sušiny nejvíce ovlivňoval dusík, který vykázal lineárně se zvyšující produkční účinnost až do dávky 200 kg<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>·rok. Jednostranné hnojení dusíkem bylo však výrazně méně účinné než hnojení plné, zvláště pokud je zásoba ostatních živin v půdě malá. Fosforečné hnojení zvyšuje výnos pouze tehdy, je-li tato živina v minimu.

Zemědělské podniky v současné době využívají pouze omezené dávky minerálních hnojiv na travní porosty, nicméně je zde velký potenciál racionálního systému používání statkových hnojiv (močůvka, kejda, digestáty, fugáty, komposty), které jsou často považovány spíše za odpad. Nevýhodou těchto hnojiv jsou vysoké náklady na skladování (není možná jejich aplikace v zimě, dochází současně k detoxikaci škodlivých látek a patogenních mikroorganismů) a náklady na transport a aplikaci těchto hnojiv jsou mnohem vyšší, než u hnojiv minerálních. Při bilancování hnojení je třeba vycházet z plánovaných výnosů píce a ze zásoby živin v půdě.

Tab. 26 Odběr živin v pastevní (sklizeň ve fázi sloupkování) a luční píci (sklizeň na začátku kvetení). Vyjádřeno v kg živiny na 1 tunu suché píce (85 % sušiny) (HEJDUK, 2005)

Druh píce	N	P	K	Ca	Mg
pastevní	25–28	3,2–3,6	23–30	6–11	1,6–3,5
luční	12–16	1,9–2,7	17–23	5–8	1,4–2,2

Produkční účinnost živin je přírůstek výnosu na 1 kilogram živiny dodané hnojivem. Jak vyplývá z práce VARGOVÉ (VARGOVÁ, 2006) nejvyšší produkční účinnost dusíku 140 kg sušiny na 1 kg dodaného dusíku je při dávce 50 kg N·ha<sup>-1</sup>. Při dávce 150 kg N·ha<sup>-1</sup> je produkční účinnost méně než poloviční.

Autoři ve své práci (VARGOVÁ, 2006) porovnávají i botanické změny porostů sledované lokality. Jak je uvedeno v tab. 27,



Tab. 27 Hodnocení botanických změn v % (1. seč 1961 vs. 1. seč 2006) (VARGOVÁ, 2007)

Rok	1961				2006			
	0 N	50 N	100 N	150 N	0 N	50 N	100 N	150 N
Trávy	63	67	72	74	50	49	62	70
Bobovité	22	18	15	13	13	3	4	2
Byliny	15	15	13	13	37	48	34	28

Tab. 28 Produkce bioplynu a metanu ze základních složek organické hmoty (BASERGA, 1998)

Substrát	Produkce bioplynu z tuny organické sušiny (Nm <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> (%)	Produkce CH <sub>4</sub> z tuny organické sušiny (Nm <sup>3</sup> )
Sacharidy	790	50	395
Lipidy	1250	68	850
Proteiny	700	71	497

největší změny byly zaznamenány v poklesu bobovitých rostlin jak v průběhu let tak se zvyšováním dávky hnojiva a ve vzrůstu podílu bylin. Podobné výsledky uvádí i další autoři (FIALA, 2006; ODSTRČILOVÁ ET AL., 2006).

### 5.1.5 Produkce bioplynu z fytomasy

Použití travní biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu má určitá specifika vycházející hlavně z chemického složení biomasy. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno charakterem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc může být ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsob hnojení, doba sklizně, počet sečí, technologie konzervace atd.

Z hlediska produkce bioplynu z jednotky organické hmoty jsou jednoznačně nejvýhodnější substráty s vysokým obsahem lipidů (tab. 28) poskytující až 1 250 Nm<sup>3</sup> bioplynu z tuny organické sušiny (BASERGA, 1998).

U anaerobní fermentace rostlinné biomasy jsou hlavním zdrojem bioplynu polysacharidy typu celulózy a hemicelulózy případně škrobu. Hemicelulózy společně s celulózy vytvářejí polysacharidy vytvářejí vlákninu. Buněčná struktura rostlin má kompozitní strukturu. Dlouhé řetězce celulózy vytvářejí „armaturu“, obtáčenou rozvětvenými řetězci hemicelulózy. Tato struktura je zpevněna zesíťovanou výplní ligninu, aromatického prostorového heteropolymery fenolického typu. Celulóza může být enzymaticky štěpena přes disacharid celobiozu až na glukózu. I když hemicelulózy jsou v porovnání s celulózou složitější heteropolysacharidy jejich enzymatické štěpení probíhá snáze a rychleji. Metanogenezi fytomasy výrazně ovlivňuje stupeň signifikace buněčných stěn. Nejhuře rozložitelnou část rostlinných buněk tvoří lignin. Lignin se v anaerobních podmínkách téměř nerozkládá. Obalení celulózových struktur ligninem navíc omezuje přístup k enzymatické hydrolyze vlastní celulózy.

To znamená, že nejenom vlastní obsah ligninu, ale i jeho stupeň asociace s polysacharidy určuje míru anaerobní rozložitelnosti fytomasy. Obsah ligninu a stupeň asociace s polysacharidy se obecně zvyšuje se stárnutím rostlin.

Nevýhodou substrátů s dominantním obsahem sacharidů je nižší obsah metanu ve vznikajícím bioplynu. Obsah metanu v bioplynu se u těchto substrátů pohybuje v rozmezí 50–55 %. Je to však stále dostatečně vysoká hodnota pro přímé spalování v kotlích resp. v kogeneračních jednotkách.

Naopak výhodou bioplynu z rostlinných materiálů je nízká koncentrace sulfanu, pohybující se řádově v desítkách miligramů v m<sup>3</sup> bioplynu. Například u bioplynu z anaerobní fermentace kejdy prasat se koncentrace sulfanu pohybují v rozsahu 2 000–5 000 mg·m<sup>-3</sup>. Sulfan má vysoce korozivní vlastnosti a vzniká v průběhu anaerobní fermentace ze sloučenin obsahujících síru.

Produktivitou lučních porostů a jejich využitím k produkci bioplynu se zabývá řada autorů, mezi nejzajímavější práce patří MOELLER, NIELSEN, A CHRISTENSEN (2007). Z porovnání metlicové a chřasticové louky vyplývá produkce metanu cca 250 a 310 litrů metanu na kilogram organické hmoty. Druhé sklizně vykazují nižší výtěžnost bioplynu. Ačkoliv produkce bioplynu je vyšší u kukuřice, energetická bilance (poměr energetické spotřeby při pěstování a energie získané) u kukuřice a extenzivních lučních porostů dává možnost obě skupiny porovnat. Navíc vlhkost až mokřadní travní společenstva působí jako živinová past. Autoři hodnotí i možnost dodatečného hnojení draslíkem, které zlepšuje výtěžnost bioplynu u travních porostů. Dle údajů autorů zajistí hektar draslíkem hnojeného lučního porostu produkci až 76 GJ·ha<sup>-1</sup> což odpovídá více než 2 000 litrům nafty a je srovnatelná s produkcí energie z kukuřice.

Chřastice rákosovitá, která se často objevuje u podmáčených luk, patří k neproduktivnějším travním druhům podmáčených stanovišť, výnosy se uvádějí 15 t sena z hektaru

## Rostlinná biomasa jako zdroj energie

(REGAL, 1953 in HLÁVKOVÁ, 1980), při hnojivé závlaze až 20 t sena z hektaru (REGAL, 1953 in HLÁVKOVÁ, 1980). Vysoká produkce i nenáročné stanovištní podmínky předurčují dnes chrastici rákosovitou k energetickému využití. Skandinávské země již cíleně pěstují chrastici rákosovitou pro výrobu pelet, uváděné výnosy jsou 3–5 tun sena z hektaru za rok ve Švédsku, 11–19 tun sena z hektaru za rok ve Švýcarsku, 16 tun sena z hektaru za rok ve Velké Británii. Hodnota čistého tepelného zisku dosáhla hodnot 17,9 MJ z kilogramu sušiny. Pro sklizení je nevhodnějším obdobím počátek jara, vzhledem k vysoké sušině biomasy.

Pěstování chrastice rákosovité pro energetické účely se zabývá i práce STRAŠILA, VÁNI A KÁŠE (2005), kteří uvádějí výnosy chrastice rákosovité. Pro nehojené plochy získali průměrné výnosy 4,60–8,45 t (suš.)·ha<sup>-1</sup>, u porostů hnojených 30 kg N·ha<sup>-1</sup> výnosy 5,74–9,02 t (suš.)·ha<sup>-1</sup> a u porostů hnojených 60 kg N·ha<sup>-1</sup> pak výnosy 6,94–10,04 t (suš.)·ha<sup>-1</sup>.

Chrastice rákosovitá vyžaduje pro růst dostatečné zásobením vodou, uvádí se, že na jeden kilogram sušiny spotřebuje rostlina 700–800 l vody (KLESNIL, REGAL, PRAJZLER,

1973 in HLÁVKOVÁ, 1980). Velice dobře snáší i dlouhodobé zaplavení, Regal uvádí 30 dní (REGAL, 1953 in HLÁVKOVÁ, 1980), ostatně je dnes často využívána v kořenových čistírnách odpadních vod.

Využitím biomasy travních porostů z údržby krajiny se zabývali i další výzkumníci (např. PROCHNOW ET AL., 2005). Všimají si rozdílného složení travní biomasy sklizené v rozdílném období, jak ukazuje tab. 29.

Tab. 29 Složení fytohmoty z údržby krajiny sklizené v různých obdobích (PROCHNOW ET AL., 2005)

Parametr	jednotka	Červen	Únor
Celková sušina	% čerstvé hmoty	18	75
Hrubý protein	% TS	15	4
Vláknina	% TS	23	55
Sacharidy	% TS	7,3	0,5
Tuky	% TS	1,9	0,3
C:N	–	20 : 1	75 : 1

Práce se dále zabývá porovnáním různých druhů sub-

Tab. 30 Výtěžnost bioplynu z různých substrátů (PROCHNOW ET AL., 2005)

Plodina	Komentář	Výtěžnost metanu (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> )
Kukuřice	Různé odrůdy, silážovaná	4 400–10 000
	Různé odrůdy, silážovaná nebo čerstvá	3 743–8 529
Pšenice		2 960
Vojtěška		3 965
Jetel		2 530
Jílek		4 060
Intenzivní jetelotravní krmné směsi	2,5–14 t VS/ha	743–5 180
Tráva z údržby krajiny	Sklizená v září	1 604

Tab. 31 Přehled ročních výnosů a specifické produkce metanu (LEHTOMÄKI, 2006)

Substrát	Výnos (t TS·ha <sup>-1</sup> )	Potenciál CH <sub>4</sub> (m <sup>3</sup> ·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> )	Energetický potenciál (MWh·ha <sup>-1</sup> ·rok <sup>-1</sup> )
Bojínek-jetel	8–11	2900–4000	28–38
Chrastice	9–10	3800–4200	37–41
Trávník	2	500	5
Jetel	5–7	1400–1900	13–18
Vikev-oves směs	5–7	1900–2600	18–25
Lupina	4–7	1300–2300	13–22
Topinambur	9–16	3100–5400	30–53
Křídlatka	15	3800	36
Kopřiva	6–10	2200–3600	21–35
Rebarbora	2–4	800–1700	8–16
Kapusta	6–8	1700–2300	17–23
Zbytky cukrové řepy	3–5	900–1500	8–14



Tab. 32 Složení směsné siláže (MÄNHERT ET AL., 2005)

	TS (% FM)	VS (% FM)	VFA (g·kg <sup>-1</sup> FM)	pH	C : N	XP (% FM)	XF (% FM)	Sacharidy (% FM)	XL (% FM)
Silážní směs	24,2	90,0	0,6	6,9	15,1	17,4	29,5	12,7	2,4
Hnůj	6,5	80,0	7,9	6,8	–	–	–	–	–

TS – Total solids, VS – Volatile solids, VFA – Volatile fatty acids, XP – Crude protein, XF – Crude fibre, XL – Crude fat.

strátů – kukuřicí, intenzivně pěstovaných travních porostů, jetelotravních směsí, extenzivních travních porostů a travních porostů z údržby krajiny. V závěru uvádějí porovnání specifické výtěžnosti metanu u různých porostů (tab. 30).

Mänhert, Heiermann a Linke (MÄNHERT ET AL., 2005) se zabývali porovnáním výtěžnosti bioplynu z různých typů travních porostů. Pro testy použili jak čerstvou biomasu jednotlivých druhů, tak připravenou siláž jednotlivých druhů i směs. Chemické analýzy biomasy neprokázaly výrazné rozdíly mezi jednotlivými druhy jak v podobě čerstvé biomasy, tak u siláže.

Provedené laboratorní analýzy produkce bioplynu u batch vsádky neprokázaly významné rozdíly ani mezi jednotlivými druhy ani mezi čerstvou a silážovanou biomasou. Nejvyšší produkci bioplynu z organické sušiny (oTS) vykazala biomasa jílku vytrvalého (0,83 a 0,86 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>) pro čerstvou a silážovanou biomasu, nejnižší pak srha (0,72 a 0,65 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>) pro čerstvou a silážovanou biomasu. Autoři ovšem zdůrazňují, že rozdíly mezi opakováními byly významnější než mezi druhy samotnými.

Obsah metanu v produkovaném bioplynu rostl během prvních dní experimentu (doba experimentu 28 dní) až se ustálil na hodnotě 66–71 % zhruba uprostřed experimentálního období. Průměrné hodnoty produkce metanu (0,31–0,36 m<sup>3</sup>·kg<sup>-1</sup>) jsou v souladu s měřením jiných autorů.

Údaje získané společností Greenfinch (2005) ukazují, že průměrná produkce metanu silážované biomasy jílku (342 m<sup>3</sup>·t<sup>-1</sup> oTS) je vyšší než v případě čerstvé biomasy (229 m<sup>3</sup>·t<sup>-1</sup> oTS). Maximální zaznamenaná produkce metanu představuje výtěžnost 3800 m<sup>3</sup>·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>, což převedeno na elektrickou energii může produkovat 11,7 MW<sub>e</sub>·ha<sup>-1</sup>·rok<sup>-1</sup>.

AMON A KOL. (2004) uvádí, že produkce bioplynu z nejpoužívanější plodiny, kukuřice, nejvíce závisí na obsahu bílkovin, tuku, celulózy, hemicelulózy a škrobu. V závislosti na prostředí mohou porosty kukuřice zajistit produkci vyšší než 30 t·ha<sup>-1</sup>. Za optimální pro produkci bioplynu považuje autor C : N = 10–30. Pro jetelotravní siláž uvádí autor produkci metanu 290–390 nl CH<sub>4</sub>·kg<sup>-1</sup>.

#### Pufrovací kapacita

Je známo, že pH je velice důležitým parametrem mikrobiálních procesů. Z hlediska anaerobní fermentace je závažným a limitujícím faktorem procesu úzký rozsah pH,

optimálního pro růst metanogenních mikroorganismů. Většinou vyžadují pH v neutrální oblasti (6,5–7,5), které je nutné uvnitř reaktoru udržovat. Pod pH 6 a nad 8 je jejich činnost silně inhibována. Nejčastější příčinou výkyvu pH je jeho pokles vlivem přetížení reaktoru, kdy produkce kyselin rychlejšími mikroorganismy předmetanizační fáze (první a druhá skupina) je vyšší než jejich spotřeba a dochází k jejich akumulaci v systému, avšak při vysoké koncentraci amoniaku tj při vysokých hodnotách alkality, pH není citlivým ukazatelem. Proto je třeba řídit zatížení podle množství a složení mastných kyselin v médiu, aby nedošlo ke zhroucení procesu nebo udržovat dostatečnou neutralizační kapacitu přidávkem alkalizačních činidel.

Rozhodující je vždy pH v reaktoru a pro jeho stabilitu je rozhodující neutralizační – pufrací kapacita reakční směsi. Neutralizační kapacita reaktoru je tvořena hydrogenuhličitánovým systémem s amoniakem jako majoritním kationtem a je nejdůležitějším fyzikálně-chemickým faktorem pro udržení stability procesu.

Při vyšších koncentracích nízkopolymerních sacharidů ve zpracovávané fytomase může při anaerobní fermentaci docházet k jejich relativně rychlé transformaci na organické kyseliny spojené s výrazným snížením pH vsázky a následném zpomalení až zastavení anaerobního rozkladu. Substráty na bázi fytomasy mají proto v porovnání s odpady ze živočišné výroby řádově nižší pufrovací kapacitu. Pufrovací kapacita měřená jako spotřeba v ml 1 N HCl na titraci do pH 4,0 na 100 g sušiny substrátu u fytomasy 10–30× nižší než zvířecích fekálií.

Pufrovací kapacita je závislá na druhu rostlin, klesá se stářím rostlin a snižujícím se dusíkatým hnojením. Pufrovací kapacita je ovlivněna poměrem C : N, když větší poměr C dává nižší pufrovací kapacitu. Okyselení je možné zabránit přidávkem zásad, recyklací perkolátu, případně kofermentací se substrátem s vysokou pufrovací kapacitou (kejda).

#### 5.2 Technologické aspekty anaerobní fermentace rostlinné biomasy

Rostlinná biomasa se od tekutých odpadů z živočišné výroby liší reologickými vlastnostmi a chemickým složením, které je navíc závislé na druhovém složení fytomasy, době a způsobu sklizně, způsobu konzervace atd. To všechno klade speciální požadavky na technologii a vlastní proces řízení anaerobní fermentace.



### 5.2.1 Dávkování rostlinné biomasy

Rostlinná biomasa představuje z hlediska energetického nejvýznamnější druh substrátu zpracovávaný v bioplynových stanicích. Trvanlivost čerstvě sklizené biomasy není vzhledem k vysokému obsahu organických látek a nízké sušině příliš vysoká. Je tedy třeba rostlinnou hmotu nějak konzervovat. Nejčastějším způsobem konzervace je silážování. Podstatou silážování je rychlý rozvoj bakterií mléčného kvašení. Bakteriemi produkovaná kyselina mléčná snižuje pH a dojde k nastolení podmínek, při kterých většina jiných mikroorganismů není schopná přežít, nebo destruovat organickou hmotu. Silážováním se tedy zvýší obsah mastných kyselin v substrátu. To není pro anaerobní zpracování závadou, jen je třeba mít na paměti nízkou hodnotu pH substrátu a tomu přizpůsobit jeho dávkování.

Sušina siláží se pohybuje v rozmezí 28–35 % a měrná hmotnost 650–800 kg·m<sup>-3</sup>. Velikost částic siláží závisí na technologii sklizně. Jelikož je nepřímá úměra mezi velikostí částic a produkcí bioplynu, je výhodné zpracovávat biomasu nařezanou na co možná nejmenší části. Na druhou stranu jemnější řezání vyžaduje větší spotřebu energie. Proto je volena kompromisní velikost kolem 2–5 cm. Delší vlákna mají tendenci vyplouvat na hladinu suspenze a tvořit pevnou až několik desítek centimetrů silnou i pro plyny těžko propustnou vrstvu (deku). Navíc vážné problémy způsobuje namotávání vláken na hřídele míchadel.



Obr. 28 Kukuřičná siláž



Obr. 29 Travní siláž

Jako nejvhodnější technologie se ukázalo přímé dávkování biomasy do reaktoru. Homogenizace pak probíhá uvnitř reaktoru. Je vhodné dávkovat biomasu kontinuálně, resp. co možná nejčastěji v průběhu dne. Proto se běžně používají automatická dávkovací zařízení s kapacitou denní dávky biomasy. Na obrázcích jsou uvedeny některé nejčastěji používané typy dávkovacích zařízení.



Obr. 30 Vertikální dávkovací zařízení



Obr. 31 Dávkovací zařízení s posuvnou podlahou



### 5.2.2 Míchání reaktorů

Míchání suspenzních reaktorů je pro zdárný průběh procesu anaerobní fermentace nezbytné z několika důvodů:

- Zabezpečení homogenizace prostředí a tím snazší transport hmot mezi mikroorganismy a okolním prostředím.
- Rovnoměrné rozdělení teploty uvnitř reaktoru.
- Omezení vzplývání lehkých částic a následnou tvorbu „deky“ na hladině suspenze.
- Zamezení usazování těžších částic na dně reaktoru.

Z konstrukčního hlediska existuje několik základních způsobů míchání methanizačních reaktorů:

- *mechanické* – různé druhy mechanických míchadel a turbin,
- *hydraulické* – cirkulaci obsahu reaktoru za pomoci čerpadel různých typů a konstrukcí umístěných uvnitř nebo vně nádrže. Suspenze je odčerpávána z dolní části nádrže a opět vstříkována do horní poloviny reaktoru tak, aby došlo k dobrému promíchání obsahu nádrže a současně aby se zabránilo vzniku plovoucí kalové vrstvy (kalového stropu),
- *pneumatické* – míchání recirkulací plynu. Bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem vháněn do různých míst nádrže. Technicky se pneumatické míchání provádí přímým vháněním stlačeného bioplynu do reaktoru jednou nebo více trubkami, zařízeními na principu mamutek nebo vháněním stlačeného plynu do systému difuzorů, umístěných na dně nebo po obvodu nádrže.

Pneumatické míchání se při fermentaci fytomasy z důvodu vynášení částic na hladinu suspenze a tvorby „deky“ nepoužívá. Hydraulické míchání se využívá jako dodatečný způsob homogenizace obsahu reaktoru v případě použití externích výměníků tepla. Nejrozšířenější je mechanické míchání a to využitím jak pomalu, tak rychloběžných míchadel. Dobré promíchání je dosažitelné při spotřebě energie 5–8 W·m<sup>-3</sup> reaktoru.

### 5.2.3 Ohřev reaktorů

Vytápění obsahu reaktoru na požadovanou teplotu může být zajištěno systémem interním, externím nebo kombinací obou způsobů.

*Externí ohřev* je realizován čerpáním obsahu reaktoru přes výměník tepla voda/kal umístěného mimo reaktor. Oproti internímu způsobu je tak zapotřebí navíc instalovat čerpadlo na čerpání obsahu nádrže přes výměník. Výhodou je snadnější čištění teplosměnné plochy výměníku od inkrustací. V mnoha případech to může být výhoda rozhodující. Pro ohřev obsahu reaktoru případně rekuperaci tepla se používá několik základních druhů výměníku uspořádání voda/kal resp. kal/kal. Z hlediska konstrukčního je nejjednodušším typem výměníku výměník trubka v trubce. Tyto výměníky nejsou vzhledem k malé účinnosti a problémům se zanášením, příliš rozšířené. Vyšší účinnost má výměník deskový a spirálový.

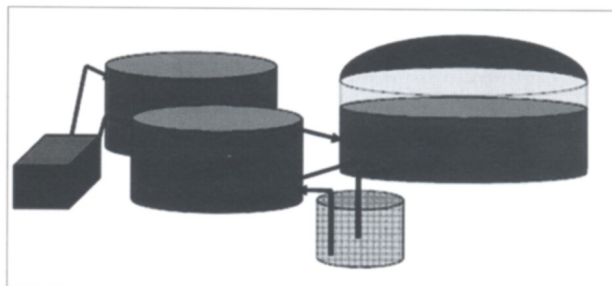
Při zpracovávání fytomasy se v absolutní většině případů používá *interního způsobu ohřevu*. Uvnitř reaktoru je zabudován výměník tepla – systém trubek, kterým protéká horká voda, získávaná z horkovodního kotle nebo kogenerační jednotky.

### 5.2.4 Typy reaktorů

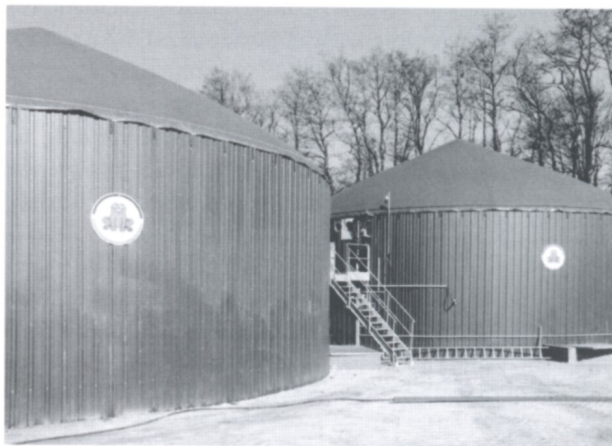
#### Suspenzní fermentace ve vertikálních reaktorech

V současnosti jsou daleko nejrozšířenějším typem reaktorů k anaerobní fermentaci rostlinné biomasy. Jejich konstrukce vychází ze standardních, betonových nebo ocelových, uskladňovacích nádrží na kejdu. Objem fermentorů se pohybuje v průměru od 1 000 do 3 000 m<sup>3</sup>. Nejsou ale výjimkou i reaktory s objemy 6 000 m<sup>3</sup>. Hloubka reaktorů bývá 3–6 m a průměr 8–24 m. K zabezpečení plynotěsnosti reaktoru postačuje kvalitní betonová konstrukce nádrže a střechy, případně doplněná plynotěsnou fólií. K tepelné izolaci se používají běžné izolační materiály jako je polystyrén, nebo skelná vata. V některých případech jsou nádrže z důvodu zamezení ztrát tepla umístěny pod úrovní terénu.

Většinou jsou instalovány dva a více reaktorů které jsou provozovány samostatně při zapojení do série nebo paralelně. Bez ohledu na systém provozování reaktorů je výhodné vzájemné potrubní propojení všech reaktorů.



Obr. 32 Paralelní propojení fermentorů



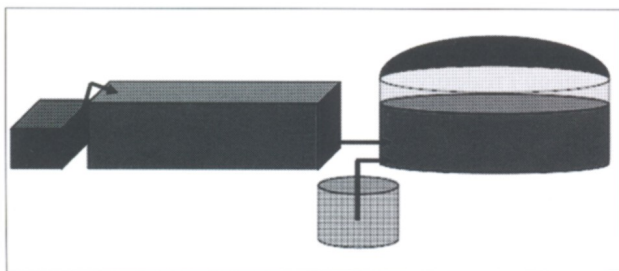
Obr. 33 Bioplynová stanice Essen, Německo



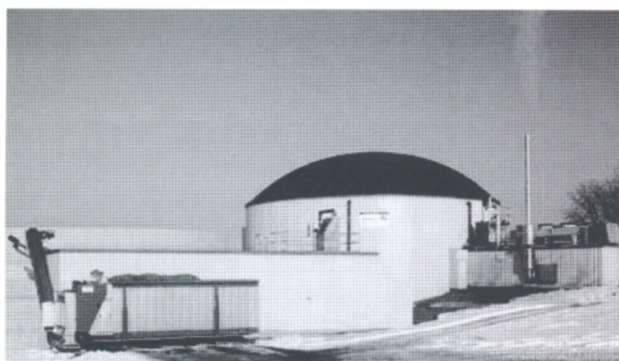
## Rostlinná biomasa jako zdroj energie

### Suspenzní vysokosušinnové horizontální reaktory

Vysokosušinnové suspenzní horizontální reaktory vycházejí z horizontálního reaktoru typu Darmstadt, navrženého v polovině minulého století k anaerobní fermentaci slámatého hnoje. Používají se rektangulární betonové nádrže délky 20–30 metrů, šířky a výšky několik metrů. Výhodou těchto reaktorů je díky instalaci speciálního míchacího zařízení možnost zpracovávat vsázky o sušině až 15 %. Reaktor může být propojen s druhým fermentačním stupněm, tzv. postfermentorem. Ve většině případů to je vertikální válcový fermentor. Postfermentor slouží zároveň jako uskladňovací nádrž digestátu a plynojem.

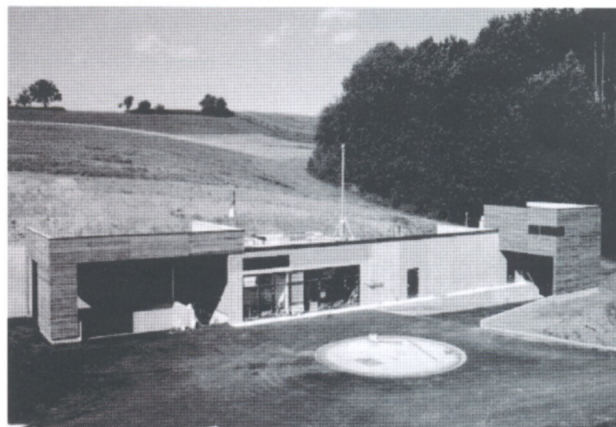


Obr. 34 Schéma horizontálního reaktoru



Obr. 35 Bioplynová stanice s horizontálním reaktorem

V horizontálních reaktorech se instalují výkonná, funkčně bezpečná a energeticky úsporná mechanická míchadla působící hlavně ve vertikální, nikoli horizontální rovině. Substrát je proto posouván postupně po délce reaktoru a vzniká tzv. pístový tok. Jednotlivá prohrabávací ramena jsou na centrální hřídeli uspořádána s přesahem a opatřena krátkými lopatkami, které rozrušují plovoucí příkrov na hladině. Hřídel míchadel může být umístěna v podélné ose reaktoru, nebo na šířku. Hřídel je poháněn vně umístěným hnacím motorem. Míchadlo se otáčí rychlostí několika otáček za minutu. V závislosti na složení substrátu a jeho náchylnosti ke tvorbě plovoucího příkrovu se míchadlo zapíná jenom několikrát denně na dobu 5–15 minut. Tímto typem míchadel lze bez problémů promíchávat i substráty o obsahu sušiny až 20 % a s vysokým podílem vláknitých látek



Obr. 36 Bioplynová stanice Ökoenergiepark Grieskirchen, Rakousko

Dodavatelé bioplynových stanic s horizontálním reaktorem uvádějí následující výhody této technologie:

- Vzhledem k vysokému podílu sušiny v reaktoru se snižuje reakční objem, a tím i investiční náklady na výstavbu reaktoru.
- Menší objemy reaktoru a zpracovávané suspenze umožňují lepší kontrolu a řízení procesu.
- Nižší náklady na míchání.
- Integrace vytápění reaktoru do hřídele a lopatek míchadla, umožňuje lepší rozdělení tepla uvnitř reaktoru.
- Geometrie reaktoru a použití speciálních míchadel odstraňuje problémy s plovoucí vrstvou.

Provozní zkušenosti bioplynových stanic s horizontálním reaktorem dávají naději na jejich ještě širší využití, hlavně při zpracování rostlinné biomasy. V neposlední míře jejich technologické uspořádání umožňuje podstatně zpříjemnit jejich architekturu v porovnání s klasickými reaktory.

### Suchá fermentace

Termínem „suchá fermentace“ se označují technologie výroby bioplynu z organických látek o provozní sušině nad 20 %. Vývoj těchto technologií byl a je podmíněn snahou zlepšit energetickou bilanci procesu, omezit použití čerpadel a míchadel, minimalizovat velikost koncových skladů pro digestát a nákladů na jeho odvoz atd. Všechny tyto faktory by se měly pozitivně odrazit v nižších investičních a provozních nákladech v porovnání s „mokrou cestou“. Tyto technologie byly původně vyvíjeny a provozně aplikovány ke zpracování biologicky rozložitelných komunálních odpadů, například systém VALORGA, nebo DRANCO.

V Československu bylo v 80. letech postaveno několik bioplynových stanic k suché fermentaci slámatého hnoje, dle návrhu ing. Žilky. Jak ukazují provozní zkušky, je tato technologie při minimálních úpravách použitelná i pro fermentaci rostlinné fytomasy.

Biomasa se drapákem ukládá do drátěných košů průměru a výšky kolem 4 metrů, umístěných na betonové ploše.



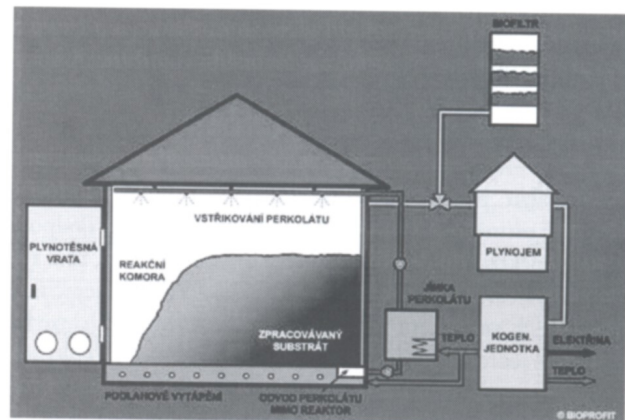
Během této fáze dochází činností aerobních mikroorganismů k rozkladu organických látek a ke zvyšování teploty hromady. Vzhledem k tomu, že koše jsou ochlazovány okolním vzduchem, je potřeba, aby teploty uvnitř hromady byly kolem 50 °C, tj. vyšší než je optimální pro technologii (40 °C). Vyšší průměry a výšky košů původně odzkoušené, neumožňovaly dokonalý průběh první – aerobní fáze fermentace. V průměru se na zahřátí hromady spotřebuje asi 10 % organické hmoty hnoje. Po dosažení požadované teploty se naplněný koš uzavře osazením tepelně izolovaného ocelového zvonu. Zvony jsou utěsněny gumovou těsnicí vložkou nebo hydraulicky ve žlábků okolo každého koše. Žlábků slouží k odvodu kalové vody uvolňující se v průběhu stabilizace a zabraňují přístupu kyslíku do zvonu. Zbytek kyslíku uvnitř zvonu je rychle vyčerpán aerobními mikroorganismy, a tím vzniknou anaerobní podmínky. Teplota uvnitř zvonu se ustálí na 35–42 °C a nastává intenzivní rozvoj methanogenních mikroorganismů. V průběhu 2–4 dní se začne vyvíjet bioplyn. Maximum vývinu je v průběhu prvních 3–5 dnů po uzavření koše. Vývin bioplynu pak pomalu klesá a po 30 dnech již dosahuje pouze 20–30 % maximální produkce. Po této době je fermentační jednotka odpojena od plynové soustavy a zvon je přemístěn na další čerstvě naplněný koš. Prázdný fermentační koš se přemístí na nové stanoviště na betonové ploše a je znovu plněn. Proces se takto dále opakuje. V závislosti na množství hnoje a rychlosti fermentace je potřeba pracovat s více (5–6) fermentačními jednotkami.

Produkce bioplynu se v provozních podmínkách v letním období pohybuje mezi 0,8–1,5 m<sup>3</sup>·den<sup>-1</sup>·VDJ<sup>-1</sup>. Snížením teploty na hodnotu kolem 30–35 °C se snížila produkce bioplynu o více než polovinu. Produkce bioplynu značně závisí i na podílu slámy ve hnoji. Zvýšení stelivové slámy vede ke zvýšení produkce přibližně o 0,1–0,15 m<sup>3</sup> na každý kg slámy a VDJ. Bioplyn je z fermentačních jednotek odsáván potrubím do plynoměru a dále využíván jako palivo.

Technologii suché fermentace rostlinné biomasy prezentuje německá firma Bioferm GmbH (SCHIEDERMEIER, 2004). Princip této technologie je založen na fermentaci volně ložené rostlinné biomasy při 40 °C v uzavřené plynotěsné komoře vybavené podlahovým vytápěním. Biomasa je před naskladněním zahřátá aerobní fermentací na 60 °C. Vsázka je v komoře zkrápěná perkolátem sbíraným ze dna a předešlým přes výměník tepla. Doba zdržení biomasy v komoře je přibližně jeden měsíc. V prvních dnech bioplyn obsahuje ještě zbytky vzduchu a je vypouštěn přes biofiltr do atmosféry. Po odčerpání zbytku vzduchu je bioplyn spalován v kogenerační jednotce. Až na plnění a odběr biomasy pomocí kolových nakladačů je zařízení plně automatizováno. Časová vyrovnanost výroby bioplynu je podobně jako v předchozím případě dosahovaná použitím většího počtu komor a jejich postupným plněním. Kromě firmy Bioferm nabízí podobnou technologii i další firmy jako je švýcarská společnost Kompogas a německý Bekon.

Výrobce uvádí následující výhody technologie:

- Vysoká spolehlivost – minimum točivých elektrických strojů.
- Nízké provozní náklady – nižší spotřeba elektřiny, servisní náklady, apod.
- Nižší vlastní spotřeba tepla (20–30 %) = vyšší ekonomický přínos za přebytky tepla.
- Žádná / minimální spotřeba vody.
- Možnost efektivního řízení anaerobního procesu.
- Běžné řízení a servisní dohled „po internetu“.
- Jednoduché doplnění hygienizačním stupněm (minimální investiční náklady).
- Modulární systém výstavby = jednoduchost, snadné rozšiřování kapacit.
- Možnost zpracovávat široký sortiment biomasy (obsah organické sušiny 25–60 %).



Obr. 37 Schéma suché fermentace (Bioferm GmbH, Moosdorf)

### 5.3 Produkty anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace organických materiálů je souborem mikrobiálních procesů při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá organickou hmotu na bioplyn, přičemž:

- 90 % energie obsažené v původní biomase je transformováno do bioplynu, 5–7 % je spotřebováno na růst mikroorganismů a 3–5 % se ztrácí ve formě reakčního tepla.
- 95 % uhlíku z rozložené hmoty přechází do bioplynu a 5 % do biomasy mikroorganismů.

Produkty anaerobní fermentace organické hmoty jsou:

- **Bioplyn** – směs plynů (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S). Majoritními složkami bioplynu jsou metan 50–85 objemových procent a oxid uhličitý (50–30 %). Jejich koncentrace je stejně jako u dalších složek bioplynu ovlivněna druhem zpracovávaného substrátu a kultivačními podmínkami (teplota, pH, doba zdržení atd.).
- **Digestát** – fermentační zbytek, obsahující biomasu mikroorganismů účastnících se vlastní fermentace a nerozložený zbytek zpracovávané suroviny.



### 5.3.1 Bioplyn

Složení bioplynu závisí na druhu rozkládaného materiálu a vedení procesu anaerobní fermentace. Obsah metanu jako nejdůležitější energetické složky se může pohybovat v rozmezí 50–85 %.

Hlavní a nejdůležitější složkou bioplynu je metan. Na jeho koncentraci v bioplynu závisí výhřevnost, která se pohybuje v rozmezí od 13,72 do 27,44 MJ·m<sup>-3</sup>. Výhřevnost samotného CH<sub>4</sub> je 34,3 MJ·m<sup>-3</sup>. Výhřevnost bioplynu získaného při fermentaci kejdy skotu je v rozmezí 19,6–21 MJ·m<sup>-3</sup> (obsah CH<sub>4</sub> činí 60 %), bioplyn získaný z kejdy prasat má výhřevnost 22–23 MJ·m<sup>-3</sup> (obsah CH<sub>4</sub> zde činí 62–64 %), stejnou výhřevnost a složení vykazuje bioplyn získaný z exkrementů drůbeže. Při anaerobní fermentaci rostlinné biomasy vzniká bioplyn v naprosté většině z polysacharidů (celulóza, škrob). Bioplyn vznikající z těchto sloučenin je charakteristický relativně nízkým obsahem metanu, který se pohybuje v rozmezí 50–55 objemových procent. Problematika složení, výroby, využití je zevrubně popsána v monografii BIOPLYN (STRAKA, 2003).

Bioplyn, podobně jako ostatní plynná paliva, je možné využít k přímému spalování ve speciálních kotlích. Podpora výroby elektrické energie z OZE je důvodem toho, že v absolutní většině případů je bioplyn spalován v kogeneračních jednotkách za účelem výroby elektrické energie. Elektrická účinnost jednotek dosahuje hodnot až přes 40 %. Teplo získané chlazením soustrojí a spalin se využívá k ohřevu fermentorů (20–35 %), přebytek se v lepších případech využívá k vytápění budov nebo k sušení.

Z hlediska vyššího využití energetického potenciálu bioplynu je výhodnější jeho úprava na kvalitu zemního plynu a dodávka do sítě zemního plynu. I když je technologie úpravy bioplynu technicky zvládnutá a již existuje několik zařízení hlavně ve Švédsku, Německu a Rakousku, jejímu širšímu rozvoji zatím brání absence finanční podpory srovnatelné s podporou výroby elektrické energie z OZE.

### 5.3.2 Fermentační zbytek (digestát)

Digestát – nerozložený podíl zpracovávané suroviny a biomasa mikroorganismů účastnících se fermentace, vzniká jako vedlejší produkt výroby bioplynu. Jelikož v průběhu fermentace klesá jenom obsah organických látek ve zpracovávané surovině, je složení digestátu závislé hlavně na složení zpracovávané suroviny. Technologické podmínky fermentace, hlavně doba zdržení, ovlivňují jenom rozsah odbourání organické hmoty. Pokles obsahu organických látek se v průběhu fermentace pohybuje v závislosti na zpracovávané surovině od 40 do 65 %. Výsledná sušina digestátů se v naprosté většině případů pohybuje v rozsahu 4–9 %.

Koncentrace dusíku, fosforu, draslíku a i dalších prvků zůstává prakticky stejná i v digestátu vzniklém po anaerobní fermentaci.

Technická a ekonomická stránka využití digestátu je při přípravě výstavby a provozu bioplynové stanice často opomíjená. Potenciální vlastník a provozovatel bioplynové stanice si ne vždy uvědomuje, že při fermentaci nejenom kejdy hospodářských zvířat, ale i fytomasy, vzniká objemově prakticky stejné množství digestátu jako byl objem zpracovávané suroviny. To znamená, že je potřeba do projektu zahrnout náklady na uskladnění a potřebnou techniku pro aplikaci vzniklého digestátu. Mezi hlavní pozitiva anaerobní fermentace organických substrátů, vedle produkce bioplynu patří:

#### Pokles emisí skleníkových plynů

Při skladování a aplikaci statkových hnojiv dochází k nekontrolovatelným emisím oxidu uhličitého a metanu, a to i za předpokladu řádného hospodaření s těmito hnojivy. Podobně je to i při uskladňování fytomasy.

#### Snížení zápachu

Nízkomolekulární těkavé látky způsobující nepříjemný zápach statkových hnojiv jsou anaerobní fermentací prvotně transformovány na oxid uhličitý a metan, tj. bezzápašné látky. Snížení zápachu je tak podstatné, že v USA, vzhledem k ještě donedávna relativně nízkým cenám energie, je právě redukce zápachu jedním z hlavních důvodů anaerobní fermentace zemědělských odpadů.

#### Snížení obsahu patogenů a semen plevelů

Zvýšená teplota fermentace 40 resp. 55 °C, doba zdržení 20–60 dnů dle druhu zpracovávaných substrátů a striktně anaerobní podmínky při fermentaci, výrazně snižují riziko mikrobiální kontaminace digestátu a šíření plevelů v porovnání s aplikací anaerobní fermentací neupravených zpracovávaných substrátů.

#### Možnost kofermentace

Proces anaerobní fermentace umožňuje při dodržení technologických parametrů (hydraulická doba zdržení, látkové zatížení reakčního objemu) společnou fermentaci celé škály biologicky rozložitelných substrátů. Výsledkem může být kromě zvýšené výroby bioplynu i produkce digestátu s požadovaným obsahem minerálních – hnojivých látek. Tento digestát má pak daleko větší možnost ekonomického uplatnění jako hnojiva.

#### Zlepšení reologických vlastností

Kromě homogenizace substrátu ve fermentoru, což umožňuje rovnoměrnější následnou aplikaci, dochází i k reologickým změnám vyplývajícím ze snížené viskozity. Nižší viskozita digestátu je důvodem jeho lepší penetrace do půdy. Nižší obsah těkavých mastných kyselin spolu s nižší viskozitou umožňují aplikaci digestátu i ke vzrostlým rostlinám bez nebezpečí „spálení“ a přilnutí na listy rostlin.

#### Zachování hnojivých látek

Při anaerobních procesech přechází do biomasy mikroorganismů jenom 5 % uhlíku a alikvotní množství dusíku a ostatních biogenních prvků. Zbytek uhlíku (95 %) z roz-



ložené biomasy se transformuje do bioplynu (metan a oxid uhličitý). To znamená, že fermentací se snižuje celkové množství živin (N, P, K, Mg ...), pouze u některých sloučenin dochází vlivem nízkého redoxního potenciálu ke tvorbě jejich redukovanejších forem, lépe využitelných rostlinami. Nejvýraznějším příkladem je organicky vázaný dusík, který je při fermentaci transformován na  $\text{NH}_4$ .

V tab. 33 a 34 jsou uvedeny hodnoty digestátů odebraných ze zemědělských bioplynových stanic v Německu (VÁŇA, 2006). V tab. 33 je uveden obsah sušiny, organických látek, dusíku, fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku a uhlíku spolu s poměrem C : N v obou frakcích – tuhého

a tekutého podílu digestátů po separaci na odstředivce, pro tři druhy zpracovávaného substrátu. Jak vyplývá z tabulky, sloučeniny draslíku jako lépe rozpustné v porovnání se sloučeninami fosforu a hořčíku se vyskytují ve vyšších koncentracích v tekuté fázi. Podobně je to i s dusíkem původně vázaným v organické formě (bílkoviny), v průběhu fermentace přechází v závislosti na pH na rozpustné amonné ionty resp. volný amoniak. Obsah rozpustné formy dusíku tak výrazně ovlivňuje poměr C : N v tuhé a tekuté fázi digestátu.

Obsahy těžkých kovů v digestátu fytohmoty – kukuřičné siláže, uvedené v tabulce, jsou hluboko pod normou.

Tab. 33 Obsah organických látek a rostlinných živin v tuhé a tekuté části digestátů

Parametr	Jednotka	Kejda prasat		Slepičí trus		Siláž kukuřice	
		tuhý	tekutý	tuhý	tekutý	tuhý	tekutý
sušina	%	27,2	5,2	13,7	5,5	26,1	4,9
organické látky	% suš.	51,8	47,3	76,6	63,1	82,3	64,6
dusík N	% suš.	3,9	11,0	5,4	10,3	2,7	9,9
fosfor $\text{P}_2\text{O}_5$	% suš.	5,6	5,4	5,9	4,1	5,0	3,9
draslík $\text{K}_2\text{O}$	% suš.	1,6	5,8	2,5	6,3	1,7	9,1
vápník CaO	% suš.	4,9	3,0	3,9	3,1	2,2	2,6
hořčík MgO	% suš.	6,1	1,7	1,9	1,9	2,0	1,0
uhlík C	% suš.	25,9	23,6	38,3	31,55	41,15	32,3
C : N	x	8,93	2,15	7,09	3,06	15,2	3,26

Tab. 34 Obsah těžkých kovů v digestátu z kukuřičné siláže

Těžký kov	v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ suš	
	tuhý digestát	tekutý digestát
Arsen (As)	< 0,10	0,18
Kadmium (Cd)	< 0,15	0,35
Olovo (Pb)	< 3,50	3,30
Rtuť (Hg)	0,003	0,021
Chrom (Cr)	6,8	57
Měď (Cu)	10,00	49
Molybden (Mo)	1,5	4,4
Zinek (Zn)	54	280

### 5.3.2.1 Úprava digestátu

Digestát, může být použit přímo ke hnojení nebo může být dále zpracováván. Nejčastěji používanou technologií je mechanická separace digestátu dekantační odstředivkou – separátorem na tuhou složku (separát) a tekutou složku (fugát). Separát je většinou kompostován a fugát se používá ke hnojení.

Z důvodů vysokých nákladů na transport digestátu případně fugátu byly již před 20 lety v bývalém Československu některé zemědělské bioplynové stanice vybaveny zařízením na snižování obsahu amoniaku v digestátu destilací

případně stripováním a následným dočištěním tekuté frakce se sníženou koncentrací dusíku aerobním čištěním a vypouštěním do recipientu.

Principem stripování je převedení dusíku vázaného v digestátu ve formě amonných iontů alkalizací na amoniak a jeho následné vypuzení z vodní fáze provětráváním vzduchem. Uvolněný amoniak se pak zachytává v absorpční koloně do anorganické kyseliny za vzniku amonné soli. Vodní fáze zbavena amoniaku se dále aerobně dočišťovala. Roztok amonné soli se využíval jako tekuté hnojivo.

Při použití technologie destilace je kapalná fáze ze separátoru zalkalizována přidavkem  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Vzniklá sraženina se odstraní sedimentací a kapalná fáze se vede přes výměník tepla do destilační kolony. Destilační kolona je vyhřívána vodní parou z bojleru, v němž je spalován bioplyn. Hlava destilační kolony je chlazena recirkulací reakční směsí z methanizační nádrže, tím se udržuje teplota v metanizační nádrži na požadované hodnotě (40 °C). V destilační koloně dochází k oddestilování amoniaku a části  $\text{CO}_2$ . Odstraňování amoniaku napomáhá zvýšená teplota a zvýšené pH. Amoniak je z destilační kolony odváděn buď v plynném stavu a jímán v kyselině dusičné nebo jako čpavková voda. V absorberu je do čpavkové vody vháněn bioplyn. Tím dochází k zachycení části  $\text{CO}_2$  ve formě hydrogenuhličitanu nebo uhličitanu amonného, současně se z bioplynu odstraní  $\text{H}_2\text{S}$ . Účinnost

odstranění amoniaku se pohybuje okolo 90 %. Bioplyn je tím obohacen metanem, jehož koncentrace se zvýší na 71 %. Kapalná fáze je po oddestilování amoniaku vedena přes výměník tepla na aerobní dočištění.

Oba dva způsoby jsou investičně a provozně poměrně nákladné. Není však bez zajímavosti, že obě technologie znamenávají v poslední době renesanci, zvláště ve státech s vysokou koncentrací živočišné výroby, jako je např. Holandsko a Dánsko.

### 5.3.2.2 Využití a skladování digestátů

V případě, že digestát splňuje legislativní požadavky, je v naprosté většině případů aplikován na pozemky jako organické hnojivo. V případě aplikace tuhé frakce, sušina 20–35 %, je rozmetán na pozemky rozmetadly. Digestáty s obsahem sušiny do 10 % se aplikují na půdu rozstřikováním, za použití tlakových cisteren o objemu až 20 m<sup>3</sup>. Z důvodu snížení zápachu při aplikaci, nebo při hnojení porostů kukuřice se používá hadicový aplikátor.

Organická hnojiva vznikající anaerobní fermentací zejména statkových hnojiv jako vedlejší produkty výroby bioplynu mohou být vhodným zdrojem organických látek a rostlinných živin. Při jejich skladování a používání ke hnojení je nutné řídit se platnými předpisy. Pokud jsou tato organická hnojiva uváděna do oběhu (prodej nebo jiný způsob převodu), musí být registrována podle zákona o hnojivech.

Sušina digestátu by měla minimálně obsahovat 25 % spalitelných látek a 0,6 % celkového dusíku. Takový digestát je považován za typové organické hnojivo vyrobené anaerobní fermentací ze statkových hnojiv (číslo typu 18. 1. e.). Vyhláška č. 209/2005 Sb. zrušila zvláštní ustanovení, že digestát tohoto typu je možné aplikovat na půdu maximální dávkou 30 t·ha<sup>-1</sup> nejvýše jednou za 3 roky. Limitní hodnoty rizikových prvků v digestátu jsou uvedeny v tab. 1. Při využití digestátů na zemědělské půdě je nezbytné tuhé digestáty zapravit do půdy do 48 hodin, tekuté digestáty do 24 hodin. Aplikace musí být rovnoměrná po celém pozemku, je zakázáno aplikovat na půdu přemokřelou, zasněženou nebo promrzlou.

Ve zranitelných oblastech je třeba respektovat Nařízení vlády č. 103/2003 Sb., zejména omezení hnojení dusíkem a respektování období zákazu hnojení. Digestát je třeba aplikovat na pozemku rovnoměrně a je nutno zamezit vniknutí digestátu do povrchových vod nebo na sousední pozemek. Aplikace digestátu je předmětem evidence použitých hnojiv podle vyhlášky č. 274/1988 Sb. – příloha č. 1. Pro tuhý i tekutý digestát ze statkových hnojiv musí být dostatečně skladovací prostory.

V případě, že digestát je používán na pozemcích producenta nemusí být registrován jako organické hnojivo. V případě, že je digestát šířen do oběhu prodejem nebo ji-

ným způsobem převodu musí být provedena jeho registrace podle §4 zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech.

**Lhotský, R.; Kajan, M. (2011): Anaerobní digesce fytohmasy z trvalých travních porostů jako alternativa k energetickým plodinám. - *Acta Pruhoniciana* (97): 69 - 75.**



## ANAEROBNÍ DIGESCE FYTOMASY Z TRVALÝCH TRAVNÍCH POROSTŮ JAKO ALTERNATIVA K ENERGETICKÝM PLODINÁM

### ANAEROBIC DIGESTION OF BIOMASS FROM PERMANENT GRASSLANDS AS AN ALTERNATIVE TO ENERGY PLANTS

Richard Lhotský, Miroslav Kajan

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, lhotsky@enki.cz, aqua@trebon.cz

#### Abstrakt

Cílem práce bylo porovnání chemického složení a produkce bioplynu siláže travní biomasy z pěti lokalit trvalých travních porostů lišících se nadmořskou výškou, převládajícími druhy trav, vodním a živinovým režimem. Pro porovnání byl testován vzorek kukuřičné siláže hybridu kukuřice Atletico používaného v bioplynových stanicích. Produkce bioplynu vzniklého při laboratorních testech byla porovnávána s výsledky výpočtových modelu dle Amona a metody ZIFO, vycházejících z chemického složení biomasy.

Obsah organických látek v sušině byl u travní biomasy nižší (91,7–93,3 %) než u kukuřice (96,6 %). Nejvyšší podíl tvořily ve všech vzorcích bezduškaté látky výtěžkové. U travní biomasy to bylo 42,8–46,8 % a u kukuřice až 69 %. Druhou nejvýznamnější složkou byla vláknina. Obě „sacharidické“ složky tvořily přes 70 % organické hmoty sledovaných vzorků. Obsah proteinů byl u vzorku kukuřice 7,3 % a u trav se pohyboval v rozmezí 9,8–16,7 %. Obsah lipidů je ze všech parametrů nejnižší jak u trav, tak u vzorku kukuřice (3,0–4,3 %). Produkce bioplynu z travní biomasy byla 502–530 l<sub>N</sub>/kg OS a u kukuřice 621 l<sub>N</sub>/kg OS. Byla prokázána dobrá shoda výsledků kultivačních testů s výsledky numerických modelů. Získané výsledky neprokázaly výrazné rozdíly produkce bioplynu u jednotlivých vzorků rostlinné biomasy.

**Klíčová slova:** bioplyn, anaerobní digesce, trvalé travní porosty, biomasa, laboratorní testy

#### Abstract

The aim of this study was to compare the chemical composition and the production of biogas from grass biomass silage from five locations with permanent grass cover differing in altitude, prevailing types of grass and water and nutrition regimes. A sample of maize silage from the maize hybrid Atletico used in biogas stations was tested for the purposes of our comparison. The production of biogas during the laboratory tests was compared with the calculation model results according to Amon and the ZIFO method, drawing on the chemical composition of biomass.

The organic matter content in dry matter was lower in grass biomass (91.7–93.3%) than in maize (96.6%). The highest proportion was represented by yield nitrogen-free substances in all of the samples: 42.8–46.8% in grass biomass and 69% in maize. Fibre was the second most significant component. Both of the “saccharide” components accounted for more than 70% of the organic matter of the samples observed. The maize sample contained 7.3% of proteins, whereas there were 9.8–16.7% of proteins in the grass sample. The lipid content is the lowest of all the parameters both in grass and maize sample (3.0–4.3%). The production of biogas represented 502–530 l<sub>N</sub>/kg OS in the case of grass biomass and 621 l<sub>N</sub>/kg OS in maize. The cultivation test results proved to be more or less identical to the numeric model results. Based upon the results, no significant differences were found between the individual vegetable biomass samples in terms of biogas production.

**Key words:** biogas, anaerobic digestion, permanent grassland, biomass, laboratory tests

## ÚVOD

Anaerobní fermentace organických látek v bioplynových stanicích spojená s produkcí a následním využitím bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla patří k stabilně rostoucímu segmentu obnovitelných zdrojů energie. Nespornou výhodou této technologie je možnost zpracovávání organických látek i s relativně nízkým obsahem sušiny. Další výhodou je nezávislost výroby energie na počasí a možnost regulace výkonu v průběhu dne a roku.

V roce 2007 zaujímala výroba elektrické energie z bioplynu třetí místo v rámci OZE v ČR, po vodních elektrárnách a biomase. V uvedeném roce bylo v bioplynových zařízeních

vyrobeno 8,3 GWh elektrické energie a instalovaný elektrický výkon přesáhl 50 MW.

Podle průběžného monitoringu již provozovaných bioplynových stanic a stanic připravovaných k výstavbě se v naprosté většině případů předpokládá zpracovávání rostlinné biomasy jako nosného substrátu. Rostlinná biomasa tvoří přes 50 % hmotnostních všech substrátů. Z toho až 80 % představuje kukuřičná siláž a zbytek jiná fytomasa, převážně z trvalých travních porostů. V přepočtu na obsah energie představuje vnos rostlinné biomasy až 80 % energetického obsahu všech substrátů.

Kukuřice je nedílnou součástí osevních postupů. Její význam



spočívá ve vysokém nárůstu biomasy a technologicky poměrně nenáročných pěstebních postupech. V České republice se vysévá přibližně 200 000 ha kukuřice na siláž. Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál, kolem 324 000 MJ/ha. Tato skutečnost je také předpokladem k dobrému zhodnocení biomasy celých rostlin na výrobu energie. Na druhé straně, pěstování kukuřice představuje zvýšené nebezpečí vodní eroze. Kukuřice netvoří drnový porost a podmínky na povrchu půdy jsou příznivé pro odnos zeminy z pozemku při přívalových srážkách. Zařazení vysokého podílu kukuřice v osevním postupu není vhodné ani z důvodu bilance a kvality organické hmoty v půdě. V neposlední řadě, voda odtékající z kukuřičného pole obsahuje velké množství nevyužitých živin, které zatěžují vodoteče, způsobují eutrofizaci, a tím zhoršují stav povrchových vod v České republice. Údaje o odtoku látek z konkrétního kukuřičného pole na Třeboňsku ukazuje tab. 1.

Prozatím nedostatečně využívaným zdrojem rostlinné biomasy pro bioplynové stanice je biomasa z trvalých travních porostů (TTP).

Plochy trvalých travních porostů (louky a pastviny) představují v České republice téměř 23% výměry zemědělské půdy (cca 970 000 hektarů). Produkční potenciál TTP se odvíjí od geologicko-petrografických podmínek, půdního typu a druhu půd, nadmořské výšky, teploty. Závisí na srážkách, expozici pozemku, hladině spodní vody, použité pratechnice aj. Roční výnosy se proto pohybují v širokém rozpětí od 2 do 16 t.ha<sup>-1</sup> suché hmoty. V současnosti, kdy jsou trvalé travní porosty využívány převážně extenzivně, dosahuje průměrný roční výnos biomasy kolem 3 tun sušiny z hektaru.

Travní hmota z TTP je využívána hlavně ke krmení skotu. Až 50% pokles stavu skotu v několika posledních letech je hlavním důvodem přebytků fytohmoty z těchto ploch. To negativně ovlivňuje zájem o jejich obhospodařování. Nevhodný způsob obhospodařování TTP může vést k postupné degradaci – změnám půdní úrodnosti, bilanci vodního režimu, erozi, zaplevelování apod.

Vedle své produkční funkce plní však TTP i celou řadu dalších významných funkcí mimoprodukčních. V posledních letech získávají na významu především vodohospodářské funkce trvalých travních porostů, jež zahrnují i funkci protierozní. Hejduk (2006) uvádí srovnání povrchového odtoku z travního porostu a kultur zemědělských plodin na orné půdě po přívalovém dešti (12. 5. 2004, celkový úhrn srážek 22,5, doba trvání 35 minut). Odtok z porostu kukuřice – 132,0 m<sup>3</sup>/ha,

z brambor – 102,0 m<sup>3</sup>/ha, ozimé pšenice – 23,5 m<sup>3</sup>/ha a z travního porostu 3,4 m<sup>3</sup>/ha.

Vedle hlavní vodohospodářské funkce TTP je možné jmenovat celou řadu dalších funkcí, například ukládání CO<sub>2</sub>, biofiltrace, biodiversifikace, funkce estetická a krajinyotvorná a podobně.

Produktivitou lučních porostů a jejich využitím k produkci bioplynu se zabývá řada autorů, mezi nejzajímavější patří práce Moellera et. al. (2007). Z porovnání metlicové a chrasticevé louky vyplývá produkce metanu cca 250–310 litrů metanu na kilogram organické hmoty lučního porostu. Druhé sklizně vykazují nižší výtěžnost bioplynu. Ačkoliv produkce bioplynu je vyšší u kukuřice, energetická bilance (poměr energetické spotřeby při pěstování a energie získané) u kukuřice a extenzivních lučních porostů dává možnost obě skupiny porovnat. Navíc vlhkomilné až mokřadní travní společenstva působí jako živinová past (nutrient trap). Autoři hodnotí i možnost dodatečného hnojení draslíkem, které zlepšuje výtěžnost bioplynu u travních porostů.

Mezi nejproduktivnější travní druhy podmáčených luk patří chrastice rákosovitá, známá také pod starým označením lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Výnosy se uvádějí 15 t sena z hektaru, při hnojivé závlaze pak až 20 t sena z hektaru (Hlávková, 1980). Vysoká produkce i nenáročná stanovištní podmínky předurčují dnes chrastici rákosovitou k energetickému využití. Skandinávské a další země již cíleně pěstují chrastici rákosovitou pro výrobu pelet.

Pěstováním chrastice rákosovité pro energetické účely se zabývá i práce Strašila a kol. (2005), který uvádí výnosy chrastice rákosovité. Pro nehnojené plochy získali průměrné výnosy 4,60–8,45 t sušiny.ha<sup>-1</sup>, u porostů hnojených 30 kg N.ha<sup>-1</sup> výnosy 5,74–9,02 t sušiny.ha<sup>-1</sup> a u porostů hnojených 60 kg N.ha<sup>-1</sup> pak výnosy 6,94–10,04 t sušiny.ha<sup>-1</sup>.

Chrastice rákosovitá vyžaduje pro růst dostatečné zásobení vodou, uvádí se, že na jeden kilogram sušiny spotřebuje rostlina 700–800 l vody (Hlávková, 1980). Velice dobře snáší i dlouhodobé zaplavení, Regal uvádí 30 dní (Hlávková, 1980), ostatně je dnes často využívána v kořenových čistírnách odpadních vod. Ačkoliv se dnes nijak nepředpokládá cílené pěstování chrastice pro bioplynové využití, zvládnutí technologie časně sklizně v záplavových oblastech a využití v AD rozšiřuje substrátovou základnu, aniž by byly negativně ovlivněny environmentální funkce porostu. Zároveň by bylo

Tab. 1 Celkové odtoky látek naměřené v období 10. 8.–30. 11. 2010 na modelovém porostu kukuřice (50 ha)

TC	IC	TOC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	TN	PO <sub>4</sub> -P	TP
g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha
3960,9	2011,1	1949,7	10,7	6,5	1649,8	2468,4	13,1	52,3
SO <sub>4</sub>	Cl	Na	K	Mg	Ca	Fe	Mn	Zn
g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha	g/ha
4309,2	2573,0	1848,3	601,5	1316,2	3553,3	93,3	9,1	11,9

možné využívat aluviální plochy účelně, s minimálním rizikem povodňových škod na porostu.

Mokřady velmi dobře odstraňují nerozpuštěné látky, BSK a dusičnany. Nejlépe je prostudována účinnost zadržení a odbourání látek v mokřadních kořenových čistírnách odpadních vod (KČOV). Uvádí se průměrné zatížení filtračních polí 41 kg .ha<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> a 99 kg CHSK<sub>Cr</sub> .ha<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> při účinnosti odbourávání 75 %. Zatížení filtračních polí KČOV nerozpuštěnými látkami je v ČR c. 40 kg.ha<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup> a účinnost odstraňování je velmi vysoká, okolo 85 %. Vztah mezi vstupním a odstraněným zatížením je velmi těsný, množství odstraněných nerozpuštěných látek lze dobře odhadnout.

Fosfor je v KČOV odstraňován především adsorpcí a srážením ve filtračním loži. Průměrné denní zatížení je 0,32 g P .m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup>. Tedy 3,2 kg .ha<sup>-2</sup>.den<sup>-1</sup>. Účinnost odstraňování lze ovšem těžko předvídat, protože vztah mezi vstupním a odstraněným zatížením je velmi volný.

Mokřady jsou efektivnější v odstraňování dusičnanů nežli v odstraňování amoniaku, protože obecně je v kořenové zóně mokřadů nedostatek kyslíku. Průměrné zatížení filtračních polí v ČR je 2,24 g N m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, tedy 22,4 kg N.ha<sup>-1</sup>.den<sup>-1</sup>. Vztah mezi vstupním a odstraněným zatížením je poměrně těsný.

Uváděné hodnoty jsou pro KČOV, tedy pro extrémně zatížené mokřady. Rákosiny, mokré louky mají dlouhodobě kapacitu k zadržení živin nižší.

Použití travní biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu má určitá specifika vycházející hlavně z chemického složení biomasy. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno charakterem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc může být ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsob hnojení, doba sklizně, počet sečí, technologie konzervace atd.

Řada pokusů byla prováděna s jednodruhovými porosty trav. Domníváme se, že rozdíly mezi různě sklizeným smíšeným porostem jsou vyšší než mezi jednotlivými druhy a řada prací naší domněnku podporuje.

## MATERIÁL A METODIKA

V rámci projektu 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ řeší autoři dílčí úkol Technicko-ekonomické posouzení anaerobní fermentace fytomasy, v jehož rámci se zaměřují na efektivitu využívání biomasy TTP.

Při řešení úkolu se vychází z hlavní hypotézy: „Nedá se očekávat statisticky významný rozdíl v produkci bioplynu, resp. metanu mezi jednotlivými typy travních porostů, resp. biotopů, ani mezi čerstvou a silážovanou biomasou. Rozdíly se dají očekávat mezi vzorky z různých sklizní, tedy z různých stádií zralosti“.

Pro srovnávací analýzy produkce bioplynu v laboratorních testech byla použita biomasa z různých oblastí. Pro porovná-

ní byly testovány vzorky kukuřičné siláže z hybridu kukuřice na siláž (Atletico).

## Vybrané lokality

**Mokré Louky u Třeboně** jsou klíčovou lokalitou vzhledem k poptávce po využití travní biomasy. Jde o území rozprostírající se východně od města Třeboně o celkové rozloze cca 450 ha. Mokré Louky jsou dlouhodobě modelovým územím pro studium přirozených produktivit mokřadních ekosystémů.

Luční porosty jsou dnes extenzivně využívány, částečně hnojené digestátem (fugátem) z bioplynové stanice R.A.B., s.r.o., Třeboň, v množství 40 t.ha<sup>-1</sup>.

Společnost K+K Břilice hospodaří na cca 285 ha podmáčených luk v severní části Mokřích Luk a na zhruba 100 ha. Sklizeň travní hmoty začíná obvykle v polovině května, druhá seč připadá na začátek července a případná třetí seč připadá na začátek září. Průměrný roční výnos sena je 4 t/ha. Podle informací pracovníků společnosti K+K Břilice jsou hektarové náklady cca 8 000 Kč.

V roce 2008 byla produkce Mokřích Luk následující (informace K+K Břilice):

1. seč: 106 q/ha v zelené hmotě,

2. seč: 116 q/ha v zelené hmotě,

Celkem roční výnos: 222 q/ha v zelené hmotě,

Sklizená plocha: 275 ha (rok 2008).

V rámci lokality Mokré Louky byly definovány dvě dílčí lokality, nazvané Mokré Louky suchá část a Mokré Louky vlhká část.

Pro porovnání byly zvoleny další 3 lokality s trvalými travními porosty:

Lokalita **Paseky** se nachází jižně od města Horní Stropnice, cca 1 km od obce Paseky. Jde o extenzivně obhospodařovaný luční porost na východním svahu Kraví hory. Vlastníkem porostu je soukromě hospodařící zemědělec, Ing. Blíženc. Sklizená fytomasa je využita ke krmení ovcí a koní. První seč probíhá na konci června, 2. seč do konce srpna, 3. seč se provádí výjimečně. Produkce je odhadována na 3–4,5 t/ha. Náklady nejsou specifikovány.

Lokalita **Hojná Voda** se nachází na jihozápadním okraji obce Hojná Voda, v sedle mezi Kraví horou a Vysokou v Novohradských horách. Pronajímatelem pozemku je 1. Jihočeská zemědělská a.s.

Lokalita **Vatín** je součástí výzkumné stanice pícninářské. Nachází se v regionu Českomoravské vrchoviny, 7 km jižně od Žďáru nad Sázavou, na jižní hranici CHKO Žďárské vrchy. Nadmořská výška 540 m.

Sklizeň 3–4× ročně. Z nehnojeného travního porostu je možné získat 3–4 t/ha suché biomas. První seč poskytuje 65 % roční sklizně.

Charakteristiky lokalit jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Charakteristiky lokalit odběru travního porostu

	Mokrě Louky suchá část	Mokrě Louky vlhká část	Paseky	Hojná Voda	Vatín
Nadmořská výška (m n. m.)	480	480	600	830	540
Převládající druhy	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Carex vesicaria</i> , <i>Poa palustris</i>	<i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Carex acuta</i> , <i>Carex vesicaria</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Calamagrostis canescens</i>	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Daactylis glomerata</i> , <i>Anthriscum sylvestris</i> , <i>Trisetum flavescens</i> , <i>Veronica chamaedrys</i> , <i>Bromus erectus</i>	<i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i> , <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Heracleum sphondylium</i> , <i>Veronica chamaedrys</i>	<i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Daactylis glomerata</i> , <i>Trisetum flavescens</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Centaurea maces</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Alopecurus pratense</i> , <i>Galium album</i> , <i>Heracleum sphondylium</i> , <i>Trifolium pratense</i>
Zařazení dle katalogu biotopů ČR	intenzivně obhospodařované louky (X5)	vegetace vysokých ostřic (M1,7)	intenzivně obhospodařované louky (X5)	intenzivně obhospodařované louky (X5)	ovsíkové mezofilní louky (T1,1)
Porostový typ	<i>Alopecuretum pratense</i>	<i>Phalaridetum</i>	<i>Festucetum pratense</i>	ruderalní	<i>Arrhenatheretum elatioris</i>
Vodní režim	mezofytní (H3)	mezohygrofytní (H4)	mezofytní (H3)	mezofytní (H3)	mezoxerofytní (H2)
Živinný režim	mezoeutrofní (N4)	mezotrofní až mezoeutrofní (N3 - N4)	mezotrofní až mezoeutrofní (N3 - N4)	eutrofní (N5)	mezotrofní (N3)
Jarní pícninářská hodnota (body)	100	-	82	79	-

## Sběr, úprava a analýza biomasy

Fytomasa z jednotlivých lokalit byla odebírána v průběhu první seče v roce 2008. Posečená biomasa byla nařezána na velikost částic (řezanky) v rozmezí 1–3 cm. Vzniklá řezanka byla rozprostřena do vrstvy o výšce cca 5 cm a ponechána k prochnutí při venkovních teplotě na sušinu kolem 30 %. Poté byla inokulována postřikem 0,2 % roztoku silážního konzervačního přípravku Microsil ExtraPlus (fy Medipharm CZ, Hustopeče u Brna), obsahujícího bakterie mléčného kvašení. Následně byla inokulovaná řezanka plněna do 5l skleněných širokohrdlých láhví na hutnost 550–650 gramů na litr. Biomasa v láhvi byla překryta mikrofólií, zatížena vodou v plastovém vaku. Po hermetickém uzavření byly láhve uskladněny ve tmě při teplotě kolem 15 °C po dobu dvou měsíců. Skleněné láhve byly průběžně vizuálně kontrolovány na případný obsah plísní. Silážované vzorky byly pak dále použity k chemickým analýzám a ke kultivačním testům na produkci bioplynu. Chemické analýzy byly prováděny dle jednotlivých příloh k vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 124/2001 Sb.

### Kultivační testy

Pro výpočet teoretické produkce bioplynu, resp. metanu ve vzorcích biomasy na základě jejich chemických analýz byly použity dvě metody – metoda „Zielwert-Futteroptimierung“ ZIFO (Rutzmoser, 2002) a metoda dle Amona (Amon, 2004).

**Metodika výpočtu dle Amona** je založená na lineárním regresním modelu, vycházejícím z naměřených produkcí metanu v závislosti na složení a druhu testované biomasy. Produkce metanu je vyjádřena v „normo“ litrech, tj. při tlaku 101,3 kPa a teplotě 0 °C, vztažena na organickou sušinu.

**Metodika dle ZIFO** vychází ze složení a stupně odbourání pro produkci bioplynu rozhodujících komponent biomasy.

Laboratorní kultivační testy byly prováděny na kultivačním zařízení ENKI, Třeboň. Metodika testů a vyhodnocení výsledku je v souladu s mezinárodně uznávanou německou normou pro testování vody, odpadní vody a kalů, kalů a sedimentů s modifikacemi s. No. 2.6.4. – 2.6.11 (DIN 38414, 1985-06). Princip testů je založen na anaerobním rozkladu fytomasy a měření objemu produkovaného bioplynu. Suspenze testované biomasy a inokula (anaerobní kal z Bioplynové stanice Třeboň) je

fermentovaná po dobu 30 dní za nepřístupu vzduchu ve speciálních skleněných nádobách o objemu 1 000 ml, uložených ve vodní lázni, temperované na teplotu 40 °C. Vznikající bioplyn je jímán v eudiometrické trubici.

## VÝSLEDKY A DISKUZE

V tabulkách 3 a 4 jsou uvedeny analýzy silážované biomasy z jednotlivých lokalit trvalých travních porostů a vzorku kukuřičné siláže. Obsah sušiny u jednotlivých vzorků se u travní siláže pohybuje v rozmezí 22,2 % (Hojná Voda) až po 38,3 % (Mokrý Louky – vlhká část). Obsah sušiny u kukuřičné siláže je 28,7 %. Přes rozdílnou sušinu je u dalších sledovaných parametrů jasný rozdíl mezi vzorky travní a kukuřičné biomasy. Obsah organických látek v sušině se u travní biomasy pohybuje v úzkém rozmezí (91,7–93,3). Výjimkou je nižší obsah organické sušiny (88,5 %) u biomasy z podmaččené části Mokrých Luk. U kukuřice je obsah organické sušiny vyšší 96,6 %. Vyšší obsah organické sušiny v biomase u kukuřice, a tím i nižší obsah popelovin je jedním z předpokladů vyšší produkce bioplynu.

Z hlediska potenciální produkce bioplynu je důležité složení organické hmoty co do obsahu proteinů, lipidů a sacharidů (vláknina + BNVL). Nejnížší obsah proteinů je u vzorku kukuřice (7,3 %), kdežto u trav se pohybuje v rozmezí 9,8–16,7 %. Vyšší hodnota proteinů je dána hnojením. Obsah lipidů je ze všech parametrů nejnižší (3,0–4,3 %) a u obou druhů vzorků (kukuřice a trávy) srovnatelný. Výraznější rozdíly mezi kukuřičnou a travní biomasou jsou v obsahu vlákniny a BNVL. Zatímco obsah BNVL se u jednotlivých vzorků trav pohybuje v rozmezí 42,8–46,8 %, u kukuřice je téměř o 50 % vyšší (69 % BNVL v sušině). Naopak, u kukuřice je výrazně nižší obsah vlákniny.

### Produkce bioplynu

Metoda ZIFO umožňuje na základě složení biomasy (proteiny, lipidy, sacharidy) vypočítat jak celkovou produkci bioplynu, tak koncentraci metanu v bioplynu. Při použití vztahu dle Amona se získá jenom produkce metanu. V kultivačních testech nebyly použité naměřené koncentrace metanu

Tab. 3 Složení siláže travních porostů a kukuřice

Parametr	Jednotky	Paseky	Hojná Voda	Mokrý Louky suchá část	Mokrý Louky vlhká část	Vatín	Kukuřice Atletico
Sušina	%	22,8	22,2	30	38,3	31	28,7
Organické látky v sušině	% v sušině	93,3	91,7	91,4	88,5	92,6	96,6
Proteiny	% v sušině	10,7	11,8	16,5	16,7	9,8	7,3
Vláknina	% v sušině	32,6	33,3	25,7	25,1	33	16
Lipidy	% v sušině	3,2	3,7	4,2	3,9	3	4,3
Popel	% v sušině	6,7	8,3	8,6	11,5	7,4	3,4
BNVL	% v sušině	46,8	42,9	45	42,8	46,8	69

BNVL – bezdusíkaté látky výtahkové

Tab. 4 Složení siláže travních porostů (mg/g sušiny)

	Vatín tráva	Paseky	Vatín jetel	Hojná Voda
Mg	4,2	2,5	5,1	1,8
Al	4,8	0,3	0,2	0,1
Si	25,9	11,0	1,2	9,8
P	6,4	4,2	3,8	5,5
S	8,1	2,9	3,0	4,2
Cl	19,3	10,9	2,3	3,4
K	74,0	97,0	82,3	87,0
Ca	32,9	38,4	82,1	24,4
Ti	1,0	0,1	0,0	0,1
Mn	1,4	1,4	0,3	0,7
Fe	14,6	1,5	1,0	0,5
Ni	0,1	0,0	0,0	0,0
Cu	0,1	0,1	0,0	0,0
Zn	0,2	0,2	0,0	0,2
Br	0,0	0,0	0,0	0,1
Sr	0,2	0,1	0,0	0,0
N	27,2	14,7	24,2	15,3
C	431,1	455,5	437,0	452,6
H	61,7	65,5	63,2	62,8

ve vznikajícím bioplynu ze dvou důvodů. V průběhu testu se koncentrace metanu ve vznikajícím bioplynu měnila v závislosti na rychlosti rozkladu jednotlivých složek. A dále hodnota složení bioplynu byla ovlivněna složením bioplynu vznikajícího z inokula – anaerobní kal vznikající při fermentaci kejdy prasat, který má vzhledem k vyššímu zastoupení proteinů i vyšší koncentrace metanu. Vzhledem k vysoké koncentraci sacharidického podílu v testovaných substrátech (vláknina + BNVL) lze předpokládat, a provozní výsledky to potvrzují, že obsah metanu v bioplynu u sledovaných substrátů se pohybuje v souladu s metodikou ZIFO v rozmezí 52–54 % objemových. Koncentrace metanu pro jednotlivé druhy travní biomasy a kukuřičné siláže získané na základě složení a výpočtu dle metody ZIFO byly proto použity i pro výpočet metanu v bioplynu získaného v kultivačních testech.

Tabulka 5 uvádí teoretické produkce bioplynu a metanu dle metody ZIFO a dle metody Amona a zároveň uvádí naměřené hodnoty produkce bioplynu v laboratorním testu.

Průběh produkce bioplynu u TTP a kukuřice ukazuje graf 1.

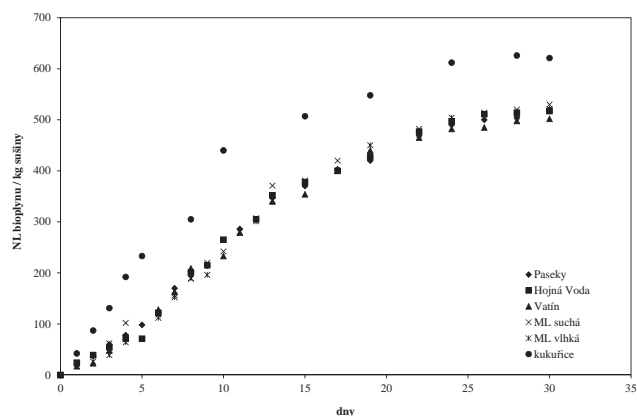
Relativně malé rozdíly v produkci bioplynu vztahované na organickou sušinu u sledovaných vzorků travní biomasy, 502 l<sub>N</sub>/kg OS z lokality Vatín až 530 l<sub>N</sub>/kg OS z lokality Mokré Louky suché, potvrzují předpoklad, že produkce bioplynu není závislá na druhovém složení travní biomasy, ale na obsahu fermentovatelných látek.

Produkce bioplynu přepočtena na tunu silážované hmoty byla u vzorku z lokality Paseky 110,6 Nm<sup>3</sup> u Hojné Vody 105,2 Nm<sup>3</sup>. V případě vzorků z Mokřých Luk – suchá část 145,3 a u vlh-

Tab. 5 Vypočtené hodnoty produkce bioplynu a metanu a naměřené kumulativní produkce bioplynu a metanu po 30 dnech inkubace

Parametr	Jednotky	Paseky	Hojná Voda	Mokré Louky suchá část	Mokré Louky vlhká část	Vatín	Kukuřice Atletico
<b>Bioplyn</b>							
ZIFO	lN/kg OS	563,6	564,4	558,2	557,0	564,1	564,0
Amon	lN/kg OS	-	-	-	-	-	-
Test	lN/kg OS	520	517	530	521	502	621
<b>Metan</b>							
ZIFO	lN/kg OS	298	301	303	303	297	296
Amon	lN/kg OS	277	295	316	311	271	313
Test	lN/kg OS	295	300	315	321	286	337
% metanu v bioplynu	%	53	53	54	54	53	52





Graf 1 Produkce bioplynu (normolitr bioplynu), pozn. ML – Mokré Louky

ké části Mokřých Luk 176,6 Nm<sup>3</sup> bioplynu z tuny původní hmoty siláže. U vzorku z lokality Vatín dosahovala produkce bioplynu 144,1 Nm<sup>3</sup>/t původní hmoty siláže. Z referenčního vzorku kukuřičné siláže hybridu u Atletico byla produkce 172,2 Nm<sup>3</sup>/t.

## ZÁVĚR

V práci jsou uvedeny výsledky chemického složení a produkce metanu, resp. bioplynu siláže travní biomasy z pěti lokalit trvalých travních porostů, lišících se nadmořskou výškou, převládajícími druhy trav, porostovým typem, vodním a živinovým režimem. Výsledky jsou porovnávány se vzorkem kukuřičné siláže hybridu Atletico používaného v bioplynových stanicích. Produkce bioplynu získaná z výsledků laboratorních testů anaerobní fermentace vzorů byla porovnávána s výsledky produkce bioplynu vypočtených ze dvou matematických modelů vycházejících ze složení biomasy. Produkce bioplynu přepočtená na kilogram organické sušiny (OS) jednotlivých vzorků dosahovala u trav hodnot 502–530 l<sub>N</sub>/kg OS a u vzorku kukuřice 621 l<sub>N</sub>/kg OS. Získané výsledky neprokázaly výrazné rozdíly produkce bioplynu u jednotlivých vzorků rostlinné biomasy. Z tohoto porovnání vyplývá, že využití travní biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu může být výhodnou ekonomickou alternativou např. pro podhorské oblasti nedisponující velkými výměrami orné půdy.

## Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu NPV 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

## LITERATURA

- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Pötsch, E. (2004): Biogas production from maize and clover grass estimated with the methane energy value system. In EurAgEng: AgEng 2004 Engineering the Future, 12–16 September 2004, Leuven, Belgium.
- DIN 38414 (1985-06): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens (S 8).
- Hejduk, S. (2006): Hydrologický význam travních porostů. 6. Evropská letní akademie ekologického zemědělství, Lednice na Moravě, 29. 6.–1. 7. 2006.
- Hlávková, H. (1980): Produkce některých bylinných druhů mokřadních ekosystémů. Diplomová práce. Praha, VŠZ.
- Moeller, H. B., Nielsen, L., Christensen, T. B. (2007): Biogas production from different types of biomass and grass species from meadows. Nordic Association of Agricultural Scientists, Copenhagen, p. 87–88.
- Rutzmoser, K., Spann, B. (2002): Zielwert-Futteroptimierung, Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub.
- Stražil, Z., Váňa, V., Káš, M. (2005): The reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilization. Res. Agr. Eng., vol. 51, no. 1, p. 7–12.

Rukopis doručen: 18. 2. 2011

Přijat po recenzi: 30. 3. 2011



**Kajan, M.; Lhotský, R. (2009): Laboratorní testy anaerobní fermentace rostlinné biomasy. - Metodika. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha, 2009, 10 pp.**

# **LABORATORNÍ TESTY ANAEROBNÍ FERMENTACE ROSTLINNÉ BIOMASY**

**metodika**

Miroslav Kajan, Richard Lhotský

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

**2009**

**Dedikace**

Metodika vznikla za finanční podpory grantového projektu MŠMT ČR 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice”.

**Obsah**

<b>1</b>	<b>ÚVOD.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>CÍL METODIKY .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>PŘÍNOS METODIKY .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Oponenti:.....</b>	<b>5</b>
<b>5</b>	<b>POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY .....</b>	<b>5</b>
<b>6</b>	<b>VLASTNÍ POPIS METODIKY.....</b>	<b>5</b>
6.1	PRINCIP POSTUPU.....	5
6.2	APARATURA .....	6
6.3	TEPLOTA.....	7
6.4	SKLADOVÁNÍ VZORKŮ .....	7
6.5	PŘÍPRAVA VZORKU .....	7
6.6	INOKULUM.....	7
6.7	MNOŽSTVÍ VZORKU .....	7
6.8	SLEPÝ VZOREK .....	7
6.9	HODNOTA PH .....	8
6.10	POČET OPAKOVÁNÍ .....	8
6.11	TRVÁNÍ TESTU A VYHODNOCENÍ.....	8
6.12	DOKUMENTACE VÝSLEDKŮ .....	9
6.13	BEZPEČNOST PRÁCE.....	9
<b>7</b>	<b>SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY .....</b>	<b>9</b>
<b>8</b>	<b>SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE.....</b>	<b>10</b>

# METODIKA LABORATORNÍCH TESTŮ ANAEROBNÍ FERMENTACE ROSTLINNÉ BIOMASY

## 1 Úvod

Anaerobní fermentace organických látek v bioplynových stanicích spojená s produkcí a následním využitím bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla, patří k stabilně rostoucímu segmentu obnovitelných zdrojů energie. Nespornou výhodou této technologie je možnost zpracovávání organických látek s nízkým obsahem sušiny. Na rozdíl od termických procesů je možné anaerobní fermentací zpracovávat fytomasu o sušině pod 30 %. Další výhodou anaerobní fermentace je nezávislost výroby energie na počasí a možnost regulace výkonu v průběhu dne a roku. To se odráží ve ročním využití instalovaného elektrického výkonu. Ten je u bioplynových zařízení v porovnání s fotovoltaickými, větrnými a vodními elektrárnami, několikrát vyšší a dokonce v některých konkrétních případech přesahuje tento ukazatel i tak sofistikované zařízení, jako je jaderná elektrárna.

Podle průběžného monitoringu již provozovaných bioplynových stanic a stanic připravovaných k výstavbě, se v naprosté většině případů předpokládá zpracovávání rostlinné biomasy jako nosného substrátu. Rostlinná biomasa tvoří přes 50 % hmotnostních všech substrátů. Z toho až 80 % představuje kukuřičná siláž a zbytek jiná fytomasa, převážně z trvalých travních porostů. V přepočtu na obsah energie představuje vnos rostlinné biomasy až 80 % energetického obsahu všech substrátů.

Kukuřice je nedílnou součástí osevních postupů. Její význam spočívá ve vysokém nárůstu biomasy a technologicky poměrně nenáročných pěstebních postupech. Z hlediska pěstování jí vyhovují hlavně teplejší oblasti České republiky. Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál, kolem 324 000 MJ/ha, Tato skutečnost je také předpokladem k dobrému zhodnocení biomasy celých rostlin na výrobu energie. Nevýhodou pěstování kukuřice je zvýšené nebezpečí vodní eroze. Kukuřice netvoří drnový porost a podmínky na povrchu půdy jsou příznivé pro odnos zeminy z pozemku při přívalových srážkách. Zařazení vysokého podílu kukuřice v osevním postupu není vhodné ani z důvodu bilance a kvality organické hmoty v půdě.

Pro pěstování kukuřice na výrobu bioplynu nejsou v zemědělských podnicích překážky, které by neumožňovaly navýšení ploch pro pěstování kukuřice. K uskladnění silážované hmoty lze s úspěchem využívat existující silážní žlaby, nebo siláž skladovat přímo na zemědělské půdě při dodržení ochranných opatření k zabránění úniku silážních šťáv do vnějšího prostředí.

Dalším velkým potenciálním zdrojem rostlinné biomasy mohou být monokultury energetických trav pěstovaných na orné půdě. V porovnání s biomasou z TTP je zde dosahováno daleko vyšších produkcí na jednotku plochy. Vzhledem k nepřímé úměře nákladů na sklizeň k plošné produkci je možné dosáhnout nižších nákladů na jednotku hmotnosti biomasy.

Prozatím nedostatečně využívaným zdrojem rostlinné biomasy pro bioplynové stanice je biomasa z trvalých travních porostů (TTP).

Plochy trvalých travních porostů (louky a pastviny) představují téměř 23 % výměry zemědělské půdy (cca 970 000 hektarů). Produkční potenciál TTP se odvíjí od geologicko-petrografických podmínek, půdního typu a druhu půd, nadmořské výšky, teploty. Závisí na srážkách, expozici pozemku, hladině spodní vody, použité prátotechnice aj. Roční výnosy se proto pohybují v širokém rozpětí od 2 do 16 t.ha<sup>-1</sup> suché hmoty. V současnosti kdy jsou

trvalé travní porosty využívány převážně extenzivně dosahuje průměrný roční výnos biomasy kolem 3 tun sušiny z hektaru.

## 2 Cíl metodiky

Cílem metodiky je vytvoření laboratorního postupu pro provedení testů anaerobní digesce, tedy produkce bioplynu ze substrátu rostlinného původu. Substrátem může být jak čerstvá fytomasa, tak silážovaná či jinak konzervovaná fytomasa. Testy jsou prováděny tak, aby mohly být reprodukovatelné a opakovatelné. Vždy je ovšem potřebné mít na paměti, že se jedná o práci s biologickým materiálem, a tak srovnatelnost testů se mění s časem.

## 3 Přínos metodiky

Ačkoliv se rostlinná biomasa stále více používá jako substrát pro anaerobní digesce s cílem produkce bioplynu, v České republice neexistuje ucelená metodika předkládající postup stanovení produkce bioplynu z rostlinného materiálu, ať již jde o zpracovávanou čerstvou hmotu či konzervovaný substrát (siláž, senáž). Vzhledem k tomu, že zemědělské bioplynové stanice zpracovávají i odpad ze živočišné výroby, je příspěvek rostlinné hmoty odhadován pouze na základě propočtů dodavatelů technologie či z literárních pramenů. Metodika předkládá jednoduchý způsob, jak si každý provozovatel bioplynové stanice může určit vlastnosti rostlinného substrátu s ohledem na produkci bioplynu sám.

## 4 Oponenti:

- Ing. Michaela Budňáková – MZe ČR
- Ing. Tomáš Voříšek – SEVEn o.p.s.

## 5 Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena pro provozovatele bioplynových stanic pro otestování substrátů rostlinného původu a pro testy optimalizace postupů, při kterých se může podle této metodiky postupovat. Metodika je rovněž určena pro zkušební laboratoře.

## 6 Vlastní popis metodiky

### 6.1 Princip postupu

Při anaerobním rozkladu sledovaného substrátu dochází k uvolňování plynů (bioplynu), který volně přechází přes spojovací hadici do horního konce eudiometrické trubice a vytlačuje z ní kapalnou náplň do zásobní nádrže. Po vyrovnání hladin v eudiotrubici a zásobní nádobce se odečítá objem vyprodukovaného plynu. Objem vytlačené kapaliny je roven objemu vznikajícího bioplynu při dané teplotě a atmosférickém tlaku okolí. Aktuální objem plynu je přepočítán na „normální podmínky“ tj. teplota 0°C a tlak 101,3 kPa a vyjadřován dále jako normo litry bioplynu. Po odečtení vzniklého objemu bioplynu je bioplyn opatrně

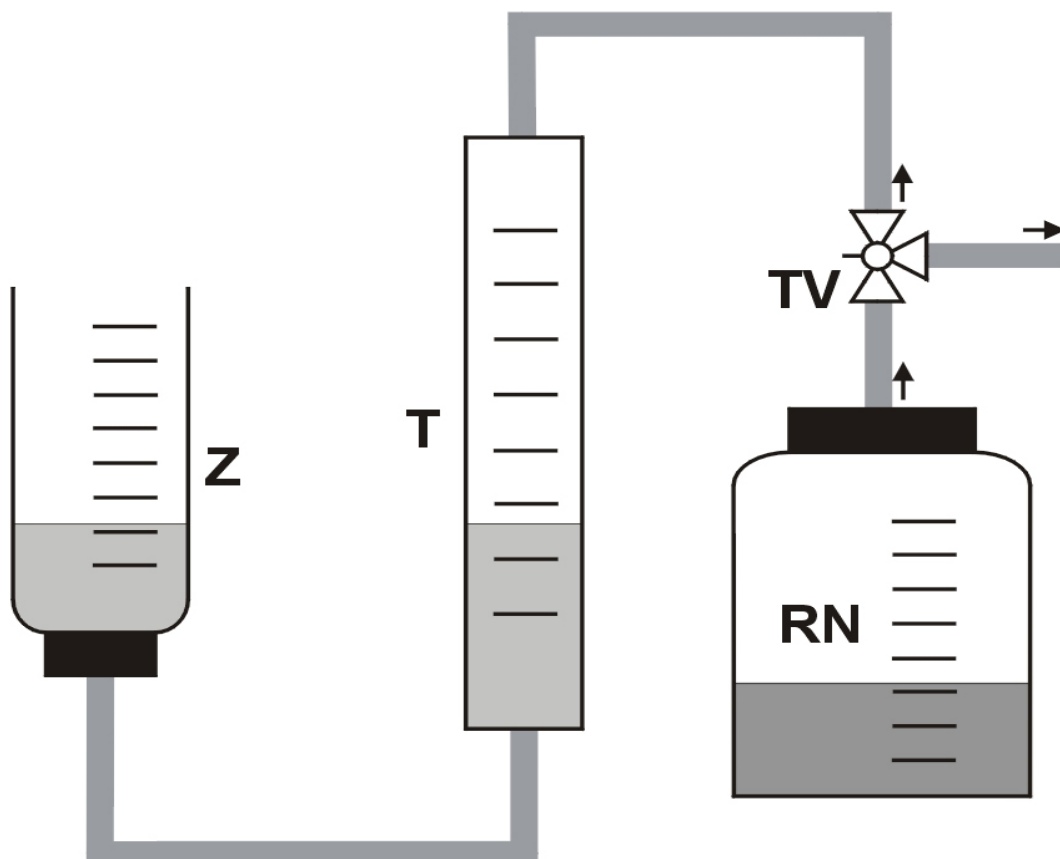


vypuštěn trojcestným ventilem vsazeným do hadice mezi reakční nádobou a eudiotrubicí tak, aby nedošlo k případnému zpětnému nasátí vzduchu. Pomocí tohoto ventilu je rovněž možné odsát vzniklý bioplyn a provést jeho analýzu na množství metanu.

## 6.2 Aparatura

Základní částí aparatury (Obr. 1) jsou reakční nádoba (RN), eudiometrická trubice (T), zásobník vytlačované kapaliny (Z) a trojcestný ventil (TV). Reakční nádoba je skleněná GL láhev celkového objemu 1000 ml, která je plynově propojena s horním otvorem eudiometrické trubice silnostěnnou plynotěsnou hadicí, např. Viton. Eudiometrická trubice o objemu 350 ml je vyrobena z plastové nebo skleněné průhledné trubice o vnitřním průměru 36 mm, kalibrované po 5 ml od shora dolů. Trubice je kvůli snížení rozpustností plynů naplněna po značku „nula“ nasyceným roztokem  $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$  s přídavkem metyloranže. Spodní konec trubice je propojen plynotěsnou hadicí se zásobníkem vytlačované kapaliny o objemu 500 ml, který je otevřen do atmosféry.

Obr. 1 – základní schéma laboratorní aparatury



### 6.3 Teplota

Doporučená teplota pro provedení testu je 38 – 42 °C pro mezofilní proces a 55 – 60°C pro termofilní procesy. Teplota je udržována s přesností  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

### 6.4 Skladování vzorků

Příprava vzorků musí být hotová a testy musí začít do 48 hodin po odebrání vzorku. Během této doby musí být vzorek uložen při teplotě 5°C. Pokud není možné zahájit test do 48 hodin, je možné vzorek zmrazit do 24 hodin po jeho odebrání na teplotu -18 až -20°C. Zmrazení vzorku bude dokumentováno v záznamu o provedení testu. Rozmrazování vzorku musí být postupné, ale nesmí překročit dobu 24 hodin. Během rozmrazování nesmí teplota překročit 35°C.

### 6.5 Příprava vzorku

Velikost částic ve vzorku nesmí překročit 10 mm, čehož je možné dosáhnout podle povahy vzorku mletím, drcením, stříháním a podobně. Technologie úpravy nesmí překročit 35°C. Látky jako kovy, sklo, kameny musejí být před úpravou vzorku odstraněny. Hmotnost těchto příměsí se nezapočítává do navážky, ale musí být brána v potaz při provozních podmínkách s ohledem na původ vzorku.

### 6.6 Inokulum

Do testovaného substrátu se před zahájením testů přidává inokulum, očkovací směs bakterií, které se účastní celého procesu anaerobní fermentace. Jako inokulum je vhodné použít fermentační směs z dobře fungujících bioplynových stanic, která zpracovává substrát co nejpodobněji testovanému substrátu.

Inokulum by nemělo obsahovat hrubé komponenty, které se odstraní filtrací přes síto o velikosti ok 0,3 mm (např. z uhelony). Je vhodné udržovat určitý objem inokula (kolem 10 l) s přibližně 5 % celkovou sušinou v anaerobních podmínkách, v uzavřeném systému při teplotě  $38^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ , aby bylo možné provést více paralelních testů.

Malé množství zdrojového substrátu (0,3 %) se do inokula přidávají přibližně každé dva týdny k zajištění stabilní aktivity. Po přidání substrátu je nutné obsah zamíchat. Inokulum nesmí být „přikrmováno“ týden před použitím v testu.

### 6.7 Množství vzorku

50 g připraveného vzorku se naváží do reakční nádoby, přidá se 50 ml inokula a doplní se destilovanou vodou do 300 ml.

### 6.8 Slepý vzorek

Pro kontrolu aktivity inokula se používá mikrokrystalická celulóza. 1g mikrokrystalické celulózy se přidá do 50 ml inokula a doplní destilovanou vodou na 300 ml. Slepý vzorek by měl za 10 dní dosáhnout produkce minimálně 300 Nl bioplynu na kg navážky celulózy. V případě dosažení nižší hodnoty je nutné použít nové inokulum.

## 6.9 Hodnota pH

Hodnota pH se měří na začátku a po ukončení testů. Pokud hodnota pH na konci měření klesne pod 6,8 nebo překročí hodnotu 8,2, je test neplatný. Pokud hodnota pH nesplňuje tuto podmínku na počátku testu a pH je upraveno, je nutné tuto skutečnost uvést v záznamu o měření.

## 6.10 Počet opakování

Vzorky jsou testovány ve třech paralelních řadách. Slepý vzorek (inokulum a celulóza) je testován ve dvou počtech.

## 6.11 Trvání testu a vyhodnocení

Test se provádí po dobu 30 dnů. Pro vedení záznamů se použije například vzor tabulky č. 1. Pro výpočet se normo objemu produkovaného bioplynu se použije následující vztah:

$$V_0 = V \times \frac{(p_L - p_W) \times T_0}{p_0 \times T} \quad \text{kde}$$

- $V_0$     objem plynu v ml
- $V$      objem vyprodukovaného plynu
- $p_L$     tlak vzduchu v době odečítání objemu (mbar)
- $p_W$     tlak vodních par při okolní teplotě (mbar)
- $T_0$     standardní teplota,  $T_0 = 273$  K
- $p_0$     standardní tlak,  $p_0 = 1013$  mbar
- $T$      teplota plynu nebo okolní místnosti (K)

Tab. 1 - Vzorová tabulka

1	2	3	4	5	6	7
Datum	čas	Objem vyprodukovaného plynu V (ml)	Teplota T (K)	Tlak vodních par $p_W$ (mbar)	Tlak vzduchu $p_L$ (mbar)	Objem vyprodukovaného plynu $V_0$ (Nml)

Záznam se vede pro každý paralelní vzorek a příslušnou periodu odečtu objemu plynu (např. 24 hodin) zvlášť.

Pro další výpočty jsou objemy produkovaného plynu u vzorků (3 paralelní vzorky) a slepých vzorků (hodnota aritmetického průměru naměřené produkce plynu u obou vzorků =  $V_{IN}$ ) zaneseny do tabulky č.2.

Čistá produkce plynu ( $V_N$ ) se získá pro příslušnou dobu odečtu jako rozdíl mezi objemem plynu vzorku a aritmetickým průměrem hodnot produkce plynu u slepých vzorků.

Specifická produkce plynu  $V_S$  každého vzorku je počítána postupně po jednotlivých odečtech podle následujícího vzorce:

$$V_S = \frac{\sum V_N \times 10^2}{m \times w_T} \quad \text{kde}$$

$V_S$  specifický objem plynu vyprodukovaného během příslušné periody odečtu plynu (např. 24 h) přepočítaného na sušinu, l/kg

$\sum V_N$  čistý objem plynu produkovaný během příslušné periody odečtu plynu (např. 24 h) v ml

$m$  hmotnost vzorku v g

$w_T$  sušina vzorku v procentech

Tab. 2 - Vzorová tabulka pro výpočet specifické produkce bioplynu

1	2	3	4	5
Délka příslušné periody (h)	Objem plynu vzorku $V_0$ (Nml)	Objem plynu slepý vzorek $V_{IN}$ (Nml)	Rozdíl sloupců 2 a 3 $V_N$ (Nml)	Specifický objem plynu přepočítaný na sušinu $V_S$ (Nl/kg suš.)

Referenční hodnota pro tvorbu plynu je 100 % sušina testovaného substrátu (Nl / kg suš.).

Objem plynu je odečítán minimálně jedenkrát denně.

## 6.12 Dokumentace výsledků

Test vzorků se provádí ve třech paralelních provedeních. Do záznamu o provádění testů se uvádí naměřené hodnoty, aritmetický průměr a standardní odchylka. Pokud jedna hodnota trojice výsledků se od průměru liší o více než 20 %, je tato hodnota odstraněna a dále se s ní nepočítá. V takovém případě se opakuje výpočet aritmetického průměru ze zbývajících dvou hodnot. Do záznamů se rovněž uvádějí výsledky měření slepého vzorku.

## 6.13 Bezpečnost práce

Vhledem k povaze zkoušeného materiálu je při provádění testů dodržovat bezpečnosti a hygienická opatření, především ČSN 01 8003.

## 7 Seznam použité související literatury

ČSN 01 8003 Zásady pro bezpečnou práci v chemických laboratořích

ČSN 01 5110 Vzorkování materiálu. Základní ustanovení.

DIN 38414-8 1985-06. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasse- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Triple S); Bestimmung des Faulverhaltens (S8). (German standart procedure of investigation of water, waste water and sludge; sludge and sediments (group S); Determination of anaerobic digestion (S8). Berlin, Beuth Verlag.

Stafford D.A. et al (1981): Methane production from waste organic matter. Florida, CRC Press, 285 s.

Baserga U. (1998): Landwirtschaftliche Co-Vergarungs-Biogasanlagen, FAT-Berichte Nr.512

Dohányos M. a kol. (1998): Anaerobní čistírenské technologie. NOEL 2000 Brno

Amon et al (2003) Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Kleergras, Im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft. Forschungsprojekt Nr. 1249

Diviš J. (2008): Kukuřičná siláž nosná surovina pro bioplynové stanice, In. Sborník z mezinárodní konference „ Výstavba a provoz bioplynových stanic“, Třeboň, 9. - 10. 10. 2008, s. 75 - 78, ISBN -978-80-254-2827-6.

## **8 Seznam publikací, které předcházejí metodice**

Diviš J., Kajan M.(2009): Energie využitelná z kukuřice. Úroda č.8, 2009, s. 26-28.

Kajan M., Lhotský R.. (2008): Výzkumná zpráva z řešení projektu 2B06131 Nepotravinářské využití biomasy za rok 2008. VÚKOZ 2008.

Kajan, M., Lhotský, R. (2008): Anaerobní fermentace rostlinné biomasy. In. Havlíčková a kol.: Rostlinná biomasa jako zdroj energie. VÚKOZ. Průhonice 2008. ISBN 978-80-85116-65-6.

Kajan M., Lhotský R. (2009): Využití travní biomasy k výrobě bioplynu, Sborník přednášek z Mezinárodní konference BIOPLYN 2009, 8. - 9. dubna 2009, České Budějovice. Vydal GAS s.r.o. Praha, ISBN 978-80-7328-194-6

Lhotský R., Kajan M., Hejduk, S. (2008): Travní biomasa ve vztahu k výrobě bioplynu, In. Sborník z mezinárodní konference „ Výstavba a provoz bioplynových stanic“, Třeboň, 9. - 10. 10. 2008, s. 69 - 74, ISBN -978-80-254-2827-6.

Lhotský R., Kajan M., Rychterová J., Boučková Š. (2008): Posouzení vhodnosti trvalých travních porostů k produkci bioplynu. Poster. Výstavba a provoz bioplynových stanic“, Třeboň, 9. - 10. 10. 2008