

### DLOUHODOBÝ VÝVOJ BIOMASY FYTOPLANKTONU V TOCÍCH SLEDOVANÝCH V RÁMCI MONITORINGU VLIVU JADERNÉ ELEKTRÁRNY TEMELÍN NA VODNÍ EKOSYSTÉM

Blanka Desortová, Eduard Hanslík

**Klíčová slova**

fytoplankton – chlorofyl-a – tekoucí vody – dlouhodobé změny – jaderná elektrárna Temelín

**Souhrn**

Článek prezentuje výsledky dlouholetého sledování fytoplanktonu ve vybraných profilech na toku Vltavy v úseku mezi lokalitami Hněvkovice a Praha-Podolí a v ústí řek Lužnice, Otavy, Sázavy a Berounky. Cílem sledování bylo posoudit možný dopad přísunu oteplených odpadních vod z jaderné elektrárny Temelín na vývoj fytoplanktonu v toku Vltavy.

Sledování, které probíhalo v letech 1990–2011, zachycuje změny biomasy fytoplanktonu jak v průběhu výstavby (referenční období) elektrárny Temelín, tak v období po zahájení jejího provozu. Pro vyjádření změn celkové biomasy fytoplanktonu byly použity výsledky stanovení koncentrace chlorofylu-a ve vodě. Na základě vyhodnocení získaných dat nebyl prokázán zjevný vliv vypouštěných odpadních vod z provozu elektrárny Temelín na vývoj biomasy fytoplanktonu v profilech Hladná a Praha-Podolí situovaných na toku Vltavy pod zaústěním odpadních vod.

**Úvod**

Provozování jaderně-energetických zařízení je pro veřejnost citlivým tématem, které umocňují havárie jaderných elektráren v zahraničí (Ukrajina – Černobyl, Japonsko – Fukušima) a jejich důsledky pro obyvatelstvo. V České republice je v centru zájmu veřejnosti bezpečnost provozování jak starší jaderné elektrárny Dukovany, tak zejména elektrárny Temelín. Vliv provozu těchto zařízení na životní prostředí je komplexně sledován vlastními provozovateli elektráren i nezávislými organizacemi [1]. V rámci řešení výzkumných projektů se pracovníci VÚVTGM dlouhodobě podílejí na sledování a hodnocení vlivu provozu uvedených jaderných elektráren na vodní prostředí. Poznatky, získané výzkumem vlivu jaderné elektrárny Dukovany na kvalitu vody řeky Jihlavy a nádrží Dalešice a Mohelno, jsou dostupné v publikacích [2, 3]. Výsledky časově i tematicky rozsáhlého sledování vlivu výstavby a provozu jaderné elektrárny Temelín na hydrosféru byly zpracovány v řadě publikací a zpráv např. [4–6].

Součástí monitorování a hodnocení stavu kvality vody a koncentrace radioaktivních látek v toku Vltavy v referenčním období (1990–2000) a po zahájení provozu jaderné elektrárny Temelín (2001–2011) je analýza vybraných biologických složek vodního ekosystému. Mezi sledované biologické charakteristiky byl zařazen také fytoplankton, tj. společenstvo mikroskopických sinic a řas ve volné vodě. Důvodem k zařazení fytoplanktonu do skupiny sledovaných charakteristik je jeho schopnost rychle reagovat na podmínky prostředí, a tedy indikovat případné změny ve vodním prostředí. Sledování změn biomasy fytoplanktonu je součástí monitorovacích programů i některých západoevropských řek, které jsou také využívány v souvislosti s provozem jaderných elektráren [např. 7–9].

Cílem dlouhodobého sledování dynamiky fytoplanktonu ve vybraném úseku toku Vltavy a v ústí jejích významných přítoků bylo posoudit, zda

přísun oteplených odpadních vod z provozu jaderné elektrárny Temelín prokazatelně způsobuje zvýšení biomasy fytoplanktonu v řece Vltavě včetně profilu Praha-Podolí.

**Metodika**

Změny biomasy fytoplanktonu byly sledovány ve vybraných profilech na toku Vltavy v úseku mezi nádrží Hněvkovice a profilem Praha-Podolí a dále v závěrných profilech významných přítoků Vltavy (obr. 1). Přehled monitorovaných profilů je uveden v tabulce 1.

Pro odhad celkové biomasy fytoplanktonu bylo použito stanovení obsahu chlorofylu-a (tj. základního fotosyntetického pigmentu sinic a řas) ve vodě metodou podle ČSN ISO 10 260 (75 7575) [10].

**Výsledky**

Výsledky sledování změn biomasy fytoplanktonu v odběrových profilech jsou souhrnně dokumentovány na obr. 2 a 3. Jednotlivé grafy znázorňují



**Obr. 1.** Umístění odběrových profilů na toku Vltavy a sledovaných přítoků  
**Fig. 1.** Localisation of sampling sites on the Vltava River and on the monitored tributaries

**Tabulka 1.** Seznam sledovaných profilů; v závorkách jsou uvedeny říční kilometry  
**Table 1.** List of sampling sites; data on river km are in brackets

VLTAVA	PŘÍTOKY VLTAVA
Hněvkovice-pod nádrží (210)	Lužnice-Koloděje (4)
Hladná-pod nádrží Kořensko (196)	Otava-Topělec (20)
Solenice-pod nádrží Orlík (144)	Sázava-Pikovice (5)
Štěchovice-pod nádrží (84)	Berounka-Lahovice (0,1)
Podolí-Praha (56)	

sezonní průměry (březen–říjen) a sezonní maxima koncentrace chlorofylu-a (chl-a) v letech 1990–2011.

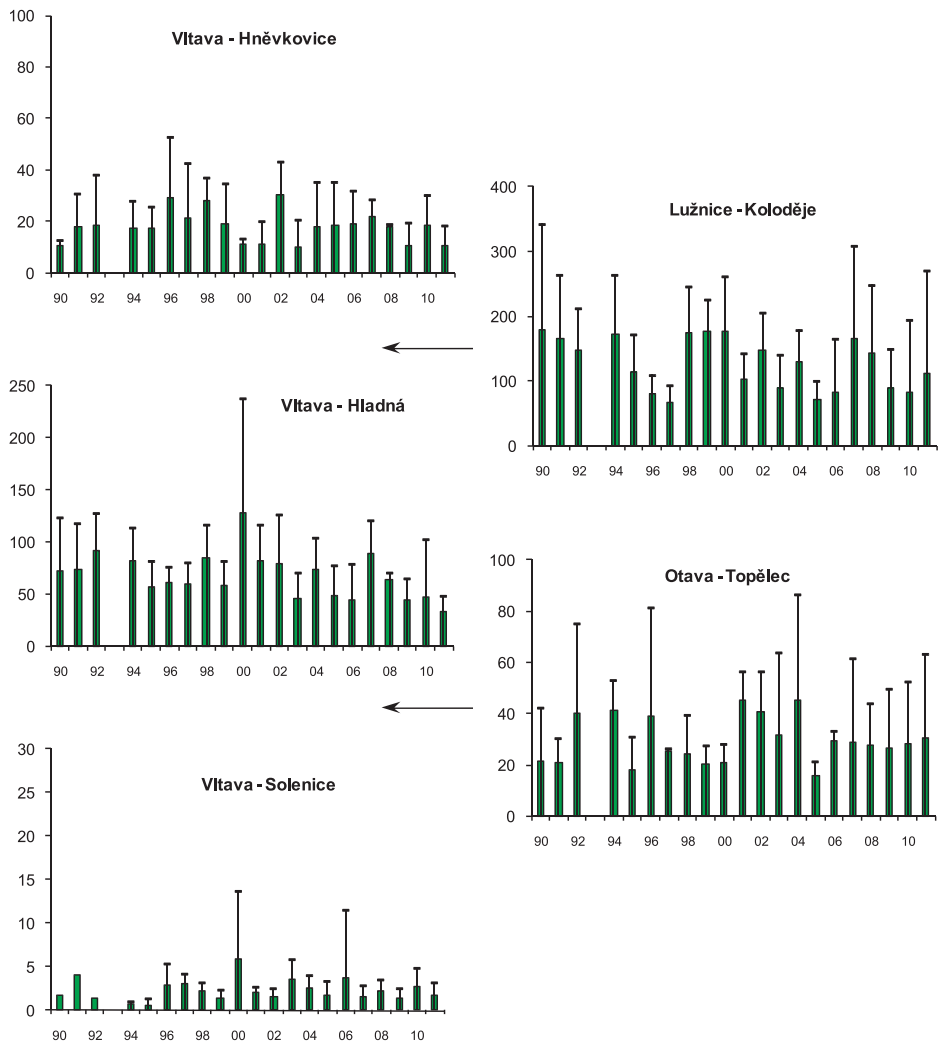
Změny biomasy fytoplanktonu v profilu Hněvkovice-pod nádrží, který slouží jako profil referenční, charakterizuje srovnatelná úroveň sezonních průměrů koncentrace chlorofylu-a v referenčním období (1900–2000) a v období po uvedení elektrárny Temelín do provozu (2001–2011), viz obr. 2.

V letech 1990–2000 se zde sezonní průměry pohybovaly v rozmezí 10–29  $\mu\text{g/l}$  chl-a, maximální hodnota (53  $\mu\text{g/l}$ ) byla zjištěna v r. 1996. Ve srovnatelném rozsahu (10–30  $\mu\text{g/l}$ ) se pohybovaly sezonní průměry obsahu chlorofylu-a i v letech 2001–2011. Nejvyšší hodnota (43,2  $\mu\text{g/l}$ ) byla v uvedeném období zjištěna v r. 2002. V obou případech (1996 a 2002) byly vysoké hodnoty biomasy fytoplanktonu ve sledovaném profilu pod nádrží Hněvkovice důsledkem silného rozvoje sinic a řas ve vlastní nádrží, ze které je prováděn odběr vody pro potřeby provozu elektrárny Temelín.

V úseku toku mezi odběrovými profily Hněvkovice a Hladná ústí do Vltavy (ř. km 202) z pravé strany řeka Lužnice (obr. 1), která je výrazně eutrofním tokem s výskytem nadměrné biomasy fytoplanktonu. Sezonní průměry koncentrace chlorofylu-a v závěrném profilu Lužnice-Koloděje (obr. 2) jsou vesměs o řád vyšší ve srovnání s hodnotami v profilu Hněvkovice. Zjištěná sezonní maxima obsahu chlorofylu-a dosahovala hodnot 200–300  $\mu\text{g/l}$  jak v referenčním období, tak v období po zahájení provozu elektrárny. V důsledku vnosu vysoké biomasy fytoplanktonu řekou Lužnicí dochází v toku Vltavy k výraznému zvýšení koncentrace chlorofylu-a, které je zjevné v profilu Hladná. Profil Hladná se nachází cca 4 km pod stupněm Vltava-Koňensko se zaústěním odpadních vod z elektrárny Temelín. Sezonní průměry koncentrace chlorofylu-a v profilu Hladná (obr. 2) se pohybují pod úrovní 100  $\mu\text{g/l}$ , s výjimkou extrémní hodnoty v r. 2000 (tj. 128,6  $\mu\text{g/l}$  chl-a), a jsou 3–10x vyšší ve srovnání se stavem v referenčním profilu Hněvkovice. Průběh hodnot sezonních průměrů chlorofylu-a charakterizuje meziroční kolísání jak v referenčním, tak provozním období. Zjištěné maximální hodnoty obsahu chlorofylu-a leží v rozmezí 70–120  $\mu\text{g/l}$  s výjimkou extrémně vysoké hodnoty (237  $\mu\text{g/l}$ ) v r. 2000. V závěru sledovaného období (2008–2011) je v profilu Hladná patrný mírný pokles biomasy fytoplanktonu pod úroveň hodnot z referenčního období.

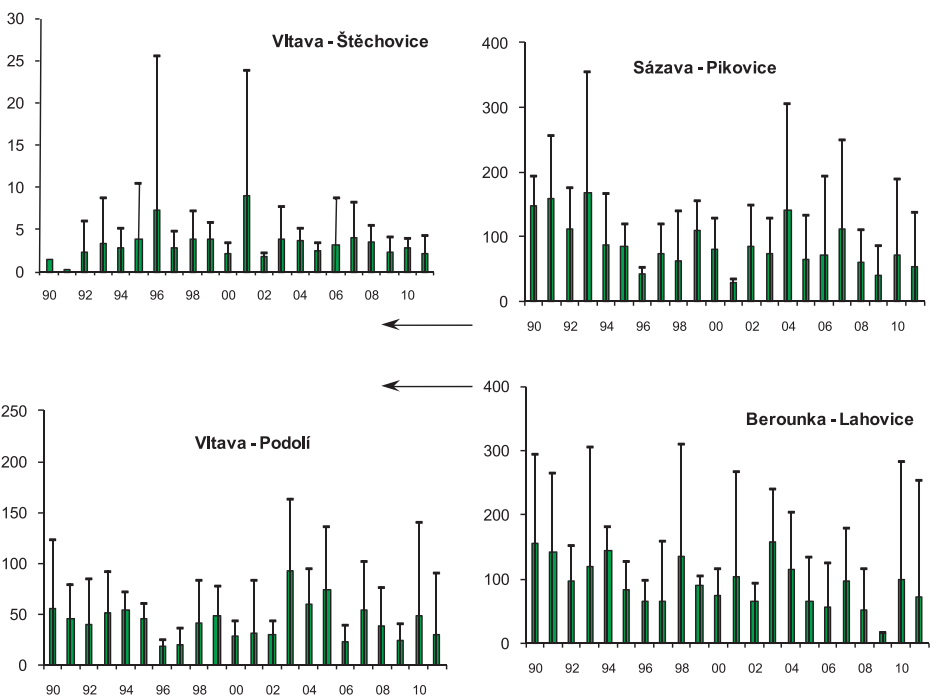
Výsledky jednorázově provedených srovnávacích analýz obsahu chlorofylu-a ve vzorcích vody z nádrže Koňensko (tj. nad zaústěním odpadních vod) a z profilu Hladná neprokázaly významné rozdíly mezi oběma profily (Desortová, nepubl.). Podobné zjištění vyplývá z výsledků analýz kvantity fytoplanktonu z období 2003–2005 uvedených ve studii, která se zabývá fytoplanktonem nádrže Orlík [11]. Z hlediska biomasy fytoplanktonu to znamená, že výrazné zvýšení hodnot v profilu Hladná ve srovnání s referenčním profilem Hněvkovice je především důsledkem přisunu fytoplanktonu z řeky Lužnice. Vliv oteplených odpadních vod z elektrárny Temelín na rozvoj fytoplanktonu není v profilu Hladná prokazatelný. Relativně vysoká biomasa fytoplanktonu se z profilu Hladná posunuje dále tokem do vltavského ramene údolní nádrže Orlík.

Změny biomasy fytoplanktonu přinášené řekou Otavou do otavského ramene nádrže Orlík byly sledovány v profilu Topělec (obr. 1). Sezonní průměry koncentrace chlorofylu-a nepřesahovaly v letech 1990–2011 hodnotu 45  $\mu\text{g/l}$  (obr. 2) a jejich průběh nevykazuje zjevný trend. Po výrazném poklesu množství fytoplanktonu v roce 2005 se hodnoty koncentrace chlorofylu-a udr-



**Obr. 2.** Sezonní průměry (březen–říjen) a maxima koncentrace chlorofylu-a ( $\mu\text{g/l}$ ) ve sledovaných profilech na toku Vltavy a v ústí přítoků v období 1990–2011

**Fig. 2.** Seasonal means (March–October) and maxima of chlorophyll-a concentration ( $\mu\text{g/l}$ ) in the sampling profiles on the Vltava and on the monitored tributaries in the period of 1990–2011



**Obr. 3.** Sezonní průměry (březen–říjen) a maxima koncentrace chlorofylu-a ( $\mu\text{g/l}$ ) ve sledovaných profilech na toku Vltavy a v ústí přítoků v období 1990–2011

**Fig. 3.** Seasonal means (March–October) and maxima of chlorophyll-a concentrations ( $\mu\text{g/l}$ ) in the sampling profiles on the Vltava and on the monitored tributaries in the period of 1990–2011

žují prakticky na stejné úrovni (27–30 µg/l). Jak vyplývá z grafu na obr. 2, byla v profilu Topělec v průběhu sledování také zaznamenána přítomnost vysoké biomasy fytoplanktonu. Maximální hodnota koncentrace chlorofylu-a, tj. 86,2 µg/l, byla zjištěna v r. 2004. Do otavského ramene nádrže Orlík se vysoká biomasa fytoplanktonu dostává dvěma dalšími přítoky, tj. řekami Lomnice a Skalice. Jak vyplývá ze srovnání sezonních průměrů i maximálních hodnot, je koncentrace chlorofylu-a v ústí obou přítoků významně vyšší než v profilu Otava-Topělec (tabulka 2). Pro srovnání byly použity výsledky situačního monitoringu kvality vody ve státní síti profilů, na kterém se v r. 2007 a 2008, kromě podniku Povodí Vltavy, s.p., podílel VÚV TGM.

Přísun vysoké hodnoty biomasy fytoplanktonu jak z vltavského, tak otavského ramene se nepříznivě projevuje především v horní části nádrže Orlík. Dochází zde k silnému rozvoji fytoplanktonu, v letním období s převahou vodních květů sinic, se všemi negativními důsledky pro kvalitu vody (např. [12]). Výskyt vodních květů sinic v nádrži Orlík není problémem jen poslední desítky let, vznik silných vodních květů sinic zde byl zaznamenán již v 70. letech minulého století [13].

Profil Vltava-Solenice (výtok z nádrže Orlík) charakterizují trvale nízké průměrné hodnoty koncentrace chlorofylu-a, které nepřekračují hodnotu 10 µg/l (obr. 2). Biomasa fytoplanktonu, která je do údolní nádrže Orlík přinášena přítoky a dále narůstá, se zde zadržuje, postupně sedimentuje a odumírá. Do toku Vltavy pod nádrží se vypouštěním spodní vody, která je v důsledku rozkladných procesů u dna nádrže téměř bez kyslíku, dostává jen nepatrné množství fytoplanktonu.

Nízká hodnota biomasy fytoplanktonu byla opakovaně zjišťována také v profilu Vltava-Štěchovice, který je umístěn pod nádrží (obr. 1). Sezonní průměry koncentrace chlorofylu-a se po celé sledované období pohybovaly vesměs pod úrovní 5 µg/l a sezonní maxima pod 10 µg/l. Výjimkou byl stav v roce 1996 a 2001, kdy sezonní maximum chlorofylu-a dosáhlo hodnoty 25 µg/l, resp. 24 µg/l (obr. 3).

Situace v profilu Vltava-Podolí (místo odběru surové vody pro úpravnu) je z hlediska množství fytoplanktonu významně ovlivněna přítoky Sázavou a zejména Beroukou. Oba přítoky přinášejí do toku Vltavy nad Prahou vysokou hodnotu biomasy fytoplanktonu, stejně jako Lužnice v horní části sledovaného úseku Vltavy. Z grafů na obr. 3 je zřejmé, že v období 1990–2011 sezonní průměry koncentrace chlorofylu-a dosahovaly hodnot 100–150 µg/l jak v profilu Sázava-Pikovice, tak Berounka-Lahovice. Podobně velmi vysoké byly i hodnoty sezonních maxim chlorofylu-a, často 200–300 µg/l (obr. 3).

Průběh změn koncentrace chlorofylu-a v profilu Podolí ve sledovaném období víceméně odpovídá změnám v závěrném profilu Berounka-Lahovice a částečně odráží průběh změn v řece Sázavě. Z hodnot sezonních průměrů koncentrace chlorofylu-a ve sledovaném období je patrné, že v období po zahájení provozu elektrárny Temelín jsou hodnoty v profilu Vltava-Podolí, až na výjimky (2003–2005), srovnatelné s hodnotami v referenčním období (obr. 3). Průběh změn sezonních průměrů koncentrace chlorofylu-a charakterizuje zjevné kolísání mezi jednotlivými roky v rámci sledovaných profilů jak v referenčním, tak provozním období (obr. 2, 3). Tato meziroční variabilita hodnot biomasy fytoplanktonu je přirozeným jevem, který je způsoben odlišnou klimatickou a hydrologickou situací, zejména variabilitou průtoků, v daném roce. Na změny uvedených přírodních podmínek fytoplankton citlivě reaguje různým nárůstem biomasy [14].

## Závěr

Z vyhodnocení výsledků sledování koncentrace chlorofylu-a (jako měřítka celkové biomasy fytoplanktonu) ve vybraných profilech na úseku toku Vltava-Hněvkovice až Vltava-Podolí a v ústí významných přítoků Vltavy vyplynuly následující poznatky:

- Nebyly zjištěny prokazatelné rozdíly v úrovni biomasy fytoplanktonu ve sledovaných profilech na toku Vltavy mezi referenčním obdobím (1990–2000) a obdobím po zahájení provozu elektrárny Temelín (2001–2011).
- Charakteristickým jevem bylo meziroční kolísání hodnot sezonních průměrů koncentrace chlorofylu-a v rámci každého sledovaného profilu, které je důsledkem odlišné klimatické a hydrologické situace (především kolísání průtoků) v jednotlivých letech.
- Změny sezonních průměrů koncentrace chlorofylu-a nevykázaly za období sledování (1990–2011) jednoznačný trend v žádném ze sledovaných profilů.
- Výrazné zvýšení hodnot biomasy fytoplanktonu v profilu Hladná ve srovnání s referenčním profilem Hněvkovice je především důsledkem přísunu nadměrného množství fytoplanktonu řekou Lužnicí. Vliv oteplených odpadních vod z elektrárny Temelín na rozvoj fytoplanktonu není v profilu Hladná prokazatelný.
- Srovnání sezonních průměrů koncentrace chlorofylu-a mezi referenčním obdobím a obdobím po uvedení elektrárny Temelín do provozu neprokázalo vliv odpadních vod na zvýšení množství fytoplanktonu v profilu Vltava-Podolí. Stav v uvedeném profilu je ovlivněn vývojem fytoplanktonu v profilech Sázava-Pikovice a Berounka-Lahovice.

**Tabulka 2.** Sezonní průměry (březen–říjen) a maxima koncentrace chlorofylu-a (µg/l) v porovnávaných profilech v r. 2007 a 2008

**Table 2.** Seasonal means (March–October) and maxima of chlorophyll-a concentration (µg/l) in the compared profiles in 2007 and 2008

	Otava-Topělec		Lomnice-Ostrovec		Skalice-Varvažov	
	III.–X.	Max.	III.–X.	Max.	III.–X.	Max.
2007	21,1	44,9	168,9	256,0	72,8	179,2
2008	11,2	14,0	–	–	41,1	70,0

## Poděkování

Příspěvek byl zpracován s podporou výzkumného záměru MZP000207101 a výzkumného úkolu „Sledování a hodnocení jakosti povrchových a podzemních vod a jejich změn v souvislosti s vlivem výstavby a provozu JE Temelín na její okolí“ (9000 2551 ČEZ, a.s.).

## Literatura

- [1] Lysáček, F. (2008) Sledování a hodnocení vlivů JE Dukovany a JE Temelín na životní prostředí. *Sborník XX. konference Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství*, 5.–7. 5. 2008, České Budějovice, s. 5–10.
- [2] Kočková, E., Mlejnková, H. a Žáková, Z. (2001) Vliv jaderné elektrárny Dukovany na jakost vody v řece Jihlavě a v soustavě nádrží Dalešice a Mohelno. Praha: VÚV TGM, edice Výzkum pro praxi, sv. 43, s. 128.
- [3] Hudcová, H., Mlejnková, E., Žáková, Z., Hanslík, E. a Ivanovová, D. (2008) Vliv jaderné elektrárny Dukovany na jakost vody v řece Jihlavě a soustavě nádrží Dalešice a Mohelno v letech 2001–2007. *Sborník XX. konference Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství*, 5.–7. 5. 2008, České Budějovice, s. 25–36.
- [4] Hanslík, E. (1997) Impact of nuclear power plant Temelín on hydrosphere. Praha: VÚV TGM, edice Výzkum pro praxi, sv. 35, s. 96.
- [5] Hanslík, E., Ivanovová, D., Kluganostová, M. a Vaněček, I. (2008) Vývoj vlivu JE Temelín na hydrosféru do roku 2007. *Sborník XX. konference Radionuklidy a ionizující záření ve vodním hospodářství*, 5.–7. 5. 2008, České Budějovice, s. 11–22.
- [6] Hanslík, E. aj. (2000–2012) Sledování a hodnocení jakosti povrchových a podzemních vod a jejich změn v souvislosti s vlivem výstavby a provozu jaderné elektrárny Temelín na její okolí (výzkumné zprávy VÚV TGM, Praha).
- [7] Lair, N. and Sargos, D. (1993) A 10 year study at four sites of the middle course of the River Loire I – Patterns of changes in hydrological, physical and chemical variables in relation to algal biomass. *Hydroecol. Appl.*, 5(1): 1–27.
- [8] Frugot, J.F., Centofanti, M., Dossaix, J., Olivier, J.M., Druart, J.C., and Martinez, P.J. (2001) Temporal and spatial dynamics in large rivers: example of a long-term monitoring of the middle Rhône River. *Ann. Limnol.* 37(3): 237–251.
- [9] Descy, J.P., Leitao, M., Everbecq, E., Smits, J.S., and Deliége, J.F. (2012) Phytoplankton of the River Loire, France: a biodiversity and modelling study. *Journ. Plankt. Res.*, 34(2): 120–135.
- [10] ČSN ISO 10 260 (75 7575) Jakost vod. Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a.
- [11] Žáková, Z. (2006) Rozvoj fytoplanktonu v nádrži Orlík v letech 2003–2005. *Sborník 14. konference ČLS a SLS*, 26.–30. 6. 2006, Nečtiny, s. 151–152.
- [12] Duras, J. (2008) Monitoring kvality vody nádrže Orlík a vodních toků v jejím povodí, nejdůležitější výsledky. *Sborník semináře Revitalizace Orlické nádrže*, 6. 10. 2008, Písek, s. 57–69.
- [13] Desortová, B. and Javornický, P. (1976) The phytoplankton of Slapy and Orlík Reservoirs. *17th Ann. Rep. Hydrobiol. Lab. CAS, Praha*, p. 26–28.
- [14] Desortová, B. (2005) Vliv nízkých průtoků na biomasu fytoplanktonu ve vodních tocích. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, 47(1), příloha *Vodního hospodářství*, 55(2), s. 2–3.

**RNDr. Blanka Desortová, CSc., Ing. Eduard Hanslík, CSc.**  
**Výzkumný ústav vodohospodářský TGM, v.v.i., Praha**  
 blanka\_desortova@vuv.cz, eduard\_hanslik@vuv.cz  
 Příspěvek prošel lektorským řízením.

*Long-term development of phytoplankton biomass in rivers monitored in the framework of impact assessment of the nuclear power plant Temelín on water ecosystem (Desortová, B.; Hanslík, E.)*

## Key words

*phytoplankton – chlorophyll-a – running waters – long-term changes – nuclear power plant Temelín*

**The results are presented of a long-term study of phytoplankton carried out in several sampling sites located on the Vltava River and on its tributaries the Lužnice, the Otava, the Sázava and the Berounka. The aim of this study was to assess possible impact of wastewaters outflowing from the nuclear power plant Temelín on phytoplankton biomass devel-**

opment downstream the Vltava River. Investigation of phytoplankton biomass changes (estimated as a chlorophyll-a concentration) took place in the period of construction (1990–2000, i.e. reference period) as well as in the period of the Temelín nuclear power plant operation (2001–2011).

A conspicuous impact of the nuclear power plant Temelín on the phytoplankton biomass development in the Vltava River downstream of the wastewaters outflow was not detected, based on the seasonal mean values of chlorophyll-a.

## MODELOVÁNÍ PRŮTOKOVÉ VLNY Z LEDOVCOVÉHO JEZERA – LAKE 513, CORDILLERA BLANCA, PERU

Miroslava Benešová, Petr Bouška, Jan Klimeš, Vít Vilímek

### Klíčová slova

matematické modelování – povodeň – ledovcové jezero – sesuvy – Peru

### Souhrn

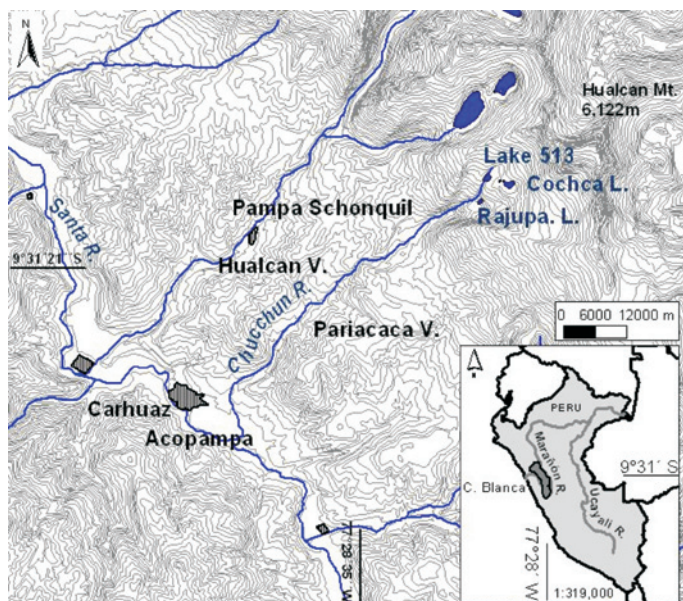
Dne 11. dubna 2010 došlo v oblasti povodí řeky Chucchún v blízkosti města Carhuaz v Peru k sesuvu ledu a horniny z Hualcán Mt. do jezera Lake 513. Tato povodňová událost byla modelována s použitím 1D hydraulického matematického modelu HEC-RAS. Článek se zabývá podmínkami ve zkoumané oblasti, způsobem získávání vstupních dat do modelu a vlastním modelováním události. Třetí kapitola popisuje výsledky simulací.

Modelování této povodňové události na řece Chucchún bylo uskutečněno v rámci výzkumného projektu financovaného Grantovou agenturou České republiky. Hlavním účelem projektu je napomoci zvýšení ochrany místních obyvatel před důsledky povodní podobného charakteru.

## 1 Úvod

Četné přírodní procesy ve vysokých horách mohou nabývat katastrofálních měřítek a působit značné škody v obydlených oblastech. V posledních desetiletích navíc došlo k významnému ústupu ledovců ve většině pozorovaných lokalit, což mělo za následek nárůst výskytu katastrofických událostí [1]. S ústupem ledovců totiž vznikají nová jezera, která jsou lokalizována za mladými a nepevnými morénami. Rovněž dochází k nárůstu množství zadržené vody v již existujících jezerech, čímž se zvyšuje tlak na čelní morény – hráze. Ty jsou považovány za nejnáchylnější k náhlému porušení, a tím ke vzniku průtokové vlny. V oblasti Cordillera Blanca v Peru došlo v minulosti k několika protržením hrází s následným vznikem průtokové vlny, která způsobila katastrofální škody. Jednou z nejhorších událostí bylo protržení hráze jezera Palcacocha v roce 1941, kdy průtoková vlna způsobila poničení velké části města Huaraz a měla za následek až 4 000 obětí [2].

Tento článek prezentuje možný způsob modelování průtokové vlny, které bude dále sloužit pro návrh opatření eliminujících nejen materiální škody, ale zejména počet obětí. Článek je zaměřen na modelování události z 11. dubna 2010, kdy pád ledovcového bloku z vrcholu Hualcán (6 122 m n. m., obr. 1) způsobil průtokovou vlnu na řece Chucchún, pravém přítoku Santa River, blízko města Carhuaz v kraji Ancash. Masivní sesuv ledu a balvanů



Obr. 1. Zájmová oblast a její lokalizace  
Fig. 1. Study area and its location

z nadmořské výšky 5 500 m na sebe postupně nabaloval další materiál a pohyboval se strmým údolím k jezeru pojmenovanému Lake 513, které leží v nadmořské výšce 4 428 m. Do jezera dopadl sesuv z útesu vysokého 190 m (obr. 2) a podle odhadů z polního průřezu po události způsobil průtokovou vlnu vysokou až 28 m.

Tato vlna zapříčinila devastaci a poškození několika obytných domů, které byly situovány na pravém břehu řeky. Dále byla poškozena úpravna pitné vody, která se nachází v horní části povodí a zásobuje vodou obyvatele regionu města Carhuaz. Výpadek dodávky pitné vody zasáhl několik tisíc obyvatel tohoto města. Událost vystrašila místní obyvatele a přispěla k opětovnému zájmu o řešení problematiky nebezpečných přírodních procesů spojených s ledovcovým prostředím v Peru [3].

## 2 Metodika výpočtu

### 2.1 Popis použitého programu

Pro hydraulické výpočty je používán 1D matematický model HEC-RAS (River Analysis System v. 4.1.0, Hydrologic Engineering Center, U. S. Army Corps of Engineers) [4, 5], který je vhodný pro modelování proudění v otevřených korytech a jejich inundačních zónách. Jedná se o spolehlivý a ověřený model, jenž je pravidelně aktualizován a rozšiřován o nové funkce. HEC-RAS umožňuje modelování ustáleného i neustáleného proudění, výpočet lze provést nejen pro bystřinné či říční proudění, ale i pro tzv. „mix flow“, tedy pro proudění, kdy dochází k přechodu z říčního režimu proudění do bystřinného nebo naopak. Sklon dna v zájmové oblasti je značně proměnlivý, proto je zde používána při simulaci proudění tato třetí možnost výpočtu. Program HEC-RAS má rovněž detailně propracované modelování proudění objekty (např. mosty či propustky).

### 2.2 Sestavený model a vstupní data

Problematika vstupních dat je dána řešenou lokalitou. Některá data jsou přebírána od zahraničního partnera (Autoridad Nacional del Agua, Unidad de Glaciología y Recursos Hídricos, Huaraz, Peru), některá jsou získávána přímo v terénu, ostatní z mapových a dalších podkladů [6]. Jde zejména o zaměření příčných profilů, popis jezera (včetně úrovně hladiny a zejména přelivné hrany), osu toku, stanovení drsnosti, popis objektů na toku a stanovení okrajových podmínek.

### Geodetická data

Geometrie pro analýzu proudění v přirozených tocích je definována pomocí příčných profilů a vzdáleností mezi nimi. Profily jsou situovány po celé délce toku v závislosti na změnách příčných profilů či změnách Manningova součinitele drsnosti  $n$ . Pomocí příčných profilů musí být dostatečně přesně popsáno nejen koryto toku, ale i celé přilehlé území nejméně po předpokládanou povodňovou hladinu. Příčné profily by měly být zaměřovány kolmo na osu toku. Proudění vody může být značně ovlivněno konstrukcemi (či překážkami) ve vodních tocích, zejména při povodňových událostech [7, 8]. Proto je nutné všechny tyto konstrukce (mosty, propustky aj.) zaměřit.

Na základě dat naměřených přímo v terénu byl sestaven matematický model řeky Chucchún (obr. 3). Vzdálenosti příčných profilů byly voleny s ohledem na změny terénu, pouze v několika málo lokalitách (v horní části modelu) bylo nutno profily zaměřit s ohledem na přístupnost terénu. Celková délka toku od ledovcového jezera Lake 513 až po soutok s řekou Santa je cca 14 km



Obr. 2. Lake 513 – místo sesuvu  
Fig. 2. Lake 513 – location of the ice/rock fall

(obr. 1). Na toku se nachází celkem šest mostů, které byly do modelu zahrnuty, přičemž u jednoho z nich byla během události stržena mostovka [9]. Pomocí programu bylo rovněž možné modelovat zahrazení toku sesuvem skály do toku během průchodu průtokové vlny korytem (cca 7,5 km od soutoku s řekou Santa). Celkem bylo zaměřeno 120 příčných profilů.

#### Okrajové podmínky

Pro modelování v tocích je nutné definovat okrajovou podmínku (horní nebo dolní), přičemž pro tzv. „mix flow“ je nutné definovat obě. Těmito okrajovými podmínkami mohou být v nejvyšším příčném profilu (pro bystřinné proudění, horní okrajová podmínka) nebo v nejnižším položeném příčném profilu (pro říční proudění, dolní okrajová podmínka) známá úroveň hladiny, známá konsumpční křivka, kritická hloubka či normální hloubka. Okrajová podmínka definovaná pomocí normální hloubky předpokládá rovnoměrné ustálené proudění, takže lze použít Manningovu rovnici [10, 11].

Dále je nutné definovat průtok v nejvýše položeném příčném profilu. Pokud dochází ke změnám průtoku po délce toku, lze definovat tyto změny v konkrétních lokalitách.

Terénní měření ukázalo nezbytnost použití tzv. „mix flow“ režimu pro analýzu ustáleného nerovnoměrného proudění. Změny podélného sklonu toku indikovaly změnu režimu proudění. V horní části toku je sklon řeky velmi strmý (cca 30 % v nejvyšší části toku), takže bylo předpokládáno bystřinné proudění. Vzhledem k tomu, že se jedná o úsek toku s velmi vysokým gradientem, je z mnoha důvodů (provzdušněné proudění, jiné rozdělení rychlosti atd. [12]) nutné chápat výpočet v tomto úseku spíše jako hrubý odhad. V dolní části toku byl naměřen mírnější sklon a předpokládalo se říční proudění. Vzhledem k těmto geomorfologickým podmínkám byly do programu HEC-RAS nadefinovány obě okrajové podmínky. Horní okrajová podmínka byla definována pomocí kritické hloubky, protože nejvýše položený příčný profil je situován na výtoku z jezera Lake 513. Dolní okrajová podmínka je situována v nejnižším položeném příčném profilu (v blízkosti řeky Santa, ovšem v dostatečné vzdálenosti od ní, aby nebyla tímto tokem ovlivněna) a je definována pomocí normální hladiny.

Kulminační průtok byl stanoven pomocí povodňových značek, zaměřených přímo v terénu během povodňové události z dubna 2010.

#### Povodňové značky

Pokud není kulminační průtok znám, jsou povodňové značky nezbytné pro jeho určení. Jak bylo zmíněno výše, průtok je jednou z nutných okrajových podmínek, které jsou potřeba pro modelování ustáleného proudění. Pro spuštění výpočtu je nutné nadefinovat (odhadnout) hodnotu průtoku a provést výpočet úrovní hladin v příčných profilech. Tyto úrovně hladiny se porovnají se zaměřenými povodňovými hladinami a v případě neshody se hodnota průtoku upraví. Tento postup se opakuje až po dosažení shody mezi vypočtenou úrovní hladiny v daných profilech a zaměřenou úrovní hladiny přímo v terénu [13].

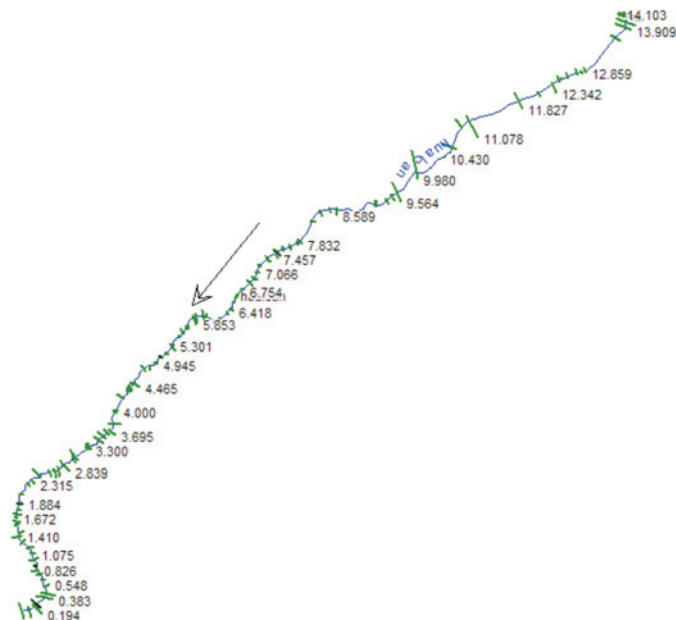
Během geomorfologického měření byly zaměřeny dvě povodňové značky, a to v dolní části toku Chucchún. První byla zaměřena na zdi budovy přibližně 800 m nad soutokem s řekou Santa (obr. 4), druhá potom v terénu přibližně 885 m nad tímto soutokem. Pomocí výše zmíněné metody byl kulminační průtok pro tuto událost stanoven hodnotou  $580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .

#### Manningův součinitel drsnosti $n$

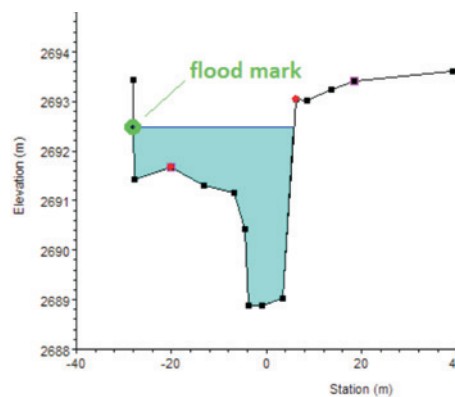
Manningův součinitel drsnosti  $n$  se používá k vyjádření ztráty třením mezi dvěma sousedními profilem. Výběr správné hodnoty  $n$  je velmi důležitý pro přesnost vypočtených úrovní hladin v daných profilech [14]. Jeho hodnota je proměnná a závisí na řadě faktorů (drsnost povrchu, vegetace, nerovnost toku, sklon koryta, velikost a tvar koryta, průtok, hloubka vody, sezónní změny, materiál dna aj.). Rovněž také existuje celá řada způsobů a metod pro stanovení hodnoty Manningova součinitele [11, 15] – tabulky, grafy, empirické vzorce, měření v terénu či v laboratoři, Cowanova metoda či porovnání podmínek v řešené oblasti s fotografiemi toku (či území) se známou hodnotou Manningova součinitele  $n$  [16].

V našem případě byla hodnota Manningova součinitele  $n$  určena pomocí hydraulických tabulek v kombinaci s metodou porovnání řešeného území s fotografiemi se známou hodnotou součinitele. Na obr. 5 je fotografie toku v místě příčného profilu v ř. km 3,797 (vlevo) a stejný příčný profil zobrazený v programu HEC-RAS (vpravo). Hodnoty v horní části tohoto obrázku vyjadřují Manningův součinitel drsnosti  $n$  (0,045 pro koryto, 0,040 pro levý břeh a 0,050 pro pravý břeh).

- Při výpočtech byly uvažovány tyto hodnoty:
- koryto: od  $0,035 \text{ m}^{1/6}$  (pro volné profily téměř bez vegetace) po  $0,075 \text{ m}^{1/6}$  (profily s velkými balvany a vegetací),
  - niva: od  $0,035 \text{ m}^{1/6}$  (pro volné profily bez vegetace či jiných překážek proudění) do  $0,130 \text{ m}^{1/6}$  (pro profily s hustou vegetací, stromy či jinými překážkami proudění).



Obr. 3. Matematický model řeky Chucchún, situace  
Fig. 3. Mathematical model of Chucchún River, the plan

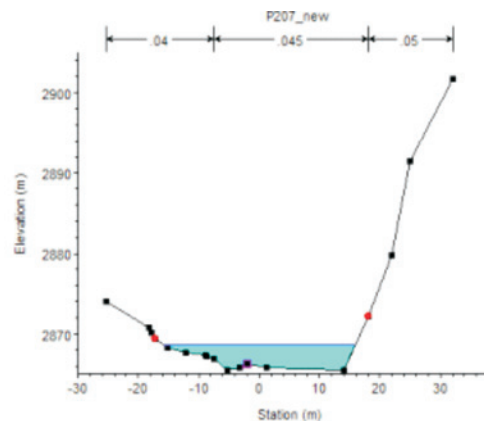


Obr. 4. Příčný profil s vyznačenou povodňovou značkou  
Fig. 4. Cross section with flood mark

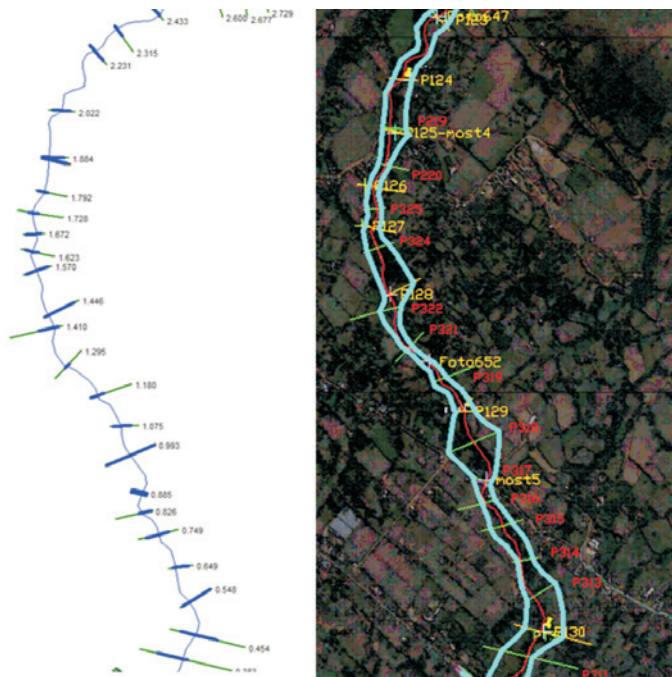
### 3 Výsledky

Analýzou ustáleného nerovnoměrného proudění v programu HEC-RAS za kulminačního průtoku, jenž byl stanoven použitím známé úrovně povodňových značek zaměřených při průzkumu terénu po události, byla získána výstupní data, která byla dále zpracována do tabulky 1 a dalších výstupů, jako jsou záplavové čáry (obr. 6).

Program umožňuje vyexportovat rozsah rozlivu v jednotlivých profilech během povodňové události. Záplavové čáry pak byly stanoveny na základě znalosti rozlivů v jednotlivých modelovaných profilech a pomocí základní vrstevnicové mapy, kterou poskytli zahraniční partneři projektu z Peru.



Obr. 5. Fotografie příčného profilu (vlevo) a příčného profilu v programu HEC-RAS (vpravo)  
Fig. 5. Photo of the cross section (left) and cross section in HEC-RAS (right)



**Obr. 6.** Rozsah povodně v HEC-RAS (vlevo), záplavové čáry zobrazené modrou barvou (vpravo)  
**Fig. 6.** Water surface extents in HEC-RAS (left), flood lines represented by blue lines (right)

Na obr. 6 vlevo jsou zobrazeny rozsahy rozlivu v jednotlivých profilech v modelu HEC-RAS a vpravo je ukázka záplavových čar vykreslených za použití znalosti souřadnic definujících rozsah rozlivu v jednotlivých profilech z modelu HEC-RAS a vrstevnicové mapy. Záplavové čáry byly poté načteny na leteckou mapu z Google Earth. Obrázek 6 zachycuje dolní úsek toku, který protéká zástavbou (město Carhuaz).

Tabulka 1 zobrazuje výsledky v profilech v dolní části toku (korespondují s rozsahem na obr. 6). V tabulce jsou zapsány vypočítané hodnoty při simulování průchodu kulminačního průtoku. Jedná se o úroveň hladiny, šířku v hladině, průměrnou a maximální hloubku v jednotlivých profilech.

Během polního průzkumu po povodňové události bylo odhadnuto, že vlna vzniklá během povodně v dubnu 2010 mohla dosahovat výšky až 28 m. Hladina v jezeru Lake 513 je udržována na konstantní úrovni, proto bylo možné odhadnout výšku vlny na základě analýzy proudění v sestaveném modelu. Stanovením úrovně hladiny v horním profilu modelu během kulminačního průtoku a odečtením známé úrovně hladiny nadřazení v jezeře na začátku události byla stanovena výška vlny 26,5 m. Lze tedy konstatovat, že tímto byla prokázána poměrně dobrá shoda mezi výstupem z modelu a odhadnutou úrovní při polním průzkumu jezera.

Program HEC-RAS umožňuje také názornější zobrazení výstupů modelování, a to zobrazením ve 3D. Ukázka takového výstupu je na obr. 7, kde je opět vykreslen dolní úsek toku, tedy úsek v zástavbě (město Carhuaz).

#### 4 Závěr

Vzhledem ke konfiguraci terénu v zájmové lokalitě jsou složky rychlosti proudění v podélném směru mnohem větší než ostatní dvě složky (v příčném a vertikálním směru), proto je možné je zanedbat a opodstatnit tím správnost a oprávněnost použití 1D modelu.

Modelováním s použitím 1D modelu HEC-RAS bylo zjištěno, že kulminační průtok během události dosáhl hodnoty  $580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ . Odhadovaná výška vlny v jezeru Lake 513 činila 26,5 m. Výsledky modelování průtokové vlny z ledovcového jezera (duben 2010) prokázaly dobrou shodu mezi výstupy z modelu a zaměřenými údaji při průzkumu přímo v terénu. Lze konstatovat vhodnost použití 1D přístupu a tuto metodiku lze použít i pro další lokality v zájmové oblasti.

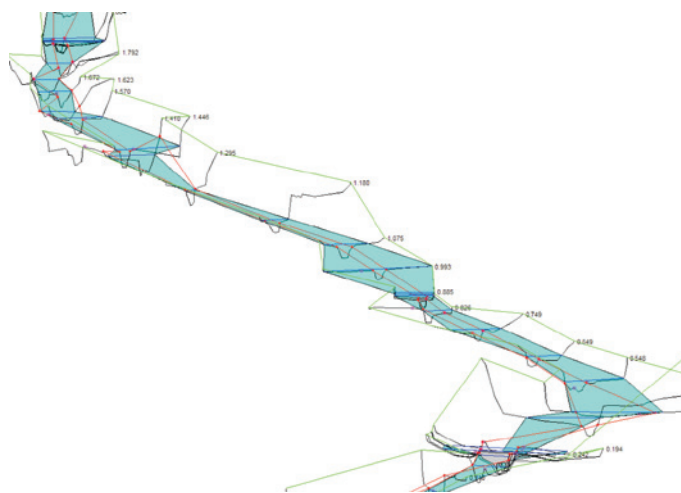
Výsledky tohoto a dalších modelování budou použity pro rajonizaci studovaného území vzhledem k jeho náchylnosti a ohrožení sesuvy a povodní z ledovcových jezer při zohlednění vlivů možných budoucích klimatických změn. Cílem celého projektu je pak ochrana obyvatelstva před účinky průtokových vln z ledovcových jezer.

#### Poděkování

Tento příspěvek vznikl v rámci projektu GAP209/11/1000 – Hodnocení nebezpečí vzniku sesuvů a povodní z ledovcových jezer, Cordillera Blanca, Peru (2011-2014, GA0/GA), který je financován Grantovou agenturou České republiky. Autoři rovněž děkují pracovníkům ANA (Autoridad Nacional de Agua) Huaraz za pomoc při terénních pracích.

**Tabulka 1.** Tabulka s výstupními daty z modelu HEC-RAS  
**Table 1.** Output table from HEC-RAS model

Staničení (ř. km)	Min. úroveň dna (m)	Úroveň hladiny (m)	Šířka v hladině (m)	Průměrná hloubka (m)	Maximální hloubka (m)
3,055	2 815,2	2 819,4	25,7	2,2	4,2
3,015	2 813,1	2 816,4	36,2	1,6	3,4
2,839	2 803,5	2 807,8	42,8	1,8	4,3
2,729	2 797,6	2 801,7	29,3	2,3	4,2
2,677	2 794,7	2 798,7	26,1	2,3	4,0
2,600	2 790,5	2 795,3	26,0	2,6	4,8
2,433	2 781,5	2 785,6	33,4	1,9	4,1
2,315	2 775,1	2 777,8	34,5	1,9	2,7
2,231	2 770,5	2 774,6	52,2	1,7	4,1
2,022	2 759,2	2 762,0	46,9	1,5	2,9
1,884	2 751,7	2 755,7	57,2	1,6	4,0
1,879	2 751,4	2 755,1	67,0	1,5	3,7
1,878	most				
1,877	2 751,3	2 755,1	67,3	1,6	3,8
1,792	2 746,2	2 750,2	28,2	2,4	4,0
1,728	2 742,4	2 746,4	27,0	2,3	3,9
1,672	2 739,1	2 744,0	38,5	2,0	4,9
1,623	2 736,2	2 739,0	36,9	1,7	2,8
1,570	2 733,1	2 738,2	60,4	1,6	5,1
1,446	2 725,7	2 731,0	87,0	1,8	5,3
1,410	2 723,6	2 729,9	56,1	2,1	6,4
1,295	2 716,7	2 721,2	18,1	2,9	4,5
1,180	2 709,9	2 713,9	35,7	1,6	3,9
1,075	2 703,7	2 707,9	48,0	1,3	4,2
0,993	2 698,8	2 702,0	141,0	0,5	3,2
0,885	2 692,4	2 696,3	42,5	1,5	3,9
0,881	most				
0,878	2 692,0	2 695,9	42,5	1,5	3,9
0,826	2 688,9	2 692,5	33,9	1,7	3,6
0,749	2 684,3	2 688,0	61,1	1,2	3,7
0,649	2 678,4	2 681,5	40,5	1,6	3,1
0,548	2 672,4	2 675,9	84,9	1,1	3,5
0,454	2 666,8	2 668,2	95,1	0,8	1,4



**Obr. 7.** Zobrazení výsledků v modelu HEC-RAS ve 3D, dolní úsek toku  
**Fig. 7.** x-y-z perspective plot, the lowest part of the stream

#### Literatura

- [1] Carey, M., Huggel, Ch., Bury, J., Portocarrero, C., and Haerberli, W. (2012) An integrated socio-environmental framework for glacier hazard management and climate change adaptation: lessons from Lake 513, Cordillera Blanca, Peru. *Climatic Change*, Vol. 112, No. 3-4, 733-767.
- [2] Vilímek, V., Zapata, M.L., Klimeš, J., Patzelt, Z., and Santillán, N. (2005) Endangering of the dam stability of Palcacocha Lake by slope movements, Peru. *Landslides* (Springer), Vol. 2, No. 2, p. 107-115.
- [3] Vilímek, V., Zapata, M.L., and Klimeš, J. (2005) Glacial lake outburst floods in the area of Huarás, Cordillera Blanca, Peru. *Studia Geomorphologica Carpatho-Balcanica*, 39, Kraków, p. 115-124.

- [4] Brunner, G.W. (2010) HEC-RAS River Analysis System User's Manual, Version 4.1. Computer Program Documentation. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources.
- [5] Brunner, G.W. (2010) HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, Version 4.1. Computer Program Documentation. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- [6] Armstrong, L. (2011) Hydraulic Modeling and GIS. ESRI Press, 82 p.
- [7] Hamill, L. (1998) Bridge Hydraulics. CRC Press, 384 p.
- [8] Balvín, P., Gabriel, P., Bouška, P. a Havlík, A. (2009) Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích. Technické podmínky 204, Ministerstvo dopravy a VÚVTGM, 95 s.
- [9] Bouška, P., Benešová, M. a Klimeš, J. (2011) Modelování přívalové vlny z jezera Hualcán, Peru. In: *Vodní toky 2011*, Hradec Králové. Lesnická práce, s. 168–171.
- [10] Chow, V.T. (1959) Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill College, 680 p. (reiss. 2009).
- [11] Mattas, D. Výpočet průtoku v otevřených korytech (v tisku), 106 s.
- [12] Jarrett, R.D. (1992) Hydraulics of Mountain Rivers. In: Yen, B.C. (ed.) Channel Flow Resistance – Centennial of Manning's Formula: International Conference for the Centennial of Manning's and Kuichling's Rational Formula, Littleton, Colorado: Water Resources Publications, p. 287–298.
- [13] Havlík, A. a Novák, P. (2011) Vyhodnocení kulminačních průtoků povodně z května 2010 s využitím hydraulických výpočetních postupů. Příloha zprávy Vyhodnocení povodně v květnu a červnu 2010. VÚVTGM, 30 s.
- [14] Kolář, V. aj. (1966): Hydraulika. Technický průvodce 5. Praha: SNTL, 716 s.
- [15] McCuen, R.H. (2004) Hydrologic Analysis and Desing. Upper Saddle River, N. Jersey: Prentice Hall, 3rd ed., 888 p.
- [16] <http://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm>
- [17] Kolář, V., Patočka, C. a Bém, J. (1983) Hydraulika. Praha: SNTL/ALFA, 480 s.
- [18] Bathurst, J.C. (1985) Flow Resistance Estimation in Mountain Rivers. *JHDASCE*, vol. 111, HY4, s. 625–643.
- [19] Novak, P., Guinot, V., Jeffrey, A., and Reeve, D.E. (2010) Hydraulic Modelling – an Introduction. Principles, methods and applications. London: Spon Press.

*Modeling of the flood wave from glacial Lake 513, Cordillera Blanca, Peru (Benešová, M.; Bouška, P.; Klimeš, J.; Vilímek, V.)*

## Key words

mathematical modeling – flood – glacial lake – landslides – Peru

**On 11 April 2010 icefall and rockfall from the Hualcán Mt. into Lake 513 caused flood on the Chucchún River, near the city of Carhuaz in Peru. This flood event was modeled using the 1D hydraulic mathematical model HEC-RAS. This article deals with the situation in the surveyed area, obtaining of input data into the model and modeling of this flood event. In the chapter 3 there are shown results of simulations.**

**Modeling of the glacial outburst flood in Chucchún River from Lake 513 was carried out in the frame of the project financed by the Grant Agency of the Czech Republic – Czech Science Foundation. The purpose of this project is to help to increase the protection of the local population from floods of a similar nature.**

Ing. Miroslava Benešová<sup>1</sup>, Ing. Petr Bouška, Ph.D.<sup>1</sup>,  
RNDr. Jan Klimeš, Ph.D.<sup>2</sup>, doc. RNDr. Vít Vilímek, CSc.<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>VÚVTGM, v.v.i., Praha, Miroslava\_Benesova@vuv.cz,  
Petr\_Bouska@vuv.cz

<sup>2</sup>Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR,  
jklimes@centrum.cz

<sup>3</sup>Přírodovědecká fakulta UK v Praze,  
vilimek@natur.cuni.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

## PRAVDĚPODOBNOSTNÍ HODNOCENÍ PROVOZU ČISTÍRNÝ ODPADNÍCH VOD

Ivan Nesměřák

### Klíčová slova

čistírna odpadních vod – časové řady – přenosová funkce – časová a spektrální oblast

### Souhrn

**Změny jakosti vody průtokem ČOV lze hodnotit pomocí přenosových funkcí, které je možno vypočítat v časové nebo spektrální oblasti. Podkladem pro hodnocení jsou časové řady ukazatelů jakosti vody a množství odpadních vod na přítoku a odtoku z jednotlivých stupňů nebo z celé čistírny odpadních vod. Pro některé jednoduché modely lze přenosovou funkci vypočítat teoreticky.**

### Úvod

Množství a jakost odpadních vod na přítoku a na odtoku z čistírny odpadních vod kolísají v čase (jsou pravděpodobnostními hodnotami), a proto je třeba při hodnocení přínosu celé čistírny nebo jejích částí aplikovat pravděpodobnostní metody. Pravděpodobnostní metody pracují v této souvislosti obvykle s pojmy lineární model a přenosová funkce (přesněji frequency response function).

Přenosové funkce lze vypočítat buď v spektrální, nebo časové oblasti. Každá z nich podává odlišnou a navzájem se doplňující informaci. Pravděpodobnostní metody přitom pracují buď s diskrétními, nebo kontinuálními časovými řadami. Při hodnocení přínosu nebo účinnosti čistírny se však obvykle pracuje s diskrétními časovými řadami.

### Spektrální oblast

Přenosová funkce  $H(f)$  byla vypočtena nejdříve ve spektrální oblasti<sup>1</sup>. Řešení ve spektrální oblasti vychází z představy, že nějakou (i neperiodickou) stacionární náhodnou řadu  $x(t)$  lze popsat sumou periodických složek s frekvencí  $f$ . Vypočtená spektra pak naznačují rozdělení rozptylu časové řady  $x(t)$  na jednotlivé frekvence  $f$ . Ve spektrální oblasti pak platí rovnice [4, 5]:

$$G_{yy}(f) = |H(f)|^2 * G_{xx}(f) \quad (1)$$

$$G_{xy}(f) = H(f) * G_{xx}(f) \quad (2)$$

<sup>1</sup> Přenosovou funkci  $H(f)$  lze také vypočítat pro některé jednoduché modely teoreticky. Tak byly vypočteny teoretické modely SISO pro pístový tok a úplné míšení v údolních nádržích [1] nebo v čistírnách odpadních vod [2, 3].

$$|G_{xy}(f)| = |H(f)| * G_{xx}(f) \quad (3)$$

kde  $G_{xx}(f)$  je spektrum hodnot na přítoku,  
 $G_{yy}(f)$  spektrum hodnot na odtoku,  
 $G_{xy}(f)$  křížové spektrální spektrum hodnot  $x$  a  $y$ ,  
 $H(f)$  přenosová funkce (frequency response function).

Funkce  $G_{xy}(f)$  a  $H(f)$  jsou komplexní funkce, které lze vyjádřit v polárních souřadnicích (4) a (5)

$$G_{xy}(f) = |G_{xy}(f)| * \exp(-i * \theta_{xy}(f)) \quad (4)$$

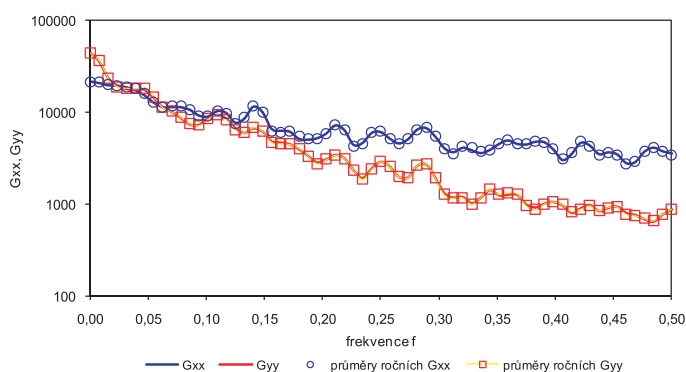
$$H(f) = |H(f)| * \exp(-i * \phi(f)) \quad (5)$$

Přitom platí rovnice (6):

$$\theta_{xy}(f) = \phi(f) \quad (6)$$

Rovnice (1) ukazuje míru redukce rozptylu hodnot na jednotlivých frekvencích a hodnoty  $\theta_{xy}(f)$  nebo  $\phi_{xy}(f)$  v rovnici (6) pak ukazují míru posunutí periodické složky s frekvencí  $f$  (změnu fáze) v důsledku průchodu lineárním systémem (v našem případě v důsledku zdržení v čistírně odpadních vod).

Uvedené spektrální funkce pro modely SISO byly u jedné z hodnocených čistíren odpadních vod vypočteny jak pro celé období let 2001–2007, tak pro jednotlivé roky tohoto období, a to pro centrované hodnoty ukazatelů RL a BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku z čistírny odpadních vod. Spektrum hodnot na přítoku  $G_{xx}$  a na odtoku z čistírny odpadních vod  $G_{yy}$  pro centrované hodnoty RL jsou uvedeny na obr. 1 a pro BSK<sub>5</sub> na obr. 2; hodnoty  $G_{xx}$  a  $G_{yy}$  jsou vyneseny v logaritmickém měřítku.



**Obr. 1.** Spektra centrováných RL na přítoku  $G_{xx}$  a odtoku  $G_{yy}$  za období 2001–2007 a průměry ročních  $G_{xx}$  a  $G_{yy}$

**Fig. 1.** The centred dissolved solids spectrums on inflow ( $G_{xx}$ ) and on outflow ( $G_{yy}$ ) in the 2001–2007 period and the means of annual spectrums  $G_{xx}$  and  $G_{yy}$

Z obr. 1 je zřejmé, že k redukci rozptylu u RL dochází především u vysokých frekvencí (což je pochopitelné), zatímco u nízkých frekvencí je redukce malá nebo nulová (na obr. 1 vychází až nepravděpodobně záporná). Přitom z měření vypočtený poměr rozptylu na odtoku ku rozptylu na přítoku u centrovanych hodnot RL v období 2001–2007 činil 0,7458.

Z obr. 2 je pak patrné, že rozptyl BSK<sub>5</sub> se celkově snížil zhruba o tři řády; vypočtený poměr rozptylů u centrovanych hodnot BSK<sub>5</sub> v období 2001–2007 činil 0,0011. Na tomto snížení rozptylu se vedle egalizačního účinku čistírny odpadních vod podílí také účinek čistícího procesu. Teoretická přenosová funkce (ať jde o pístový průtok, nebo jde o úplné míšení) na jednotlivých frekvencích závisí totiž na době zdržení v nádržích a na koeficientu deoxygenace.

Na obr. 3 je uveden průběh kvadrátu absolutní hodnoty přenosové funkce  $H(f)$  pro centrovane hodnoty BSK<sub>5</sub> v období 2001–2007, vypočtený z rovnice (1) jako poměr spektrálních hustot na odtoku a přítoku. Průběh kvadrátu absolutní hodnoty přenosové funkce  $H(f)$  pro centrovane hodnoty BSK<sub>5</sub> byl také vypočítán z průměrů ročních hodnot  $G_{yy}$  a  $G_{xx}$ .

### Časová oblast

V časové oblasti má diskrétní přenosová funkce pro případ jednoho vstupu a více vstupů (model označovaný jako MISO = multiple input single output) tvar

$$y_t = \frac{B_1(L)}{A(L)} * u_{1,t-\delta_1} + \dots + \frac{B_k(L)}{A(L)} * u_{k,t-\delta_k} + \frac{1}{C(L)} * e_t \quad (7)$$

kde  $y_t$  je výstup v čase  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, n$ ),  
 $u_{it}$   $i$ -tý vstup v čase  $t$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ),  
 $e_t$  nekorelovaná normálně rozdělená náhodná proměnná s nulovým průměrem a konstantním rozptylem v čase  $t$ ,  
 $A(L), B(L), C(L)$  polynomy řádu  $n, p, m$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ),  
 $L$  lag-operátory, např.  $Ly_t = y_{t-1}$

$$A(L) = 1 + a_1 L^1 + \dots + a_n L^n$$

$$B(L) = b_0 + b_1 L^1 + \dots + b_p L^p$$

$$C(L) = 1 + c_1 L^1 + \dots + c_m L^m$$

Přitom poslední člen v rovnici (7) je model šumu, ostatní členy jsou modelem systému.

Byly vypočteny modely SISO (single input single output) pro koncentrace BSK<sub>5</sub>, CHSK, RL, NL, N-NH<sub>4</sub>, N<sub>celk</sub> a P<sub>celk</sub> a také modely MISO pro uvedené koncentrace a množství odpadních vod na přítoku a uvedeně koncentrace na odtoku pro některé čistírny odpadních vod. Byl použit programovací balík CAPTAIN [6] v programovacím jazyku MATLAB. CAPTAIN umožňuje výpočet (časově neproměnné) přenosové funkce pomocí dvojice procedur RIVID/RIV nebo dynamické přenosové funkce pomocí dvojice procedur DTFMOPT/DTFM<sup>2</sup>.

Pro jednu z hodnocených čistíren odpadních vod jsme vypočetli modely SISO pro celé hodnocené období let 2001–2007 a pro jednotlivé roky tohoto období, a to pro centrovane hodnoty ukazatelů RL a BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku z čistírny odpadních vod. Rovnici (7) lze pro model SISO rozepsat na rovnici (8) a u RL platí pro  $N_t$  doplňková rovnice (9) a u BSK<sub>5</sub> doplňková rovnice (10) pro model šumu.

$$y_t = -a_1 * y_{t-1} + b_0 * u_t + N_t \quad (8)$$

$$N_t = -c_1 * N_{t-1} - c_2 * N_{t-2} + e_t \quad (9)$$

$$N_t = -c_1 * N_{t-1} - c_2 * N_{t-2} - c_3 * N_{t-3} + e_t \quad (10)$$

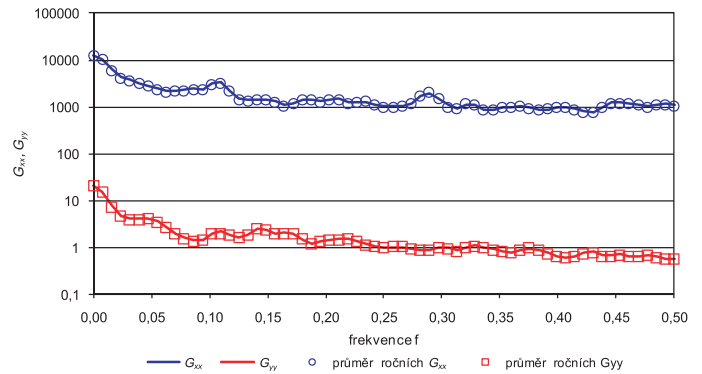
Součinitele v (časově neproměnných) přenosových funkcích, respektive v rovnicích (8) a (9) pro centrovane hodnoty RL na přítoku a odtoku z čistírny odpadních vod, jsou uvedeny v tabulce 1. Součinitele v dynamických přenosových funkcích, respektive v dynamické formě rovnice (8), a v (časově neproměnné) rovnici (8) se od tabulky 1 příliš neliší.

Součinitele v (časově neproměnných) přenosových funkcích, respektive v rovnicích (8) a (10) pro centrovane hodnoty BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku z čistírny odpadních vod, jsou uvedeny v tabulce 2. Součinitele v dynamických přenosových funkcích, respektive v dynamické formě rovnice (8), a v (časově neproměnné) rovnici (10) jsou uvedeny v tabulce 3. Rozdíl mezi dynamickou a nedynamickou formou přenosové funkce je patrný hlavně z koeficientu determinace  $R^2$ .

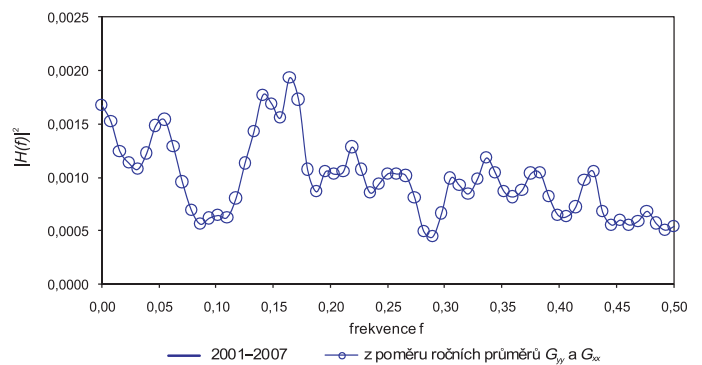
### Závěr

Náhodný proces (přítok odpadních vod na čistírnu odpadních vod) popisovaný ukazateli jakosti vody RL a BSK<sub>5</sub> není stacionární, jak je patrné z tabulky 4. Je přítomný trend zvyšování koncentrací (vlivem snižující se produkce specifického množství odpadních vod na obyvatele) a silné kolísání průměrných koncentrací a rozptylů v průběhu let. Trend byl ale v podstatě eliminován tím, že byly roční koncentrace centrovány (průměrné roční hodnoty byly

<sup>2</sup> Pokud je  $A(L) = 1$ , jde o regresní model s korelovanými rezidui a nemluvíme o modelu s přenosovou funkcí. Takový model se počítá pomocí procedur DLROPT/DLRO.



**Obr. 2.** Spektra centrovanych BSK<sub>5</sub> na přítoku  $G_{xx}$  a na odtoku  $G_{yy}$  za období 2001–2007 a roční průměry  $G_{xx}$  a  $G_{yy}$   
**Fig. 2.** The centred BOD spectrums on inflow ( $G_{xx}$ ) and on outflow ( $G_{yy}$ ) in the 2001–2007 period and the means of annual spectrums  $G_{xx}$  and  $G_{yy}$



**Obr. 3.**  $|H(f)|^2$  centrovanych hodnot BSK za období 2001–2007 a hodnoty vypočtené z ročních průměrů  $G_{xx}$  a  $G_{yy}$   
**Fig. 3.** The centred BOD  $|H(f)|^2$  in the 2001–2007 period and calculated one from annual means of  $G_{xx}$  and  $G_{yy}$

**Tabulka 1.** Součinitele v rovnici (8) a (9) pro centrovane hodnoty RL na přítoku a odtoku  
**Table 1.** The coefficients in equations 8 and 9 for centred dissolved solids on inflow and outflow

Rok	$a_1$	$b_0$	$c_1$	$c_2$	$R^2$
2001	-0,5626	0,4228	-0,2844	0,0287	0,6557
2002	-0,6929	0,2793	-0,2907	0,0378	0,5376
2003	-0,6589	0,2581	-0,4077	0,0187	0,4749
2004	-0,6666	0,3478	-0,3789	-0,0080	0,5549
2005	-0,6812	0,3926	-0,5126	-0,0869	0,5769
2006	-0,6857	0,3816	-0,3688	-0,1868	0,7327
2007	-0,6939	0,3437	-0,3364	-0,0839	0,6842
průměr	<b>-0,6631</b>	<b>0,3466</b>	<b>-0,3685</b>	<b>-0,0401</b>	<b>0,6024</b>
2001–2007	<b>-0,6772</b>	<b>0,3393</b>	<b>-0,3954</b>	<b>-0,0559</b>	<b>0,6233</b>

**Tabulka 2.** Součinitele v rovnici (8) a (10) pro centrovane hodnoty BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku  
**Table 2.** The coefficients in equations 8 and 10 for centred BOD on inflow and outflow

Rok	$a_1$	$b_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$	$R^2$
2001	-0,3970	0,0072	-0,4848	0,1093	-0,1926	0,2757
2002	-0,3635	0,0030	-0,3532	-0,0532	-0,0090	0,1574
2003	0,3914	0,0021	-0,5231	-0,1661	-0,0995	0,5152
2004	-0,8545	0,0022	-0,4197	-0,0369	-0,1033	0,3461
2005	-0,9851	0,0011	-0,4465	0,0624	-0,0749	0,3045
2006	-0,2137	0,0020	-0,3408	-0,2419	-0,0416	0,2769
2007	-0,1162	0,0028	-0,4972	0,0979	-0,1224	0,2313
průměr	<b>-0,3627</b>	<b>0,0029</b>	<b>-0,4379</b>	<b>-0,0505</b>	<b>-0,0919</b>	<b>0,3010</b>
2001–2007	<b>-0,4052</b>	<b>0,0030</b>	<b>-0,4434</b>	<b>-0,0432</b>	<b>-0,1117</b>	<b>0,2775</b>



**Tabulka 3.** Součinitele v rovnici (8) a (10) pro centrované hodnoty BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku pro dynamickou verzi přenosové funkce

**Table 3.** The coefficients in equations 8 and 10 for centred BOD on inflow and outflow for dynamic transfer functions

Rok	a <sub>1,prům</sub>	b <sub>0,prům</sub>	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	R <sup>2</sup>
2001	-0,3813	0,0063	-0,2046	-0,0449	-0,1845	0,2757
2002	-0,2802	0,0033	-0,3508	-0,0554	-0,0078	0,1574
2003	-0,6915	0,0004	-0,5077	-0,1885	-0,0765	0,5152
2004	-0,5828	0,0033	-0,4198	-0,0337	-0,1041	0,3461
2005	-0,7075	0,0020	-0,4531	-0,0683	-0,0934	0,3045
2006	-0,4508	0,0016	-0,3418	-0,2354	-0,0445	0,2769
2007	-0,4653	0,0020	-0,4984	0,0984	-0,1223	0,2313
průměr	<b>-0,5085</b>	<b>0,0027</b>	<b>-0,3966</b>	<b>-0,0754</b>	<b>-0,0904</b>	<b>0,3841</b>
2001–2007	<b>-0,3377</b>	<b>0,0040</b>	<b>-0,3909</b>	<b>-0,0679</b>	<b>-0,0955</b>	<b>0,4293</b>

nulové), což ovšem neovlivnilo kolísání ročních rozptylů. Spektra na přítoku a odtoku z ČOV a přenosové funkce proto v průběhu let poměrně dost kolísají. Průměrný spekter ze sedmi ročních hodnot se však v podstatě neliší od spekter pro celé období let 2001–2007<sup>3</sup>. Podobná je situace u přenosových funkcí.

Uvedené řešení je nutno považovat za první přiblížení, protože při řešení ve spektrální oblasti je třeba počítat se šumem (chybami měření a opominutím dalších ovlivňujících proměnných, jako je množství a teplota odpadních vod).

V časové oblasti parametry přenosových funkcí  $a$ ,  $b$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  a  $c_3$  ukazatele BSK<sub>5</sub> v průběhu let kolísají, ale průměr ze sedmi ročních hodnot parametrů přenosových funkcí se příliš neliší od parametrů přenosové funkce pro celé období 2001–2007. Parametry přenosových funkcí  $a$ ,  $b$ ,  $c_1$  a  $c_2$  ukazatele RL v průběhu let kolísají poměrně málo a průměr ze sedmi ročních hodnot se opět příliš neliší od parametrů přenosové funkce pro celé období 2001–2007. U ukazatele RL k největšímu kolísání dochází u parametrů modelu šumu (parametry  $c_1$  a  $c_2$ ).

## Literatura

- [1] Nesměrák, I. (1984) Egalizační a translační účinek údolních nádrží na jakost vody v tocích. *Vodohospodářský časopis*, 32, 5, 536–562.
- [2] Anděl, J. (1976) Statistická analýza časových řad. Praha: SNTL.
- [3] Novotny, V. and Englande, A. Jr. (1974) Equalization Design Techniques for Conservative Substances in Wastewater Treatment Systems. *Water Research*, vol. 8, No. 6, p. 325–334.
- [4] Brockwell, P.J. and Davis, R.A. (1996) Introduction to Time Series and Forecasting. New York: Springer.

<sup>3</sup> V tabulce 4 jsou v posledním řádku uvedeny průměry a rozptyly ročně centrováných koncentrací RL a BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku z ČOV za celé období 2001–2007. Malá difERENCE mezi průměrem sedmi ročních hodnot rozptylů a hodnotami pro celé období je dána tím, že v roce 2004 bylo 366 dní.

**Tabulka 4.** Roční průměry a roční rozptyly ukazatelů RL a BSK<sub>5</sub> na přítoku a odtoku z ČOV v letech 2002–2007, průměry těchto hodnot a průměry a rozptyly centrováných hodnot pro celé období 2001–2007

**Table 4.** The dissolved solids and BOD annual means and variances on inflow and outflow in 2001–2007, the means of these parameters and the means and variances in the 2001–2007 period

Rok	Roční průměry				Roční rozptyly			
	přítok		odtok		přítok		odtok	
	RL	BSK <sub>5</sub>	RL	BSK <sub>5</sub>	RL	BSK <sub>5</sub>	RL	BSK <sub>5</sub>
2001	711,4	194,1	763,2	5,10	16 022	4 818	11 594	11,44
2002	755,1	192,6	779,8	3,96	18 831	4 205	10 573	3,50
2003	766,8	220,2	816,9	4,54	19 123	7 329	9 570	4,62
2004	787,8	198,4	844,4	3,94	14 203	4 214	10 203	2,35
2005	790,3	202,0	865,0	4,56	19 907	4 013	20 892	6,21
2006	785,9	199,2	884,3	4,86	24 540	8 934	22 560	8,10
2007	853,8	231,5	941,2	4,47	49 733	5 443	35 693	5,67
průměr	778,7	205,4	842,1	4,49	23 194	5 565	17 298	5,98
2001–2007					23 190	5 564	17 295	5,98

- [5] Nesměrák, I. (1984) Analýza časových řad jakosti vody v tocích. Práce a studie, sešit 160, Praha: VÚV.
- [6] Pedregal, D.J., Taylor, C.J., and Young, P.C. (2004) System Identification, Time Series Analysis and Forecasting. The Captain Toolbox, CRES, Lancaster University, Lancaster, LA1 4YQ, United Kingdom.

Ing. Ivan Nesměrák  
Ivan.Nesmerak@seznam.cz  
Příspěvek prošel lektorským řízením.

*The Stochastic Assessment of the Wastewater Treatment Plant Operation (Nesměrák, I.)*

## Key words

wastewater treatment plant – time series – transfer function – time and spectral domain

**The water quality transformation in wastewater treatment plant may be assessed by the transfer functions (frequency response functions) in the time or spectral domain. The assessment bases are the water quality time series on the inflow and outflow from wastewater treatment plant or wastewater treatment plant stage. For some simple models the theoretical calculation of transfer function is possible.**

## VÝZKUM MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ ODPADŮ JAKO SUROVINOVÝCH A ENERGETICKÝCH ZDROJŮ

Robert Kořínek, Josef Valeš

### Klíčová slova

odpad – surovina – energie – palivo z odpadů

### Souhrn

Odpady v sobě skrývají významný surovinový i energetický potenciál. Využíváním jejich energetického obsahu v kombinaci s méně kvalitními složkami některých paliv můžeme nahrazovat cenné primární energetické suroviny a zároveň snižovat množství odpadů ukládaných na skládky odpadů, což je oblast, kde Česká republika neplní své závazky stanovené Plánem odpadového hospodářství. Cílem příspěvku je představit bilanci produkce a způsobů nakládání s vybranými druhy odpadů, produkci paliv z odpadů v České republice a výsledky laboratorních testů výroby směsných paliv z méně kvalitních fosilních paliv, biomasy a různých kvalitativně vhodných druhů odpadů. Zároveň je článek odpovědí na otázku, zda daná problematika nabízí dostatečný prostor pro výzkumnou činnost a zejména jaké jsou možnosti realizace v praxi.

### Úvod

Současná společnost si v přímé souvislosti s technickým rozvojem začíná uvědomovat stoupající důležitost problematiky ochrany životního prostředí.

Zvyšující se produkce odpadů spolu s úbytkem přírodních surovin nás postupem času přivedly na myšlenku, zda by nebylo vhodné některé odpady materiálově či energeticky využít. Složení odpadů je heterogenní a nabízí široké možnosti dalšího využití (Sezima et al., 2009).

Energetické využívání odpadů a náhrada primárních paliv odpady je jednou z celosvětově rozšířených možností jak využívat vznikající odpady (Kara, Gunay et al., 2011). Celá řada odpadů splňuje potřebné parametry z hlediska samotného technického procesu spalování i z hlediska elementárního složení jednotlivých odpadů (Fellner, Aschenbrenner et al., 2011; Wagland, Kilgallon et al., 2011). Další důležitou otázkou je pak produkce emisí vznikajících při spalování těchto paliv a následná ochrana životního prostředí (Rotter, Lehmann et al., 2011). Aby bylo energetické využívání odpadů efektivní, musí být splněny určité zákonitosti. V první řadě musí být pro výrobu paliv z odpadů dostupné dostatečné množství vhodných odpadů a následně musí být zajištěna kontinuální poptávka trhu po takto vyrobených palivech. v opačném případě by systém nemohl fungovat.

## Metodika

Pro tvorbu bilanci produkce a nakládání s vybranými druhy odpadů byl použit Katalog odpadů, který je stanoven ve vyhlášce MŽP ČR č. 381/2001 Sb., a systém ISOH (Informační systém odpadového hospodářství), který v současné době spravuje CENIA. Bilanční údaje o produkci paliv z odpadů pocházejí z dotazníků, které byly v průběhu řešení projektu rozesílány podnikům zabývajícím se výrobou těchto paliv.

Pro experimentální návrh receptur a laboratorní ověření směsných paliv byly zvoleny podle kritérií výhřevnosti a obsahu stopových prvků následující palivové složky:

- méně kvalitní hnědouhelná hmota – vzorky byly odebrány z lokalit těžební společnosti Czech Coal – Vršanská uhelná a Litvínovská uhelná, a.s.,
- černouhelné kaly – ultrajemné částice (úlety) vznikající při termickém sušení černouhelných kalů, vzorky byly odebrány ze sedimentační jímky na lokalitě dolu ČSM v OKR za Venturiho sušičkou,

- kaly z čištění odpadních vod (vápněné) – vzorky čistírenských kalů odebrány na Ústřední ČOV v Ostravě-Privoze,
  - bílý papírenský kal – odpadní látka vznikající při výrobě celulózy a papíru, vzorky odebrány v papírně Plattling v Německu,
  - pokrutina – odpadní zbytky po lisování semen olejnatých rostlin, produkce v ČR,
  - odpadní polyetylen tereftalát (PET) – obaly z průmyslových výrobků.
- Pro uvedené palivové složky byly provedeny vstupní, základní technologické rozbor kvality palivových složek, elementární rozbor a dále byly stanoveny obsahy stopových prvků v rozsahu dnes již zrušené vyhlášky MŽP č. 357/2002 Sb.

## Výsledky a diskuse

### Produkce vybraných druhů odpadů

Celková produkce vybraných druhů odpadů v České republice ve sledovaném období (2005–2010) se pohybovala mezi 5 840 a 6 380 tis. tunami vybraných druhů odpadů, což představuje 21–23 % z celkového množství všech produkovaných odpadů v České republice v jednotlivých letech ve sledovaném období. Produkce vybraných druhů odpadů v jednotlivých letech sledovaného období byla v podstatě stabilní, podobně jako produkce všech odpadů v České republice ve sledovaném období. Největší byla produkce vybraných druhů odpadů v roce 2008 (6 380 tis. tun).

Největší měrou se na celkové produkci vybraných druhů odpadů podílí *směsný komunální odpad (kód 20 03 01)*, jehož roční produkce se pohybuje v rozmezí 2 700–3 200 tis. tun, což představuje přibližně 50 % produkce ze všech vybraných druhů odpadů. Další významné odpady z hlediska produkce jsou papír, lepenka, papírové obaly, objemný odpad, plasty, plastové obaly, kaly z ČOV, septiků a žump, dřevo, rostlinná pletiva, odpady z lesnictví, kůra a korek.

### Nakládání s vybranými druhy odpadů

Způsoby nakládání s vybranými druhy odpadů byly zaměřeny na skládkování (kód D1) a spalování bez využití energie (kód D10). Tyto podmínky měly za cíl jednoznačně vybrat odpady, které jsou potencionálně vhodné k výrobě paliv z odpadů a zároveň jsou odstraňovány bez dalšího materiálového nebo energetického využití.

Skládkování (D1) – ve sledovaném období bylo na skládky ročně uloženo 3 380–3 710 tis. tun vybraných druhů odpadů, což z hlediska celkové produkce činí více než 50 % vybraných druhů odpadů a z hlediska celkové roční produkce všech odpadů v České republice se jedná přibližně o 13 %. Z dlouhodobých údajů je patrné, že dokonce docházelo k nárůstu vybraných druhů odpadů ukládaných na skládky, což je zcela v rozporu se strategií Plánu odpadového hospodářství České republiky, resp. se závazky České republiky vůči cílům stanoveným Evropskou unií.

Největší měrou byl skládkován *směsný komunální odpad (kód 20 03 01)*, kterého bylo ve sledovaném období ročně uloženo na skládkách 2 500 až 2 800 tis. tun. Toto množství představuje přibližně 75 % ze všech vybraných druhů odpadů, které byly uloženy na skládku.

Další významné odpady z hlediska skládkování jsou objemný odpad (v jednotlivých letech sledovaného období bylo skládkováno 320 až 470 tis. tun) a směsné obaly (v jednotlivých letech sledovaného období bylo skládkováno 170 až 200 tis. tun).

Spalování (D10) – z vybraných druhů odpadů byla jen minimální část spalována bez využití energie, množství spálených druhů odpadů pod kódem D10 nepřesáhlo 1 % z celkové produkce vybraných druhů odpadů. Souhrnný přehled produkcí ve sledovaném období a způsobů nakládání pod kódy D1 a D10 je znázorněn v *tabulce 1*.

**Tabulka 1.** Souhrnný přehled produkce vybraných druhů odpadů a způsobů nakládání ve sledovaném období [t]

**Table 1.** A summary of selected types of waste production and disposal methods in the period [t]

Rok	Produkce	Skládkování	%	Spalování	%	Ostatní	%
2005	6 222 962	3 386 927	54	38 572	1	2 797 463	45
2006	5 853 893	3 534 260	62	51 420	1	2 268 213	37
2007	5 838 532	3 614 568	62	17 659	1	2 206 305	37
2008	6 383 963	3 709 885	58	17 409	1	2 656 669	41
2009	6 342 527	3 645 934	57	17 960	1	3 627 974	42
2010	6 204 209	3 389 040	55	13 875	1	2 801 294	44

Zdroj: ISOH, Cenia

### Vývoj produkce paliv z odpadů ve sledovaném období

Řešení projektu probíhalo v úzké spolupráci s producenty paliv z odpadů v České republice. Z vyplněných dotazníků spolupracujících firem a z dalších dostupných podkladů byla vytvořena bilance produkce paliv, a to v rozmezí let 2005 až 2010. Souhrnné údaje jsou zpracovány v *tabulce 2*, kde je za-

**Tabulka 2.** Bilance produkce paliv z odpadů ve sledovaném období [tuny]  
**Table 2.** Balance of production of fuels from waste in the period [t]

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010
<b>Celkem</b>	52 738	53 316	62 707	61 650	46 200	63 610

Zdroj: dotazníky

chována anonymita jednotlivých producentů, a jsou tudíž uvedeny pouze souhrnné výsledky jednotlivých let.

V průběhu sledovaného období došlo nejprve k nárůstu množství produkovaných paliv z odpadů (o cca 17 % v rozmezí let 2005–2007). Poté následoval poměrně významný pokles (o cca 25 %). Tato skutečnost byla dána nutnými změnami producentů v technologických výroby vzhledem k nové legislativě z roku 2009 (vyhláška č. 13/2009 Sb., o stanovení požadavků na kvalitu paliv pro stacionární zdroje z hlediska ochrany ovzduší) a dopadům hospodářské krize na palivové a odpadové hospodářství. Na ceny těchto paliv měl význam rovněž tlak zahraničních firem dovážejících paliva z odpadů (Tomášek a Šťastná, 2008). V posledním roce sledovaného období byla produkce paliv nejvyšší v celém sledovaném období.

### Srovnání produkce vybraných druhů odpadů, způsobů nakládání a produkce paliv z odpadů

Z rozboru situace produkce a nakládání s vybranými druhy odpadů vyplynulo, že více než 50 % vybraných druhů odpadů, jež lze považovat za potencionálně vhodné pro výrobu paliv z odpadů, je skládkováno. Množství odpadů, které používají výrobci pro výrobu paliv, činí pouze 1–2 % z tohoto skládkovaného množství (výrobci potvrdili využívání vhodně separovaných odpadů původně určených pro skládkování). Je tak zcela evidentní, že potřebného množství vhodných odpadů pro výrobu paliv je v České republice dostatek a že tyto odpady nejsou využívány, ale pouze skládkovány. Situaci znázorňuje *tabulka 3*.

**Tabulka 3.** Srovnání produkce vybraných druhů odpadů, skládkování a produkce paliv z odpadů ve sledovaném období [tuny]

**Table 3.** Comparison of production of selected types of waste, landfills and fuels production from waste in the period [t]

Rok	Produkce	Skládkování	Produkce paliv
2005	6 222 962	3 386 927	52 738
2006	5 853 893	3 534 260	53 316
2007	5 838 532	3 614 568	62 707
2008	6 383 963	3 709 885	61 650
2009	6 342 527	3 645 934	46 200
2010	6 204 209	3 389 040	63 610

Zdroj: ISOH, dotazníky

### Trendy

V roce 2010 všichni producenti paliv z odpadů v České republice navýšili objem své výroby (celkem o 38 % ve srovnání s rokem 2009). Potvrdily se tak plány o rozšiřování kapacit uvedených v předchozích letech řešení projektu (Sezima, Kořínek et al., 2010). Významným činem v této oblasti pak byla investice 320 mil. Kč do rozšíření provozu jednoho z producentů. Nová linka by měla být schopna ročně vyrobit 70 tis. tun paliv z odpadů, což je více než dvojnásobné množství současné produkce.

Dalším pozitivním signálem v této oblasti je zahájení zkušebního provozu linky společnosti v Litvínově. Linka má kapacitu 20 000 tun paliva ročně, její pravidelný provoz bude zahájen v průběhu roku 2012.

Všechny firmy produkující paliva z odpadů by tak při stabilní produkci (a dostatečné odběratelské síle) mohly v následujících letech dosahovat celkové produkce nad 100 tis. tun TAP ročně (cca až 160 tis. tun).

### Návrh receptur směsných paliv, jejich výroba a laboratorní spalné zkoušky

Z vybraných palivových složek byl proveden teoretický návrh receptur směsných paliv a z údajů základních technologických rozborů propočteny očekávané parametry výhřevnosti a měrné sirtatosti. Nově vytvořená paliva jsou orientována na segment spotřeby malých a středních tepelných spotřebičů. Výhřevnost by měla dosahovat minimálně úrovně běžně používaných fosilních paliv a emise vznikající při jeho spalování musí vyhovovat platným legislativním předpisům o **ochraně ovzduší**. Pro navrhování, testování a ověřování receptur palivových směsí byly podle předem zvolených kritérií vybrány a aplikovány palivové složky, které reprezentují potenciální zdrojovou skupinu látek s energeticky významným a využitelným obsahem a nízkým podílem znečišťujících látek. Kritériem úspěšnosti návrhu receptury bylo dodržení limitovaných hodnot výhřevnosti v bezvodém stavu  $Q_d \geq 10$  MJ/kg a hodnoty měrné sirtatosti  $S'_{m} \leq 0,5$  g/MJ platných pro uhelné brikety podle vyhlášky MŽP

č. 13/2009 Sb. Přehled experimentálně použitých a ověřovaných palivových složek uvádí *tabulka 4*.

Všech 19 návrhů receptur splňuje kritérium výhřevnosti platné pro malé a střední stacionární spotřebiče  $Q_i^d > 12$  MJ/kg. Šestnáct receptur splňuje současně s výhřevností i kritérium měrné sirtatosti  $S'_m < 0,5$  g/MJ, jedna receptura vykazuje hraniční hodnotu. Podle navržených receptur byly připraveny vzorky pro ověřovací laboratorní spalovací testy. Laboratorní spalovací testy jsou důležitým ukazatelem zejména u těch receptur, kde se vypočtená hodnota měrné sirtatosti přibližuje limitní hodnotě  $S'_m = 0,50$  g/MJ.

Pro přípravu vzorků laboratorních spalovacích testů bylo vybráno osm receptur podle teoreticky propočtených hodnot měrné sirtatosti, a to receptury s nejnižšími hodnotami  $S'_m$ . Teoreticky stanovené hodnoty  $S'_m$  vybraných receptur mají dostatečnou bezpečnost, aby byly eliminovány nepříjemnosti vznikající při přípravě laboratorních směsí mícháním palivových složek analytické zrnitosti. Každý vzorek byl analyzován vícekrát a následně byla použita průměrná hodnota ze všech stanovení.

Pro přípravu vzorků směsných paliv byl zvolen laboratorní briketovací lis s plochou, pevnou lisovací raznicí Kahl 14-175, který umožňuje vyrábět pelety ve vhodném zrnitostním rozsahu, podle zvolených lisovacích matric, které se liší průměrem lisovacích otvorů a délkou lisovacích kanálů. Princip lisování spočívá v tom, že lisovací směs je dávkována do vnitřního prostoru lisu, kde padá na plochou lisovací raznici, po které se otáčejí drážkovaná lisovací kola (stavitelná výška mezery mezi lisovacím kolem a lisovací raznicí). Materiál je zatlačován přes kónický náběh do volného prostoru lisovacích kanálů. Lisovací kanály jsou kónické a materiál je v nich postupně zhutňován. Potřebná míra zhutnění je dána celkovou velikostí vznikající třecí síly zhutňovaného materiálu o stěny lisovacího kanálu. Při použití lisovací raznice s větší délkou lisovacího kanálu lze dosáhnout většího zhutnění materiálu. Rozhodující roli má celková vlhkost lisovací směsi a zvolená délka lisovacího kanálu.

Vzorky palivových směsí připravené pro laboratorní ověření spalovacími testy jsou uvedeny v *tabulce 5*. Receptury jsou seřazeny podle teoreticky propočtené stoupající hodnoty měrné sirtatosti  $S'_m$ . Celková hmotnost připravovaného směsného vzorku palivové směsi podle dané receptury pro laboratorní spalovací zkoušku byla 100 g.

## Závěr

Podstatou uvedeného příspěvku bylo nastínit problematiku výroby paliv z odpadů z pohledu kapacitních možností producentů a samotné bilanční produkce potřebných odpadů na území České republiky. Zároveň je zde možno vyjádřit postoj k potřebnosti výzkumných činností v daném oboru.

Celková produkce vybraných druhů odpadů v České republice v jednotlivých letech sledovaného období se pohybovala mezi 5 840 a 6 380 tis. tunami vybraných druhů odpadů, což představuje 21–23 % z celkového množství všech produkovaných odpadů v České republice ve sledovaném období. Největší měrou se na celkové produkci vybraných druhů odpadů podílí směsný komunální odpad.

Ve sledovaném období bylo na skládky uloženo ročně přibližně 3 380 až 3 710 tis. tun vybraných druhů odpadů, což z hlediska celkové produkce činí více než 50 % vybraných druhů odpadů a z hlediska celkové roční produkce všech odpadů v České republice se jedná přibližně o 13 %. Z údajů je rovněž patrné, že v průběhu sledování docházelo k nárůstu vybraných druhů odpadů ukládaných na skládky, což je zcela v rozporu se strategií Plánu odpadového hospodářství, resp. závazky České republiky vůči cílům stanoveným Evropskou unií. Z vybraných druhů odpadů byla jen minimální část spalována bez využití energie.

V průběhu let sledování produkce paliv z odpadů došlo nejprve k jejím nárůstu a v roce 2009 pak k poměrně významnému poklesu. Producenti prováděli nutné změny v technologiích výroby vzhledem k nové legislativě a vyrovnávali se s dopady hospodářské krize na oblast odpadového a surovinového hospodářství. Významný vliv zde rovněž měli zahraniční dodavatelé paliv z odpadů,

**Tabulka 4.** Návrhy receptur směsných paliv a propočty limitních veličin podle vyhlášky MŽP č.13/2009 Sb.  
**Table 4.** Proposals of recipes blended fuels and limit values according to the calculations of the Ministry of Environment Decree No. 13/2009 Coll.

Číslo návrhu receptury, označení a hmotnostní poměry palivových složek	$W_t$	$S^d$	$S'$	$A^d$	$Q_i^d$	$Q'_i$	$S'_m$
	%	%	%	%	MJ/kg	MJ/kg	g/MJ
1. HU : PL – (50 : 50)	17,26	0,995	0,7903	25,68	17,26	14,28	0,5534
2. HU : PL – (40 : 60)	15,07	0,900	0,7644	21,82	17,89	15,20	0,5000
3. HU : PL – (30 : 70)	12,88	0,845	0,7362	17,95	18,52	16,14	0,4553
4. HU : PP – (50 : 50)	14,57	0,860	0,7347	nest.	20,13	17,20	0,4272
5. HU : SŘP – (50 : 50)	14,39	0,780	0,6685	nest.	21,76	18,65	0,3584
6. HU : SŘP – (60 : 40)	17,07	0,870	0,7215	32,42	20,23	16,78	0,4299
7. HU : PL : PK – (50 : 40 : 10)	21,70	0,903	0,7070	nest.	16,28	12,74	0,555
8. HU : PL : PK – (40 : 40 : 20)	23,96	0,731	0,5558	nest.	18,22	13,86	0,4010
9. ČUK : PL : COVV – (35 : 35 : 30)	22,30	0,882	0,6855	nest.	18,58	14,44	0,4747
10. HU : PL : PET – (40 : 40 : 20)	13,91	0,690	0,5940	20,61	18,41	15,85	0,3748
11. SŘP : PET : ČUK : COVV – (40 : 15 : 15 : 30)	13,50	0,626	0,5411	25,41	21,60	18,69	0,2895
12. HU : PL : PET – (50 : 35 : 15)	16,39	0,855	0,7144	24,78	17,66	15,23	0,4691
13. HU : PP : PK – (50 : 30 : 20)	24,53	0,792	0,5977	33,04	17,02	12,85	0,4651
14. HU : ČUK : PP – (50 : 30 : 20)	14,68	0,941	0,8030	33,27	20,74	17,70	0,4537
15. HU : ČUK : PET – (50 : 40 : 10)	14,70	0,920	0,7850	32,61	19,44	16,59	0,4732
16. PP : PK : PET – (45 : 40 : 15)	20,81	0,282	0,2233	18,72	19,46	15,41	0,1449
17. ČUK : COVV : PP : PET – (30 : 30 : 30 : 10)	20,36	0,754	0,6005	28,57	20,32	16,18	0,3711
18. ČUK : COVV : PL – (30 : 30 : 40)	22,55	0,878	0,6800	26,26	18,34	14,20	0,4789
19. ČUK : COVV : PL – (50 : 25 : 25)	18,59	0,865	0,7042	18,24	19,86	16,19	0,4350

Pozn.: Experimentálně použité palivové složky a jejich použité zkratky: HU – hnědé uhlí, PL – pokrutiny lisované, ČUK – černouhelný kal, COVV – kaly z čistírny odpadních vod, vápněné, PP – pokrutiny pyrolyzované, PET – odpadní polyetylenetereftalát, PK – papírenský kal bílý, SŘP – pyrolyzované semeno řepky olejky.

kteří konkurovali příznivou cenou svých produktů. V roce 2010 pak došlo k výraznému nárůstu produkce paliv a byla tak dosažena dokonce nejvyšší produkce v celém šestiletém sledovaném období.

Trendy vývoje produkce paliv z odpadů hovoří jasně ve prospěch rozvoje této oblasti. V závěru řešení projektu byly zaznamenány rozsáhlé investiční aktivity a došlo k výstavbě či rozšiřování výrobních linek. Teoretická kapacitní úroveň výrobci paliv z odpadů na území České republiky tak dosahuje hodnoty až 160 tis. tun těchto paliv. Spolupráce producentů při řešení tohoto výzkumného projektu je jasným dokladem evidentního zájmu o rozvoj této výrobní oblasti.

Porovnáním roční produkce odpadů potencionálně vhodných pro výrobu paliv z odpadů a produkce samotných vyrobených paliv vyšlo najevo, že kapacitní možnosti současných producentů jsou jen nepatrným podílem vzhledem k celkové produkci všech potencionálně vhodných odpadů (1–2 %). Surovinová základna pro výrobu dalších paliv z odpadů je na území České republiky skutečně velká.

Experimentální výsledky prokazují, že využívání odpadních látek s významným energetickým obsahem a nízkým podílem znečišťujících látek pro energetické účely je technicky realizovatelné. Vhodnou kombinací palivových složek, které tvoří skladbu směsných paliv, lze připravit výslednou briketovací směs, která bude vyhovovat legislativním požadavkům kladeným na pevná paliva pro výkonově malé a střední tepelné spotřebiče z hlediska ochrany ovzduší. Jejich výhřevnost dosahuje minimální úrovně běžně používaných fosilních paliv.

**Tabulka 5.** Vybrané receptury palivových směsí a jejich ověření laboratorními spalovacími testy  
**Table 5.** Selected recipes fuel mixture and combustion laboratory verification tests

Číslo receptury	Hmotnostní poměry směsi	Použité palivové složky	Teoreticky stanovené kvalitativní parametry směsi		Spalovacími testy určené kvalitativní parametry	
			$Q_i^d$	$S'_m$	$Q_i^d$	$S'_m$
			[MJ/kg]	[g/MJ]	[MJ/kg]	[g/MJ]
16	50 : 40 : 10	PP : PK : PET	19,46	0,1449	19,83	0,29
11	40 : 15 : 15 : 30	SŘP : PET : ČUK : COVV	21,60	0,2895	20,69	0,39
5	50 : 50 : 00	HU : SŘP	21,76	0,3584	25,68	0,29
17	30 : 30 : 30 : 10	ČUK : COVV : PP : PET	20,32	0,3711	18,09	0,42
10	40 : 40 : 20	HU : PL : PET	18,41	0,3748	20,56	0,36
8	40 : 40 : 20	HU : PL : PK	18,22	0,4010	18,55	0,39
4	50 : 50 : 00	HU : PP	17,20	0,4272	23,16	0,33
19	50 : 25 : 25	ČUK : COVV : PL	19,86	0,4350	17,36	0,45
3	30 : 70	HU : PL	18,52	0,4553	20,67	0,39
15	50 : 40 : 10	HU : CUK : PET	19,44	0,4732	21,22	0,31

Jedním ze směrů dalšího vývoje výzkumných aktivit této oblasti je zaměření se na směsný komunální odpad, objemný odpad a směsné obaly. Tyto odpady vykazují vysoké roční produkce a vysoké množství odpadů uložených na skládku. Je rovněž nutné i nadále se věnovat definicím základních pojmů a jasně vymezit legislativu pro výrobu paliv z odpadů a tu pak následně na úrovni odpadového hospodářství v ČR podporovat.

Jednou z cest, jak snižovat množství odpadů ukládaných na skládku a efektivně přispívat k šetření přírodních zdrojů a surovin, je využití odpadů za účelem výroby směsných paliv z odpadů. Potvrzují to jak výsledky bilanční, tak výsledky experimentální.

#### Poděkování

Projekt byl realizován za finanční podpory Ministerstva životního prostředí České republiky.

#### Literatura

- Sezima, T., Kořínek, R., Fečko, P., Kučerová, R., Sikora, E., and Valeš, J. (2009) Research in filed waste usage like a primary raw material resources. Annual report of VaV/SP/2f2/98/07, T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i., Prague.
- Kara, M., Gunay, E., Tabak, Y., Durgut, U., Yildiz, S., and Enc, V. (2011) Development of Refuse Derived Fuel for Cement Factories in Turkey. *Combustion Science and Technology*, vol. 183, 3, p. 203–219. ISSN 0010-2202.
- Fellner, J., Aschenbrenner, P., Cencic, O., and Rechberger, H. (2011) Determination of the biogenic and fossil organic matter content of refuse-derived fuels based on elementary analyses. *Waste Management & Research*, vol. 29, 2, p. 229–236. ISSN 0016-2361.
- Wagland, S.T., Kilgallon, P., Coveney, R., Garg, A., Smith, R., Longhurst, P.J., Pollard, S.J.T., and Simms, N. (2011) Comparison of coal/solid recovered fuel (SRF) with coal/refuse derived fuel (RDF) in a fluidised bed reactor. *Waste Management*, vol. 31, 6, p. 1176–1183. ISSN 0956-053X.
- Rotter, V.S., Lehmann, A., Marzi, T., Mohle, E., Schingnitz, D., and Hoffmann, G. (2011) New techniques for the characterization of refuse-derived fuels and solid recovered fuels. *Waste Management & Research*, vol. 29, 2, p. 229–236. ISSN 0734-242X.
- Vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů).

## Připravované semináře ve VÚV TGM

### Vývoj nástrojů včasného varování a reakce v oblasti ochrany povrchových vod – Navarro – dosavadní výsledky řešení

Odborný garant: RNDr. Přemysl Soldán, Ph.D.

Datum konání: 24. 10. 2012, 10:00 h

Místo konání: VÚV Ostrava

### Registr průmyslových zdrojů znečištění – část Nebezpečné látky: zdrojová data a změna jejich struktury v roce 2012

Odborný garant: Ing. Alena Kristová

Datum konání: 14. 11. 2012, 10:00 h

Místo konání: VÚV Ostrava

### Významná území s kulturně historickými hodnotami ohrožená přírodními a antropogenními vlivy – poznatky z řešení

Odborný garant: Ing. Miriam Dzuráková, Ing. Milena Forejtníková

Datum konání: 15. 11. 2012 13:00 h

Místo konání: VÚV Brno

Vyhláška Ministerstva životního prostředí ČR č. 357/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší.

Tomášek, M. a Štátná, J. (2008) Čeští výrobci alternativních paliv pod tlakem z Německa. *Odpady*, č. 9, s. 7–8. ISSN 1210-4922.

Sezima, T., Kořínek, R., Fečko, P., Kučerová, R., Sikora, E., and Valeš, J. (2010) Research in filed waste usage like a primary raw material resources. Annual report of VaV/SP/2f2/98/07, T. G. Masaryk Water Research Institute, p.r.i., Prague.

Ing. Robert Kořínek<sup>1</sup>, Ing. Josef Valeš<sup>2</sup>

<sup>1</sup>VÚV TGM, v.v.i., pobočka Ostrava, robert\_korinek@vuv.cz

<sup>2</sup>Výzkumný ústav pro hnědé uhlí, a. s., Most, vales@vuhc.cz

Příspěvek prošel lektorským řízením.

*Research of waste usage possibilities as raw materials and energy resources (Kořínek, R.; Valeš, J.)*

#### Key words

waste – raw material – energy – waste fuel

**Waste contains significant energy and raw material potential. Using waste energy capacity in combination with less-quality components of fuels in a proper way we can substitute rare raw and energy materials and at the same time reduce the amount of waste, which is available in landfills – in this field the Czech Republic doesn't sufficiently carry out the obligations prescribed in the Waste management plan.**

**The aim of the project is to present current problems of producing and treatment of some kinds of waste, utilization of waste for mixed fuels production in CR and the results of laboratory tests in the field of mixed fuels production from less-quality brown coal, biomass and different kinds of wastes with suitable quality. The article answers the question if there is a reason for further research and especially, if there are possibilities of realization of these ideas in practice.**

### Aktualizované základní referenční vrstvy DIBAVOD a jejich publikace a sdílení v prostředí internetu

Odborný garant: Ing. Viktor Levitus, Ing. Tomáš Fojtík

Datum konání: 22. 11. 2012, 14:00 h

Místo konání: VÚV Praha

### Informace o managementu projektu Společně využívané podzemní vody na česko-saském pomezí (Grace) 2007–2013

Odborný garant: Ing. Marie Kalinová

Datum konání: 22. 11. 2012, 14:00 h

Místo konání: VÚV Praha

**Kontakt:** Pavel Polka

Pavel\_Polka@vuv.cz, tel. 220 197 350

Redakce

**VTEI** VODOHOSPODÁŘSKÉ  
TECHNICKO-EKONOMICKÉ INFORMACE

Water Management Technical and Economical Information

Odborný dvouměsíčník specializovaný na výzkum v oblasti vodního hospodářství

**Redakční rada:** RNDr. D. Baudišová, Ph.D., Ing. Š. Blažková, DrSc., Ing. P. Bouška, Ph.D., prof. Ing. A. Grünwald, CSc., doc. Ing. A. Havlík, CSc., prof. Ing. P. Pitter, DrSc., prof. RNDr. A. Sládečková, CSc., prof. Ing. J. Jezulák, DrSc.

Ročník 54

ISSN 0322 - 8916  
MK ČR 6365

**VÚV**  
**TGM**

Výzkumný ústav vodohospodářský  
T. G. Masaryka, v.v.i.  
Podbabská 30  
160 00 Praha 6  
IČO 00020711

**Kontakt:** Mgr. S. Garciova  
tel.: 220 197 282, e-mail: garciova@vuv.cz