

# MONITORING PARAMETRŮ KVALITY VODY V MALÝCH VODNÍCH PLOCHÁCH S VYUŽITÍM DPZ

Markéta Horáková, Tomáš Brunclík

*Ústav environmentálního a chemického inženýrství, Fakulta chemicko-technologická,  
Univerzita Pardubice, Studentská 95, 532 10 Pardubice*

## Abstract

This study uses remote sensing as a tool for monitoring water quality parameters - primarily chlorophyll-a and transparency, which are examined in small water bodies in Pardubice and Hradec Kralove region. The aim is to create models of these parameters, which can be used for estimating and monitoring the parameters on water bodies in real time. Samples were collected from seven areas of water bodies around Pardubice and subsequently analysed in the laboratory. Remote sensing data, therefore Landsat 8 satellite images were evaluated by correlation. We investigated the relationship between satellite data and analytically measured concentrations of monitored parameters in order to create a model that is appropriate for evaluating the quality of water bodies.

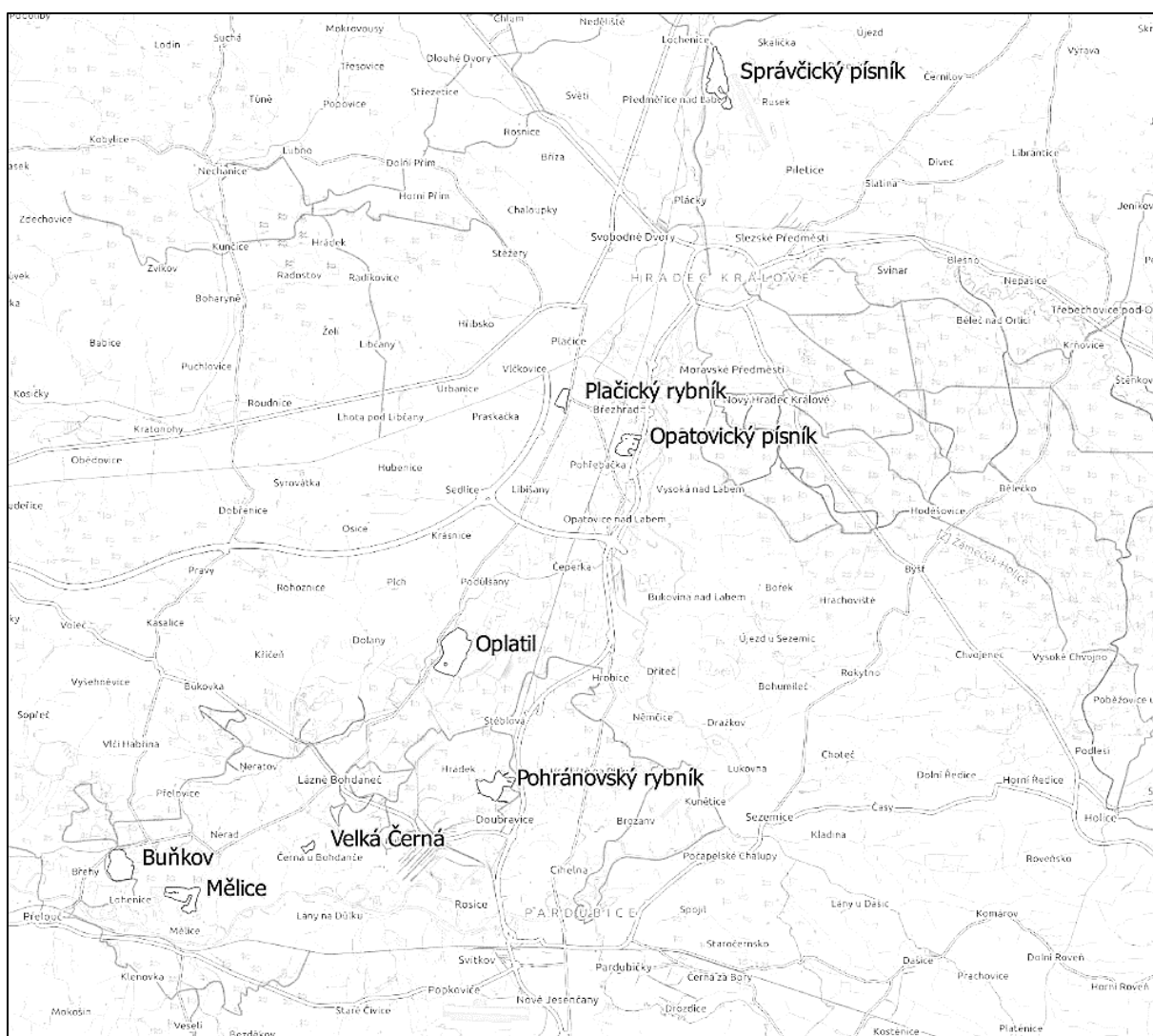
## Souhrn

Tato práce využívá dálkového průzkumu jako nástroje pro monitoring parametrů kvality vody, především chlorofyl-a a průhlednost, které jsou zkoumány v malých vodních plochách v Pardubickém a Hradeckém kraji. Cílem je vytvořit modely daných parametrů, které lze využít pro odhad a sledování parametrů ve vodních plochách v reálném čase. Vzorby byly odebrány ze sedmi vodních ploch v okolí Pardubic a následně byly analyzovány v laboratoři. Data DPZ, tedy družicové snímky Landsat 8, byly vyhodnoceny korelační analýzou. Zjišťován byl vztah mezi družicovými daty a analyticky naměřenými koncentracemi sledovaných parametrů za účelem vytvoření modelu, který je vhodný pro hodnocení kvality povrchových vod.

## 1. Úvod

Družicová data umožňují sledovat kvalitu vod (znečištění látkami<sup>1</sup>, teplotu<sup>2,3</sup>, zbarvení apod<sup>4,5</sup>.) Sběrem vzorků in-situ a jejich následnou analýzou v laboratoři lze zjistit parametry kvality vody v několika bodech vybraných vodních ploch a pomocí dálkového průzkumu Země tyto výsledky rozšířit na všechny vodní plochy, které jsou zachycené na družicovém snímku. Získáme tak mapy rozložení daného parametru ve vodních plochách<sup>6</sup>. Pro monitorování kvality povrchových vod se využívá celá řada senzorů, které jsou součástí družicových či leteckých

systemů<sup>7</sup>. Získané informace mohou využít státní organizace (např. Povodí Labe) či agentury pro ochranu životního prostředí, které by mohly díky vytvořeným modelům určit přibližnou koncentraci znečišťujících látek ve vodě. Metody by mohly být využívány krajskými hygienickými stanicemi, které podle vyhlášky č. 238/2011<sup>8</sup> musí před začátkem sezóny posoudit pravděpodobný výskyt sinic během letní sezóny. Předmětem zájmu v této práci jsou parametry kvality vody: chlorofyl-a a průhlednost ve vodních plochách poblíž Pardubic a Hradce Králové, které jsou využívány jako přírodní koupaliště a k chovu ryb. Průhlednost vody je důležitá i pro řadu živočichů při hledání potravy.



**Obrázek 1 - Sledované vodní plochy**

## **2. Experimentální část**

Vzorkování sledovaných vodních ploch probíhalo v terénu v den přeletu družice Landsat 8 nebo den po přeletu (výjimečně dva dny, v případě vzorkování ze dne 27.7.2013), s předpokladem jasného či polojasného počasí, viz Tabulka 1. V každém bodě, který byl zaznamenán pomocí GPS souřadnice, byl odebrán jeden vzorek. Během jednoho dne bylo odebráno maximálně 8 vzorků, které byly uchovány v chladicím boxu bez přístupu světla. Během vzorkování z nafukovacího člunu byla také měřena průhlednost pomocí Secchiho disku a teplota přenosným teploměrem.

**Tabulka 1 - Vzorkování**

Datum vzorkování	Počet vzorků	Den přeletu družice
23.4.2013	4	22.4.2013
29.7.2013	8	27.7.2013
12.8.2013	6	12.8.2013
21.5.2014	8	20.5.2014
21.4.2015	8	21.4.2015
17.7.2015	2	17.7.2015

Vzorky byly následně převezeny do laboratoře, kde byly určeny koncentrace sledovaných parametrů chlorofylu-a. Stanovení chlorofylu bylo provedeno extrakční metodou podle normy ČSN 10260<sup>9</sup>. Spektrofotometrické měření chlorofylu-a probíhalo od 490 nm do 760 nm a výsledná koncentrace chlorofylu-a byla vypočtena z rozdílu absorbancí změřených při 665 nm před okyselením a po okyselení extraktu při 750 nm. V tabulce č.2 jsou zaznamenány výsledky měření pro analýzu vzorku z 21.4.2015.

**Tabulka 2 – Analýza vzorku z 21.4.2015**

Vzorek	1	2	3	4	5	6	7	8
Chlorofyl [ug/l]	12.9	9.6	8.9	9.2	11.1	35.6	7.0	5.1
feopigmenty [ug/l]	15.5	23.8	13.4	15.7	11.9	48.4	5.0	4.8
Teplota[°C]	14.3	14.2	11.9	12.3	12.4	15.1	13.4	12.6
průhlednost[cm]	80	66	117	114	127	227	255	255
TOC [mg/l]	13.04	15.51	7.91	7.41	7.08	15.45	9.36	8.96
Vodní plochy	Pohránovský	Pohránovský	Oplatil	Oplatil	Oplatil	Buňkov	Mělice	Mělice

Pro zpracování satelitních snímků Landsat 8 byly využity programy QGIS a Grass GIS. Atmosféricky korigovaná data byla stažena z earthexplorer.usgs.gov, kde jsou zdarma na požádání. Využity byly snímky bez oblačnosti nebo mlžného oparu přes zkoumanou vodní plochu, které by následně zkreslily vypočtené hodnoty modelu. K vytvoření modelu daného parametru je třeba zpracovat satelitní snímek v Grass GIS (vytvoření snímku pouze volné hladiny, vyhlazení snímku pomocí průměrování dat 3x3 pixely atd.) a vyhodnotit korelace mezi družicovými daty a analyticky naměřenými koncentracemi chlorofylu-a a průhlednosti. Kvalita modelů byla hodnocena korelačním koeficientem R resp. Pearsonovým korelačním koeficientem (R<sup>2</sup>), dále Root Mean Square Error (RMSE) - střední kvadratickou chybou a normalizovanou efektivní chybou (NRMSE - Normalized Root Mean Square Error). K vyhodnocení modelů jednotlivých parametrů byly využity snímky Landsat 8 z let 2013 až 2015 a naměřená data z laboratorní analýzy ze 6 odběrů – 31 vzorků. Míra korelace byla hodnocena koeficientem determinace lineární závislosti mezi naměřenými hodnotami daného parametru a poměry jednotlivých kanálů Landsat.

### 3. Diskuze a výsledky

Byly vytvořeny grafy závislosti chlorofylu-a a průhlednosti na poměrech spektrálních kanálů. Korelační analýzou vybraných závislostí, byly vyhodnoceny nejlepší korelační modely. Nejvyšší korelace byly zaznamenány pro poměry kanálů L4/L2 a L2/L4, tj. z poměru kanálů v modré a červené oblasti viditelného spektra. Z osmi modelů byl vybrán pouze jeden model pro chlorofyl-a a průhlednost. Pro chlorofyl-a byl zvolen lineární model s korelací  $R^2 = 0,795$  s RMSE 1,21 ug/l a NRMSE 11 %. Výsledná rovnice pro chlorofyl-a je tedy:

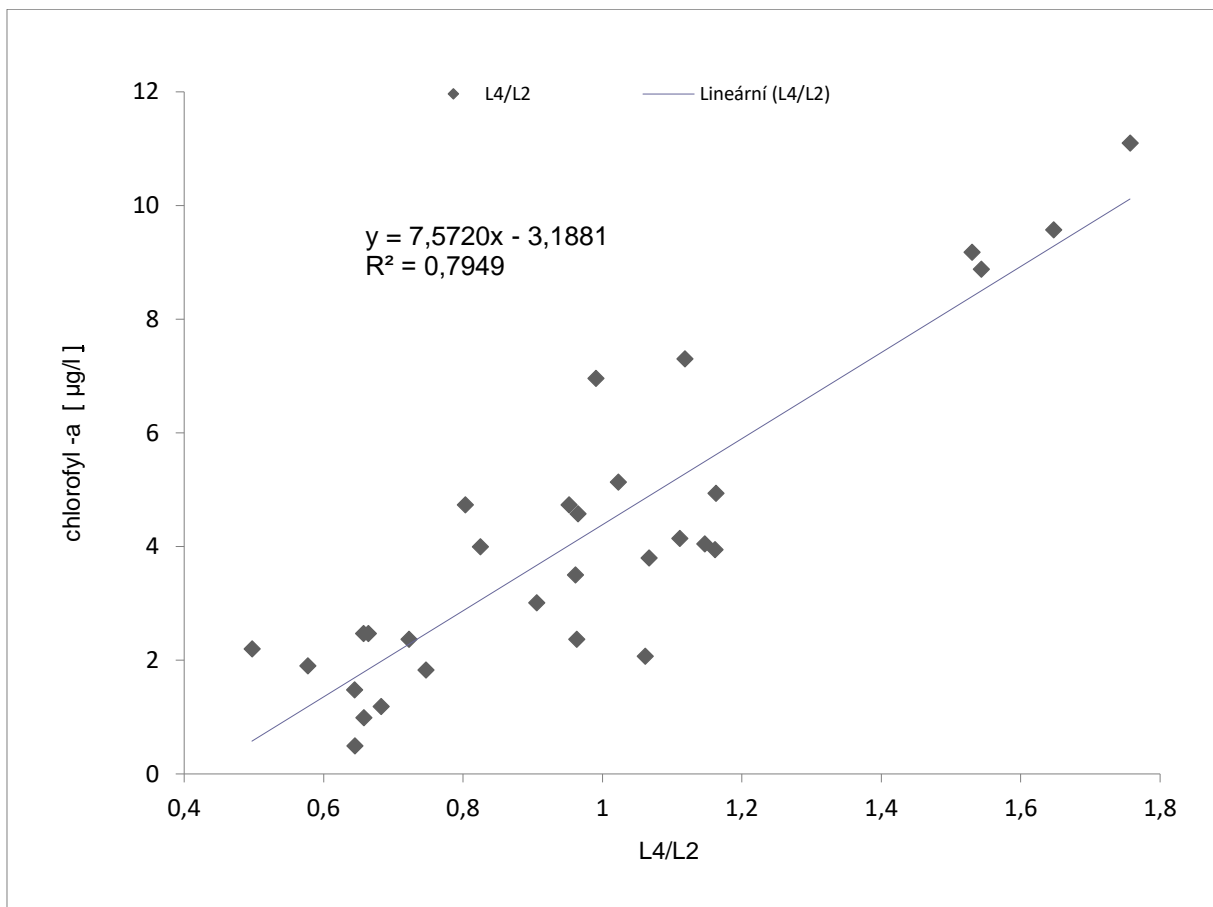
$$y = 7.5720x - 3.188$$

kde:

x..... poměr kanálů L4 / L2

y..... chlorofyl -a (ug/l)

**Graf 1 - Model chlorofylu-a z poměru pásem L4/L2**



U průhlednosti byl zvolen lineární model s korelací  $R^2 = 0,7769$  s RMSE 69 cm a NRMSE 14 %. Výsledná rovnice pro průhlednost je tedy:

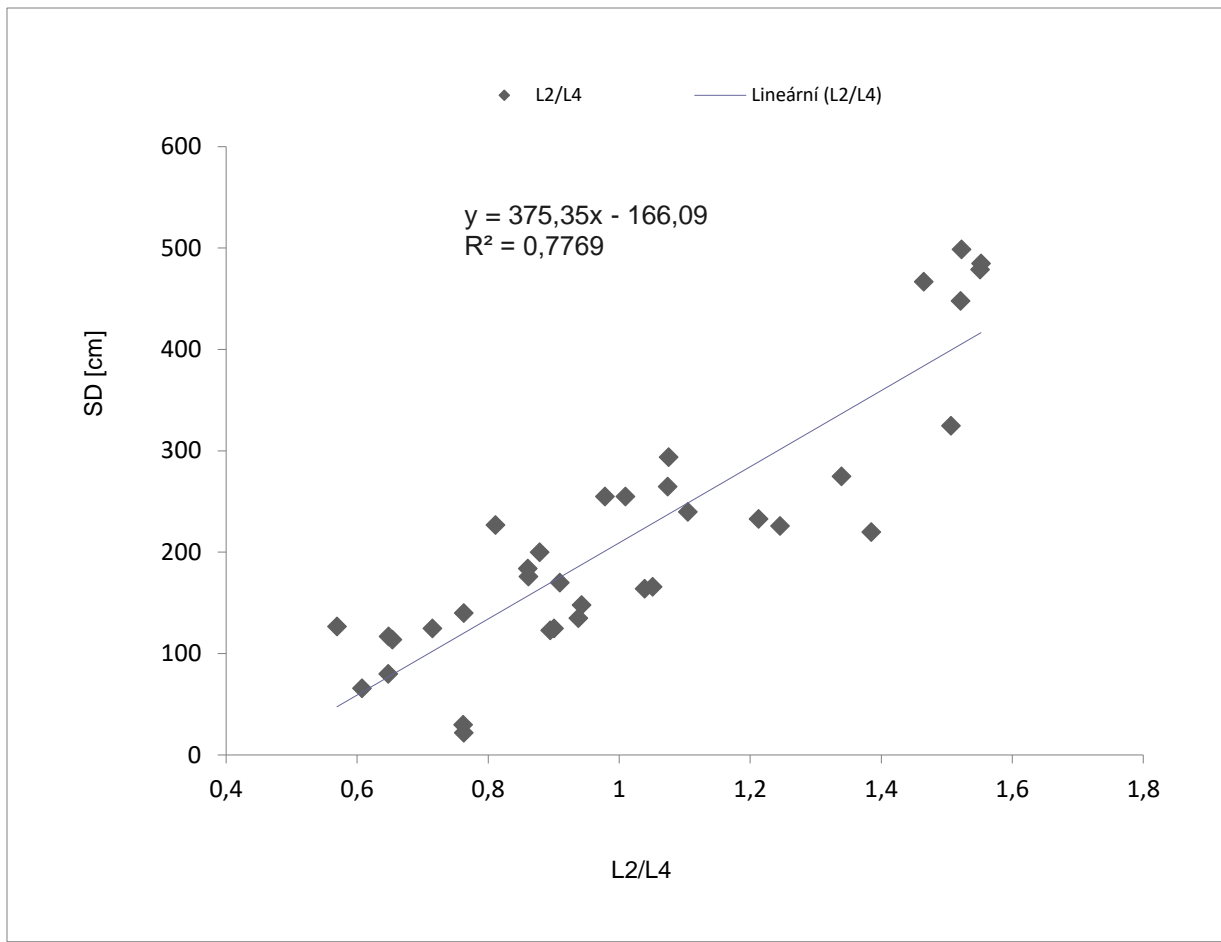
$$y = 375.35x - 166.09$$

kde:

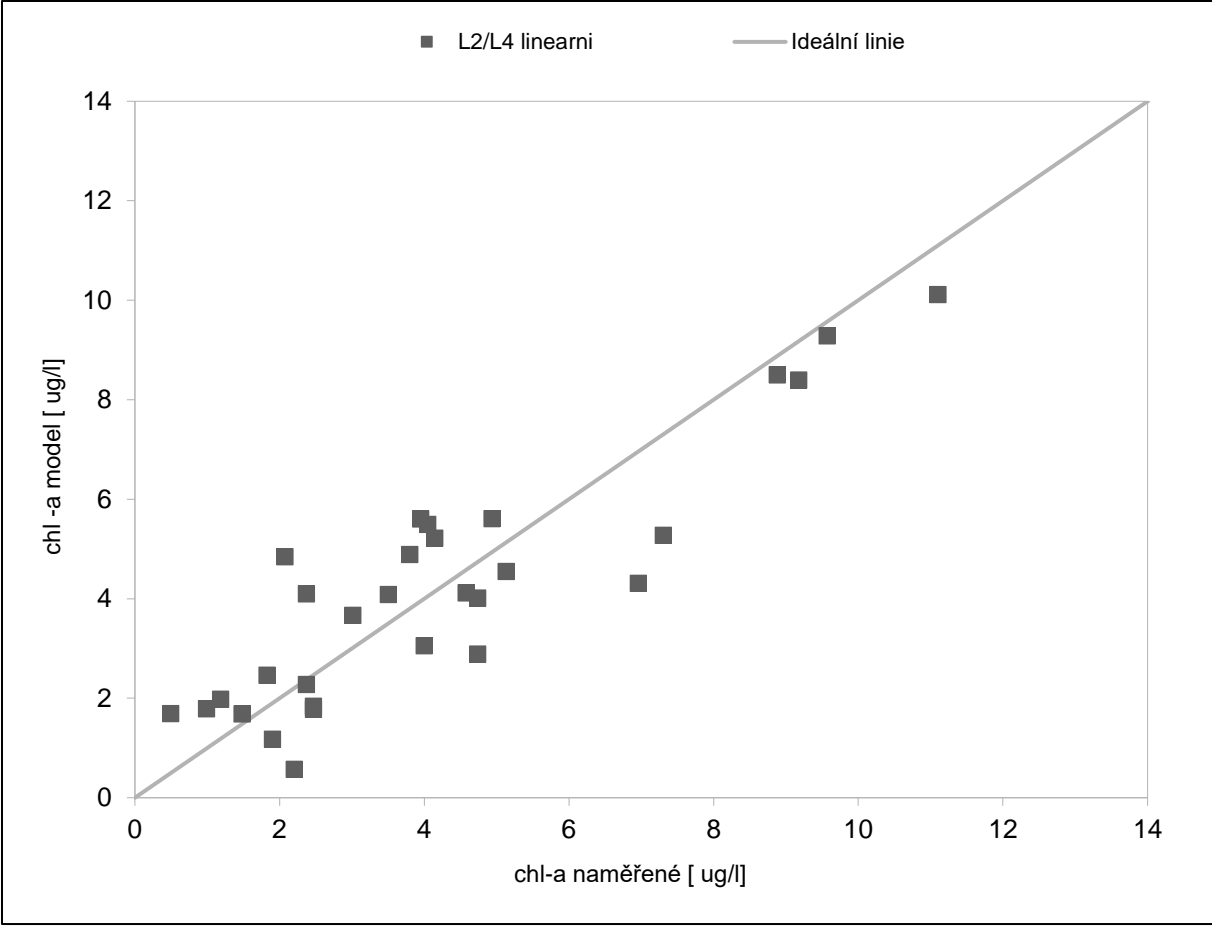
x.....poměr kanálů L2/L4

y.....průhlednost (cm)

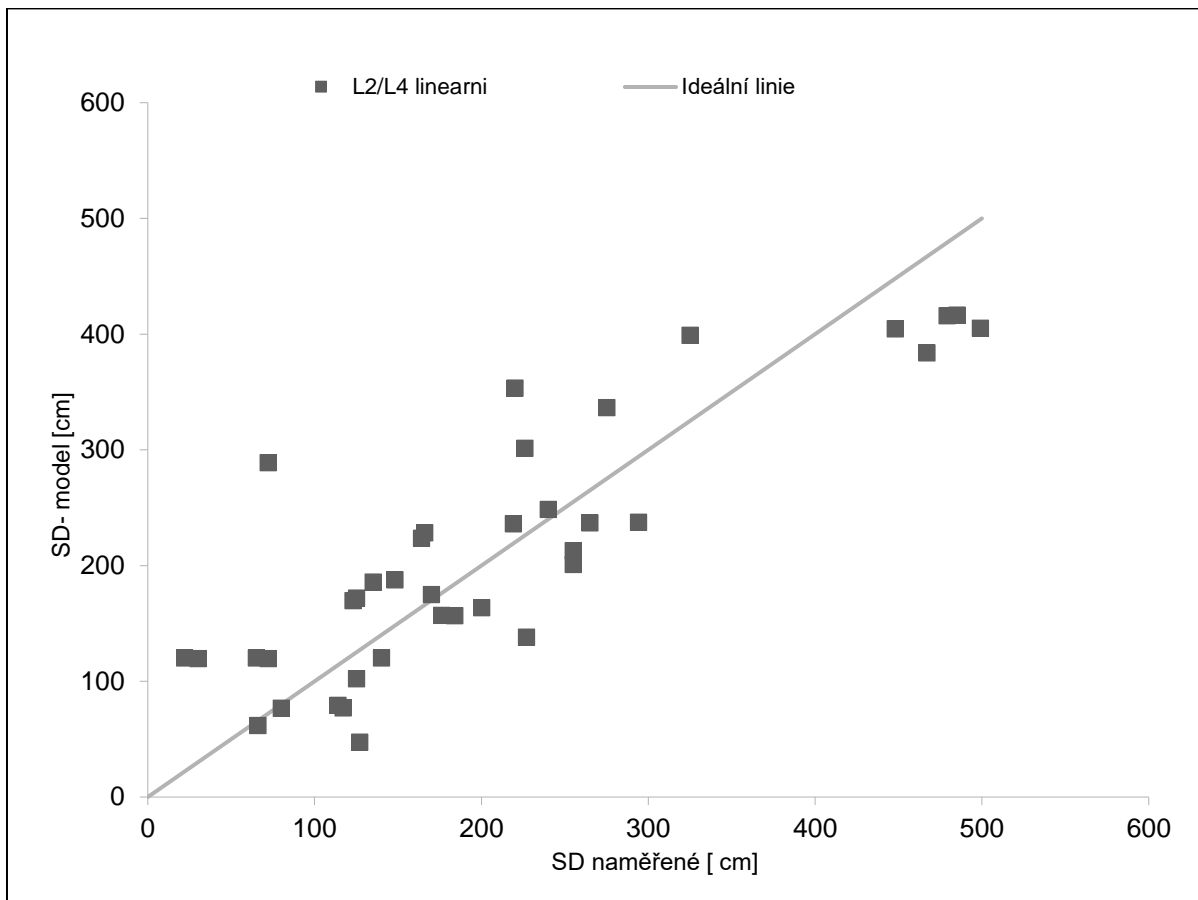
**Graf 2 - Model průhlednosti z poměru pásem L2/L4**



**Graf 2 - Naměřené vs. vypočítané hodnoty chlorofylu-a**

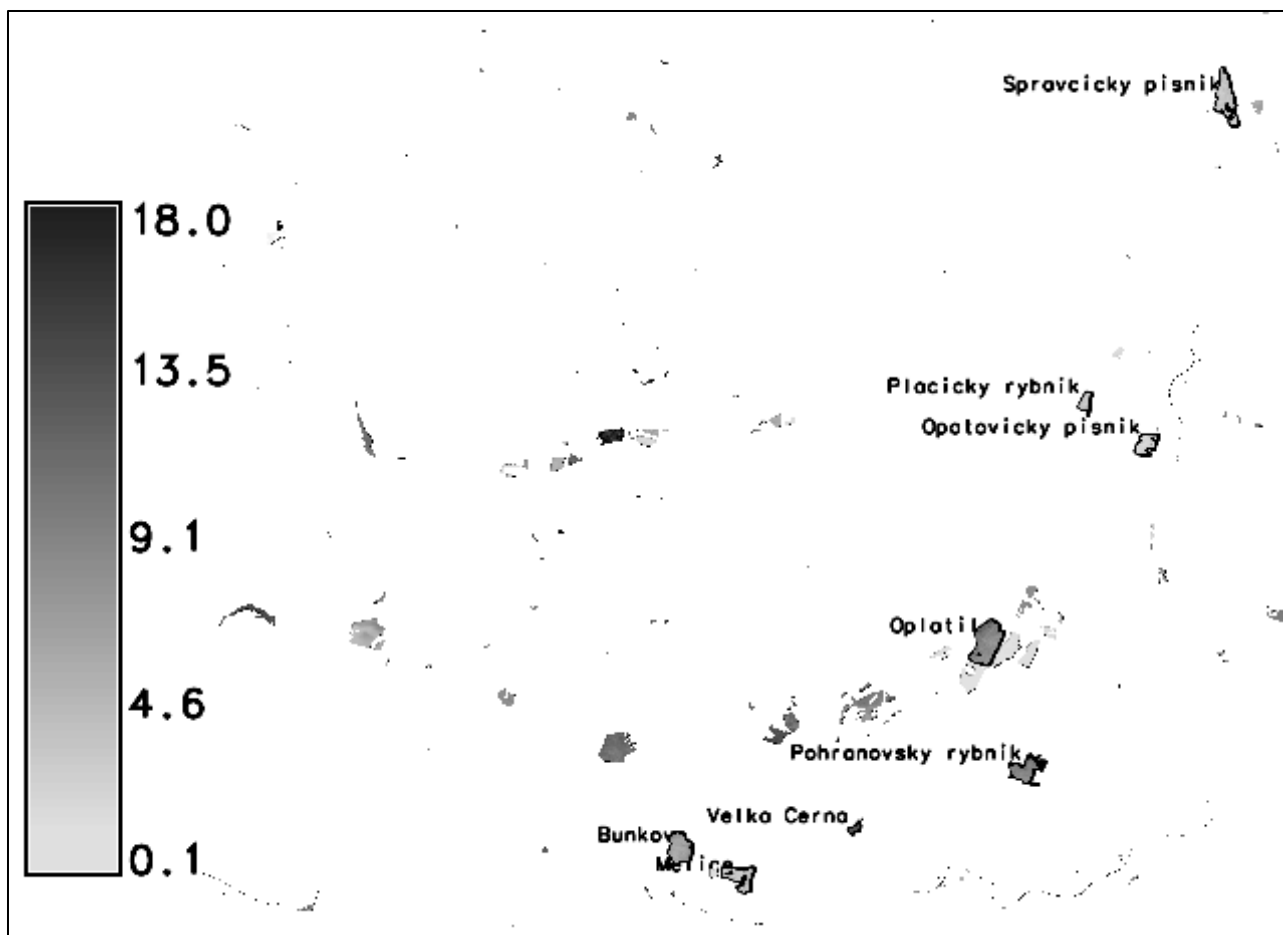


**Graf 3 - Naměřené vs. vypočtené hodnoty průhlednosti**

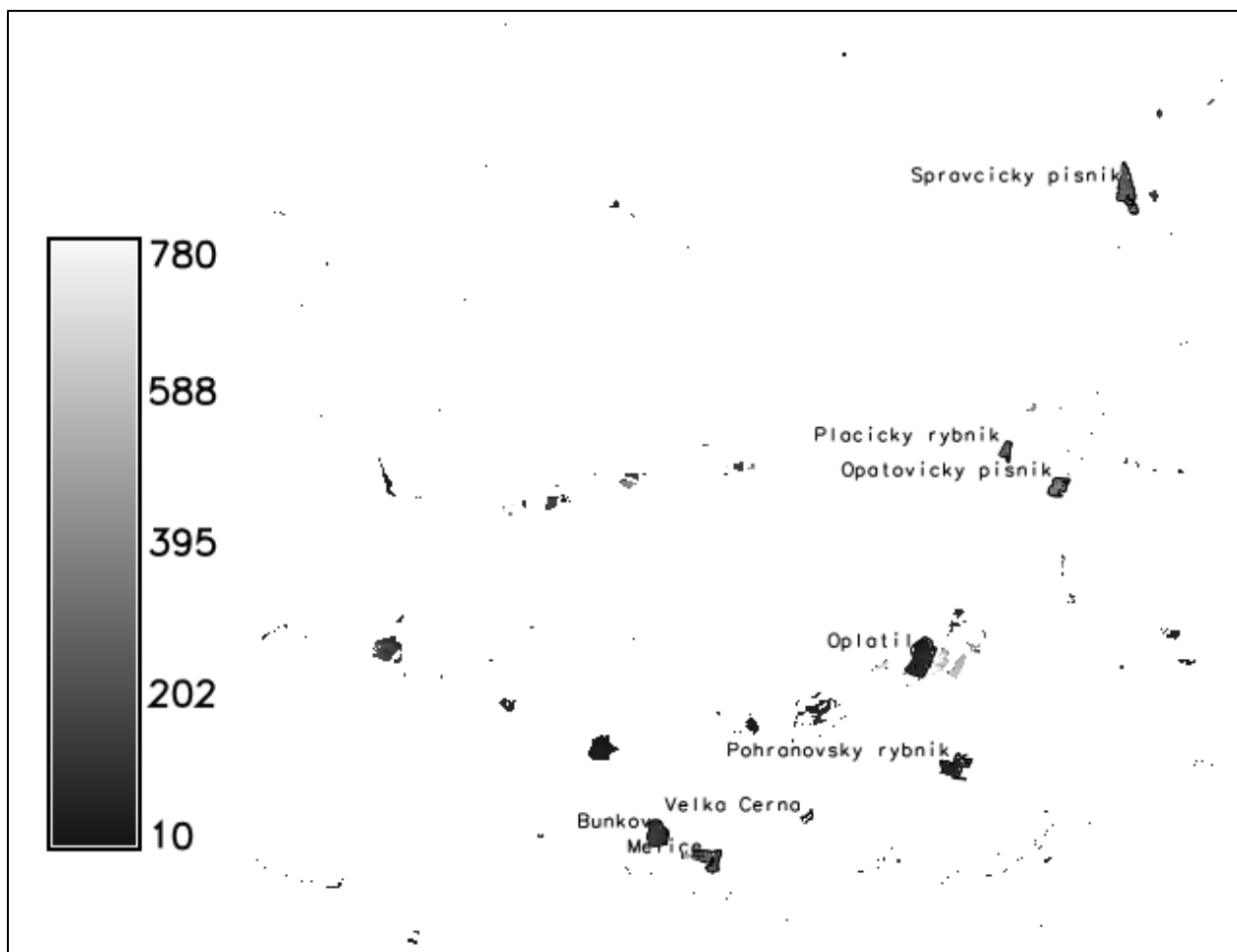


V programu QGIS byly následně vytvořeny nové vrstvy s vypočtenými koncentracemi chlorofylu-a a průhlednosti. Bylo vytvořeno mapové znázornění koncentrací chlorofylu-a, kde je rozsah koncentrace parametrů graficky znázorněn podle maximální a minimální naměřené koncentrace ve vzorcích z odběrových míst. Na výsledných mapových znázorněních jsou nejvyšší koncentrace chlorofylu-a vyznačeny tmavě černou barvou a bílo-šedou barvou nejnižší koncentrace chlorofylu-a. Chlorofyl-a je uveden v ug/l. Pro průhlednost byla zvolena stejná paleta barev, tmavě černá znázorňuje nejnižší naměřenou průhlednost a bílo-šedá nejvyšší naměřenou průhlednost. Parametr je uveden v cm.





Obrázek 2 - Mapové znázornění koncentrace chlorofylu-a ze dne 21. 4. 2015



**Obrázek 3 - Mapové znázornění průhlednosti ze dne 21. 4. 2015**

#### **4. Závěr**

Data dálkového průzkumu Země umožňují vytvořit mapu koncentrace daného parametru pomocí modelu, který byl vytvořen na základě dat z laboratorní analýzy. Vytvořený model lze využít k posouzení kvality vody pro zkoumané vodní plochy či vodní plochy v okolí zachycené na jakémkoliv snímku Landsat 8, i na snímcích ze dnů, kdy měření v terénu nebylo prováděno. Tímto způsobem lze také monitorovat těžko přístupné vodní plochy nebo chráněná území (např. rybník Matka). Výhodou je také možnost sledování velkého množství vodních ploch najednou, což by klasickou analýzou bylo časově i finančně neúnosné, nicméně přesnost této metody je nižší než u klasické analýzy odebraných vzorků. Vypočtené korelace pro chlorofyl-a a průhlednost dosáhly v této práci poměrně vysokých hodnot ve srovnání s některými jinými publikacemi<sup>2,3,5</sup>, nicméně další vylepšení modelů je možné zahrnutím budoucích terénních měření z většího množství vodních ploch. Navíc bude možné využít snímky z nové družice Sentinel-2 s vyšším prostorovým i spektrálním rozlišením. Modely

v této práci byly vytvořeny z časové série snímků, tudíž jsou časově nezávislé a dají se použít k odhadu koncentrací ze snímků, které budou nasnímány později či byly nasnímány před uvedeným vzorkováním. Se zvýšením množstvím vzorků bude možné i následné ověření modelu, proto probíhá další vzorkování a bude se v této práci pokračovat i v doktorském studiu.

## Literatura

1. **RITCHIE C., ZIMBA P., EVERITT J.** Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 69, 2004, 6.
2. **JORDAN, LUOHENG HAN and KAREN J.** Estimating and mapping chlorophyll-a concentration in Pensacola Bay, Florida using Landsat ETM+ data. *International Journal of Remote Sensing*. 2005, Sv. 26, 23.
3. **ZHANG Y., HONGTAO D. , ZHANG B.** Assessment of Chlorophyll-a Concentration for Lake Chagan Using Landsat TM and Field Spectral Data. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2007, Sv. 295, 129.
4. **OLMANSON L., BREZONIK P., BAUER M.** Evaluation of medium to low resolution satellite imagery for regional lake water quality assessments. *Water Resources*. 20011, Sv. 9, 47.
5. **BREZONIK P., MENKEN K.** Landsat-based Remote Sensing of Lake Water Quality Characteristics, Including Chlorophyll and CDOM. *Lake and Reservoir Management*. 2015, Sv. 4, 21.
6. **BRUNCLÍK, T.** *Informační systémy v ochraně životního prostředí*. Pardubice : Univerzita Pardubice, 2013. 978-80-7395-670-7.
7. **ROY D., WULDER M., LOVELAND T., WOODCOCK C., ALLEN R., ANDERSON M., KENNEDY R.** Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. 1., 2014, Sv. 154-171.
8. **Vyhláška č. 238/2011** - Vyhláška o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch. *Sbírka zákonů*. 2011. ISSN 1211-1244.

**9. ČSN ISO 10260, Jakost vod.** Měření biochemických ukazatelů. Spektrofotometrické stanovení koncentrace chlorofylu-a. 1996.