

ODHAD VELIKOSTI EFEKTIVNÍHO ZRNA ZEMIN METODOU EIS V POLNÍCH PODMÍNKÁCH

Zuzana Münsterová, Jana Pařílková, Milan Gomboš, Dana Pavelková

Granulometrické složení zemin popisuje míru rozložení jednotlivých frakcí částic nacházejících se v zemině. Spolu s dalšími charakteristikami určuje řadu fyzikálních, chemických a biologických parametrů v zemině, má vliv na infiltraci vody, poměr kapilárních a nekapilárních pórů, obsah i složení edafonu a další půdotvorné procesy. Příspěvek uvádí možnost provedení odhadu velikosti efektivního zrna zeminy metodou elektrické impedanční spektrometrie (EIS) při měření přístrojem Z-metr. Postup vychází z frekvenční analýzy vzorku zeminy realizované ve zvoleném frekvenčním spektru. Ze závislosti mezi měřicí frekvencí a velikostí efektivního zrna zeminy lze provést odhad velikosti efektivního zrna zeminy v polních podmínkách. Měření bylo realizováno v lokalitách Hornice, Jevíčko, Karolinka, Kobeřice, Žabčice a Pořany.

KLÍČOVÁ SLOVA: elektrická impedanční spektrometrie, efektivní zrno, přístroj Z-metr IV, sonda, zemina

THE ESTIMATE SIZE OF SOIL EFFECTIVE GRAIN BY EIS METHOD IN FIELD CONDITIONS. Granulometric composition describes the rate distribution of the individual fraction of particles that are found in soil. Together with other characteristics it determines a number of physical, chemical and biological parameters in the soil, it affects the infiltration of water, the ratio of capillary and non-capillary pores, the content and composition of edaphone and other soil-forming processes. This paper presents the possibility of estimating the effective grain size of the soil by the method of electrical impedance spectrometry (EIS) when measuring the Z-meter. The procedure is based on frequency analysis of the soil sample realized in the selected frequency spectrum. From the dependence between the measurement frequency and the effective grain size of the soil, an estimate of the effective grain size of the soil in the field conditions can be made. The measurements were carried out in the localities of Hornice, Jevíčko, Karolinka, Kobeřice, Žabčice and Pořany.

KEY WORDS: electrical impedance spectrometry, effective grain size, Z-meter IV device, probe, soil

Úvod

Zrnitost zemin je jednou z nejvýznamnějších charakteristik, které ovlivňují jejich fyzikální, chemické a biologické vlastnosti s dopadem na zpracovatelnost a využitelnost (Arshad, 1992). Ze zrnitosti zemin vychází jejich základní klasifikace, vztahují se k ní geotechnické a hydrologické vlastnosti. Zrnitost poskytuje popis zeminy založený na rozdělení minerálních zrn zeminy do jednotlivých frakcí. Zastoupení jednotlivých frakcí zrn v zemině ovlivňuje především zasakování vody do zeminy, odtok do podzemní vody a zastoupení pórů, což umožňuje i nepřímé zhodnocení vodního a vzdušného režimu zemin. Zeminy se klasifikují na základě

zastoupení jednotlivých frakcí (jíl, prach, písek, štěrk, kámen, balvan).

Základními zeminami jsou stejnozrné zeminy, které se skládají pouze z jedné velikosti nebo úzké frakce zrnitosti. Smíšené zeminy se skládají ze základních (převládající frakce v zemině, předurčuje inženýrské vlastnosti zemin) a druhotných (není určující, ale ovlivňují inženýrské vlastnosti zemin) frakcí.

Podle ČSN EN ISO 14688-1 se rozlišují jako základní skupiny zemin zeminy jemnozrné, písčité a štěrkovité. Jemnozrné zeminy jsou často označovány jako zeminy soudržné, písčité a štěrkovité zeminy jako zeminy nesoudržné. Samotnou skupinu tzv. zvláštních zemin tvoří zeminy organické, prosedavé a jiné druhy zvlášť-

ních zemin.

Základním rozlišujícím znakem zatřídění zemin je zrnitostní složení, plasticita, číslo křivosti a číslo nestejnozrnnosti. Pro mechanické zatřídění zemin existuje řada klasifikačních stupnic např. Kopeckého klasifikační stupnice, zjednodušená stupnice Spirhanzlova nebo Novákova stupnice. Moderní klasifikace zrnitosti zemin hodnotí vždy dvě zrnitostní kategorie a charakteristika zrnitosti se zjistí z grafu. Nejpoužívanějším je klasifikační trojúhelník USDA (Kutílek a kol., 2000), což je grafická klasifikace, kdy se druh zeminy určuje z průsečníku obsahů jednotlivých zrnitostních frakcí.

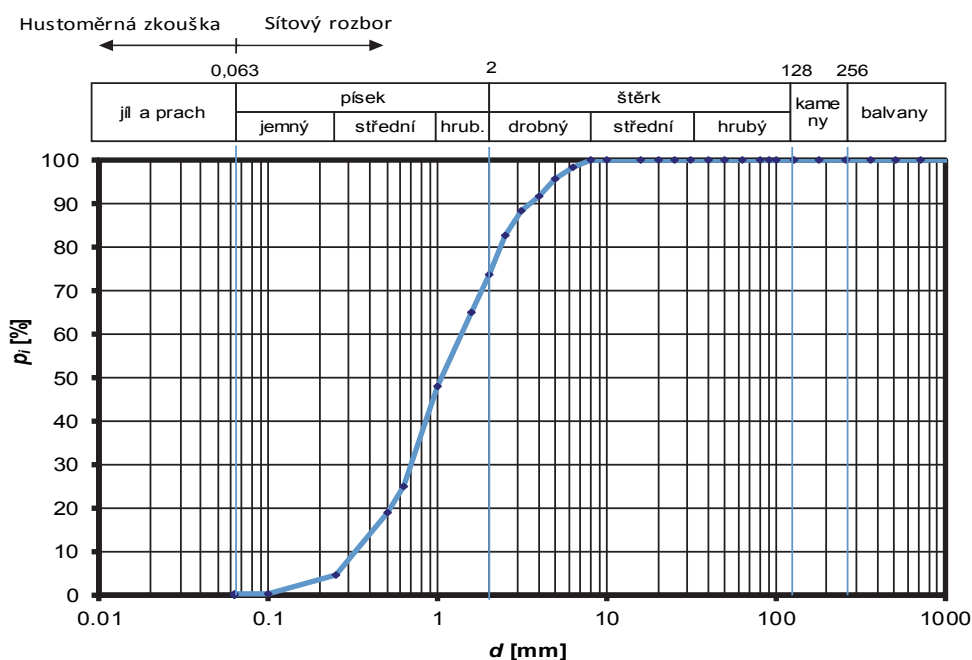
Zrnitost je základním kvantitativním znakem zemin graficky znázorněným zrnitostní (kumulační) křivkou (obr. 1), která slouží pro odhad hydraulické vodivosti, náchylnosti zeminy na promrzání, zhutnitelnosti zeminy, vhodnosti zeminy pro stavbu hrází apod. Podle ČSN EN ISO 14688-2 vyjadřuje zrnitostní křivka relativní četnost výskytu zrnitostních frakcí daných hmotnostním podílem p_i [%] na celkové hmotnosti zkoumaného vzorku zeminy. Zrnitostní křivka (Weiglová, 2007) se vynáší do semilogaritmického grafu, který se zobrazuje v kumulativní formě, kde na vodorovné ose jsou v logaritmické stupnici uvedeny průměry zrn d [mm] a na svislé ose jsou v lineární stupnici uvedena kumulativně hmotnostní procenta podílu částic vysušené zeminy. Průměry zrn se vynáší v logaritmické stupnici proto, aby bylo možné graficky stanovit vlastnosti zrnitostní křivky.

Ze součtové křivky lze určit tzv. efektivní zrno d_{ef} podle následujícího vztahu

$$d_{ef} = \frac{\sum d_i \cdot p_i}{\sum p_i} \quad (1)$$

kde d_i je logaritmické vyjádření střední velikosti částice a p_i je procentuální obsah uvažované frakce z celkové hmotnosti zkoumaného vzorku.

Zastoupení každé frakce v zemině se nejčastěji stanovuje proséváním nebo sedimentací či kombinací obou přístupů vlivem širokého zastoupení zrn v zemině (Petroš, 2013). Pro zeminy s procentuálním zastoupením jemné frakce menší než 10 % je vhodná metoda proséváním a pro zeminy s procentuálním zastoupením jemné frakce větší než 10 % je vhodné provádět rozbor kombinací prosévání a sedimentace. Prosévací zkouška se provádí normovou sadou kontrolních sít o čtvercových otvorech. Sedimentace je proces usazování zrn zeminy v kapalině. Oddělení zrnitostních skupin je umožněno rozdílnou rychlostí usazování. Z fyzikálního hlediska vycházejí tyto metody ze Stokesova usazovacího vztahu pro konečnou rychlost pádu kulových zrn určité velikosti v kapalině. Ke stanovení granulometrického složení zemin vyjádřeného zrnitostní křivkou se rovněž používají nepřímé měřicí metody, jako např. analýza obrazu z mikrosondy optického mikroskopu, analyzátor zrnitosti založený na adsorpci záření nebo akustického vlnění, spektroskopické metody typu nukleární magnetické rezonance, metody atomové spektrometrie, optická emisní spektroskopie, analýza chemismu jednotlivých zrn atd. Jednou z možných metod stanovení odhadu zrnitosti zemin je i metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) (Pařílková a kol., 2014).



Obr. 1. Zrnitostní křivka.

Fig. 1. Grain size curve.

Elektrická impedanční spektrometrie

Metoda elektrické impedanční spektrometrie (EIS) patří do skupiny nepřímých měřicích metod (Barbiero, 2008; Pařílková a kol, 2015), která představuje citlivý nástroj a experimentální techniku určenou ke stanovení parametrů sledovaného hydrodynamického jevu. Je založena na periodickém harmonickém budícím signálu malé amplitudy, která zabezpečuje minimální změny koncentrace u povrchu elektrody spojené s měřeným prostředím (Pařílková, 2010). Základním principem metody EIS je měření frekvenční charakteristiky elektrické impedance Z prostředí.

Elektrická impedance je komplexní veličina, která popisuje zdánlivý odpor pórovitého prostředí a fázový posuv elektrického napětí proti elektrickému proudu při průchodu harmonického střídavého elektrického proudu dané frekvence. Jestliže elektrický odpor R_x [Ω] rezistoru charakterizuje vlastnosti zeminy (např. obsah vody, pórovitost, vlhkost, obsah iontů, teplota apod.) v obvodu stejnosměrného proudu. Elektrická impedance Z [Ω] charakterizuje vlastnosti zemin v obvodech střídavého proudu (přístupují charakteristiky zemin, které lze nad rámec již uvedeného popsat zdánlivým odporem X_x [Ω], jako je např. textura, velikost zrn, ulehlost apod.).

Frekvenční charakteristiku elektrické impedance zemin Z lze vyjádřit ve složkovém tvaru

$$Z = R_x + j \cdot X_x \quad (2)$$

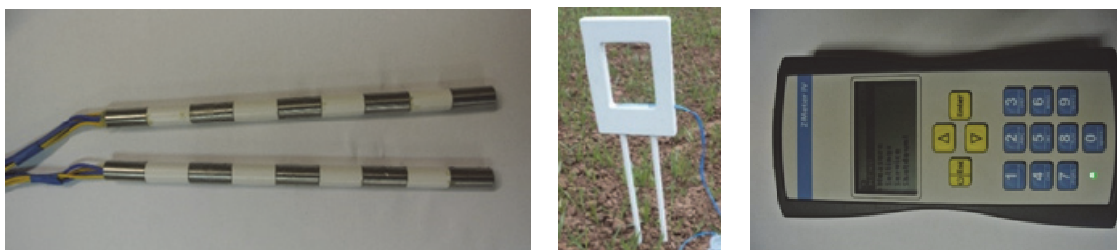
kde R_x [Ω] je rezistance tvořící reálnou část elektrické impedance (obecně je nezávislá na frekvenci) a X_x [Ω] je reaktance tvořící imaginární část elektrické impedance (mění se s frekvencí). Při vyjádření reaktance, která má v případě zemin převážně kapacitní charakter, je třeba vycházet z úhlové rychlosti ω [Hz], která je dána vztahem

$$\omega = 2\pi f_M \quad (3)$$

kde f_M [Hz] je měřicí frekvence.

Měření elektrické impedance zemin vychází z úvahy, že jsou do ní instalovány dvě elektrody, které tvoří vždy jeden snímač sondy EIS a jsou umístěny do vzájemné vzdálenosti l [m]. Elektroдами vymezený sledovaný prostor zemin má vždy charakter rezistoru, to znamená, že je přítomna reálná část elektrické impedance a imaginární část představuje zdánlivý odpor X_c [Ω], který má v zeminách charakter kapacitoru.

Pro stanovení odhadu velikosti efektivního zrna v polních podmínkách (Hornice, Jevíčko, Karolinka, Koberice, Žabčice a Pořany) byla použita aparatura s přístroji Z-metr III a IV (Pařílková, 2016), dělenými sondami a mobilní vidlicovou sondou (obr. 2), kde snímače tvořily dvě paralelní protilehlé trubčové elektrody z nerezavějící oceli. Délka a vnitřní průměr elektrod vycházely z požadavků lokality. Základní parametry použitých přístrojů Z-metr jsou uvedeny v tab. 1.



Obr. 2. Měřicí sondy a přístroj Z-metr IV.

Fig. 2. Measuring probes and Z-meter device.

Tabulka 1. Základní parametry měřicích přístrojů

Table 1. Basic technical parameters of Z-meter devices

Parametr	Z-metr III	Z-metr IV
Impedanční rozsah	100 Ω - 1 M Ω	10 Ω - 1 M Ω
Frekvenční rozsah	1 kHz – 100 kHz	100 Hz – 200 kHz
Úroveň napětí	1,0 V	0,2 V a 1,0 V
Přesnost měření modulu Z	± 2 % z rozsahu	± 2 % z rozsahu
Přesnost měření fáze	± 2 °	± 2 °
Komunikační rozhraní	USB, SD karta	USB, SD karta, Ethernet, Bluetooth
Počet měřicích míst	1, 8, 16, 32, 64, 128	1, 8, 16, 32, 64, 128, 256
Přepínač	interní, externí	interní, externí
Napájení	baterie	baterie

Experiment

Měření probíhalo v polních podmínkách na 5 lokalitách v České republice (ČR) – Hornice (obr. 3), Jevíčko (obr. 3), Karolinka (obr. 3), Kobeřice (obr. 4) a Žabčice (obr. 4), a na 1 lokalitě ve Slovenské republice (SR) – Poľany (obr. 4), kde byly měřeny zeminy s přirozenou vlhkostí.

Na lokalitách byl odebrán vzorek zeminy, ze kterého byl v laboratoři stanoven zrnitostní rozbor. Grafickým výstupem jsou křivky zrnitosti (obr. 5) jednotlivých lokalit. Ve SR byla stanovena zrnitost pomocí klasifikačního trojúhelníku USDA (obr. 6).

Na základě provedeného zrnitostního rozboru byly stanoveny hodnoty velikosti efektivního zrna zeminy, které jsou uvedeny v tab. 2.

Pro měření metodou EIS v polních podmínkách byla

použita párová měřicí sonda (obr. 2 vlevo) a mobilní vidlicová sonda (obr. 2 uprostřed). Párová měřicí sonda byla tvořena dvěma trubicemi s pravidelným rozložením měřicích elektrod a distančních izolačních prvků s celkem 5 snímači a volitelnou osovou vzdáleností (max. 2 m). Měřicí elektrody byly vyrobeny z trubic z nerezavějící oceli v délce 0,015 m a izolační prvky byly vyrobeny z PVC trubic o stejné délce. Mobilní vidlicová sonda byla konstruována jako párová tyčová s jedním snímačem tvořeným dvěma elektrodami, které byly vyrobeny z nerezavějící oceli o průměru 0,012 m, délce 0,040 m a osovou vzdáleností 0,060 m. Z důvodu snazší instalace sondy do zeminy byly elektrody zakončeny hroty.

Před zahájením experimentu v polních podmínkách byly pro metodu EIS nastaveny parametry měření uvedené v tab. 3.



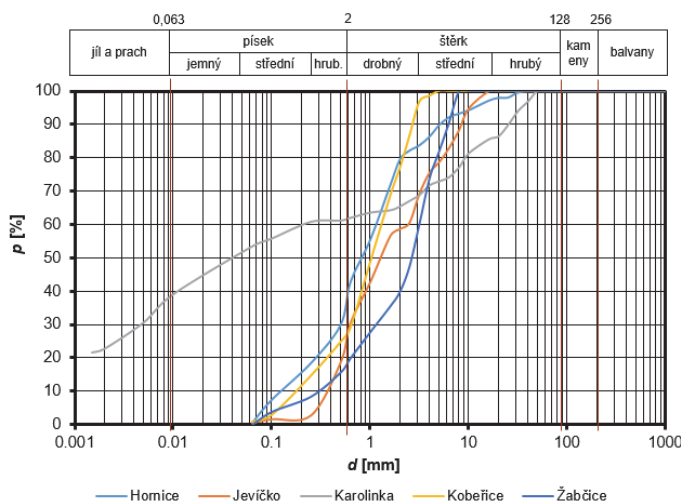
Obr. 3. Měření na lokalitách (Hornice – vlevo, Jevíčko – uprostřed a Karolinka – vpravo).

Fig. 3. Measuring at the locations (Hornice – left, Jevíčko – middle a Karolinka – right).



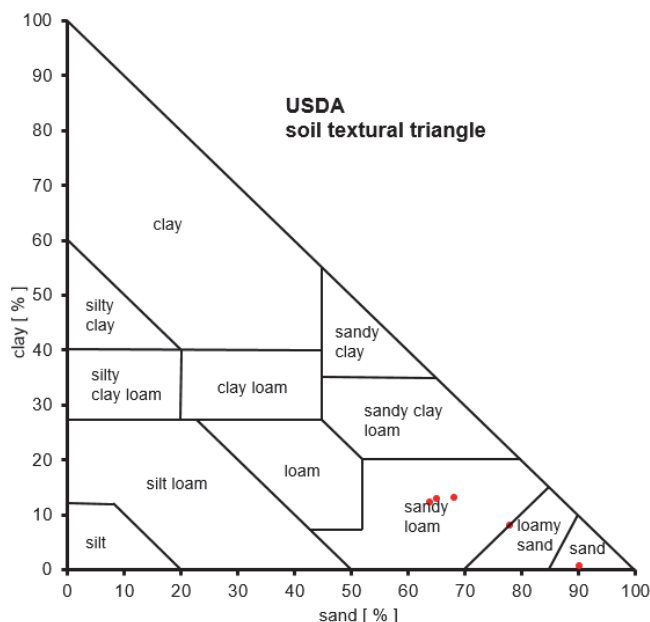
Obr. 4. Měření na lokalitách (Kobeřice – vlevo, Žabčice – uprostřed a Poľany – vpravo).

Fig. 4. Measuring at the locations (Kobeřice – left, Žabčice – middle a Poľany – right).



Obr. 5. Zrnitostní křivky.

Fig. 5. Grain size curves.



Obr. 6. Klasifikační trojúhelník USDA – Poľany.

Fig. 6. Classification triangle of USDA – Poľany.

Tabulka 2. Výsledky polního měření – velikost efektivního zrna

Table 2. Results of field measurement – effective grain size

Lokalita	Velikost ef. zrna	Lokalita	Velikost ef. zrna
Hornice	$d_{ef} = 2,2$ mm	Kobeřice	$d_{ef} = 1,3$ mm
Jevíčko	$d_{ef} = 3,0$ mm	Žabčice	$d_{ef} = 2,9$ mm
Karolinka	$d_{ef} = 0,9$ mm	Poľany	nestanoveno

Tabulka 3. Parametry přístroje Z-metr

Table 3. Parameters of Z-meter device

Režim měření	1 probe pair, frekvenční analýza	-	Doba vzorkování	200	ms
Počet kanálů	dle použité sondy na lokalitě	-	Prodleva mezi měřeními	10	ms
Měřicí frekvence	dle zeminy na lokalitě	Hz	Počet opakování měření	min. 1	-

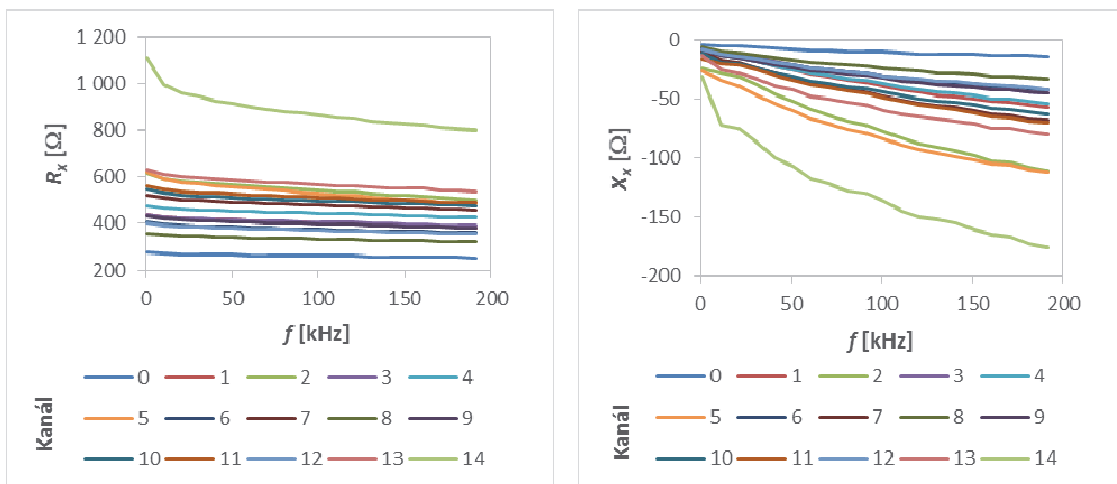
Výsledky polního měření

Naměřená data byla zpracována a vyhodnocena v programu MS Excel. Průběhy obou složek (reálné a imaginární) elektrické impedance zemin v závislosti na měřicí frekvenci byly pro každou měřenou lokalitu vyneseny do grafické podoby (obr. 7 – obr. 12).

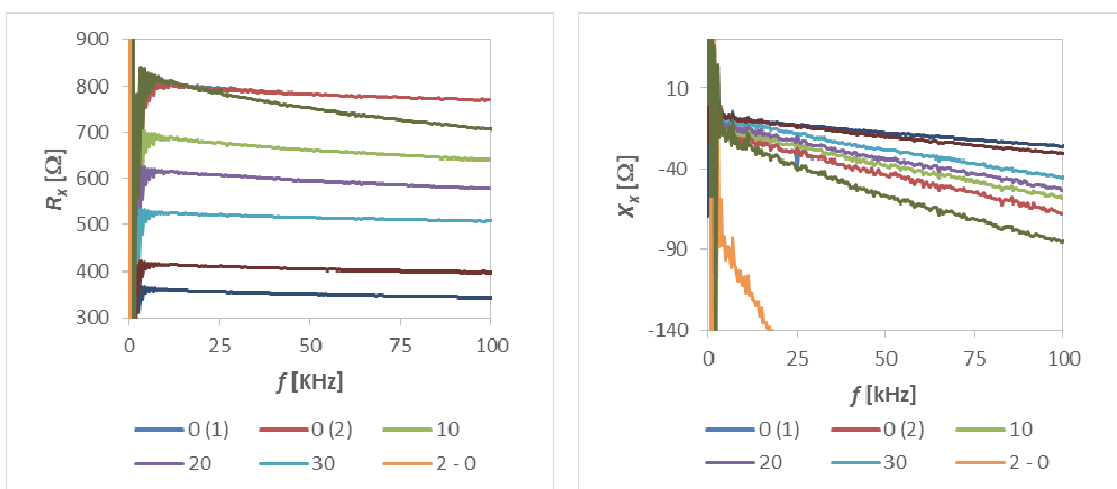
Před vyhodnocením frekvenčních analýz byla ze změřených datových souborů odstraněna data, která vykazovala výraznou odchylku od průběhu středních hodnot křivek stanovených frekvenční analýzou. Hranice pro odchylku byla navázána na přesnost použitého přístroje Z-metr při vyhodnoceném měřicím rozsahu (Ševčík, 2015).

Na základě provedení frekvenční analýzy zkoumaného

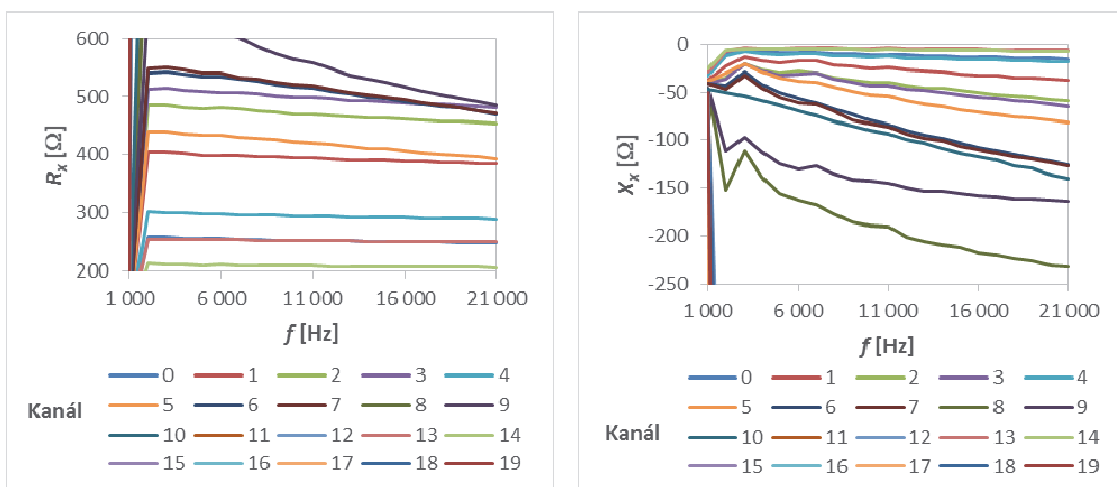
prostředí je možné pro jeho charakterizaci zvolit měřicí frekvenci f_M [Hz], při které je dosaženo maximální citlivosti měření. Měřicí frekvence byly stanovené komparací grafů, které znázorňují závislosti reálné a imaginární složky elektrické impedance zkoumaného prostředí na frekvenci. Hodnota měřicí frekvence byla vyhodnocena z grafu odpovídajícímu přirozenému vlhkostnímu stavu dané lokality, ze záporných hodnot v místě s největší amplitudou průběhu reaktance. Tyto měřicí frekvence byly doplněné do již existujícího grafu (obr. 13), který znázorňuje závislost měřicí frekvence na velikosti efektivního zrna (Pařílková a kol., 2014). Na základě této křivky byl proveden odhad velikosti efektivního zrna pro danou zeminu (tab. 4) v polních podmínkách.



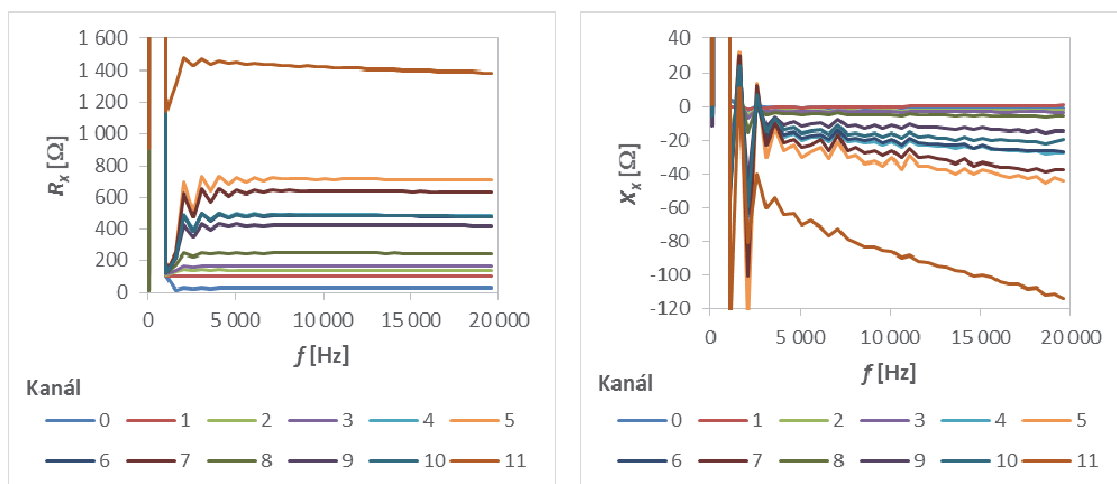
Obr. 7. Výsledky polního měření – Hornice (2 kHz).
Fig. 7. Results of field measurement – Hornice (2 kHz).



Obr. 8. Výsledky polního měření – Jevíčko (1,9 kHz).
Fig. 8. Results of field measurement – Jevíčko (1,9 kHz).

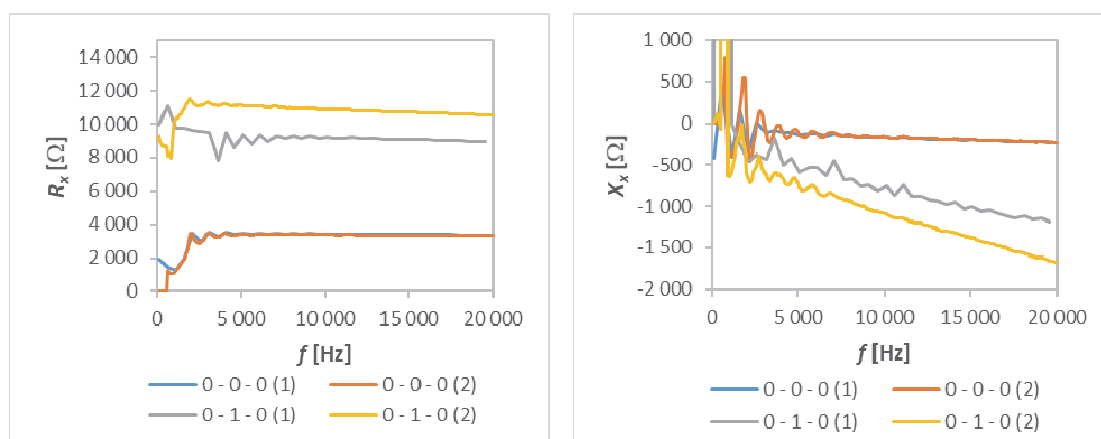


Obr. 9. Výsledky polního měření – Karolinka (proměnná s hloubkou, převládá 8 kHz).
Fig. 9. Results of field measurement – Karolinka (variable with deep, prevails 8 kHz).



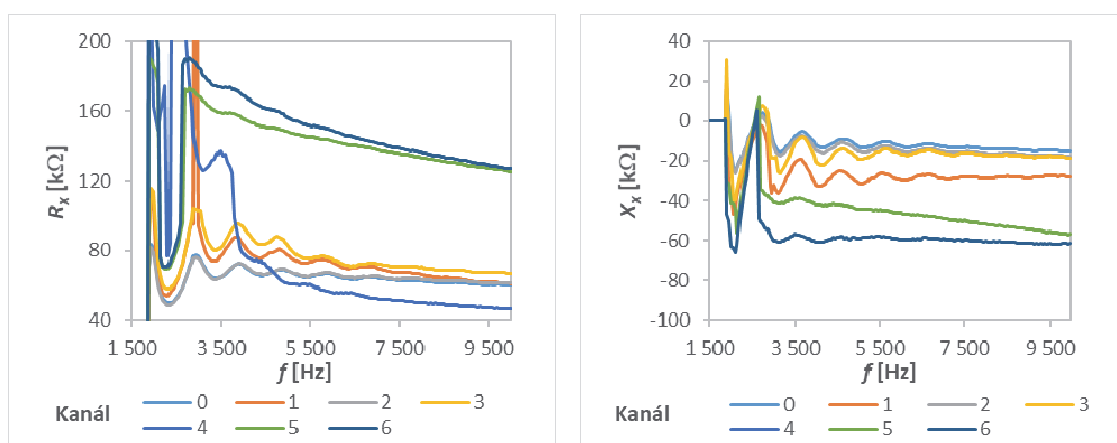
Obr. 10. Výsledky polního měření – Koberice (8 kHz).

Fig. 10. Results of field measurement – Koberice (8 kHz).



Obr. 11. Výsledky polního měření – Žabčice (2,2 kHz).

Fig. 11. Results of field measurement – Žabčice (2,2 kHz).

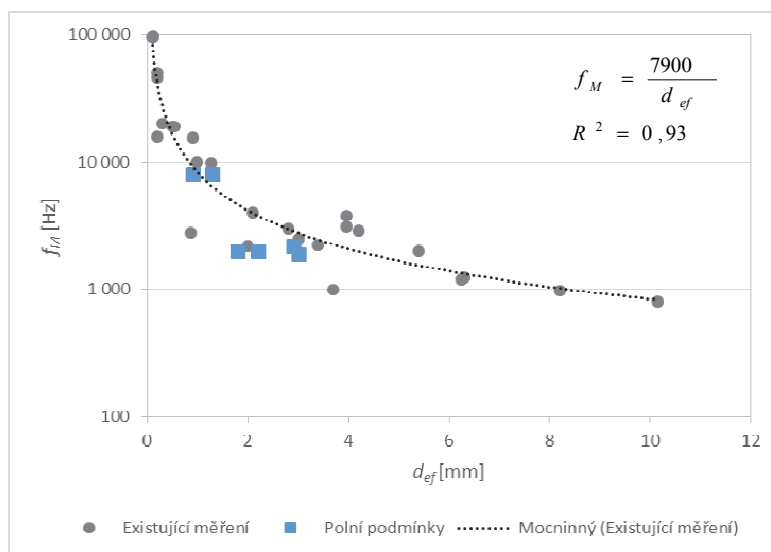


Obr. 12. Výsledky polního měření – Polany (2 kHz).

Fig. 12. Results of field measurement – Polany (2 kHz).

Tabulka 4. Výsledky polního měření – stanovení velikosti efektivního zrna
Table 4. Results of field measurement – determination of effective grain size

Lokalita	Měřicí frek.	Velikost ef. zrna	Lokalita	Měřicí frek.	Velikost ef. zrna
Hornice	$f_M = 2,0$ kHz	$d_{ef} = 2,2$ mm	Kobeřice	$f_M = 8,0$ kHz	$d_{ef} = 1,3$ mm
Jevíčko	$f_M = 1,9$ kHz	$d_{ef} = 3,0$ mm	Žabčice	$f_M = 2,2$ kHz	$d_{ef} = 2,9$ mm
Karolinka	$f_M = 8,0$ kHz	$d_{ef} = 0,9$ mm	Polány	$f_M = 2,0$ kHz	$d_{ef} = 1,8$ mm



Obr. 13. Závislost velikosti efektivního zrna na měřicí frekvenci.

Fig. 13. Relationship between the measuring frequency and the effective grain size.

Závěr

V polních podmínkách byly provedeny experimenty s použitím aparatury s měřicím přístrojem Z-metr, a to pro stanovení odhadu velikosti efektivního zrna zeminy. Měření byly zeminy s přirozenou vlhkostí. Pro odhad velikosti efektivního zrna zemin metodou EIS pomocí frekvenční analýzy je důležitý průběh frekvenčně závislé imaginární složky X elektrické impedance zemin Z . Průběh reálné složky R_x elektrické impedance zemin Z je z metrologického hlediska v ideálním případě ovlivněn minimálně, avšak fakticky vypovídá o stabilitě měřeného prostředí.

Ze stanovených grafů (obr. 7 – obr. 12) obou složek elektrické impedance zemin Z je určena měřicí frekvence f_M vhodná pro sledovanou zeminu charakterizovanou mimo jiné parametry velikostí efektivního zrna. Ze stanovené závislosti měřicí frekvence na velikosti efektivního zrna zeminy (obr. 13) vyplývá, že čím menší je průměr efektivního zrna zeminy, tím vyšší jsou hodnoty měřicí frekvence, a že s rostoucí velikostí efektivního zrna zeminy klesají hodnoty imaginární složky X elektrické impedance zemin Z .

Všechny provedené experimenty ukazují, že metodu EIS a měřicí aparaturu s přístrojem Z-metr lze využít pro odhad velikosti efektivního zrna zemin v polních

podmínkách. Za výhodu lze považovat možnost měření jednou sondou v různých hloubkách.

Poděkování

Príspevek byl vytvořen v rámci řešení projektu junior-ského specifického výzkumu FAST-J-16-3637 – Možnost stanovení zrnitosti zemin metodou EIS podporovaného účelovou dotací Vysokého učení technického v Brně a za podpory vědecké grantové agentury VEGA v rámci řešení projektu – Vplyv textúry pôdy na vodný režim v nenasýtenej zóne pôdneho prostredia.

Literatura

- ČSN EN ISO 14688-1 (2003): Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 1: Pojmenování a popis. Český normalizační institut.
- ČSN EN ISO 14688-2 (2005): Geotechnický průzkum a zkoušení – Pojmenování a zařizování zemin – Část 2: Zásady pro zařizování. Český normalizační institut.
- Arshad, M. A.; Coen, G. M. (1992): Characterization of soil quality: Physical and chemical criteria. Am. J. Alt. Agric., 7: 5 – 12

- Barbiero, G., Miracapillo, C. (2008): International application of EIS method for soil humidity measuring. Results of Automated Bibliographical Search with ISI WEB of Knowledge – Report N.1, technical report R/160. ISSN 0392-967).
- Kutílek, M., Kuráž, V., Císlarová, M., (2010): *Hydropedologie*. Praha: České vysoké učení technické. ISBN 8001022374.
- Pařílková, J., Fejfarová, M., Ortega, E. L., Van De Walle, B., Gomboš, M. (2014): Detection of the size of the effective grain using the EIS method. In EUREKA 2014. neuv. Brno University of Technology: VUTUM. p. 49 – 60. ISBN: 978-80-214-4883- 4.
- Pařílková, J., Radkovský, K. (2016): *Z-meter IV – User's manual*.
- Pařílková, J., Ševčík, R. (2010): The physical substance of the method of electrical impedance spectrometry. In EUREKA 2010 – 1st conference and working session. EUREKA. Brno: Brno University of Technology, FCE, Brno, Tetčice. Ed. 1st. Brno: VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-4117-0.
- Pařílková, J., Zachoval, Z., Münsterová, Z., Van De Walle, B., Gomboš, M. (2015): Detection of the size of the effective grain using the EIS method. In EUREKA 2015 – 3rd conference and working session. EUREKA. Brno: Brno University of Technology, VUTUM. ISBN 9788021451490. ISSN: 2464-4695.
- Petroš, V., Šancer, J. (2013): *Mechanika hornin a zemin*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. ISBN 9788021451490. ISSN 2464-4595.
- Ševčík, R. (2015): The calibration and metrological follow-up of the Z-meter IV. EUREKA. ISBN 9788024834313.
- Weiglová, K. (2007): *Mechanika zemin*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 186 s. ISBN 978-80-7204-507-5.

THE ESTIMATE OF SIZE OF SOIL EFFECTIVE GRAIN BY EIS METHOD IN FIELD CONDITIONS

Electrical impedance spectrometry is progressive method used in many areas of human activities. The EIS is applied for monitoring of characteristic of organic and anorganic materials. The principle going out from Ohm's relation for alternating current when are measured real and imaginary parts of electrical impedance.

Using the apparatus developed in Laboratory of Water Management Research, Department of Water Structures, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology through international project E!7614 in EUREKA programm is possible measured both these parts right in field conditions in different depth and sites of interest area. In total is possible to measured 256 points. This method and apparatus was used also for estimate of size of effective soil grain. It was searched and made the relation between electrical parameter – measuring frequency and this characteristic

parameter of soil.

The experiments described in this paper were performed on selected localities in the Czech Republic and Slovak Republic. The soil samples were taken from different environments. In Czech Republic it was one time from the core of the earth-fill dam (Karolinka), two times it was from the earth-fill dams of small water reservoirs (Kobeřice and Hornice), one soil sample was taken from the agricultural soil) and one soil sample was taken from cherry orchard (Žabčice). In the Slovak Republic the works were made near the municipality of Poľany, in a locality with heavy land. Based on the granulometric analysis the basic characteristics of the soil samples were determined in laboratory conditions, from which the effective grain size of the soil was further utilized. From the relation between this two parameters was made the estimate of effective soil grain in situ.

Ing. Zuzana Münsterová
doc. Ing. Jana Pařílková, CSc.
Ústav vodních staveb
Laborať vodohospodářského výzkumu
Fakulta stavební VUT v Brně
Veveří 95
602 00 Brno
Česká republika
Tel.: +420 54114 7284
E-mail: munsterova.z@fce.vutbr.cz
parilkova.j@fce.vutbr.cz

Ing. Milan Gomboš, CSc.
Ing. Dana Pavelková, PhD.
Ústav hydrológie SAV
Dúbravská cesta č. 9
841 04 Bratislava
Slovenská republika
E-mail: gombos@uh.savba.sk
pavelkova@uh.savba.sk