

POTENȚIALUL METODEI NIRS ÎN DETERMINAREA TEXTURII SOLURILOR DIN ZONA DE NORD A REPUBLICII MOLDOVA

Marina ILUȘCA, doctorandă,

Universitatea Agrară de Stat din Moldova, Chișinău, Republica Moldova

Abstract: Soil texture has an important role, both in the formation and long-term preservation of fertility, and in the evolution of degradation processes. The determination of soil texture is classically performed by the sedimentation method, with a pipette apparatus. This method is lengthy, space consuming, and laborious. Near infrared reflectance spectroscopy (NIRS) as a rapid, reliable and cost-effective method for soil analyses is an alternative. The results obtained show a good potential of the NIRS for determination of soil texture, with a good prediction for clay content ($R^2 = 0.73$ and $RMSE = 2.06$), but a poor prediction for the content of silt ($R^2 = 0.52$ and $RMSE = 3.21$) and sand ($R^2 = 0.51$ and $RMSE = 4.56$).

Keywords: soil analysis, soil texture, clay content, near infrared reflectance spectroscopy.

Introducere

Zona de Nord a Republicii Moldova aparține zonei pedogeografice a Silvoștepei de Nord, suprafața căreia constituie 1198,4 mii ha. Zona prezintă o silvoștepă clasică cu păduri și soluri cenușii pe culmele dealurilor și cernoziomuri pe pante și terase [12].

Utilizarea acestor soluri la arabil, într-un sistem de agricultură intensiv fără respectarea asolamentelor, cantități mici de îngrășăminte organice aplicate și lipsa măsurilor de conservare, a contribuit la diminuarea stării de calitate a acestora. Ca rezultat, are loc amplificarea proceselor de degradare, cu extinderea suprafețelor afectate de eroziune [5].

Investigațiile pedo-agrochimice periodice a terenurilor agricole au ca scop monitorizarea modificărilor în starea de calitate a solului, identificarea proceselor de degradare a solului, precum și de a elabora și implementa măsurile necesare de ameliorare și sporire a fertilității solului [3]. Un rol deosebit, atât la formarea și păstrarea pe termen lung a fertilității, cât și la evoluția proceselor de degradare, revine texturii solurilor [5].

Textura solului este una din cele mai importante și stabile proprietăți ale solului care, la rândul său, determină și influențează celelalte proprietăți fizice, fizico-mecanice, chimice și biologice, îndeosebi fertilitatea solului. Astfel, textura solului influențează considerabil decizia privind măsurile agrotehnice și agrochimice aplicate solului, precum și necesitatea aplicării măsurilor ameliorative sau a celor cu rol de protecție [4]. Cernoziomurile tipice și levigate din zona de Nord a țării au un conținut mai mare de argilă și praf decât subtipurile sudice, ceea ce le conferă o fertilitate și bonitate mai mare [8].

Determinarea texturii solului este efectuată în mod clasic prin metoda sedimentării, cu un aparat cu pipetă. Această metodă este una consumatoare de timp, spațiu și resurse de laborator [11]. Totodată, costurile sporite la prelevarea probelor de sol și analizele chimice și fizice prin metode convenționale de laborator au limitat posibilitatea de a obține o informație detaliată privind variabilitatea solului la nivel de câmp. Progresul tehnologic în domeniul științei solului a asigurat dezvoltarea și elaborarea de noi metode și aparate pentru analiza proprietăților fizice, hidrofizice și chimice ale solului [9].

Una din aceste metode este *analiza spectroscopică de reflexie în domeniul infraroșu apropiat* (NIRS), fiind considerată a fi o soluție cost-efectivă. NIRS este o tehnică analitică rapidă și nedistructivă ce implică măsurarea reflexiei difuze în domeniul infraroșu apropiat al spectrului electromagnetic [13].

Atât carbonul organic din sol, azotul, raportul C:N, cât și textura solului sunt considerate proprietăți ale solului care au efecte directe asupra reflectanței. De exemplu, vibrații de combinare și supratone definitive s-au raportat pentru azotul din sol, care se asociază cu moleculele organice specifice ca semnale de absorbantă, în timp ce dimensiunea particulelor din sol afectează reflectarea și tranziția luminii [1]. Absorbția din regiunea NIR de către mineralele argiloase este în mare parte legată de apa structurală și absorbită de legăturile Mg-, Al- și Fe-OH în rețeaua cristalină minerală [15].

O serie de studii au demonstrat potențialul NIR de a prezice textura solului (Islam et al., 2003;

Shepherd & Walsh, 2002; Chang et al., 2001; Ben-Dor & Banin, 1995; Sorensen et al., 2005; Wetterlind et al., 2015).

Scopul acestor cercetări constă în evaluarea eficacității metodei NIRS în predicția pH-ului și texturii solului (% fracțiunilor de argilă, praf și nisip), ca metodă cost-efectivă și alternativă metodelor clasice de laborator.

Materiale și metode

Probele de sol analizate s-au format prin divizarea pe orizonturi genetice a profilelor de sol prelevate pe terenurile agricole a 10 raioane din zona de Nord a Republicii Moldova, și anume: Briceni, Ocnîța, Dondușeni, Edineț, Drochia, Glodeni, Rîșcani, Florești, Soroca, Singerei, precum și pe câmpurile experimentale ale Institutului de Cercetări pentru Culturile de Câmp „Selecția” din mun. Bălți.

Identificarea celor mai reprezentative locații pentru prelevarea profilelor de sol a fost efectuată prin utilizarea hărților de sol existente: Harta Solurilor Moldovei elaborată în cadrul Institutului de Pedologie, Agrochimie și Protecție a Solului „Nicolae Dimo” și disponibilă online pe pagina web: <http://ipaps.md/sol/>; Harta Solurilor Moldovei disponibilă pe pagina web a Fondului Național de Date Geospațiale (subdiviziune a Agenției Relații Funciare și Cadastru); și aplicația Google Earth, pentru obținerea coordonatelor locațiilor.

În urma studierii subtipurilor caracteristice solurilor cenușii și cernoziomurilor din fiecare raion, au fost prelevate 134 profile de sol cu ajutorul unui burghiu, ce permite extragerea acestora în tuburi de plastic până la adâncimea solului de 0-50 cm și 50-100 cm.

În rezultatul divizării profilelor de sol pe orizonturi genetice au fost prelevate 554 probe, care au fost uscate, cernute până la 2 mm și depozitate în recipiente de sticlă, dintre care 235 de probe din numărul total au fost supuse analizelor chimice de laborator pentru determinarea texturii solului.

Analiza spectroscopică de absorbție în domeniul infraroșu apropiat (NIRS)

Probele de sol uscate și cernute până la 2 mm au fost bine amestecate înainte de analiza spectroscopică în regiunea infraroșu apropiat, pentru a asigura o suprafață cu particule de dimensiuni diferite. Fiecare probă a fost amplasată într-un vas Petri în celula cu sticlă de cuarț și lumina reflectată măsurată de spectrofotometrul 6500 NIR Systems, echipat cu un modul de transport vertical (Foss). Trei repetiții pentru fiecare probă au fost efectuate, cu formarea unui spectru mediu.

Măsurările de reflexie s-au efectuat în intervalele lungimii de undă de 400-700 nm (lumină vizibilă) și 700-2500 nm (regiunea infraroșu apropiat) cu 2 nm între punctele datelor colectate. Analiza datelor a fost efectuată utilizând sistemul de software ISI.

Analiza datelor spectrale NIRS au fost realizate cu software-ul Unscrambler®X 10.5. Pentru minimizarea interferențelor cauzate de variația distribuției dimensiunii particulelor, reducerea efectelor de dispersie a luminii, care influențează linia de bază, amplificarea semnalelor slabe și reducerea zgomotului, spectrele probelor de sol au fost supuse unui proces de transformare și atenuare (figura 1) înainte de calibrarea modelului de predicție NIRS.

Transformarea optimă a datelor spectrale s-a dovedit a fi *prima transformare derivativă cu atenuarea Savitzky-Golay* de ordinul 2 polinomial (*first derivative transformation with Savitzky-Golay smoothing with 2nd polynomial order*). Regiunile de zgomot au fost decupate din fiecare spectru prin îndepărtarea a 50 nm de la fiecare capăt, iar pentru a îmbunătăți liniaritatea spectrelor, reflectanța (R) a fost convertită în absorbția (A) utilizând următoarea ecuație:

$$A = \log(1/R)$$

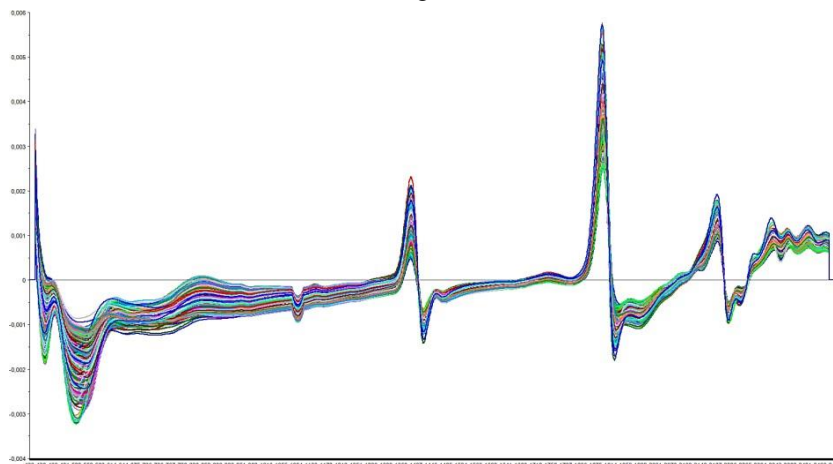


Fig. 1. Datele spectrale a probelor de sol după procesul de transformare

Din numărul total de probe, pe baza Analizei Componentelor Principale (PCA) au fost selectate 159 de probe reprezentative din variațiile spectrale observate pentru setul de calibrare și 76 de probe pentru setul de validare selectate în mod aleatoriu și complet independent de cele utilizate pentru calibrare. Spectrele care s-au diferențiat semnificativ de spectrul mediu au fost eliminate din setul de cali-

brare ca valori aberante ($n = 22$). Probele din setul de calibrare au fost utilizate pentru a dezvolta *ecuația de predicție*, iar setul de validare a fost utilizat pentru a verifica capacitatea de predicție a ecuației. După selectarea seturilor de calibrare și validare, probele de sol au fost supuse analizelor chimice de referință pentru determinarea proprietăților chimice și fizice folosind metode standard în laborator.

Analizele chimice de referință

Textura solului (fracțiunile de argilă < 0.002 mm, praf $0.002-0.06$ mm și nisip $0.06-2$ mm) a fost determinată prin metoda sedimentării cu dispozitivul automat de măsurare SEDIMAT 4 – 12 (Umwelt-Geräte-Technik GmbH), un aparat de laborator pentru determinarea distribuției dimensiunii particulelor în solurile minerale pe baza analizei standardizate KÖHN în conformitate cu DIN ISO 11277 german, folosind 12 probe cu 4 fracțiuni. Analiza de referință asupra texturii solului a fost efectuată în laboratorul Departamentului Fizica solului al LfL – Centrul Bavarez de Stat de Cercetare în Agricultură (Freising, Bavaria, Germania).

Analiza statistică a rezultatelor măsurărilor sunt prezentate în tabelul 1.

Crearea modelelor de calibrare/predicție

Datele spectrale transformate și rezultatele analizelor de laborator au fost utilizate în crearea modelelor de calibrare (predicție) folosind algoritmul de Regresie parțială minimă pătrată (*Partial Least Squares Regression* sau PLSR), care face legătură între datele spectrale cu datele solului de referință obținute în laborator, extrăgând astfel informațiile despre parametrii solului din spectrele de reflectanță ale solurilor din regiunea NIR. Pentru optimizarea calibrării a fost utilizată o procedură de validare încrucișată. Modelele de calibrare au fost testate și validate cu datele setului de validare. După aceasta, modelele de calibrare au fost utilizate pentru a prezice proprietățile de sol ale probelor vizate.

Evaluarea modelului s-a făcut pe baza *rădăcinii mediei pătrate a erorii de predicție* (RMSE) și a *coeficientului de determinare* (R^2), care reprezintă relația dintre estimarea NIR a proprietăților solului și valorile obținute prin analizele chimice de referință.

Rezultate

Rezultatele obținute prin aplicarea algoritmului PLSR sunt prezentate în figura 2. În graficele de suprapunere este prezentată relația liniară între valorile pH-ului solului, conținutul de argilă, praf și nisip pentru cele 137 de probe utilizate în setul de calibrare, obținute prin analizele chimice de referință față de valorile prezise prin metoda NIRS.

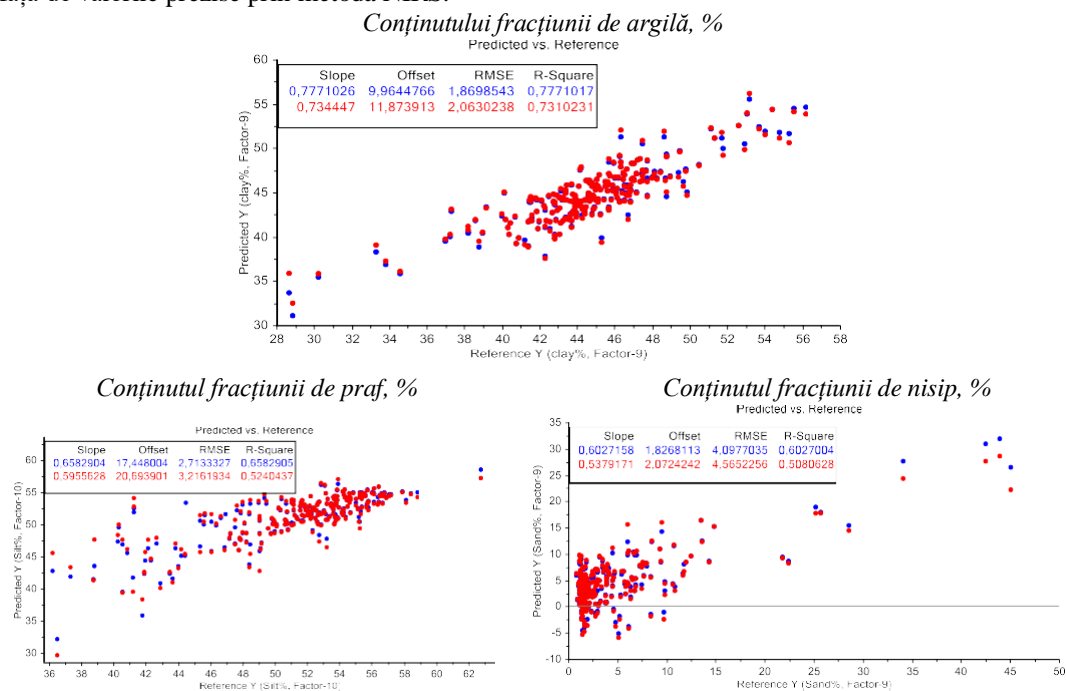


Fig. 2. Corelația dintre valorile măsurate și prezise ale texturii solului

Pentru proprietățile vizate, majoritatea punctelor au căzut în vecinătatea liniei 1:1 cu câteva valori aberante (outliers). Valorile aberante, în număr de 22, au fost eliminate din setul de calibrare pentru a mări precizia de predicție.

Calibrarea cu cea mai mică Rădăcină Medie Pătrată a Erorii (RMSE) și cel mai mare R^2 a fost selectată și aplicată în predicția valorilor texturii solului pe tot setul de probe de sol.

Tabelul 1. Analiza statistică a datelor de referință privind alcătuirea granulometrică, obținute prin metode standard

Indicii	Setul de calibrare			Setul de validare		
	Argilă, % (< 0.002 mm)	Praf, % (0.002-0.06 mm)	Nisip, % (0.06-2 mm)	Argilă, % (< 0.002 mm)	Praf, % (0.002-0.06 mm)	Nisip, % (0.06-2 mm)
Min	18,7	36,2	0,9	33,8	40,3	1,1
Max	57,3	62,8	44,0	52,6	58,8	25,7
Media	44,7	50,7	4,6	44,2	51,6	4,1
Mediana	44,8	52,2	2,0	44,4	52,2	2,1
SD	5,3	5,0	6,5	2,9	3,8	4,7

Intervalul de date măsurate dispune de o variabilitate în ceea ce privește alcătuirea granulometrică a probelor de sol. Pentru conținutul de argilă valorile au oscilat între 18,7-57,3%), conținutul de praf (36,2-62,8%) și nisip (0,9-44,0%). Devierea standard pentru valorile fracțiunilor de argilă, praf și nisip este 5,3; 5,0 și 6,5 corespunzător.

Rezultatele analizei statistice a proprietăților solului prezise în urma validării încrucișate sunt prezentate în tabelul 2.

Tabelul 2. Analiza statistică a proprietăților de sol prezise prin metoda NIRS

Indicii	Setul de calibrare			Setul de validare		
	Argilă, % (< 0.002 mm)	Praf, % (0.002-0.06 mm)	Nisip, % (0.06-2 mm)	Argilă, % (< 0.002 mm)	Praf, % (0.002-0.06 mm)	Nisip, % (0.06-2 mm)
Min	27,1	35,8	0,0	36,9	46,4	0,0
Max	55,5	56,9	30,7	52,5	56,0	15,0
Media	44,7	50,6	4,9	44,2	52,1	3,8
Mediana	44,5	51,5	3,7	44,4	52,3	3,2
SD	4,2	4,1	4,9	2,7	2,1	3,0
RMSE	1,87	2,71	4,09	2,06	3,21	4,56
R²	0,78	0,66	0,60	0,73	0,52	0,51

Rezultatele obținute au arătat că a existat o corelație între datele spectrale NIR și valorile texturii solului măsurate. Validarea indicatorilor preziși spectral a fost satisfăcătoare pentru proprietățile-țintă ale solului, obținându-se o precizie de predicție bună pentru conținutul de argilă ($R^2 = 0,73$ și $RMSE = 2,06$) și o predicție slabă pentru conținutul de praf ($R^2 = 0,52$ și $RMSE = 3,21$) și conținutul de nisip ($R^2 = 0,51$ și $RMSE = 4,56$).

Conform graficelor de suprapunere prezentate în figura 3, s-a evidențiat că majoritatea valorilor texturale ale solului prezise din datele spectrale au fost aproape identice cu valorile măsurate, însă pentru o parte din probele analizate devierea a fost semnificativă.



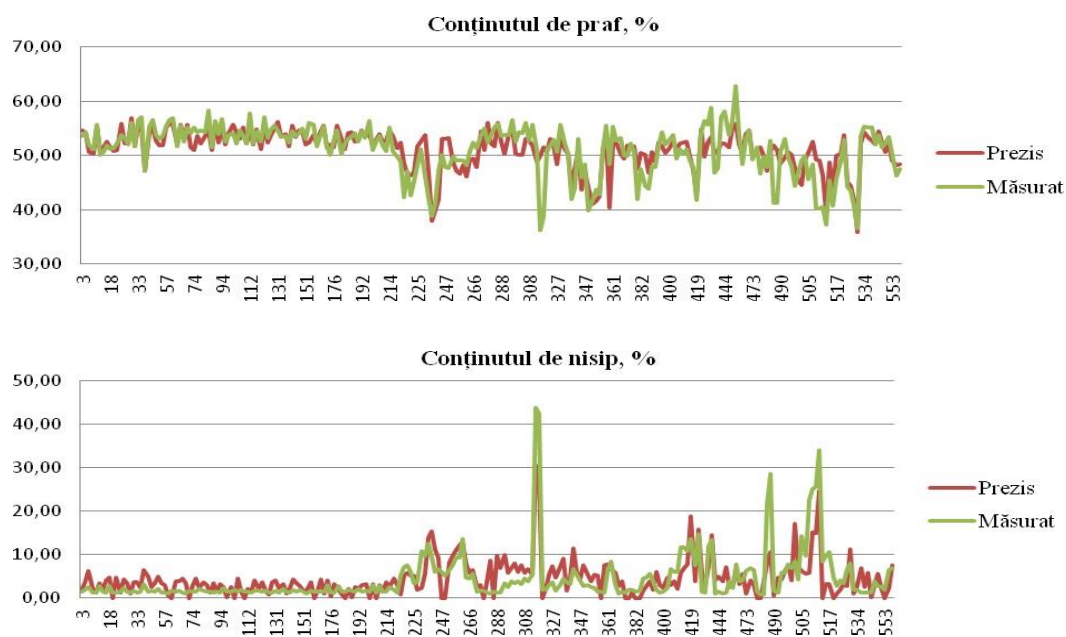


Fig. 3. Graficele de suprapunere a proprietăților probelor de sol prezise și măsurate

Deși nu a existat o predicție atât de bună a texturii solului, rezultatele acestui studiu au arătat o corelație excelentă între valorile conținutului de carbon organic, carbon și azot total prezise de NIRS și cele măsurate prin metode convenționale, obținându-se un coeficient de determinare $R^2 \geq 0,98$ și o deviație foarte mică (ILUȘCA M., 2021, nepublicat).

Concluzii

Rezultatele cercetărilor au demonstrat că analiza spectroscopică de absorbție în domeniul infraroșu apropiat (NIRS) este o tehnică analitică rapidă și ne-distructivă de analiză a proprietăților solului.

Analiza probelor de sol prin metoda NIRS poate reduce considerabil costurile analizelor de laborator convenționale, cu o precizie rezonabilă.

Spectroscopia în domeniul infraroșu apropiat, folosind algoritmul statisticii multivariate PLSR, are o capacitate bună de a prezice alcătuirea granulometrică, în special a fracțiunii de argilă, a probele de sol cu caracteristici diferite.

Corelația dintre valorile obținute prin metodele standard și cele prezise a fost destul de bună, iar probele de validare au prezentat erori mici și medii, indicând faptul că această metodologie poate fi utilizată în laboratorul de analiză a solului.

Bibliografie:

1. ASKARI, M.; O'ROURKE, S.; HOLDEN, N. Evaluation of soil quality for agricultural production using visible–near-infrared spectroscopy. In: *Geoderma*, 2015, vol. 243–244, pp. 80-91.
2. BEN-DOR E., BANIN A. Near-infrared analysis as a rapid method to simultaneously evaluate several soil properties. In: *Soil Science Society of American Journal*, 1995, vol. 59, no. 2, pp. 364-372.
3. BURLACU, I. *Deservirea agrochimică a agriculturii în Republica Moldova*. Chișinău: Pontos, 2000. 228 p.
4. CANARACHE, A. *Fizica solurilor agricole*. București: Ceres, 1990. pp. 15-30.
5. CERBARI, V.; LUCHIAN, V. Zonele pedoclimatice și starea actuală de calitate a învelișului de sol al Republicii Moldova. In: *Monitoringul calității solurilor Republicii Moldova: (baza de date, concluzii, prognozare, recomandări)*. Ch.: Pontos, 2010 (Tipogr. „Reclama” SA). – p. 17-38. **ISBN 978-9975-51-138-4**
6. CHANG, C.; LAIRD, D.; MAUSBACH, M.; HURBURGH, JR. C. Near-infrared reflectance spectroscopy – principal components regression analysis of soil properties. In: *Soil Science Society of America Journal*, 2001, vol. 65, pp. 480-490.

7. ISLAM, K.; SINGH, B.; MCBRATNEY, A. Simultaneous estimation of several soil properties by ultra-violet, visible, and near-infrared reflectance spectroscopy. In: *Australian Journal of Soil Research*, 2003, 41(6), pp. 1101-1114.
8. KRUPENIKOV, I.; BOINCEAN, B.; DENT, D. *The Black Earth: Ecological Principles for Sustainable Agriculture on Chernozem Soils*. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2011, p. 19-20. **ISBN 978-94-007-0158-8**
9. RUSU, T.; PAULETTE, L.; CACOVEAN, H.; TURCU, V. *Fizica, hidrofizica, chimia și respirația solului: metode de cercetare*. Cluj-Napoca: Risoprint, 2007. 188 p. **ISBN 978-973-751-512-4**
10. SHEPHERD, K.; WALSH, M. Development of reflectance spectral libraries for characterization of soil properties. In: *Soil Science Society of America Journal*, 2002, vol. 66, pp. 988-998.
11. SORENSEN, L.; DALSGAARD, S. Determination of clay and other soil properties by near infrared spectroscopy. In: *Soil Science Society of America Journal*, 2005, 69, pp. 159-167.
12. URSU, A.; VLADIMIR, P.; MARCOV, I.; CURCUBĂȚ, S. Calitatea solurilor și potențialul pedologic al unităților pedogeografice. In: *Buletinul Academiei de Științe a Moldovei. Științele vieții*, 2010, nr. 3(312), pp. 148-152, **ISSN 1857-064X**
13. VAN VUUREN, J.; MEYER, J.; CLAASSENS, A. Potential use of near infrared reflectance monitoring in precision agriculture. In: *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 2006, 37, pp. 2171-2184.
14. WETTERLIND, J.; PIINKKI, K.; STENBERG, B.; SODERSTROM, M. Exploring the predictability of soil texture and organic matter content with a commercial integrated soil profiling tool. In: *European Journal of Soil Science*, 2015, 66, pp. 631-638.
15. WETTERLIND, J.; STENBERG, B.; VISCARRA ROSSEL, R. Soil analysis using visible and near infrared spectroscopy. In: *Methods in molecular biology* (Clifton, N.J.), 2013, nr. 953, pp. 95-107.