Mapa s odborným obsahem č. QK21010170-V2

Název mapy.

Mapa variability sadů získaná nepřímými metodami měřené pro potřeby individuálního a lokálně cíleného přístupu k jednotlivým částem sadů a optimalizaci vstupů.

Autorský kolektiv:

Doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.[1]

Ing. Jakub Lev, Ph.D.[1]

Mgr. Ing. Jakub Jura Ph.D.[2]

Ing. Pavel Trnka Ph.D.[2]

Ing. Lubor Zelený[3]

Ing. Luděk Laňar, Ph.D.[3]

[1]Česká zemědělská univerzita v Praze

[2]České vysoké učení technické v Praze

[3]Výzkumný a šlechtitelský ústav ovocnářský Holovousy s.r.o.

Popis novosti mapy.

Moderní postupy v zemědělství se opírají o detailní znalost variability prostředí, digitalizaci prostředí a lokálně cílené aplikace. Právě podpora digitalizace a nových technologií v zemědělství bude jednou z klíčových součástí opatření v boji proti klimatickým změnám, mitigaci emisí skleníkových plynů do ovzduší a znečištění okolního životního prostředí. Šetrnému hospodaření pomáhají i systémy variabilního hnojení či aplikace chemických ochranných látek, které zajistí aplikaci materiálu pouze tam, kde je to potřeba a v množství, které je potřeba. Zatímco uvedené postupy nacházejí stále častěji uplatnění v polní výrobě, hodnocení variability sadů v tomto ohledu zaostává. Na druhou stranu mapy přináší jednoznačný důkaz značné variability půdních podmínek navzdory malým výměrám, které mohou mít společně s topografií významnou vazbu na výnos a kvalitu produkce. Vymezení oblasti řízení je důležité pro aplikace technologií precizního zemědělství, jako je optimalizace odběru vzorků půdy a rostlin, zajištění variabilních zásahů, dělení sadů na management zóny, optimalizaci a řízení vstupů včetně celkového snižování zátěže prostředí.

Moderní postupy v zemědělství se také opírají o telematický přenos dat a sběr informací o provozu techniky. Rovněž lze uvést, že zemědělství 4.0, případně synonyma, jako digitální

zemědělství, chytré zemědělství, vznikly v okamžiku, kdy se spojilo precizní zemědělství s telematikou.

Informace o rozsahu využití mapy.

Prezentované výstupy demonstrují potřebu zavedení a uplatnění variabilních zásahů pro uvedené typy výsadeb. S ohledem na dlouhodobost výsadby je projev variability rovněž dlouhodobý. Z pohledu sběru dat o sadech s využitím dálkového průzkumu Země narážíme na častý problém zakrytí plochy sadu protikroupovými sítěmi a tedy nemožnosti mapování a využití například satelitních snímků, případně stále populárnějších bezpilotních prostředků. Prezentované geofyzikální metody představují neinvazivní metodu sběru dat bez omezení v průběhu vegetace, s možností měření během práce strojů, s vysokou hustotou měření, snadnou opakovatelností. Navíc se jedná o časově stabilní hodnoty. Prvotní účel pro vyžití mapy je celkový přehled o úrovni variability sadu. Tyto hodnoty mohou být změřeny také před výsadbou pro potřeby zajištění vyrovnaných podmínek. V realizované výsadbě je možné data využít pro potřeby optimalizace odběrové sítě půdních vzorků nebo rostlinného materiálu pro potřeby variabilních zásahů ve snaze naplnit požadavky na individuální přístup k jednotlivým částem pozemku, nebo stromů, uplatnění variabilních zásahů a aplikací a v konečném důsledku úspoře nebo optimalizaci vstupů.

Informace o přínosech mapy pro uživatele.

Na základě znalosti variability ploch sadů je možné rozdělit sad do jednotlivých management zón, které vykazují obdobné vlastnosti. Je to prvotní informace o sadu, kterou můžeme získat. Optimalizací odběrových bodů získáme detailnější přehled o variabilitě sadu. Vymezení jednotlivých ploch s rozdílnými vlastnostmi je možné se rozhodnout o možnostech uplatnění a účelnosti zařazení variabilních zásahů. Tento krok je předpokladem uplatnění postupů precizního zemědělství v sadech a je klíčový pro přizpůsobení zásahů stanovištním podmínkám. Variabilní aplikace a ošetřování jsou předpokladem pro optimalizaci materiálových a energetických vstupů na heterogenních pozemcích.

Mapy rovněž představují nástroj propagace myšlenek moderních přístupů k zemědělským činnostem, úrovně variability pozemků a poukázání na vysokou úroveň technického pokroku v zemědělství. Na druhou stranu bude map využíváno k validaci dat ze sklizní, hledání souvislostí mezi jednotlivými soubory data a k individuálním a variabilním zásahům v takto mapovaných sadech. Uplatnění je možné praktikovat ve velmi krátkém časovém odstupu od pořízení.

Seznam odborných podkladů, které předcházely vypracování mapy.

Podkladem pro vymezení hranic obhospodařovaných pozemků jsou záznamy z Registru zemědělské půdy LPIS. Pokud zemědělské podniky vedou v rámci Portálu farmáře tzv. zemědělské parcely, je využit tento datový zdroj s identifikací pěstovaných plodin v daném roce (po exportu do formátu shp). V ostatních případech jsou použity hranice dílů půdních bloků (DPB) ve formátu shapefile z veřejně dostupného exportu z LPIS (http://eagri.cz/public/app/eagriapp/lpisdata/).

Pro detailní popis variability pozemku byla využita měřicí souprava sestávající ze sondy pro měření elektrické vodivosti půdy EM 38MK2 (Geonics Limited, Kanada) a gamaspektrometru GScar (GF Instruments, ČR). Jedná se o geofyzikální přístroje, kdy společně s výstupními daty ze senzorů jsou zaznamenávány údaje o poloze soupravy pomocí RTK GPS přijímače.

Semináře a workshopy

Autorský kolektiv představil výstupy mapování sadů a využití prvků IoT a telematiky v rámci odborných seminářů a workshopů:

Školkařské dny 2023, 6. a 7. února 2023, Hotel Skalský Dvůr

Ovocnářské dny 2023, 18. a 19. ledna 2023, Kongresové centrum Aldis, Hradec Králové

Precizní zemědělství v podmínkách ČR - Internet věcí (IoT) v zemědělství, 8.12.2022, Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha 6-Ruzyně

Publikační činnost:

KROULÍK M. (2022): Smart farming a zemědělství 4.0, Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství.

LUKÁŠ J., KROULÍK M., KŘÍŽOVÁ K. (2000): Příručka precizního zemědělství pro praxi. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Česká technologická platforma pro zemědělství, Centrum precizního zemědělství při ČZU v Praze

BRANT V., KROULÍK M., KRČEK V., KRÁSA J., KAPIČKA J., HAMOUZ P., LUKÁŠ J., ZÁBRANSKÝ P., ŠKEŘÍKOVÁ M., ŠKEŘÍK J., JOB Z., LANG J., PETRUS D. (2020): Implementace principů precizního zemědělství do rostlinné výroby. Online. neuvedeno. České Budějovice:Kurent, s.r.o., 2020, 978-80-87111-81-9.

Literární přehled:

Řada výzkumných pracovišť vyvinula nebo se pokouší vyvinout senzory pro průběžné měření půdních vlastností, pro které se vžil název on-the-go. Hlavní přínos těchto senzorů je především schopnost postihnout heterogenitu půdních vlastností a případně také směrovat další sběr dat nebo rozhodování o způsobu hospodaření. Variabilní aplikace hnojiv, vápnění, setí a dalších vstupů bez přesných půdních map je často nevhodná a pochopitelně může vést k ekonomickým ztrátám. Proto se také, ve snaze zlepšit efektivitu v rozhodování, od vývoje senzorů mnohé očekává. Potenciál senzorů je především v hustotě vzorkování a poměrně nízké ceně za pořízená data.

Digitální mapování a hodnocení půdy pokročilo od náročných tradičních pedologických metod přes prototypování v malém měřítku až po implementaci ve velkém měřítku zachycující kvantitativní měření atributů a funkcí půdy. Bez ohledu na to, zda jde o potřebu přežití, zvýšení produktivity nebo rozšíření služeb poskytovaných z obhospodařování půdy, či ochranu půdy samotné, představuje digitální mapování půdy základní přístup a nezbytný nástroj. Digitální mapování půdy má předpoklad poskytnout kapacitu a zázemí pro půdní a krajinné „digitální dvojče“ a následnou transformaci v monitorování a předpovídání dopadů postupů hospodaření s půdou (Searle a kol., 2021).

Elektrické a elektromagnetické senzory

Pro aplikaci geoelektrických, popř. geomagnetických metod, se vžil pojem měření vodivosti půdy, kdy se zjišťuje schopnost půdy vést elektrický proud. Elektrická vodivost půdy je jednoduchý nástroj, který farmáři mohou využít k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí (Doerge, 2001). Elektrické a elektromagnetické senzory využívají elektrického obvodu k měření schopnosti půdy vodit, případně akumulovat, elektrický náboj. V případě, že jsou používány tyto senzory, stává se půda součástí elektrického obvodu a lokální změny půdních vlastností významně ovlivňují signál.

Corwin a Lesch (2003) nebo Terrón a kol. (2011) potvrzují, že měření vodivosti půdy se stává jednou z nejpoužívanějších technik mapování polní variability pro potřeby technologií precizního zemědělství a farmáři mohou využít měření k rychlé a přesné charakteristice půdního prostředí (Doerge, 2001). Výrazně koreluje s půdními vlastnostmi, které mají vazbu na výnos, a do jisté míry může vysvětlit variabilitu výnosu. Jedná se zejména o zrnitostní složení, kationtovou výměnnou kapacitu, obsah organické hmoty, hloubku půdního profilu, pH, vodní kapacitu a další. Na základě dostupných informací je možné konstatovat, že data ze

senzorů vodivosti půdy jsou často využívána při návrhu tzv. management zón pro variabilní vstupy (Abendroth a Thus, 2007).

Gama spektrometrie

V souvislosti s měřením variability půdního prostředí pro účely precizního zemědělství se objevují aplikace metody zvané gama-spektrometrie, která je založena na měření koncentrací prvků v půdě s přirozenou radioaktivitou. Skutečnost, že gama záření nese informaci o půdních vlastnostech, byla známo dlouho. Již v roce 1930 byly gama detektory zkonstruovány a používány pro vyhledávání uranu (de Meijer, 1998).

Všechny půdy vykazují přírodní radioaktivní záření, které prokázali Martz a De Jong (1990). Cook a kol. (1996) vidí použití této metody hlavně pro zjišťování heterogenity půdy, které může být spojeno ještě s doprovodnými informacemi, jako je např. reliéf krajiny. Wong a Harper (1999) prokázali vysokou statistickou závislost mezi draslíkem v půdě a izotopem K40. Autoři vidí velký užitek této metody pro mapování půdních živin, ale současně poznamenávají, že zjištěný model nemůže být aplikován na každé pole. Pracilio a kol. (2003) aplikovali metodu gama-radiometrii pro zjištění fyzikálních vlastností půdy a obsahu rostlinných zbytků. Během svého měření autoři zjistili velmi vysokou závislost mezi intenzitou přírodní radioaktivity půdy a jejími fyzikálními vlastnostmi. Zároveň také uvádějí, že na dalších dvou pozemcích byl koeficient spolehlivosti slabší. Mapy získané z radiometrického průzkumu nabízí informace o půdních vlastnostech a dějích v půdním profilu do hloubky 0,3 m. Jedná se například o zrnitostní složení půdy, proces zvětrávání nebo vyplavování půdy, hloubku půdního profilu (Bierwirth a kol. 1996a, b; van Wijngaarden a kol., 2002).

O několik let později bylo zjištěno, že kromě závislosti mezi aktivitou radionuklidů a fyzikálními vlastnostmi půdy, existuje také závislost mezi radionuklidy a chemickými vlastnostmi půdy (kontaminace půdy těžkými kovy apod.) (Van der Graaf a kol., 2007).

Mapování sadů

Jak uvádějí Kayad a kol. (2022) ve své práci, objem dat vázajících se k zemědělským pozemkům vzrostl mezi lety 2004 až 2020 z < 11 MB na > 18 500 MB. Nashromážděná data zahrnují data meteorologických stanic, půdní mapy, výnosové mapy, snímky ze satelitů a UAV, použitý software a další data senzorů. Až do sezóny 2016 byly údaje o výnosech nejvýraznější porcí z celkového objemu dat. Od roku 2017 to již byly snímky z bezpilotních prostředků. Podle výsledků této studie a s ohledem na nově dostupné

senzory dosáhne očekávaný objem dat do sezóny 2025 40 497 MB. Studie se vztahovala k pozemku o výměře 22 ha.

Variabilní aplikace v sadech, zejména v oblasti hnojení, nacházejí stále menší uplatnění. Jedním z důvodů je menší výměra sadů, pomalé zavádění uvedených postupů a také nedostatky v aplikační technice. Je obecně známo, že jednotné aplikace vedou, s ohledem na prostorovou variabilitu, k nedostatečnému nebo nadměrnému použití vstupů v některých částech sadu, což může vést k ekonomickým a ekologickým problémům, jako jsou zvýšené výrobní náklady a znečištění životního prostředí agrochemikáliemi. Nezbytnou informací k variabilním aplikacím je znalost variability půdních charakteristik.

Z výsledků, které prezentovali Aggelopoulou a kol. (2011) vyplývá následující:

1. Chemické vlastnosti půdy prokázaly prostorovou variabilitu navzdory malé velikosti sadu, což ukazuje na potenciální využití místně specifického managementu.
2. Většina půdních živin byla pro jabloně v dostatečném množství (pravděpodobně v důsledku přehnojení aplikovaného zemědělcem v předchozích letech), a proto nebylo nutné aplikovat hnojiva, aby se předešlo ekonomickým a potenciálním ekologickým problémům.
3. Pro dusík byla vytvořena mapa hnojení specifická pro lokalitu zobrazující části sadu, které vyžadovaly variabilní dávku hnojiv. Variabilní aplikací dusíkatých hnojiv lze ušetřit 38 % N ve srovnání s jednotnou aplikací.
4. Je zapotřebí dalšího výzkumu, aby se prozkoumaly účinky místně specifické aplikace živin na výnos a kvalitu produkce.

Kai a kol. (2015) dále uvádějí, že znalost půdních vlastností by mohlo pomoci zlepšit hospodaření s půdou a zvýšit produktivitu, zejména na méně produkčních plochách. Na nedostatkem informací o variabilitě půdy, které vedou k nižší produkci jablek, upozorňují také Fujisawa a kol. (2013), Dris a kol. (2002) nebo Aggelopoulou a kol. (2010).

Fulton a kol. (2011) pracovali s hypotézou, zda rychlé, in situ a relativně levné metody měření vodivosti půdy ECa (EM38 a VERIS) mohou účinně identifikovat a mapovat variabilitu fyzikálních vlastností půdy v nezasolených půdách. Předpokládá se, že v nezasolených půdách budou hladiny ECa souviset s texturou půdy a schopností zadržovat vodu a lze je použít k mapování variability půdy. Na druhé straně mohou být tyto informace použity jako vodítko pro rozhodování o zpracování půdy před zakládáním sadu, návrhu zavlažovacího systému, hospodaření s vodou a výživou a dalších pěstitelských úvahách. V rámci měření byly na základě map vodivosti určeny oblasti pro odběry půdních vzorků. Přes určitý objem nevysvětlených variací mezi půdními vlastnosti a hodnotami vodivosti, mají uvedené metody

potenciál zlepšit dostupné informace z publikovaných půdních průzkumů, na které se široce spoléhá při zakládání a obhospodařování sadů a vinic.

Tsoulias a kol. (2020) se zaměřili ve své práci na prostorovou analýzu dostupnosti vody v sadech a její vliv na spotřebu vody. Prostřednictvím mapování elektrické vodivosti půdy byly charakterizovány části pozemku, vykazující podobnou hloubku zakořenění jabloní, protože vodivost půdy vykazovala vysokou korelaci s hloubkou kořenů. V důsledku toho přesné nastavení závlahy včetně údajů o rostlinách může optimalizovat využití a spotřebu vody.

Uribeetxebarria a kol. (2018) využili k modelování půdního profilu rovněž hodnoty elektrické vodivosti půdy. Identifikovali různé oblasti sadu, které byly z důvodu zemních a terénních prací za účelem terénní úpravy sadu hlavní příčinou prostorové variability v sadu.

Scudiero a kol. (2023) uplatnili soupravu složenou ze sondy elektrické vodivosti a gamaspektrometr pro mapování a monitorování vlastností půdy, jako je obsah vody, textura a zasolení. Studie ukázala vhodnost kombinace těchto dvou senzorových technik v sadech s řízenou mikrozávlahou. Je to především z důvodu rozdílných požadavků na měřené prostředí z pohledu použitých senzorů. Vývoj této platformy umožnil lepší charakterizaci půdních vlastností v systémech uvedené závlahy sadů pomocí technologie on-the-go snímání.

Moderní technologie se stávání nedílnou součástí našich životů a lze očekávat rostoucí trend (SpringerIndia New Delhi, 2013). Pro mnoho činností je určující čas a hledání způsobů, jak vyměřený čas využít. Řešení do jisté míry přinesla telematika. Pokroky v telematickém inženýrství dramaticky změnily náš každodenní život a zcela změnily způsob, jakým jsou technologie, aplikace a služby vyvíjeny, zpřístupňovány a používány (Agüero a kol, 2017).

Neustále tak přibývá systémů, které si vyměňují data mimo vozidlo a stroje pomocí telematických systémů. Telematika je nedávno vytvořené slovo syntetizované z telekomunikací a informatiky (Hilgers aAchenbach2021, Santa a kol. 2012, Duri a kol., 2004). Rovněž Hernandez a kol. (2017) považují telematiku za jednu z hnacích sil pokroku v autonomii. Jedná se o prostředek pro komunikaci mezi hardwarem a senzory, které jsou zapojeny do automatizace. Pokud například kamera identifikuje plevel, musí tuto informaci sdělit jinému strojnímu zařízení, které může plevel potlačit. Telematika je v automatizaci klíčová a často zmiňované systémy IoT jsou na spolehlivé telematice přímo závislé (Paul a kol., 2022). Významným krokem v modernizaci a komunikaci mobilních prostředků v zemědělství bylo zavedení systému sběrnice ISO (ISO 11783), která využívá CAN technologii pro elektronickou komunikaci. Norma ISO 11783 a komponenty ISOBUS založené na normě jsou podporovány společnostmi vyrábějícími traktory a k nim připojené

nářadí (Oksanen a kol. 2015). Vzhledem k tomu, že v posledních letech průmysl aktivně podporuje ISOBUS, objevila se řada senzorů a řídicích systémů, které jsou kompatibilní s ISOBUS. Tyto systémy jsou zaměřeny na dvě hlavní oblasti: (i) rozhodování, kde jsou senzory obvykle namontovány na traktoru a jejich cílem je měnit aplikované dávky (osivo, hnojivo atd.), a (ii) monitorování procesu, kde jsou namontovány na nářadí a monitorují (a v některých případech kontrolují) správnou aplikaci doporučených dávek (Paraforos a kol., 2019)

Použitá literatura:

Aggelopoulou K.D., Pateras D., Fountas S. et al. (2011): Soil spatial variability and site-specific fertilization maps in an apple orchard. Precision Agric 12, 118–129

Aggelopoulou, K.D., Wulfsohn, D., Fountas, S., Gemtos, T.A., Nanos, G.D. and Blackmore, S. (2010) Spatial Variation in Yield and Quality in a Small Apple Orchard. Precision Agriculture, 11, 538-556. http://dx.doi.org/10.1007/s11119-009-9146-9

Agüero, R., Capellà, M.M.P., Lloret, J. et al. (2017): Recent Advances on Telematics Engineering. Mobile Netw Appl 22, 1065–1067.

Bierwirth P. (1996)b: Radio Ga-Ga - Integrating gamma-radiometrics into landscape modelling of soils attributes; results of an ACLEP exchange. ACLEP newsletter, 5/3.

Bierwirth P., Gessler P., Mckane D. (1996)a: Empirical investigation of airborne gammaray images as an indicator of soil proberties - Wagga Wagga, NSW, 8th Australasien Remote Sensing Conference Proceedings, Canberra.

Cook S. E., Corner R.J., Groves P.R., Grealish G. (1996): Use of airborne Gamma Radiometric Data for Soil Mapping. Australian Journal of Soil Research 34, 183–194.

Corwin D.L., Lesch S. M. (2003): Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles and Guidelines. Agronomy Journal 95, 3, 455–471.

De Meijer R.J. (1998): Heavy minerals: from'Edelstein' to Einstein. J. of Geochemical Expl, 62, 81-103.

Doerge T. (2001): Fitting soil electrical conductivity measurements into the precision farming toolbox. Wisconsin Fertilizer, Aglime and Pest Management Conference. Madison, WI, January, 16-18

Dris, R. (2002) Influence of Orchard Management on Growth and Production of Fruits. In: Dris, T., Jain S.M. and Khan I.A., Eds., Environment and Crop Production, Science Publishers Inc., Enfield, NH, 1-3.

Duri S., Elliott J., Gruteser M. et al. (2004): Data Protection and Data Sharing in Telematics. Mobile Networks and Applications 9, 693–701.

Fujisawa, M. and Kobayashi, K. (2013) Shifting from Apple to Peach Farming in Kazuno, Northern Japan: Perceptions of and Responses to Climatic and Non-Climatic Impacts. Regional Environmental Change, 13, 1211-1222. http://dx.doi.org/10.1007/s10113-013-0434-6

Fulton, A., Schwankl, L., Lynn, K. et al. Using EM and VERIS technology to assess land suitability for orchard and vineyard development. Irrig Sci 29, 497–512 (2011). https://doi.org/10.1007/s00271-010-0253-1

Hernandez D., FernÁndez-Caramés T.M.., Fraga-Lamas P, Escudero C. (2017): Design and Practical Evaluation of a Family of Lightweight Protocols for Heterogeneous Sensing through BLE Beacons in IoT Telemetry Applications. Sensors. 18. 57. 10.3390/s18010057

Hilgers M., Achenbach W. (2021): Telematic Systems. In: Electrical Systems and Mechatronics. Commercial Vehicle Technology. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg.

Kai, T., Mukai, M. , Araki, K. , Adhikari, D. and Kubo, M. (2015) Physical and Biochemical Properties of Apple Orchard Soils of Different Productivities. Open Journal of Soil Science, 5, 149-156. doi: 10.4236/ojss.2015.57015.

Kayad A.,Sozzi M., Paraforos D.S., Rodrigues F.A., CohenY., Fountas S., Francisco M.-J., Pezzuolo A., Grigolato S., Marinello F., (2022): How many gigabytes per hectare are available in the digital agriculture era? A digitization footprint estimation. Computers and Electronics in Agriculture, 198, 107080.

Martz L.W., De Jong E. (1990): Natural Radionuclides in the Soils of a Small Agricultural Basin in the Canadian Prairies and Association with Topografy, Soil Properties and Erosion. Catena 17, H. 6, 85–96.

Oksanen T., Piirainen P., Seilonen I., (2015): Remote access of ISO 11783 process data by using OPC Unified Architecture technology. Computers and Electronics in Agriculture, 117, 141-148.

ParaforosD.S., SharipovG.M., GriepentrogH.W. (2019):ISO 11783-compatible industrial sensor and controlsystems and relatedresearch: A review. Computers and Electronics in Agriculture,Volume 163,104863.

Paul K., Chatterjee S.S., Pai P., Varshney A., Juikar S., Prasad V., Bhadra B., Dasgupta S. (2022): Viable smart sensors and their application in data driven agriculture. Computers and Electronics in Agriculture, 198, p.107096.

Pracilio G., Adams R.L., Smettem K.R.J. (2003): Use of Airborne Gamma Radiometric Data for Soil Property and Crop Biomass Assessment. In: Stafford, J. and A. Werner: Precision Agriculture – proc. Of the 4th Europ. Conf. on Prec. Ag., Berlin, 15.–19.06., 551–557.

Santa J., Zamora-Izquierdo M.A., Jara A.J., Gómez-Skarmeta A.F. (2012): Telematic platform for integral management of agricultural/perishable goods in terrestrial logistics. Computers and Electronics in Agriculture, 80, 31-40.

Scudiero E., Corwin D. L., Markley P. T., Pourreza A., Rounsaville T., Bughici T., Skaggs T. H. (2024): A system for concurrent on-the-go soil apparent electrical conductivity and gamma-ray sensing in micro-irrigated orchards, Soil and Tillage Research, 235, 105899.

Searle R., McBratney A., Grundy M., Kidd D., Malone B., Arrouays D., Stockman U., Zund P., Wilson P., Wilford J., Van Gool, D. (2021): Digital soil mapping and assessment for Australia and beyond: A propitious future. Geoderma Regional, 24, p.e00359.

Springer India New Delhi. Telematics: Simplicity to drive adoption. Auto TechRev 2, 64 (2013). https://doi.org/10.1365/s40112-013-0275-1

Terrón J.M., Marques Da Silva J.R., Moral F.J. (2011): Alfonso Garcý´a-Ferrer. Soil apparent electrical conductivity and geographically weighted regression for mapping soil. Precision Agric, 2011, DOI 10.1007/s11119-011-9218-5.

Tsoulias, N., Gebbers, R. & Zude-Sasse, M. Using data on soil ECa, soil water properties, and response of tree root system for spatial water balancing in an apple orchard. Precision Agric 21, 522–548 (2020). https://doi-org.infozdroje.czu.cz/10.1007/s11119-019-09680-8

Uribeetxebarria A., Arnó J., Escola A., Martínez-Casasnovas J. A. (2018): Apparent electrical conductivity and multivariate analysis of soil properties to assess soil constraints in orchards affected by previous parcelling, Geoderma, 319, 185-193.

Van Wijngaarden M., Venema L.B., De Meijer R.J., Zwolsman J.J.G., Van Os B., Gieske J.M.J. (2002): Radiometric sand-mud characterisation in the Rhine-Meuse estuary Part A: Fingerprinting. Geomorphology, 43, 82-101.

Wong M.T.F., Harper R.J. (1999): Use of On-Ground Gamma-Ray Spectrometryto Measure Plant-Available Potassium and other Topsoil Attribute. Australian Journal of Soil Research 37, 267–277.

Charakteristika zájmového území

Specializovaná mapa, pojednávající o variabilitě půdních vlastností a intenzitu přejezdů se zaměřuje na území obhospodařované Výzkumným a šlechtitelským ústavem ovocnářským Holovousy s.r.o. v katastru obce Holovousy v Podkrkonoší. Zmapováno bylo celkem 9,6 ha sadů, případně pozemků pro budoucí sady, ve východních Čechách. Převažujícími půdními typy jsou hnědozem a kambizem modální. Sady leží v nadmořské výšce od 287 m n.m. do 307 m n.m.

Druhá lokalita se nachází v katastru obce Kozinec ve středočeském kraji. Sady obhospodařuje společnost BROMIL s.r.o. Převažujícími půdními typy jsou hnědozem a černozem. Zmapováno bylo celkem 28,7 ha sadů. Průměrná nadmořská výška obhospodařovaných pozemků se pohybuje v rozmezí od 303 m n.m. do 329 m n.m.

Pro uvedené zájmové území byly stanoveny hodnoty eklektické vodivosti půdy ECa v hloubce profilu 0 až 0,5 m a 0 až 1 m. S využitím gamaspektrometru byly získány mapy celkového příkonu DR a koncentrace draslíku K. Obojí pro hloubku půdního profilu 0 – 0,3 m. Byly získány obsáhlé soubory dat. Před vlastním zpracováním bylo zapotřebí data upravit. Byly odstraněny extrémně nízké a vysoké hodnoty a odchylky.

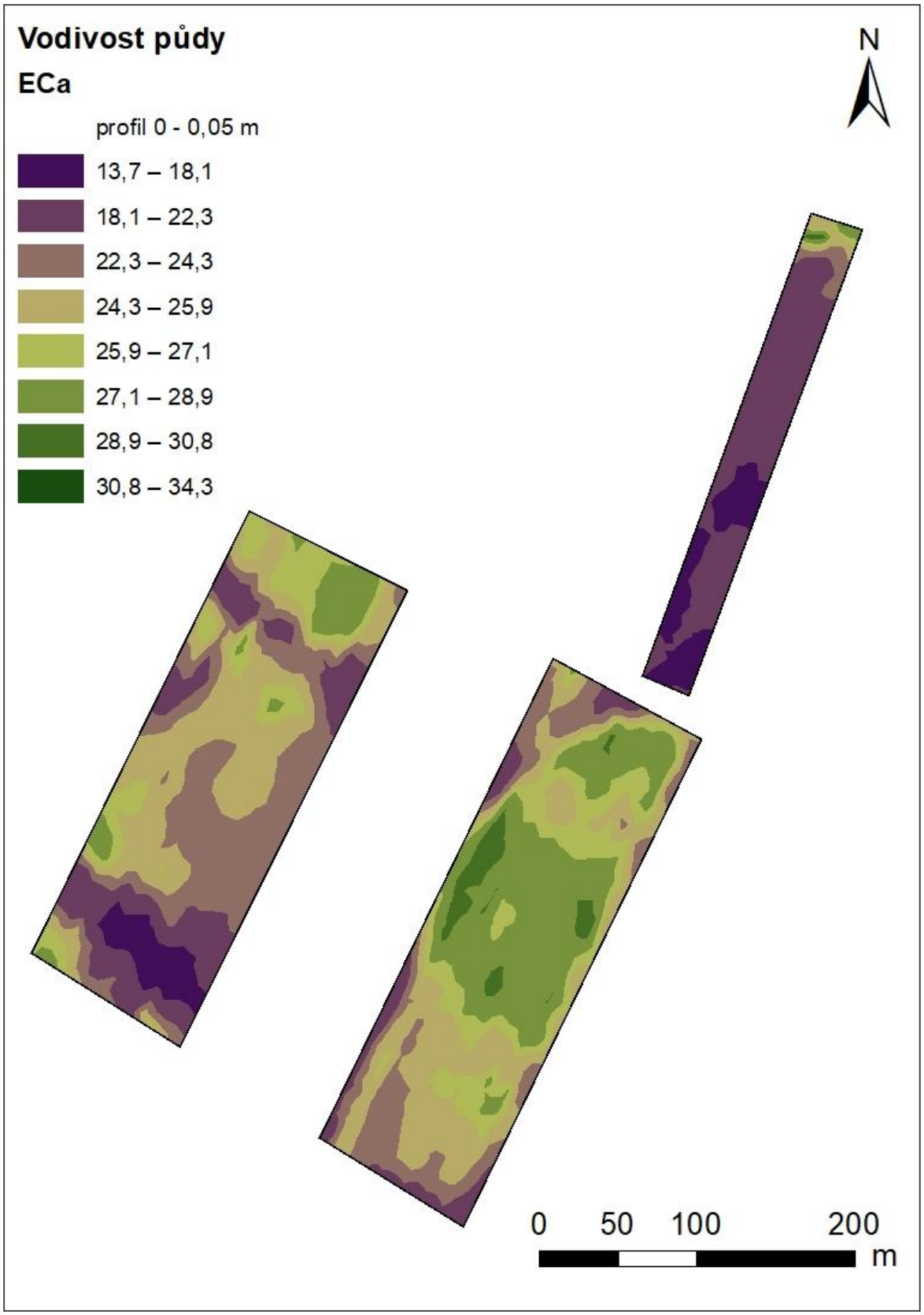
Na pozemcích VŠÚO se pohybovaly hodnoty elektrické vodivosti pro profil 0,05 m od hodnoty 13,7 do 34,3 mS/m. Pro profil 1 m byly hodnoty v rozmezí od 15,7 do 44,9 mS/m. Hodnoty celkového příkonu nabývaly hodnoty od 62,7 do 96 nGy/h a hodnoty koncentrace draslíku od 1,6 do 2,9 %.

Na pozemcích společnosti Bromil se pohybovaly hodnoty elektrické vodivosti pro profil 0,05 m od hodnoty 11 do 32,1 %. Pro profil 1 m byly hodnoty v rozmezí od 9,4 do 41,2 mS/m. Hodnoty celkového příkonu nabývaly hodnoty od 64,2 do 99,8 nGy/h a hodnoty koncentrace draslíku rovněž od 1,6 do 2,9 %.

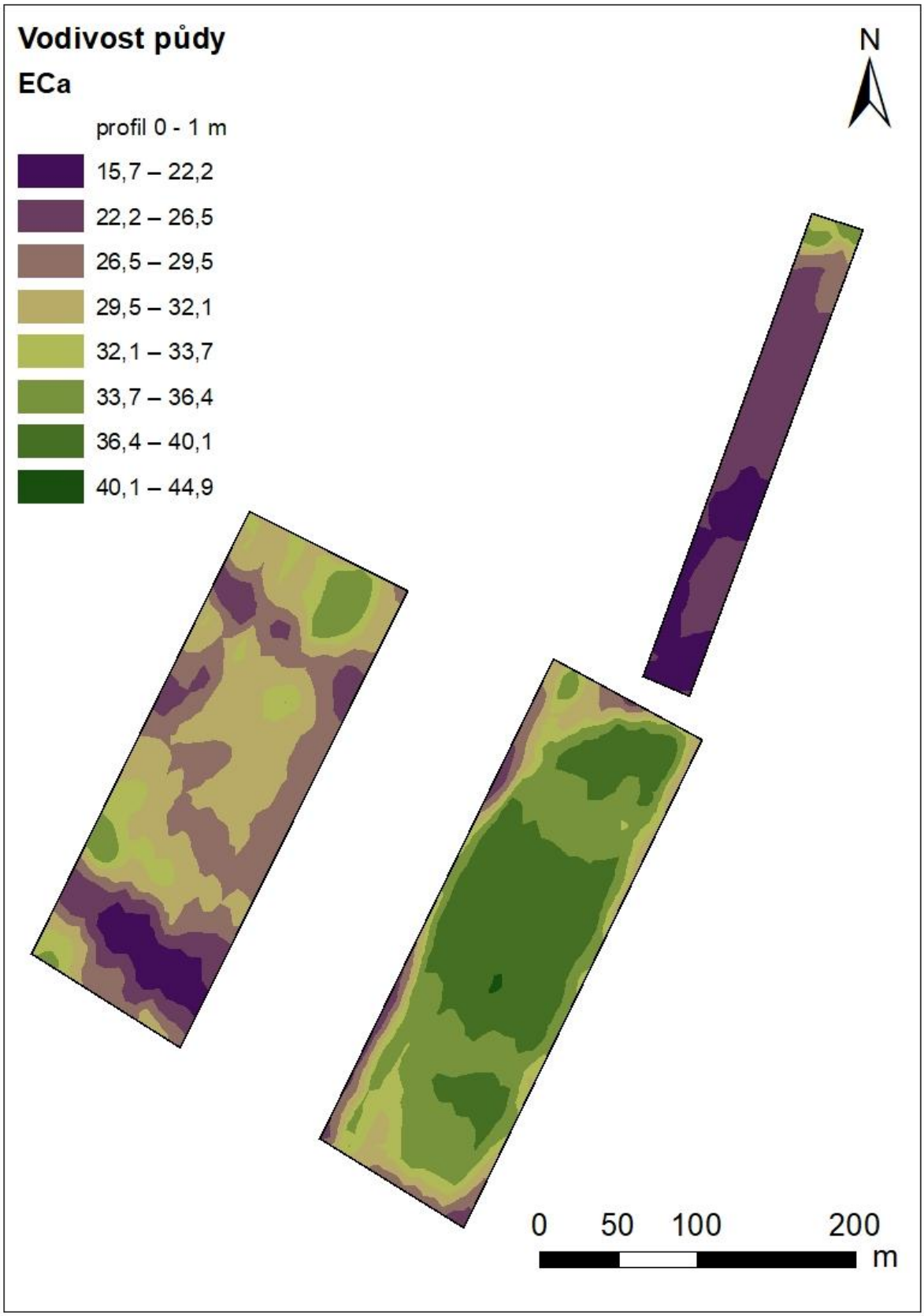
Před samotným vyhodnocením a tvorbou map proběhly úkony spojené s hodnocením prostorové závislosti jednotlivých hodnot souborů. Toto hodnocení vychází z parametrů variogramů, které byly pro oba soubory vytvořeny. Míra prostorové závislosti je vyjádřena poměrem mezi hodnotou nuggetu ku celkovému prahu (sill) variogramu. Pokud je tento poměr $\leq$ 25 % hovoříme o silné prostorové závislosti. Hodnoty větší než 25 % až do 75 % vyjadřují středně silnou prostorovou závislost. Hodnoty nad 75 % vyjadřují prostorově nezávislá data. Následným krokem byla tvorba map pomocí interpolační metody Kriging. Hodnoty prostorové závislosti pro elektrickou vodivost půdy se na lokalitě VŠÚO pohybovaly od 10,9 % 23,1 % pro profil do 0,5 m a pro profil 1 m byly stanoveny hodnoty od

2,3 % do 27,6 %. Hodnoty se pohybovaly na úrovni silné prostorové závislosti. Slabších hodnoty bylo dosaženo u hodnot celkového příkonu (37,2 % -59,2) a draslíku (27,1 % - 71,4 %). Jednalo se o rozmezí hodnot na úrovni středně silné závislosti.

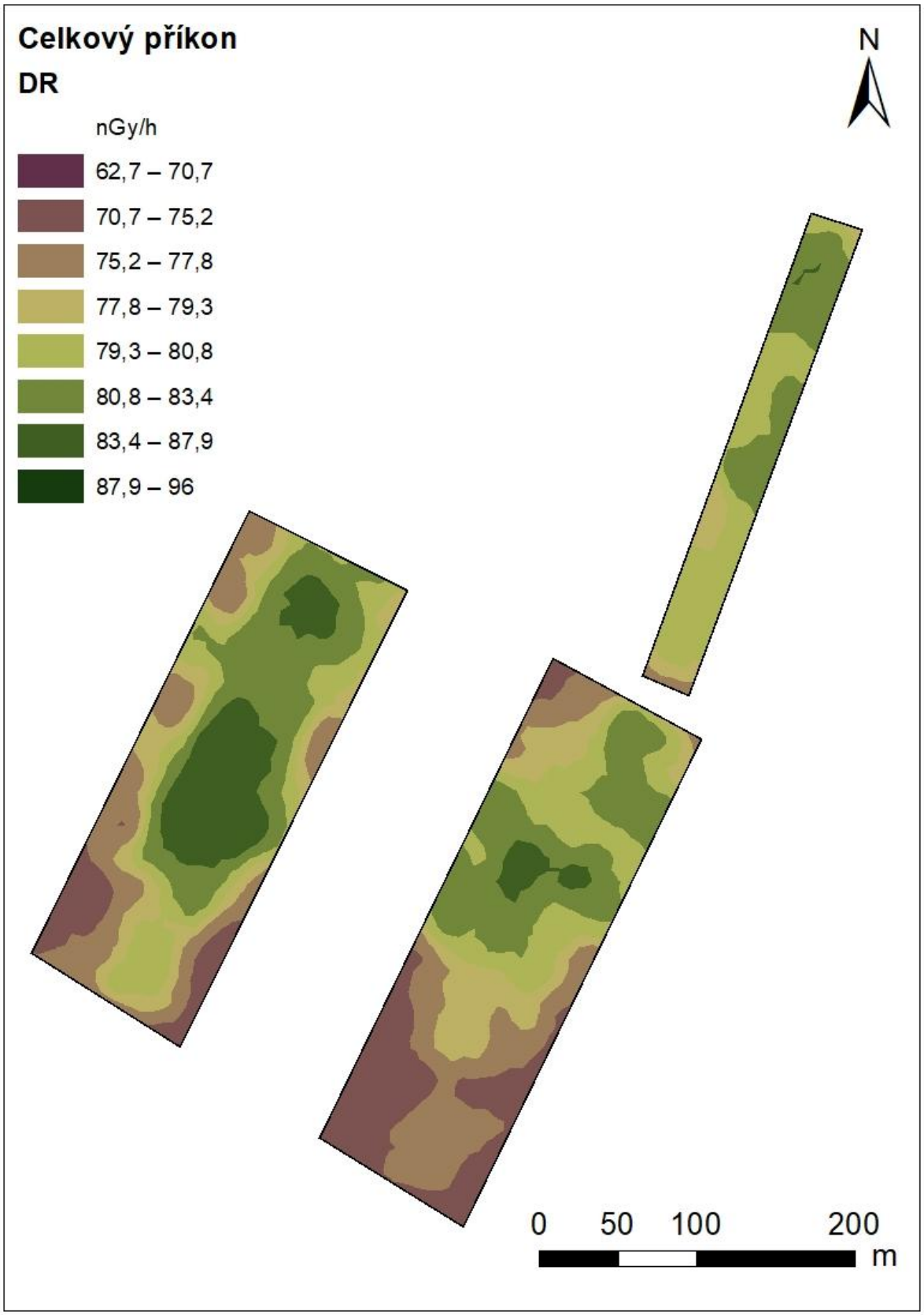
Shodný trend byl pozorován u pozemků v lokalitě Kozinec (Bromil). Elektrická vodivost půdy, horizont 0,5 m 4,8 % až 19,5 %, horizont 1 m 8,5 % až 14,8 %, celková příkon 38 % až 60,9 %, draslík 32,4 až 64,5 %. Také v této lokalitě byly hodnoty vodivosti na úrovni silné prostorové závislosti a hodnoty celkového příkonu a draslíku na úrovni středně silné. Hodnoty prostorové závislosti mají významný vztah k přesnosti interpolace a následné interpretační hodnotě grafické podoby mapy. Hodnoty vodivosti dokládají silnou prostorovou závislost na také na malých pozemcích. Hodnoty draslíku a celkového příkonu nicméně také vypovídají o variabilitě plochy a mohou být vodítkem pro hlubší zkoumání zájmového území. Vyšších hodnot prostorové závislosti bývá dosažena s větším souborem dat a větším pozemkem. Tyto pozemky mají také vyšší pravděpodobnost výraznějších rozdílů v měřených hodnotách. Na druhou stranu je patrné, že i malé pozemky vykazují značnou variabilitu a tato může být uvedenými metodami rychle popsána s četností měření, která není realizovatelné tradičními manuálními postupy odběrů.



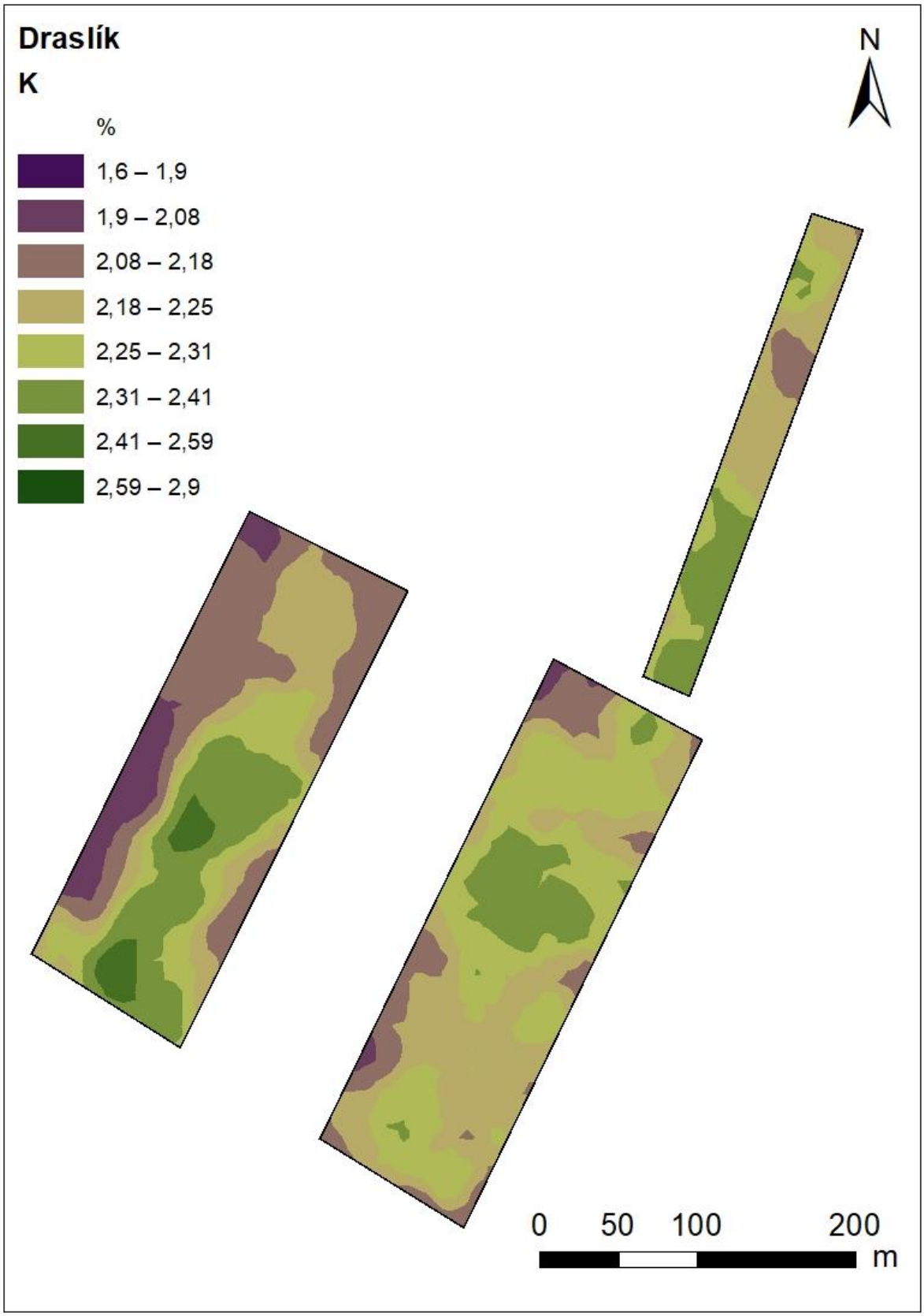
Hodnoty elektrické vodivost půdy pro profil 0 až 0,5 m, lokalita VŠÚO.



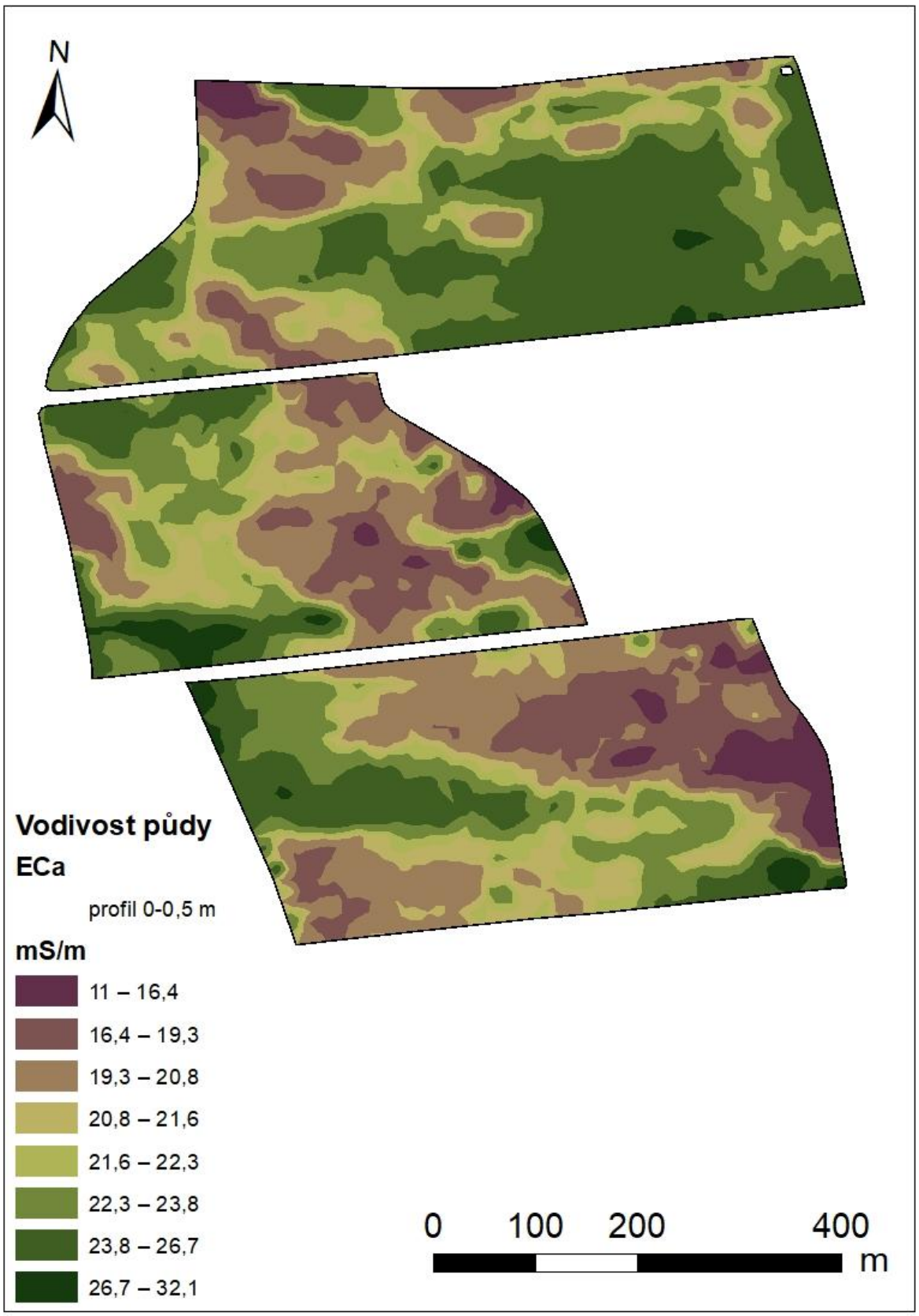
Hodnoty elektrické vodivost půdy pro profil 0 až 1 m, lokalita VŠÚO.



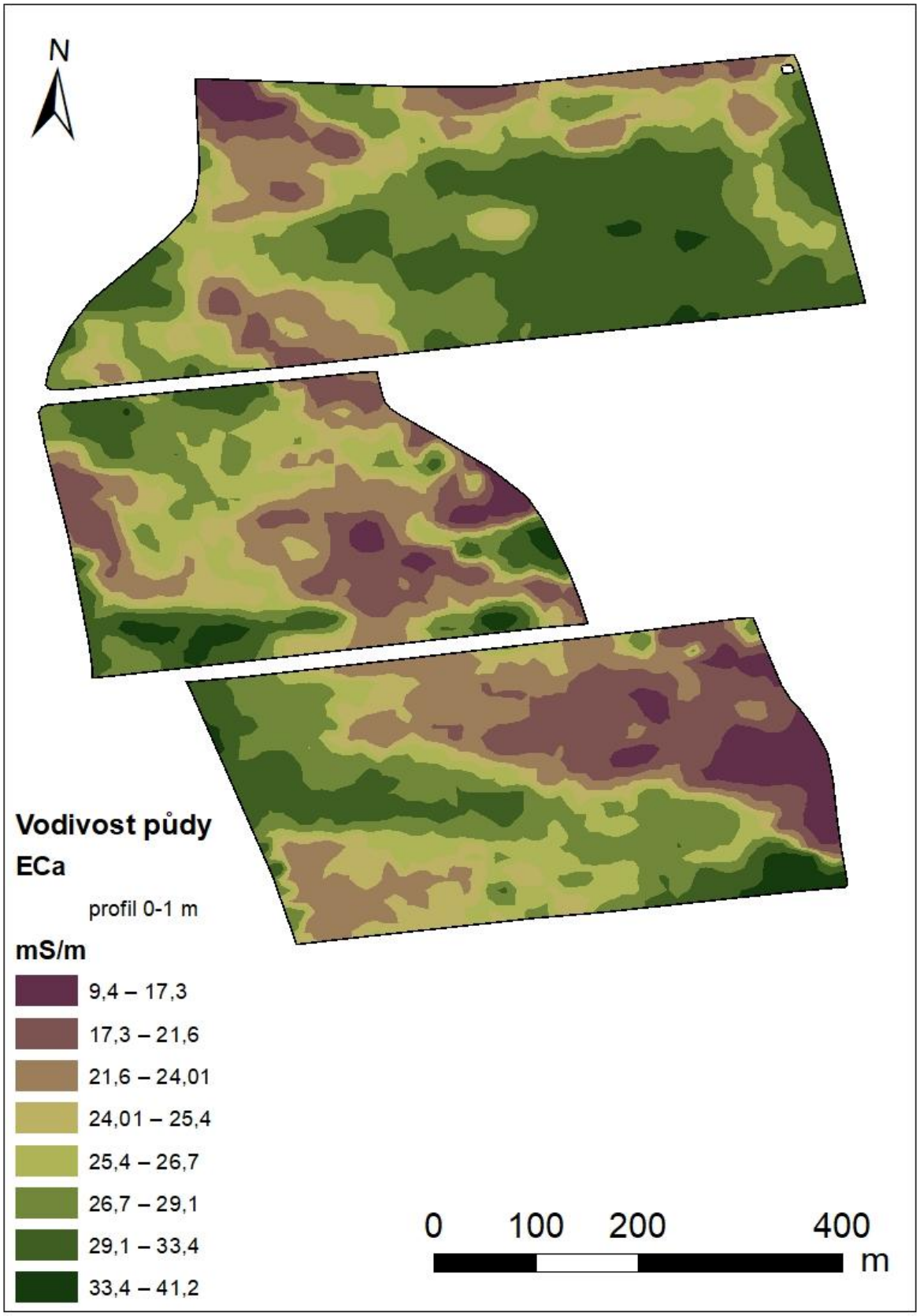
Hodnoty celkového příkonu pro profil 0 až 0,3m, lokalita VŠÚO.



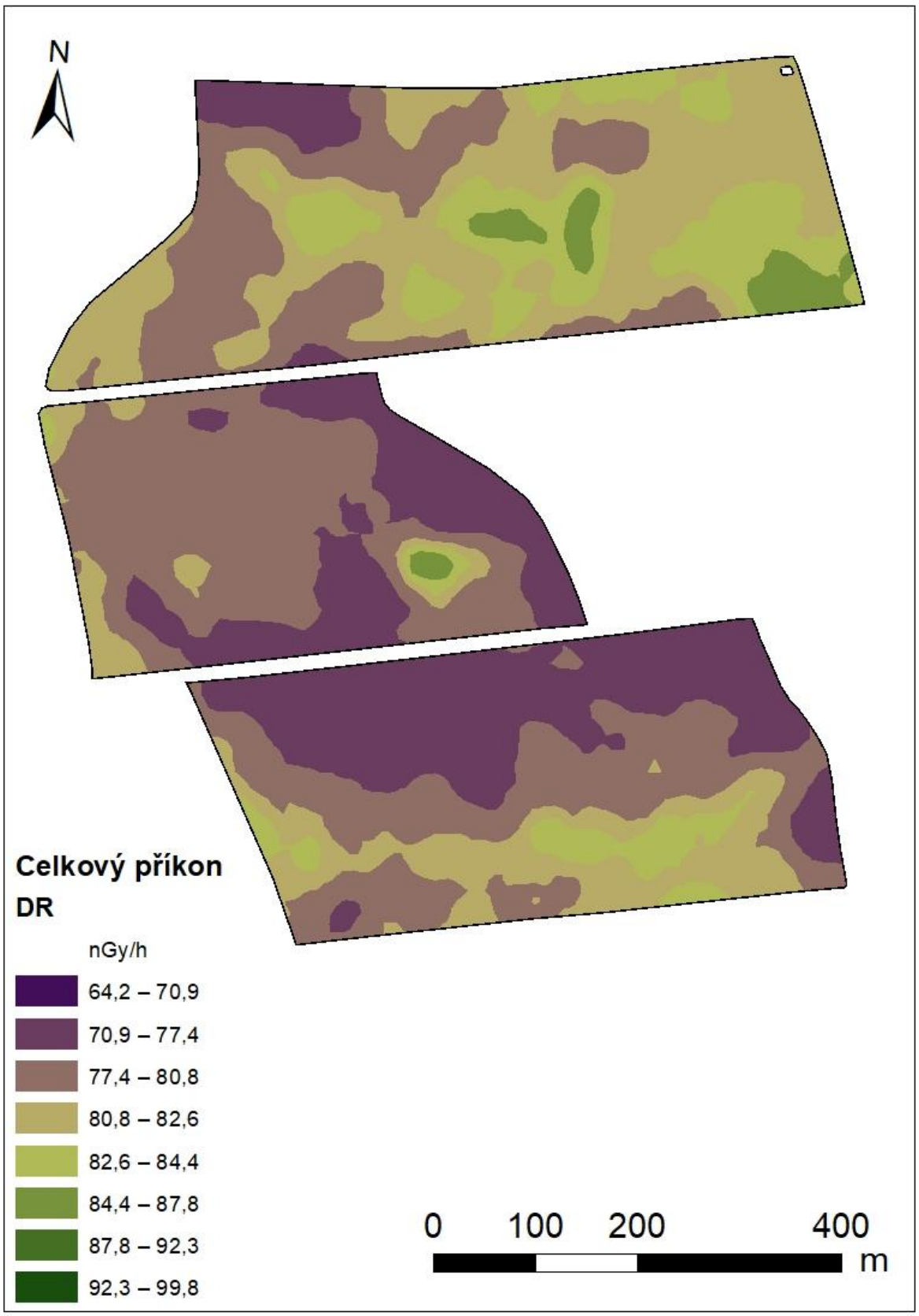
Hodnoty koncentrace draslíku pro profil 0 až 0,3 m, lokalita VŠÚO.



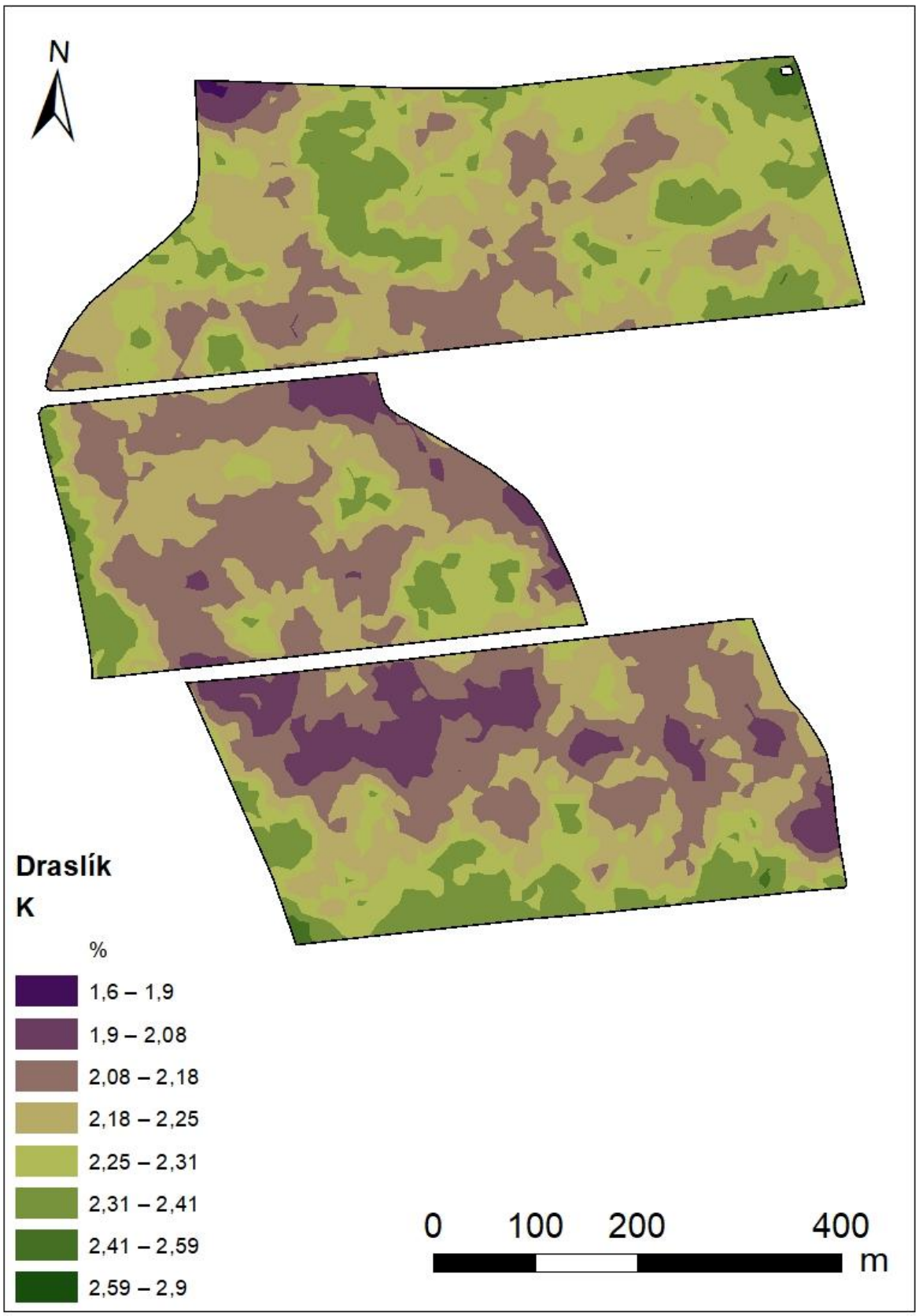
Hodnoty elektrické vodivost půdy pro profil 0 až 0,5 m, lokalita Kozinec (Bromil).



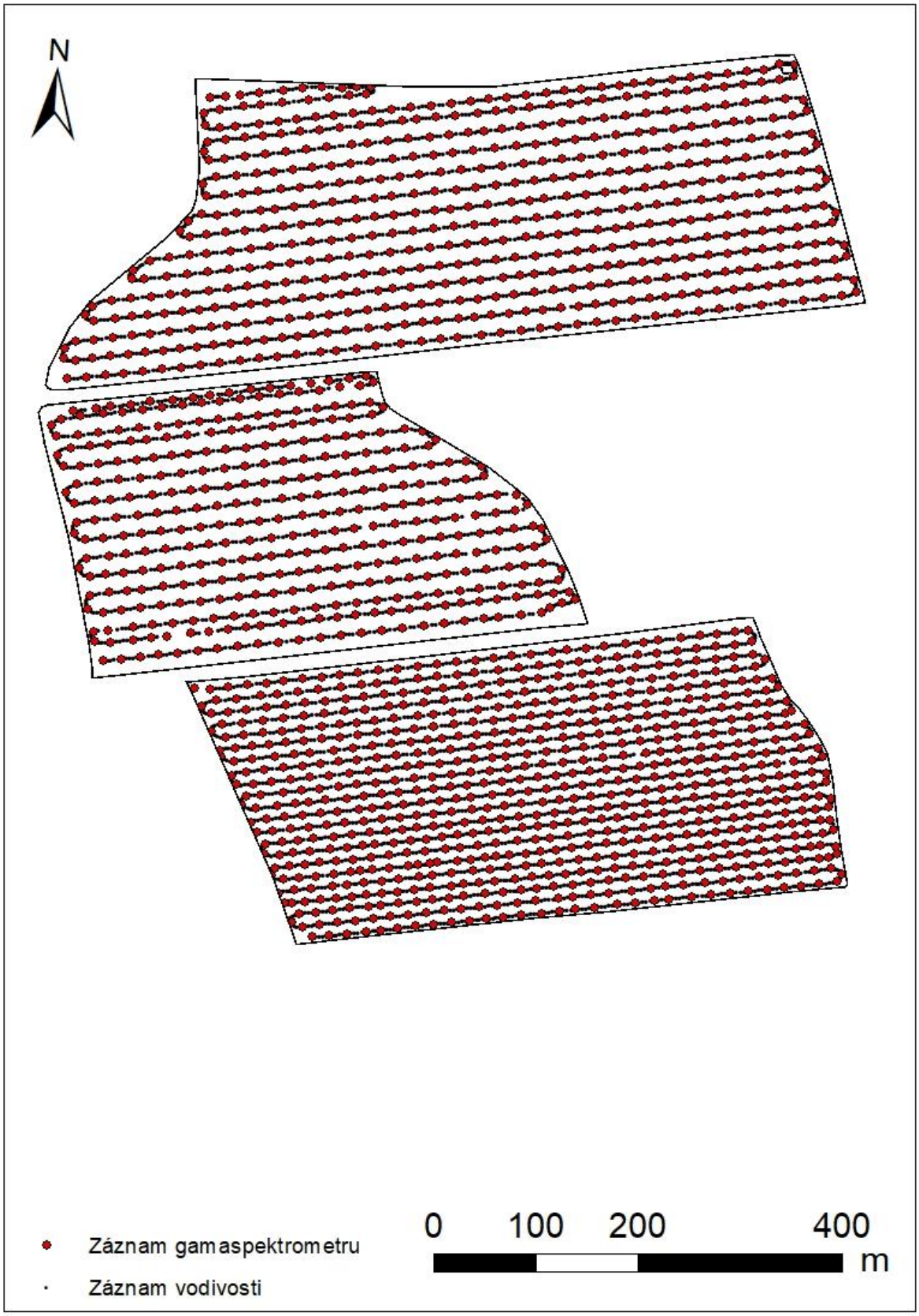
Hodnoty elektrické vodivost půdy pro profil 0 až 1m, lokalita Kozinec (Bromil).



Hodnoty celkového příkonu pro profil 0 až 0,3m, lokalita Kozinec (Bromil).



Hodnoty koncentrace draslíku pro profil 0 až 0,3m, lokalita Kozinec (Bromil).



Ukázka četnosti měření a záznamů.

Dedikace: Mapa je výsledkem řešení výzkumného projektu č. QK21010170 s názvem „Nová koncepce sadů s nástupem technologií 4.0“

Jména oponentů a názvy jejich organizací.

Ing. Jan Lukáš, Ph.D.

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i.

Drnovská 507/73

161 06 Praha 6 – Ruzyně