

OPTIMALIZÁCIA PÔDNEHO VZORKOVANIA PRE POTREBY PRECÍZNEHO VINOHRADNÍCTVA PRÍPADOVÁ ŠTÚDIA: MODRANY

Veronika Beranová¹, Marián Jenčo¹, Ján Šašák²

¹ *Univerzita Komenského v Bratislave, Prírodovedecká fakulta, Katedra fyzickej geografie a geoekológie, e-mail: veronika.beranova@uniba.sk, marian.jenco@uniba.sk*

² *Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, Prírodovedecká fakulta, Ústav geografie, Oddelenie geoinformatiky, e-mail: jan.sasak@upjs.sk*

Abstract: In general, the main criteria for determining the optimal soil sampling grid are the configuration of the relief and the soil properties of a particular land parcel. Soil sampling for agrochemical testing of soils is regulated by Slovak legislation, for the vineyard the density of the sampling grid is determined as one sample per two to four hectares of land, what means six to nine samples for the selected research area of 17 ha. This density is several times lower compared to the results of most scientific papers, therefore 22 samples (1 sample / 0.77 ha) were taken to determine phosphorus and magnesium and 73 samples (1 sample / 0.23 ha) to determine the carbon and nitrogen content. Subsequently, 12 dilute networks were created from the concentrated sampling network, which entered into interpolation. By comparing the created rasters, we determined the value of spatial loss of information on the state of nutrients in the soil, which made it possible to determine the optimal density of soil sampling for the needs of precision agriculture, considering the financial complexity of laboratory analyses. We determined the most suitable 10-point grid (1 sample / 1.7 ha). The research was carried out on a model vineyard in Modrany (Komárno district).

Keywords: soil sampling, sampling strategy, sampling density, vineyard, Modrany

1 ÚVOD

Pôdne vzorkovanie je nevyhnutnou súčasťou dobrého manažmentu vinogradov. Pravidelné sledovanie pôdných vlastností umožňuje následne variabilnú aplikáciu živín potrebných pre výživu viniča. Stanovenie optimálnej odberovej siete pre odber pôdných vzoriek môže byť komplikovaný proces (Moulin et al., 2003). Aby bolo možné charakterizovať priestorovú variabilitu pôdných vlastností, je nevyhnutné zhromaždiť a analyzovať veľké množstvo vzoriek, čo je časovo náročné a nákladné (Tajik et al., 2020). Na tvar a hustotu odberovej siete vplýva množstvom faktorov. Okrem heterogenity pôdných a morfometrických vlastností územia je často nutné

zohľadniť aj faktor financií (Franzen a Peck, 1995; Thom et al., 2003). V súčasnosti sa stále viac prejavuje v pedogenéze antropogénny vplyv, čo proces optimalizácie vzorkovania značne komplikuje (Schöning et al., 2006).

Cieľom príspevku je zhodnotiť vhodnosť legislatívne ukotvenej hustoty pôdneho vzorkovania pre agrochemické analýzy pôd (jedna vzorka na dva až štyri hektáre) na konkrétnom rovnomerne naklonenom svahu, ktorý možno považovať z hľadiska polohy, rozlohy a morfológie za reprezentatívny pre Južnoslovenskú vinohradnícku oblasť. Skúmané sú prvky horčík, fosfor, uhlík a dusík. V príspevku je vyhodnotená strata informácie pri rôzne hustých odberových sieťach, pričom získané údaje sú porovnané so štandardizovanou, legislatívne ukotvenou, odberovou sieťou. V zmysle pedogeografických (Yu et al., 2011; Stamber, 2014) a botanických (Mueller-Dombois a Ellenberg, 1974; Moravec, 1994) poznatkov týkajúcich sa danej problematiky predpokladáme, že kvalita priestorovej informácie sa od určitej hustoty odberných bodov prestane výraznejšie meniť. Potvrdenie tohto predpokladu umožní navrhnúť reprezentatívnu sieť pre pôdne vzorkovanie, ktorá bude reflektovať rôznorodosť prírodných podmienok a rovnako finančnú efektivitu pôdneho vzorkovania.

2 TEORETICKÉ VÝCHODISKÁ

Pôda je jednou z najdôležitejších zložiek poľnohospodárskej výroby a často má dominantný význam pre kvalitu plodín. Priestorová variabilita pôdnych vlastností je výsledkom interakcie viacerých pôdotvorných faktorov a procesov, pričom v poľnohospodárskych a lesných oblastiach zahŕňa aj vplyvy vyplývajúce z obhospodarovania (Koch et al., 2004). Pôdne vzorkovanie a pôdne analýzy sú dlhodobo farmármi využívané na rozhodovanie o agrotechnických zásahoch. Štandardne je prvým krokom určenie tvaru odberovej siete (Ge et al., 2011). V základných charakteristikách tvaru odberovej siete sa literatúra zhoduje (Heuvelink a Bierkens, 1992; Siniowski a Auerswald, 1999; Mallarino a Wittry, 2004; Schepers et al., 2004; Heege, 2013). Pre precízne poľnohospodárstvo sú definované dve metódy vzorkovania z hľadiska tvaru odberovej siete – *zone sampling* (vzorkovanie reprezentatívnych zón územia) a *grid sampling* (vzorkovanie v pravidelnej sieti). Vo všeobecnosti možno považovať dostatočne hustú odberovú sieť pri metóde *grid sampling* za presnejšiu (Mallarino a Wittry, 2004), avšak, ak nie je možné odobrať vzorky v dostatočne hustej sieti (*grid*), *zone sampling* sa javí ako vhodnejšia metóda, nakoľko zóny sú vyčlenené ako územia s relatívne homogénnymi vlastnosťami, kde variabilitu pôdnych vlastností možno odsledovať aj s analýzou menšieho počtu vzoriek (Clay et al., 2000).

Optimálna hustota bodov odberovej siete pre pôdne vzorkovanie v precíznom poľnohospodárstve je predmetom dlhoročných štúdií. Autori však ťažko hľadajú zhodu, čo často vedie v konkrétnych podmienkach k nutnosti cieleného výskumu hustoty vzorkovania. Wollenhaupt et al. (1994) navrhli pre veľkoblukové polia použitie menších veľkostí mriežky a to 0,36 ha (60 × 60 m) alebo menej. Mallarino

a Wittry (2004) odporúčajú pre veľkoblokové poľnohospodárske parcely vzorkovaciu mriežku o rozlohe štvorca minimálne 0,8 ha (90 × 90 m), pre menšie 0,2 ha (45 × 45 m). S veľmi podobnými sieťami pracovali Flowers et al. (2005). Autori navrhli vzorkovacie siete o rozlohe štvorca 0,96 ha (98 × 98 m) a 0,46 ha (68 × 68 m). Yu et al. (2011) zistili, že pri antropogénne ovplyvnených, predovšetkým poľnohospodársky využívaných pôdach ani hustá odberová sieť (50 × 50 m) nedokáže zachytiť variabilitu obsahu živín v pôde. Stamber (2014) k tomuto tvrdeniu pridáva, že okrem hustoty vzorkovania, je nutné brať ohľad aj na samotné umiestnenie vzorky, keďže živiny sú často translokované vodou a eróziou, čo býva podmienené predovšetkým morfológiou terénu. Zahusťovanie sietí, v kontexte tlaku na znižovanie nákladov v poľnohospodárstve, však nie je riešením. Súčasný výskum sa zameriava na exaktné určenie najnižšej, ale ešte dostatočnej hustoty a optimálneho tvaru vzorkovacej siete pre konkrétne podmienky.

Slovenská legislatíva určuje hustotu vzorkovania pre potreby agrochemického skúšania pôd Vyhláškou č. 338/2005 Z. z. Plocha na odber jednej pôdnej vzorky na veľkých poľnohospodárskych pozemkoch predstavuje v priemere výmeru 8 hektárov na ornej pôde v zemiakovej a horskej výrobnjej oblasti; 10 hektárov na ornej pôde v repnej a kukuričnej výrobnjej oblasti; 20 hektárov na trvalých trávnych porastoch; 2 hektáre vo vinohradoch (v prípade homogenity územia 4 hektáre); 3 hektáre v intenzívnych ovocných sadoch a v chmeľniciach. V porovnaní s uvádzanými autormi sa jedná o výrazne väčšiu mriežku, keďže pri tvorbe legislatívneho rámca bola pravdepodobne zohľadnená aj finančná náročnosť analýz. To otvára priestor pre testovanie vhodnosti legislatívne zakotvených hodnôt.

3 MATERIÁL A METÓDY

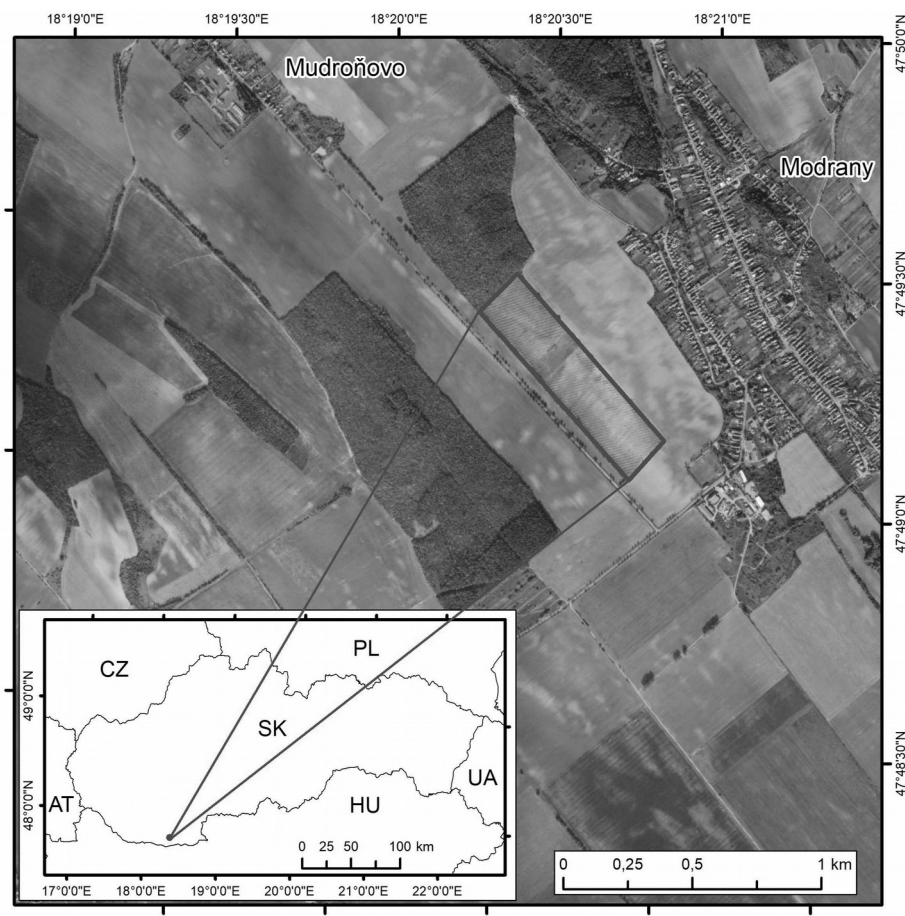
3.1 Záujmové územie

Výskum bol realizovaný vo vinohrade v k. ú. Modrany. Obec Modrany leží 21 km severovýchodne od Komárna. Záujmové územie je lokalizované v západnej časti katastrálneho územia obce, východne od cesty III. triedy číslo 1468 (obr. 1). Podľa katastrálnej mapy ide o parcelu registra „C“ 1180/49. Rozloha záujmového územia je 17 ha.

Kultúrny diel možno z hľadiska morfológie považovať za relatívne homogénny, jediným výrazným prvkom je úvalina v nevysadenej časti vinohradu. Nadmorská výška záujmového územia sa pohybuje od 131,5 m n. m. do 188 m n. m., z toho vyplýva prevýšenie 56,5 m. Nadmorská výška stúpa rovnomerne od juhozápadného okraja dielu k jeho severovýchodnej časti. Priemerná nadmorská výška územia je 159 m n. m. Priemerný sklon svahu je 6,9°, pričom najvyššie hodnoty sklonu boli zistené v strednej časti svahu. Orientácia územia je juhozápadná.

Geologický podklad záujmového územia tvoria prevažne neogénne piesky, štrky, íly, uhoľné íly a kvartérne nevápnité sprašové hliny (ŠGÚDŠ, 2020), z ktorých sa vyvinuli prevládajúce stredne ťažké, hlinité a hlinito-piesočné druhy pôd. Zistenými pôdnymi typmi v lokalite podľa nomenklatúry *Societas pedologica*

slovaca (2014) boli hnedozeme a regozeme rôznych subtypov. Priestorová distribúcia pôdnych typov a druhov je podobná mape bonitovaných pôdnoekologických jednotiek (VÚPOP, 2020). Z hľadiska bonity poľnohospodárskych pôd sa na väčšine kultúrneho dielu nachádzajú stredne produkčné pôdy. Reálnu vegetáciu na výskumnej lokalite v súčasnosti tvorí vinič odrody Veltlínske zelené (*Vitis vinifera* - Gruner Veltliner).



Obrázok 1 Lokalizácia záujmového územia. Zdroj: spracované autormi na podklade Esri, 2022

3.2 Pôdne vzorkovanie

Vyhľadka Ministerstva pôdohospodárstva SR č. 338/2005 Z. z. odporúča odobrať jednu vzorku z 2 až 4 hektárov pôdy. Keďže študovaný kultúrny diel má roz-

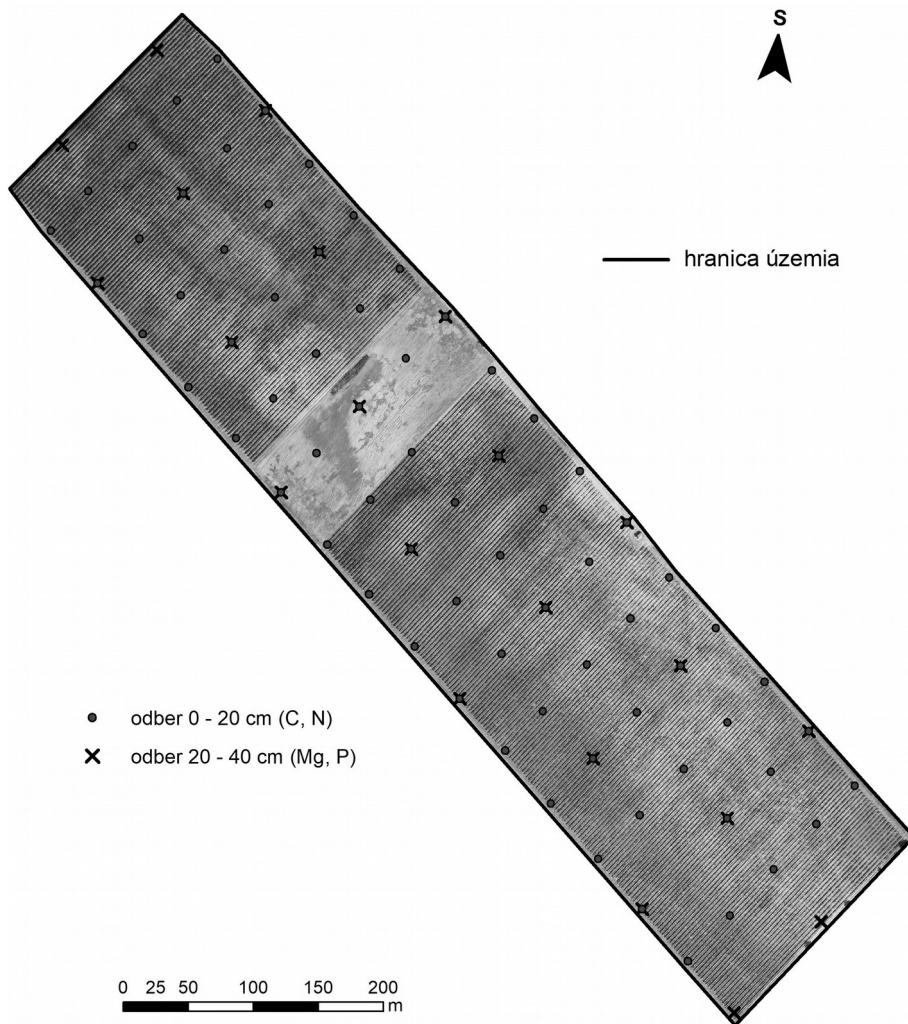
lohu 17 ha, vyhláška z neho odporúča odobrať šesť až deväť vzoriek. V súlade s vyššie uvedenou literatúrou bola navrhnutá pravidelná primárna odberová sieť o veľkosti 50 × 50 m pre odber vzoriek na zistenie obsahu uhlíka a dusíka, a aj z pragmatických dôvodov sieť približne 90 × 90 m pre odber vzoriek pre horčík a fosfor. Hustotou odberovej siete sme sa priblížili k optimálnej hustote vzorkovania podľa Mallarino a Wittry (2004). Odber vzoriek prebiehal v októbri roku 2017. Odberové pole bolo pred odberom vzoriek označené fotogrametrickými značkami z dôvodu následného mapovania územia pomocou bezpilotného leteckého zariadenia (UAV).

Na analýzu v sieti 50 × 50 m bol zvolený uhlík a dusík. Výrazná zmena koncentrácií týchto prvkov v rámci svahu môže indikovať eróziu. V sieti 90 × 90 m bol analyzovaný pravidelne antropogénne dodávaný fosfor a prirodzene sa vyskytujúci horčík. Napriek tomu, že pre vinič sú živiny koreňovou sústavou prijímané od hĺbky približne 20 cm, v záujme lepšieho zaznamenania prípadnej erózie boli vzorky na analýzu uhlíka a dusíka odoberané z hĺbky 0 – 20 cm. Vzorky pre zisťovanie fosforu a horčíka boli odoberané štandardne z hĺbky 20 – 40 cm.

Vzorky boli v teréne odoberané kombinovane pomocou výkopu a pôdneho vrtáka. Pri odbere vzoriek, predovšetkým z hĺbky 20 – 40 cm, bolo nutné v čo najvyššej miere zabrániť kontaminácií horizontu. Z tohto dôvodu bolo vrchných 20 cm odobratých výkopom a do hĺbky 40 cm sa vzorka dovítala. Celkovo bolo odobratých 85 vzoriek na analýzu uhlíka a dusíka, 22 vzoriek na analýzu fosforu a horčíka. Z pôvodných 85 vzoriek odobratých z hĺbky 0 – 20 cm bolo z rôznych technických dôvodov vyradených 12 vzoriek. Na zistenie koncentrácie uhlíka a dusíka bolo teda použitých 73 vzoriek, na zistenie obsahu fosforu a horčíka bolo využitých 22 vzoriek, ktorých poloha je uvedená na obr. 2. Laboratórne analýzy boli vykonané *Laboratóriom pre pôdnu hygienu, analýzu vôd, odber vzoriek a interpretáciu výsledkov skúšok Výskumného ústavu pôdoznavectva a ochrany pôd v Bratislave*. Koncentrácia fosforu bola stanovená v pôdnom extrakte podľa Mehlicha III spektrofotometrickou metódou, koncentrácia horčíka bola stanovená taktiež v pôdnom extrakte podľa Mehlicha III, avšak metódou AAS-F spektrometrie. Uhlík a dusík bol stanovený simultánne využitím princípu dynamického spaľovania pomocou elementárneho analyzátora Euro EA 3000.

3.3 Využitie bezpilotného leteckého zariadenia pri tvorbe ortofoto snímky a digitálneho terénneho modelu

Mapovanie záujmovej lokality použitím UAV fotogrametrie bolo realizované z dôvodu nedostatočnej rozlišovacej úrovne dostupných topografických máp pre potreby výskumu. Mapovanie prebehlo dňa 10.10.2017 použitím bezpilotného leteckého zariadenia DJI Phantom 4. Toto zariadenie je nosičom pre Ultra HD digitálnu kameru, ktorá je umiestnená na trojosí gimbal. Trajektória letu bola vopred naplánovaná v softvéri DJI Ground Station a rozdelená na 39 letových línií/pásov, ktoré pokrývali záujmové územie. Výška letu bola 50 m a rýchlosť letu 10 m/s. V rámci mapovania bolo vytvorených 1 257 snímok s priemerným rozlíšením pixela 3 cm, pričom prekrytie snímok bolo v pozdĺžnom aj priečnom smere 70 %. Paralelne



Obrázok 2 Zahustená odberová sieť na podklade ortofoto snímky. Zdroj: spracované autormi

s UAV fotogrametriou boli na záujmovom území realizované GNSS merania vlčiacich bodov, ktoré slúžili na transformáciu súradnicového systému dát získaných UAV fotogrametriou. Spracovanie získaných snímok prebehlo v softvéri Agisoft Photoscan. Získané mračno bodov obsahovalo viac ako 2,3 mil. bodov, z ktorých časť bola použitá na odvodenie digitálneho modelu terénu (DTM). Pred samotným odvodením DTM však bolo potrebné mračno bodov filtrovať, teda odstrániť všetky body, ktoré nereprezentujú terén. Výsledné 3D mračno bodov obsahovalo celkovo 49 237 bodov. Filtrované mračno bodov bolo importované do softvéru GRASS GIS,

kde bol z neho odvodený DTM. Na odvodenie modelu bola použitá interpolačná metóda regularizovaný splajn s tenziou, pričom hodnota tenzie bola nastavená na 20 a hodnota zhladenia na 0,1. Výsledný DTM má priestorové rozlíšenie 1 m.

3.4 Tvorba zriadených odberových sietí

Zriadené odberové siete boli modelované z pôvodných odberových sietí ktoré tvorilo 22 bodov (1 vzorka/0,77 ha, štvorec približne 90×90 m) pre určenie obsahu horčíka a fosforu, a 73 bodov (1 vzorka/0,23 ha, štvorec približne 50×50 m) pre určenie obsahu uhlíka a dusíka v pôde. Pre potreby zried'ovania odberových sietí bola zisťovaná závislosť obsahu živín (premenná Y) na morfometrických veličinách reliéfu (sklon, nadmorská výška, druhá derivácia v smere spádnice a v smere vrstevnice – premenná X). Morfometrické veličiny boli odvodené v programe ArcMap 10.8 z DTM vytvoreného z dát UAV fotogrametrie. Sklon reliéfu bol odvodený nástrojom *Slope* a druhé derivácie nástrojom *Curvature*. Použité boli príkazové riadky pre výpočet *Profile* a *Plan curvature*. Definičné vzorce týchto morfometrických veličín nezodpovedajú normálovej krivosti reliéfu v smere spádnice a horizontálnej krivosti vrstevnice. Napriek tomu, podobne ako u vymenovaných krivostí, znamienka ich hodnôt vyjadrujú konvexné alebo konkávne formy reliéfu.

Orientácia reliéfu nebola zohľadňovaná, nakoľko územie má uniformnú juhozápadnú orientáciu. Na samotnú analýzu závislosti obsahu živín na morfometrických veličinách bola využitá lineárna regresná analýza implementovaná v MS Excel. Výsledkom pre každú zisťovanú závislosť bol koeficient determinácie (R^2). Cieľom analýzy bolo zistiť, do akej miery je nutné považovať reliéf za primárny faktor pre reprezentatívne umiestnenie pôdnej vzorky.

Následne boli odberové siete postupne zried'ované na princípe zachovania čo najväčšej priestorovej rovnomernosti vzorkovaných miest. Keďže v rámci svahu existuje len jeden výraznejší morfológický útvar (úvalina v centrálnej časti parcely) a priestorová variabilita jednotlivých chemických prvkov nebola významne determinovaná reliéfom, nebol kladený dôraz na striktné umiestnenie vzorky do reprezentatívneho morfotopu. To umožnilo zachovať relatívnu geometrickú pravidelnosť odberového poľa. Pre zisťovanie uhlíka a dusíka bolo vytvorených osem zriadených sietí pri počte vstupujúcich bodov: 70, 60, 50, 37, 29, 18, 14 a 10. Pre zisťovanie fosforu a horčíka bolo vytvorených šesť zriadených sietí, pričom sa jednalo o nasledujúce počty vstupných bodov: 18, 14, 12, 10, 8 a 6. Kvôli lepšej aplikácii do praxe sme sa snažili vytvoriť rovnakú odberovú sieť pre zisťovanie všetkých štyroch prvkov – jedná sa o 18, 12 a 10 bodové siete.

3.5 Testovanie kvality priestorovej informácie zo zriadených sietí

Prvým krokom pri testovaní kvality priestorovej informácie bolo vytvorenie rastrových modelov dát zo zriadených sietí pomocou interpolačnej funkcie. Na tento účel bola použitá interpolačná funkcia *Spline* implementovaná v softvéri ArcMap 10.8 (vstupné parametre: *output cell size* = 2,5; *weight* = 0,1; *number of points* = 12).

Interpoláciou celkovo vzniklo 28 rastrových modelov (8 modelov pre uhlík a 8 pre dusík; 6 modelov pre fosfor a 6 pre horčík), do štatistiky vstupovali aj modely z pôvodnej odberovej siete. Interpoláčna metóda bola zvolená na základe Halvu (2012), ktorý porovnával vhodnosť využitia interpolačných metód v precíznom poľnohospodárstve a metódu *Spline* vyhodnotil ako najvhodnejšiu. Nakoľko interpolačná metóda vytvára raster pravidelného obdĺžnikového tvaru ohraničeného vstupujúcimi bodmi, výsledné rastre pokrývajú len približne 90 % územia a skladajú sa z 21 672 pixelov.

Každý interpoláciou vytvorený rastrový model pre každú zriadenú odberovú sieť bol následne v programe ArcMap odčítaný od pôvodného rastra zo zahustenej odberovej siete pomocou nástroja *Raster Calculator*. Operáciou vznikol ďalší rastrový model, ktorý v sebe niesol informáciu o rozdieloch hodnôt v jednotlivých pixeloch vo vstupujúcich rastroch. Do hodnotenia potenciálnej straty informácie vstupovala priemerná hodnota z rastra (údaj *Mean* v *Classification Statistics*). Keďže táto priemerná hodnota je uvádzaná v reálnych číslach, zisťovaný bol percentuálny rozdiel medzi priemernou hodnotou rastra zo zahustenej siete a medzi priemernou hodnotou rastra z každej zriadenej siete. Metodika hodnotenia bola elementárna – čím viac sa hodnoty „rozdielového rastra“ blížili k nule, tým menej sa zmenila priestorová informácia zo zriadenej siete v porovnaní z hustou sieťou. Údaje sú uvedené v absolútnej hodnote. Takýmto porovnaním bolo možné určiť odberovú sieť, ktorá vykazuje najmenšiu stratu informácie v porovnaní s najviac zahustenou sieťou, ktorá je najbližšie k reálnemu stavu. Je nutné poznamenať, že bol zanedbaný vplyv algoritmu interpolačnej metódy na vypočítanú stratu informácie.

4 VÝSLEDKY A DISKUSIA

4.1 Distribúcia živín

Odber vzoriek z navrhnutej zahustenej odberovej siete bol zameraný na odber vzoriek pre analýzy koncentrácie uhlíka a celkového dusíka z hĺbky 0 – 20 cm (73 vzoriek) a pre analýzy obsahu fosforu a horčíka z hĺbky 20 – 40 cm (22 vzoriek). Priestorová distribúcia uhlíka a uvedených pôdnych živín je znázornená na obr. 3.

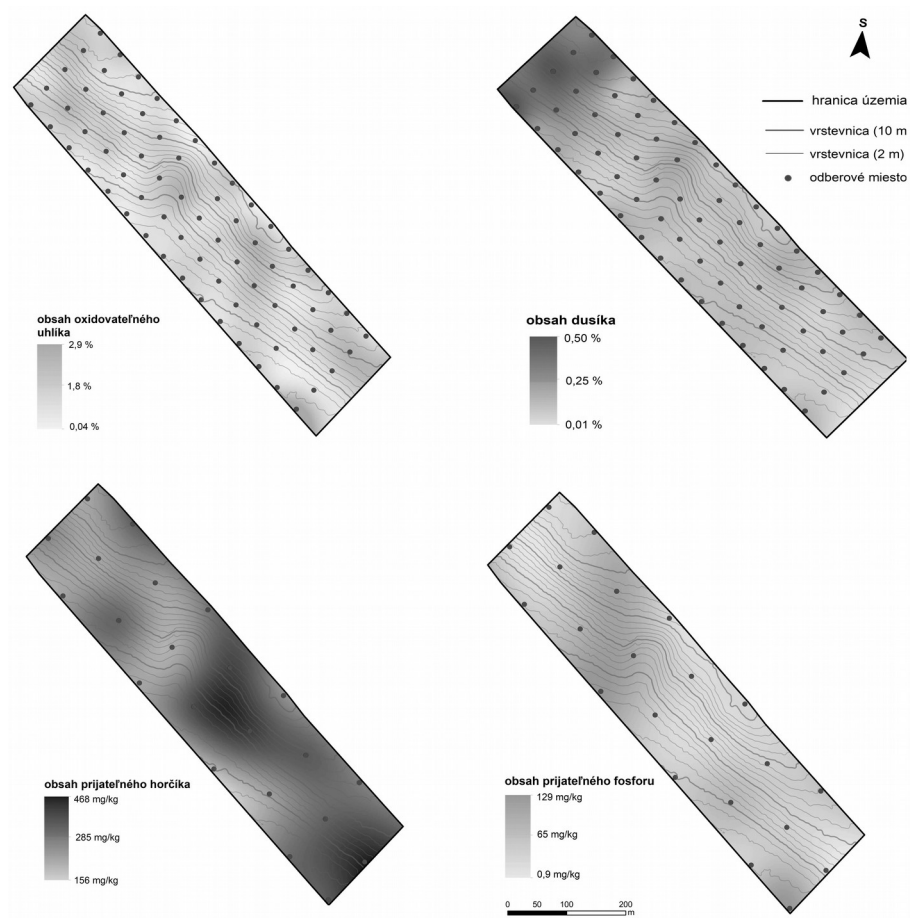
Hodnoty obsahu uhlíka (0,04 – 2,9 %, celoplošný priemer 1,8 %) v hĺbke 0 – 20 cm hovoria o slabo humózných pôdach. Tento záver bol očakávaný, vzhľadom na prevládajúce pôdne typy v lokalite (hnedozeme).

Hodnoty obsahu dusíka (0,01 – 0,50 %, celoplošný priemer 0,25 %) sú podľa Bieleka (1998) vysoké, jedná sa o dusíkaté pôdy. Výraznejší nárast obsahu dusíka je badateľný v SZ časti kultúrneho dielu. Môže to byť dôsledok pôsobenia blízkeho lesného porastu. Lesom podmienená eventúálna zmena pôdnych vlastností môže mať vplyv na zásoby dusíka v okolitej pôde.

Obsah prijateľného horčíka v kultúrnom diele osciluje medzi hodnotami 156 – 468 mg.kg⁻¹ (celoplošný priemer 285 mg.kg⁻¹), čo poukazuje na vyhovujúci až veľmi dobrý stav zásob (podľa vyhlášky č. 151/2016 Z. z.). Výnimkou je malá oblasť s nízkym obsahom horčíka v centrálnej časti JZ okraja územia. Horčík je prirodzene

sa vyskytujúci prvok v pôde záujmového územia. Jeho priestorová distribúcia je nerovnomerná, bez výrazných lokálnych extrémov. Vizualizácia zobrazuje len dva areály s vyšším obsahom horčička (v centrálnej časti a v JV časti).

Mapa obsahu prijateľného fosforu poukazuje na jeho veľkú priestorovú diferenciáciu. Je zaznamenaných niekoľko areálov lokálnych extrémov, ktoré sú nerovnomerne rozmiestnené. Hodnoty obsahu prijateľného fosforu sa pohybujú v škále 0,9 – 129 mg.kg⁻¹ (celoplošný priemer 65 mg.kg⁻¹), pričom väčšina areálu je podľa vyhlášky 151/2016 Z. z. zaradená do oblasti z nízkym obsahom fosforu.



Obrázok 3 Distribúcia živín v rámci skúmaného vinohradu.
Zdroj: spracované autormi

Výskum lesných pôd alebo pôd neovplyvňovaných antropogénnymi zásahmi často potvrdzuje závislosť medzi pôdnymi charakteristikami a morfológiou reliéfu (Moore et al., 1993; Pavlenda, 2008). Príkladom je akumulácia humusu v úpätných častiach svahu. Koefficienty determinácie na záujmovom území vypočítané nástrojmi lineárnej regresnej analýzy (tab. 1) nepotvrdili závislosť medzi distribúciou vybraných živín a morfometrických veličín. Dusíkatými hnojivami a fosforečnanmi je vinohrad hnojený v dvoj až trojročných cykloch, preto tieto prvky dosahujú nízku, až zanedbateľnú mieru ovplyvnenia morfometrickými veličinami. Pre horčík, aj keď je prirodzene sa vyskytujúcim prvkom v pôdnej hmote, je ovplyvnenie reliéfom taktiež nízke (R^2 je 0,044 – 0,103). To isté platí aj pre oxidovateľný uhlík vo vrchnej časti pôdy, ktorý je vďaka linearite svahu spolu s ostatnou pôdnou hmotou transportovaný po celej jeho dĺžke.

Tabuľka 1 Koefficienty determinácie pre vzťahy závislosti pôdných živín a reliéfu v riešenom území

	nadmorská výška	sklon	druhá derivácia vsmere vrstevnice	druhá derivácia vsmere spádnice
uhlík	0,007	0,015	0,002	0,001
dusík	0,001	0,001	0,011	0,001
horčík	0,044	0,074	0,098	0,103
fosfor	0,072	0,045	0,003	0,001

Zdroj: spracované autormi

4.2 Štatistické porovnanie zriadených sietí

Pre každý chemický prvok a každú zriadenú sieť bol interpolačnou metódou *Spline* vytvorený rastrový model, ktorý bol následne porovnaný s rastrovým modelom pôvodnej, hustej, odberovej siete.

V prípade skupiny prvkov uhlík-dusík (tab. 2), uhlík má o čosi nižšie hodnoty odchýlok ako dusík, ale v prípade oboch prvkov sa od 29 bodovej, resp. 37 bodovej siete odchýlky významne nezvyšujú so znižovaním počtu bodov siete. Rozdiel medzi odchýlkami neprevyšuje 5 % (v tabuľke bunky z najtmavším podfarbením). Z týchto výsledkov vyplýva, že pre uhlík a dusík sa priestorová informácia pri zahusťovaní odberovej siete po určitú hranicu výraznejšie meniť nebude. V modelovom území platí, že v prípade uhlíka sa kvalita informácie nebude meniť, ak budeme odoberať 0,6 až 1,7 vzorky na hektár a v prípade dusíka od 0,8 po 2,2 vzorky na hektár. To znamená, že cenové rozpätie za získanie približne rovnako kvalitnej informácie je takmer trojnásobné, pričom strata takto získanej informácie nepresahuje 25 % odchýlku oproti informácii získanej pri odbere 4,1 vzorky na hektár.

Podobné závery ako v prípade uhlíka a dusíka možno aplikovať aj na odberové siete pre zisťovanie obsahu fosforu a horčíka (tab. 3). V prípade tejto dvojice, ale aj pri porovnaní dusíka a horčíka existuje výraznejší rozdiel medzi ich priemernými

hodnotami. Podľa výsledkov horčička, ktorého výskyt v území je autochtónny nepodlieha výraznejšiemu transportu po svahu. Dusík a fosfor je v pravidelných časových intervaloch aplikovaný na povrch pôdy pri hnojení vinohradu. Priestorová distribúcia týchto dvoch prvkov preto môže súvisieť s použitou agrotechnikou, ale aj so splachovými procesmi. Kvalita priestorovej informácia sa v prípade fosforu a horčička, rovnako ako v prípade uhlíka a dusíka, zahusťovaním siete v rámci dosť širokých intervalov výrazne nemení. Menšie ako 5 % odchýlky medzi rôzne hustými sieťami sú v tab. 3 zvýraznené podfarbením.

Tabuľka 2 Štatistické porovnanie zriadených odberových sietí pre skupinu prvkov dusík a uhlík

počet bodov vsieti	uhlík		dusík	
	priemerná hodnota rastra	rozdiel v %	priemerná hodnota rastra	rozdiel v %
70	0,00482	0,46 %	0,00007	0,06 %
60	0,01856	1,78 %	0,00224	1,81 %
50	0,06549	6,28 %	0,01235	10,00 %
37	0,14125	13,55 %	0,02784	22,55 %
29	0,20912	20,06 %	0,03186	25,80 %
18	0,20089	19,27 %	0,03080	24,95 %
14	0,24176	23,19 %	0,03127	25,33 %
10	0,24089	23,11 %	0,04056	32,85 %

priemerná hodnota rastra je údaj, ktorý vznikol odčítaním rastra zahustenej a zriadenej odberovej siete reálnych číslach (údaj Mean v Classification Statistics) a jeho percentuálny ekvivalent

Zdroj: spracované autormi

Legislatívny rámec (vyhláška č. 338/2005 Z. z.) definuje vo vinohradoch hustotu vzorkovania 1 vzorka na 2 ha, v prípade homogenity územia 1 vzorka na 4 ha. V prípade riešeného kultúrneho dielu by sa jednalo o 6 – 9 vzoriek rozmiestnených na území s veľkosťou 17 ha. Podľa výsledkov práce i maximálne odporúčané množstvo 9 vzoriek je nedostatočné, resp. je na hranici prijateľnosti, pričom si treba uvedomiť, že analyzovaný kultúrny diel nie je z hľadiska prírodných podmienok ani z ďaleka najzložitejším kultúrnym dielom slovenských vinohradníckych oblastí. Štatistickým porovnaním kvality jednotlivých zriadených sietí, po zohľadnení minimalizácie finančnej náročnosti vzorkovania, bola ako najvhodnejšia vybraná 10 bodová sieť (1 vzorka/1,7 ha).

V porovnaní s odbornými prácami je hustota odberovej siete, až na niekoľko výnimiek podstatne, nižšia. Takto navrhnutá odberová sieť sa najviac približuje odberovej sieti navrhnutej v práci Nanni et al. (2011), ktorá odporúča vzorkovanie o hustote 1 vzorka na 2 – 3 ha. Toto odporúčenie sa ale týka veľkoblukovej parcely

(viac ako 100 ha). Dôležitým faktorom v pôdnom vzorkovaní je aj samotná lokalizácia vzorky (Stambera, 2014). Živiny sú často translokované splachom a eróziou. Na danej parcele však nebola zistená závislosť medzi distribúciou živín a konkrétnymi morfometrickými veličinami (tab. 1). V navrhutej sieti boli preto vybrané odberné miesta, ktoré sú pravidelne umiestnené v rámci celého svahu a zohľadňujú aj úzus o vzorkovaní naprieč bonitovanými pôdnoekologickými jednotkami v pedogeograficky mapovaných územiach (obr. 4).

Tabuľka 3 Štatistické porovnanie zriedených odberových sietí pre skupinu prvkov fosfor a horčík

počet bodov vsieti	fosfor		horčík	
	priemerná hodnota rastra	rozdiel v %	priemerná hodnota rastra	rozdiel v %
18	3,92819	13,24%	11,07901	3,82%
14	8,08747	27,27%	27,97322	9,64%
12	11,28376	38,04%	26,34611	9,08%
10	10,50309	35,41%	32,58365	11,22%
8	12,10552	40,81%	29,07888	10,02%
6	13,95875	47,06%	72,26988	24,90%

priemerná hodnota rastra je údaj, ktorý vznikol odčítaním rastra zahustenej a zriedenej odberovej siete reálnych číslach (údaj Mean v Classification Statistics) a jeho percentuálny ekvivalent

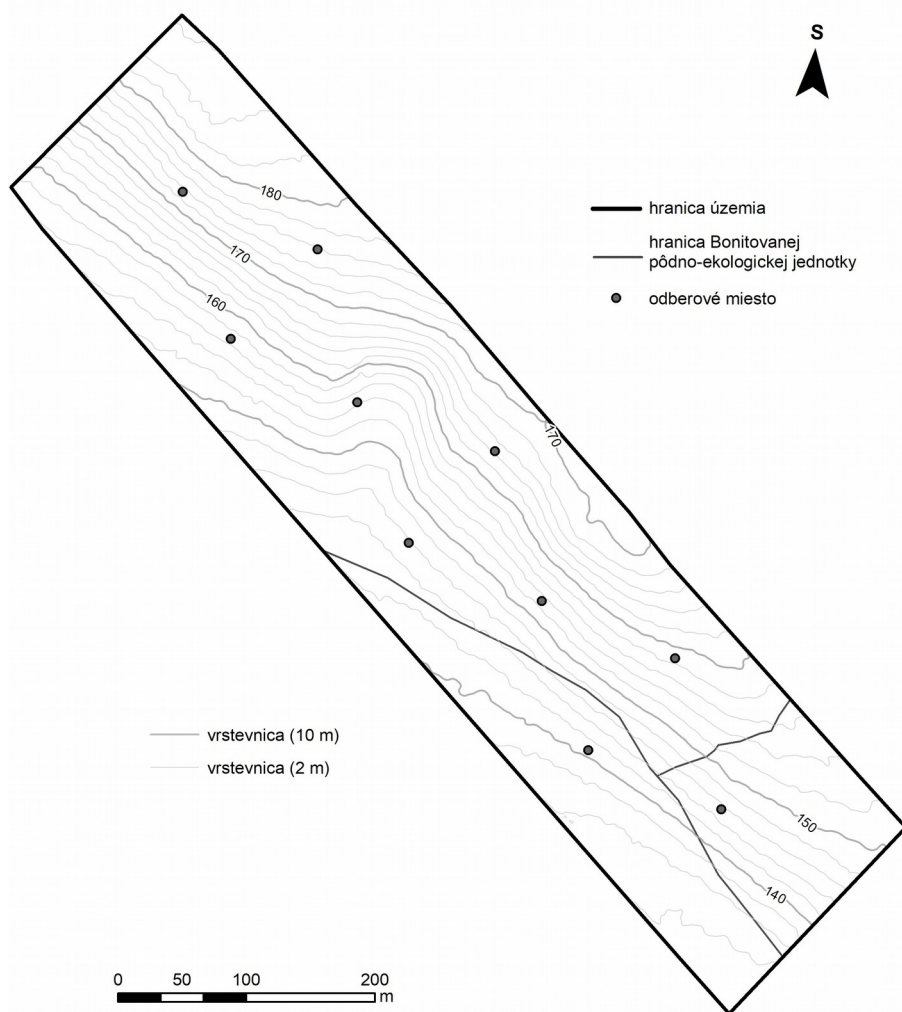
Zdroj: spracované autormi

Zvolená sieť takisto reprezentuje geometrickú pravidelnosť územia, ale aj všeobecne platné pravidlo o potrebe zohľadnenia rozmanitosti bonitovaných pôdnoekologických jednotiek pri pôdnom vzorkovaní. Zvolená sieť je kompromisným riešením, nakoľko pri tejto sieti dochádza k 25,5 % priemernej strate informácie o koncentrácii vybraných prvkov oproti obidvom primárnym sieťam. Ideálnym riešením by bolo vytvoriť optimálnu sieť pre každý jeden prvok zvlášť. Takéto riešenie by však podstatne zvýšilo náklady vzorkovania a protirečilo by to metodike agrochemického skúšania pôd.

5 ZÁVER

Optimalizácia rozmiestnenia pôdnych sond s dôrazom na správne odoberanie pôdnych vzoriek pre identifikáciu pôdnych vlastností je integrálnou časťou manažmentu v poľnohospodárstve. V rámci pôdneho vzorkovania v precíznom vinohradníctve je nutné prihliadať nielen na legislatívny rámec, ale aj na závery vedeckých prác, ktoré hovoria o problémoch vzorkovania na poľnohospodárskej pôde. Z hľadiska antropogénnych zásahov pri poľnohospodárskom využívaní pôd formou

aplikácie hnojív sa dá predpokladať, že ani veľmi hustá odberová sieť nedokáže úplne zachytiť variabilitu obsahu živín v pôde (Cahn et al., 1994; Cambardella a Karlen, 1999; Yu et al., 2011). Dôležité je preto hľadať také riešenie, ktoré minimalizuje náklady, ale zároveň je schopné poskytnúť dostatočne presnú informáciu potrebnú pre kvalifikované rozhodnutia súvisiace s obrábaním pôdy.



Obrázok 4 Optimálna odberová sieť. Zdroj: spracované autormi

Navrhnutá hustota odberovej siete 1 vzorka na 1,7 ha je v porovnaní s výsledkami iných výskumov výrazne nižšia. Napriek tomu, vzhľadom na finančnú efektív-

nosť bola sieť navrhnutá tak, aby minimalizovala množstvo laboratórnych analýz potrebných pre zistenie stavu živín v pôde.

Hustota zvolenej siete sa diametrálne neodlišuje od hornej hranice slovenského limitu pre vzorkovanie pôd, ktorý predstavuje 1 vzorku na 2 ha. Z finančného hľadiska je preto táto sieť len o niečo málo náročnejšia, pričom poskytuje záruku, že ďalšie zvyšovanie hustoty odberovej siete neprinesie nevyhnutne oveľa presnejšiu informáciu o prípadnej potrebe hnojenia. Pri porovnávaní zriadených odberových sietí s primárnymi sieťami bolo zistené, že pri modelovaní distribúcie živín sa ich priestorová variabilita so zvyšovaním hustoty vzorkovania na určitom intervale výrazne nemení. To znamená, že v skúmanom území zahusťovaním odberovej siete nedostaneme oveľa kvalitnejšiu informáciu ako pri vzorkovaní s hustotou 2 vzorky na hektár, pokiaľ nevzorkujeme vo finančne náročnej oveľa hustejšej sieti. Napríklad pri zvýšení hustoty odberovej siete z 10 na 14 odberných miest, t. j. takmer o polovicu odberných miest sa oproti etalónu (najhustejšie realizované siete) výraznejšie zmenili len informácie o koncentrácii fosforu (o 8,14 %) a o koncentrácii dusíka (o 7,52 %).

I napriek tomu, že získané výsledky nie je možné automaticky extrapolovať, jednorázová aplikácia uvedeného postupu umožňuje vytvoriť optimálnu odberovú sieť pre opakované zisťovania aj na geometricky, morfológicky a chemicky odlišných kultúrnych dieloch.

PodĎakovanie

Príspevok vznikol s finančnou podporou Európskeho fondu regionálneho rozvoja v rámci projektu FOMON ITMS2014+: 313011V465.

Literatúra

- BIELEK, P. 1998. *Dusík v poľnohospodárskych pôdach Slovenska*. Bratislava (Výskumný ústav pôdnej úrodnosti). ISBN 8085361442.
- CAHN, M. D., HUMMEL, J. W., BROUER, B. H. 1994. Spatial analysis of soil fertility for site-specific crop management. *Soil Science Society of America Journal*, 58, 1240-1248.
- CAMBARDELLA, C. A., KARLEN, D. L. 1999. Spatial analysis of soil version fertility parameters. *Precision Agriculture*, 1, 5-14.
- CLAY, D. E., CHANG, J., CARLSON, C. G., MALO, D., CLAY S. A., ELLSBURY, M. 2000. Precision farming protocols. Part 2. Comparison of sampling approaches for precision phosphorus management. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31, 2969-2985.
- Esri, 2022. Esri. "World Imagery" [basemap]. Scale Not Given. "World Imagery". [online] [cit. 2022-04-19]. Dostupné na: <<https://www.arcgis.com/home/item.html?id=10df2279f9684e4a9f6a7f08febac2a9>>
- FLOWERS, M., WEISZ, R., WHITE, J. G. 2005. Yield-based management zones and grid sampling strategies: describing soil test and nutrient variability. *Agronomy Journal*, 97, 968-982.
- FRANZEN, D. W., PECK, T. R. 1995. Field soil sampling density for variable rate fertilization. *Journal of Production Agriculture*, 8, (4), 568-574.

- GE, Y., THOMASSON, J., SUI, R. 2011. Remote Sensing of Soil Properties in Precision Agriculture: A Review. *Frontiers of Earth Science*, 5, 229-238.
- HALVA, J. 2012. Porovnanie výsledkov interpolácií pri tvorbe máp v presnom poľnohospodárstve. [online] [cit. 2022-04-19]. Dostupné na: <http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2012/sbornik/papers/halva.pdf>
- HEEGE, H. J. 2013. *Precision in Crop Farming, Site specific Concepts and Sensing Methods: Applications and Results*. Dordrecht. (Springer Science+Business Media).
- HEUVELINK, G. B. M., BIERKENS, M. F. P. 1992. Combining soil maps with interpolations from point observations to predict quantitative soil properties. *Geoderma*, 55, (1), 1-15.
- KOCH, B., KHOSLA, R., FRASIER, W. M., WESTFALL, D. G., INMAN, D. 2004. Economic feasibility of variable-rate nitrogen application utilizing site-specific management zones. *Agronomy Journal*, 96, (6), 1572-1580.
- MALLARINO, A. P., WITTRY, D. J. 2004. Efficacy of grid and zone soil sampling approaches for site-specific assessment of phosphorus, potassium, pH, and organic matter. *Precision Agriculture*, 5, 131-144.
- MOORE, I. D., GESSLER, P. E., NIELSEN, G. A. E., PETERSON, G. A. 1993. Soil Attribute Prediction Using Terrain Analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 57, (2), 443-452.
- MORAVEC, J. 1994. *Fytocenologie: Nauka o vegetaci*. Praha, ACADEMIA. 403 s.
- MOULIN, A., DERKSEN, D., MCLAREN, D., GRANT, C. 2003. Spatial and temporal variability of soil fertility in relation to crop yield zones on hummocky terrain. In *Proceedings of the 6th International Conference on Precision Agriculture and Other Precision Resources Management*, 530-542.
- MUELLER-DOMBOIS, D., ELLENBERG, H. 1974. *Aims and methods of vegetation ecology*. New York, Wileyand Sons.
- NANNI, M. R., PINHEIRO POVH, F., MELO DEMATTÊ, J. A., DE OLIVEIRA, R. B., CHICATI, M. L., CEZAR, E. 2011. Optimum size in grid soil sampling for variable rate application in site-specific management. *Scientia Agricola*, 68, (3), 386-392.
- PAVLENDÁ, P. 2008. Kvantifikácia zásob uhlíka v lesných pôdach. In Kobza, J. (ed.) *Piate pôdoznalecké dni*, Bratislava (VÚPOP), 243-250.
- SCHEPERS, A. R., SHANAHAN, J. F., LIEBIG, M. A., SCHEPERS, J. S., JOHNSON, S. 2004. Appropriateness of management zones for characterizing spatial variability of soil properties and irrigated corn yields across years. *Agronomy Journal*, 96, (1), 195-203.
- SCHÖNING, I., TOTSCHKE, K. U., KOGEL-KNABNER, I. 2006. Small scale spatial variability of organic carbon stocks in litter and solum of a forested Luvisol. *Geoderma*, 136, (3-4), 631-642.
- ŠGÚDŠ, 2023. *Geologická mapa Slovenska M 1: 50 000*. [online] [cit. 2023-01-19]. Dostupné na: <<https://apl.geology.sk/gm50js/>>
- SINOWSKI, W., AUERSWALD, K. 1999. Using Relief Parameters in a Discriminant Analysis to Stratify Geological Areas with Different Spatial Variability of Soil Properties. *Geoderma*, 89, (2), 113-128.
- SOCIETAS PEDOLOGICA SLOVACA, 2014. *Morfogenetický klasifikačný systém pôd Slovenska: Bazálna referenčná taxonómia*. Bratislava (NPPC – Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy).
- STAMBER, D. J., AGOURIDIS, C. T., EDWARDS, D. R., PURSCHWITZ, M. A. 2014. Effect of Soil Sampling Density and Landscape Features on Soil Test Phosphorus. *Applied Engineering in Agriculture*, 30, (5), 773-781.
- TAJIK, S., AYOUBI, S., ZERAATPISHEH, M. 2020. Digital mapping of soil organic carbon using ensemble learning model in Mollisols of Hyrcanian forests, northern Iran. *Geoderma Regional*, 20, e00256. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00256>
- THOM, W. O., SCHWAB, G. J., MURDOCK, L. W., SILORA, F. J. 2003. *Taking soil test samples*. [online] [cit. 2023-02-24]. Dostupné na: <https://bracken.ca.uky.edu/files/agr16_taking_soil_test_samples.pdf>

- VÚPOP 2022. *Bonitované pôdno-ekologické jednotky*. [online] [cit. 2022-08-04]. Dostupné na: <<https://zbgis.skgeodesy.sk/mkzbgis/sk/kataster?bm=zbgis&z=15&c=18.336911,47.821628&sc=n#>>>
- Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej republiky č. 151/2016 Z. z.*, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o agrochemickom skúšaní pôd a o skladovaní a používaní hnojív.
- Vyhláška Ministerstva pôdohospodárstva Slovenskej republiky č. 338/2005 Z. z.*, ktorou sa ustanovujú podrobnosti o postupe pre odber pôdnych vzoriek, spôsobe a rozsahu vykonávania agrochemického skúšania pôd, zisťovania pôdnych vlastností lesných pozemkov a o vedení evidencie hnojenia pôdy a stavu výživy rastlín na poľnohospodárskej pôde a na lesných pozemkoch.
- WOLLENHAUPT, N. C., WOLKOWSKI, R. P., CLAYTON, M. K. 1994. Mapping soil test phosphorus and potassium for variable-rate fertilizer application. *Journal of Production Agriculture*, 7, (4), 441-448.
- YU, D. S., ZHANG, Z. Q., YANG, H., SHI, X. Z., TAN, M. Z., SUN, W. Z. a WANG, H. J. 2011. Effect of soil sampling density on detected spatial variability of soil organic carbon in a red soil region of China. *Pedosphere*, 21, (2), 207-213.

Optimization of soil sampling for the needs of precision viticulture, Case study: Modrany

Summary

Considering the hidden soil reserve – variability of nutrient content in the soil, is a prerequisite for effective management of crop production in order to achieve higher profitability. The variability of the nutrient content in the soil is often differentiated due to the high morphometric fragmentation of the area, but in agricultural land the leading factor is a human influence – agrotechnical interventions. The importance of understanding spatial variability of soils is connected to crop management planning. This understanding makes it possible to treat soil not as a uniform, but a variable entity, and it enables site-specific management to increase production efficiency, which is the target of precision agriculture. Questions remain as the optimum soil sampling interval needed to make site-specific fertilizer recommendations in vineyards in Slovakia.

The objective of this study was to evaluate the suitability of the legally anchored soil sampling density in a specific homogeneous area, which can be considered in terms of location, area and morphometry to be representative of the South Slovakian viticultural region. The sampling density is determined as one sample per two to four hectares of vineyard, what means six to nine samples for the selected research vineyard with an area of 17 ha. This density is several times lower compared to some known scientific papers, that's why initial grids with 22 (phosphorus and magnesium) and 73 points (organic carbon and nitrogen) were designed for purposes of this research.

Subsequently, the sampling networks were gradually diluted on the principle of maintaining the greatest possible spatial uniformity of the sampling grid, we were focused on the relative geometric regularity of the sampling grid. Eight dilute sampling grids were set up for the detection of carbon and nitrogen with 70, 60, 50, 37, 29, 18, 14 and 10 points. Six dilution networks were set up for the detection of phosphorus and magnesium, with the following numbers of entry points 18, 14, 12, 10, 8 and 6. For better application in practice, we tried to create the same sampling network for the detection of all four elements – these are 18, 12 and 10 point networks. Loss of spatial information we obtained by subtracting rasters (created by

Spline in ArcMap 10.8) – the original raster with raster of specific diluted grid using a raster calculator. After creating variations for each diluted sampling grid compared to the original concentrated grid raster, it was found that in modelling the nutrient distribution, the spatial variability of the elements does not change significantly to some extent by increasing the sampling density. This means that in the investigated area, by concentrating the sampling network, we do not get much better information than when sampling at the upper legislative standard, unless we sample in a financially demanding density. We determined the most suitable 10-point grid (1 sample / 1.7 ha), selected grid is a compromise solution also in terms of compliance with the legislative standard, which upper limit for the research area is 9 samples. Based on the obtained data, the standardized sampling can be assessed as partially and marginally sufficient for the needs of the application of precision agriculture methods in the studied area.