

GENERATION OF APPLICATION MAPS FOR THE BASE FERTILIZATION FROM THE RESULTS OF AGROCHEMICAL ANALYSES OF SOIL SAMPLES

TVORBA APLIKAČNÍCH MAP ZÁKLADNÍHO HNOJENÍ Z VÝSLEDKŮ AGROCHEMICKÝCH ANALÝZ PŮDNÍCH VZORKŮ

Lukas V., Křen J.

Ústav agrosystémů a bioklimatologie , Agronomická fakulta, Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Česká republika.

E-mail: xlukas0@mendelu.cz, kren@mendelu.cz

ABSTRACT

Agrochemical analyses of soil samples are an important information source of the spatial variability of plant nutrient and pH for effective variable rate application of fertilizers in the precision farming. For these purposes was studied the influence of soil sampling density (4, 1 and 0.44 samples per ha in regular grid, 1.35 samples per ha in the irregular grid) and influence of two interpolation methods (ordinary kriging with and without nugget effect) on the dose level and application area of mineral fertilizers (P, K, Mg, Ca). There was found impact of soil sampling density. High density of soil sampling increased the spatial variability of observed soil characteristics. The effective solution would be the choice of sampling points based on in advance noted schema, e.g. according to measurement of electric soil conductivity (EC). The impact of soil sampling density and way of data interpolation had a little influence on the amount of total applied fertilizers but had influence on the spatial distribution of fertilizers doses in the field.

Keywords: soil sampling density, interpolation of point's data, variable application of fertilizers

ABSTRAKT

Pro efektivní variabilní aplikaci hnojiv v systému precizního zemědělství jsou agrochemické analýzy půdních vzorků významným zdrojem informací o plošné heterogenitě zásobenosti půdy jednotlivými živinami. Pro tyto účely byl vyhodnocen vliv různé hustoty vzorkování půdy (čtyři, jeden a 0,44 vzorků na ha v pravidelné síti; 1,35 vzorků na ha v nepravidelné síti) a dvou interpolačních technik (běžný kriging s a bez použití nugget efektu) na výši dávky a plochu aplikace minerálních hnojiv (P, K, Mg, Ca). Byl zjištěn značný vliv hustoty vzorkování. Vyšší hustota odběru vzorků vedla k zaznamenání vyšší plošné variability sledovaných půdních charakteristik. Jako efektivní se proto jeví výběr rozmístění odběrových bodů dle předem známého schématu, např. podle výsledků měření půdní vodivosti půdy (electric soil conductivity – EC). Vliv hustoty vzorkování ani způsob zpracování dat se výrazně neprojevil na výši celkové aplikované dávky hnojiva na pozemek, ale byl patrný rozdílnou diferenciací dávek hnojiva v rámci pozemku.

Klíčové slova: hustota vzorkování půdy, interpolace bodových dat, variabilní aplikace hnojiv

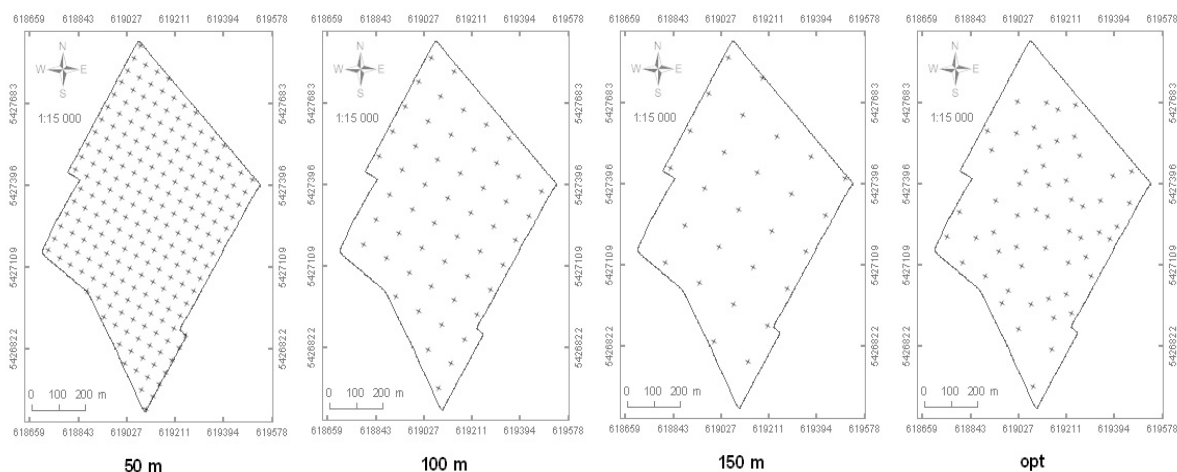
ÚVOD

Tvorba aplikačních map představuje společně s vlastní variabilně prováděnou aplikací konečnou fázi systému precizního zemědělství. Předchází jí sběr dat a jejich analýza. V případě variabilně prováděného základního hnojení P, K, Mg a Ca hnojivy jsou nejčastějším zdrojem informací výsledky agrochemických rozborů půdních vzorků v podobě bodových dat. Předmětem této studie je vyhodnocení vlivu různého způsobu zpracování (interpolací) těchto dat a vlivu volby hustoty odběrové sítě na celkové množství aplikovaných hnojiv a jejich prostorovou distribuci v rámci pozemku.

MATERIÁL A METODIKA

Výzkumné práce probíhaly na pozemku „Pachty“ (52,5 ha) Školního zemědělského podniku Žabčice v kat. území obce Přísnostice. Na pozemku byl na jaře roku 2004 proveden odběr půdních vzorků a měření elektrické půdní vodivosti (EC). Charakteristiku stanoviště a vlastní metodiku prováděných odběrů, jejich analýz a měření EC popisuje Lukas a Křen (2004). Pro sledování vlivu rozdílné hustoty odběrové sítě byly z původní vzdálenosti odběrových bodů 50 m (celkem 214 vzorků, tzn. 4 vz. na ha) vybrány body vzdálené od sebe 100 m (53 vzorků, tj. 1 vz. na ha), 150 m (27 vzorků, tj. 0,44 vz. na ha) a dle mapy elektrické půdní vodivosti provedený výběr bodů v nepravidelné síti (celkem 40 vzorků, tzn. 1,35 vz. na ha). Schémata rozmístění odběrových bodů znázorňuje obr. 1.

Obr. 1 Rozmístění odběrových bodů pro varianty rozdílné hustoty vzorkování půdy



VÝSLEDKY A DISKUZE

Statistický popis výsledků agrochemických analýz půdních vzorků pro P, K, Mg a pH je uveden v tab. 1 Pro výpočet spojitého povrchu z bodových dat bylo použito metody běžný kriging (Ordinary Kriging – OK) s využitím sférického modelu variogramu při dvou variantách nastavení této metody. Při nastaveném výpočtu zbytkového rozptylu c_0 (nugget efekt - varianta OK) se tato metoda chová jako vyrovnávací – dochází k vyhlazování

lokálních extrémů. Pokud je krigování prováděno bez výpočtu nugget efektu (no nugget - varianta OK_NN), lze tuto metodu označit jako přesnou, tzn., že jsou dodrženy přesné hodnoty bodových dat. Parametry variogramu (rozsah, prah, zbytkový rozptyl) nutného pro výpočet OK jsou pro jednotlivé sledované znaky uvedeny v tab. 2 a 3. Podíl zbytkového rozptylu na celkové hodnotě prahu $c_0/(c_0+c)$ charakterizuje prostorovou závislost měřených vlastností. Cambardella et al. (1994) in Brodský (2003) uvádí silnou prostorovou závislost při hodnotách podílu do 0,25, střední při hodnotách od 0,25 do 0,75 a nízká při podílu nad 0,75. Silnou prostorovou závislost vykazuje ze zkoumaných charakteristik P, pH v 50 m a P v optimalizované odběrové síti. Naopak nízká prostorová závislost byla zjištěna u Mg (150m) a u pH (150 m), kde byl získán tzv. pure nugget variogram, tedy variogram, u něhož je zbytkový rozptyl roven celkovému rozptylu. Tzn., že data nevykazují žádnou prostorovou závislost.

Tab. 1 Vybrané statistické charakteristiky výsledků agrochemických analýz půdních vzorků

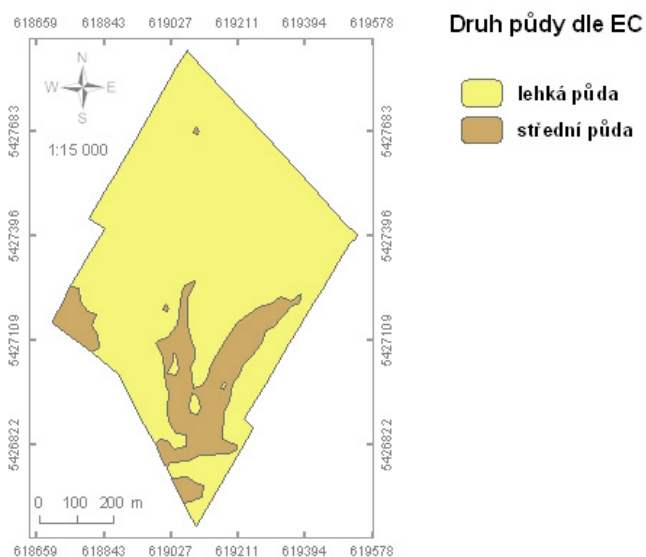
<i>Proměnná (jednotky)</i>	<i>P (mg.kg⁻¹)</i>	<i>K (mg.kg⁻¹)</i>	<i>Mg (mg.kg⁻¹)</i>	<i>pH</i>
Aritmetický průměr	58,2	146,1	177,9	6,5
Medián	46	138	137,5	6,8
Minimum	13	90	53	4,4
Maximum	196	395	948	7,9
Směrodatná odchylka	36,41	37,13	121,96	0,95
Rozptyl	1 325,56	1 378,71	14 874,03	0,90
Variační koef. %	62,58	25,41	68,54	14,64
Šikmost	0,88	2,00	2,69	-0,58
Rozsah souboru (n)	214	214	214	214
Variační koef. %	62,58	25,41	68,54	14,64

Mapová vrstva interpolovaných dat byla následně převedena na tzv. grid (tzn. rastrový typ dat) o velikosti pixelu 5 x 5 m (celkem 21059 pixelů) a z něj byl proveden výpočet základních statistických charakteristik dané půdní vlastnosti v příslušné odběrové síti a použité interpolační technice. Z výsledků (tab. 2 a 3) je patrné, že průměrný obsah živiny, příp. hodnotu pH, lze u rozdílné vzdálenosti odběrových bodů a použité interpolační techniky zařadit do shodné kategorie dle Mehlich III. V případě P a K je obsah v kategorii vyhovující, u Mg v kategorii dobrý. Aritmetický průměr hodnot pixelů gridu dat slouží dále ke stanovení úpravy normativu pro paušální hnojení. Při vlastním porovnání variabilní a paušální aplikace je tímto zohledněn vliv interpolační metody a hustoty odběrové sítě.

Pro úpravu normativů základního hnojení byla provedena klasifikace hodnot pixelů gridů dle kritérií hodnocení obsahu přístupného P, K, Mg v půdě podle metodiky Mehlich III (Ryant et al. 2003) do kategorií 1 – 5 (obsah nízký, vyhovující, dobrý, vysoký a velmi vysoký), pro pH do kategorií 1 - 7 (extrémně kyselá, silně kyselá, kyselá, slabě kyselá, neutrální, alkalická, silně alkalická). Při tomto hodnocení byl pro variabilní aplikaci zohledněn druh půdy na pozemku. Informace o druhu půdy byly získány z měření

elektromagnetické vodivosti (EC). Mezní hodnota mezi lehkou a střední půdou byla pro potřeby této studie modelově nastavena na 15 mS.m^{-1} , přičemž nižší hodnoty reprezentují lehčí půdu, vyšší půdu těžší (obr. 2). Pro přesné stanovení mezní hodnoty je však nutné provést validaci této metody detailní zrnitostní analýzou půdního substrátu. Mapa rozdělení pozemku dle půdního druhu vypočítaná pomocí přesné interpolační metody běžný kriging bez použití nugget efektu je znázorněna v (obr. 2).

Obr. 2 Mapové znázornění modelového rozdělení druhu půdy na pozemku dle EC



Úprava normativu pro variabilně prováděné základní hnojení byla provedena dle kategorie hodnocení obsahu živiny. Při nízkém obsahu (kategorie 1) byl normativ zvýšen o polovinu (úroveň 150 % normativu), při vyhovujícím (kategorie 2) o čtvrtinu (125 %) a při dobrém (kategorie 3) nebyl zvyšován (100 %). V případě vysokého (kategorie 4) a velmi vysokého (kategorie 5) obsahu živiny je doporučeno nehnojit (úroveň normativu 0 %). Prostorové rozdělení kategorií pro jednotlivé varianty je patrné z obr. 3 – 18. V spodní polovině tab. 2 a 3 je uvedeno plošné zastoupení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu dle Mehlich III v ha a v procentuálním podílu plochy. Roční normativ dávky CaO v kg na ha pro úpravu půdní reakce a plošné zastoupení jednotlivých aplikačních dávek je uvedeno v tab. 3

Stanovení změny normativu pro paušální aplikaci bylo provedeno na základě aritmetického průměru hodnot buněk gridu pro jednotlivé varianty vzorkování půdy a interpolační metody pro na pozemku převažující lehkou půdu. V tomto případě tedy nebyly zohledněny výsledky měření elektromagnetické vodivosti půdy. Zařazení do kategorie dle hodnocení obsahu živin v půdě a upravení normativu bylo u každé ze sledovaných živin stejné (P a K do kat. vyhovující obsah) s výjimkou Mg, u něhož došlo oproti kategorii dobrý obsah v pravidelné odběrové síti k zařazení do kategorie vysokého obsahu živiny v půdě, (tzn. normativ 0 %) v optimalizované síti vzorkování. U hodnocení půdní reakce byl pro všechny varianty zjištěn roční normativ ve výši 0 kg CaO na ha.

Tab. 2 Statistické výsledky obsahu P a K

		P	P	P	P	P	P	P	P
	<i>hustota odb. sítě</i>	50	50	100	100	150	150	opt	opt
	<i>počet vzorků</i>	214	214	53	53	27	27	40	40
	<i>interpolace</i>	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN
parametry variogramu	<i>rozsah (m)</i>	251,6	x	1 159,7	x	1 147,3	x	1 159,7	x
	<i>zbytkový rozptyl (co)</i>	221,5	x	643,0	x	1 024,6	x	599,8	x
	<i>prah</i>	1 264,8	x	2 298,8	x	2 919,0	x	2 652,6	x
	<i>co/(co+c)</i>	0,18	x	0,28	x	0,35	x	0,23	x
popisná statistiku gridu	<i>počet pix.</i>	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059
	<i>min</i>	15,53	10,06	25,15	8,14	34,70	19,51	25,16	16,09
	<i>max</i>	179,20	195,53	142,92	194,60	127,83	194,67	143,56	194,95
	<i>aritmický průměr</i>	57,77	57,75	56,88	56,29	68,88	66,96	58,06	58,25
	<i>stř. odchylka</i>	30,05	33,06	21,34	31,01	18,29	30,17	21,66	30,80
	<i>var. koeficient %</i>	52,02	57,25	37,53	55,08	26,55	45,05	37,30	52,88
paušální aplikace	<i>kat. dle Mehlich III</i>	2	2	2	2	2	2	2	2
	<i>úprava normativu</i>	125	125	125	125	125	125	125	125
	<i>paušální dávka živiny (kg)</i>	1 562	1 562	1 562	1 562	1 562	1 562	1 562	1 562
	<i>paušální dávka hnojiva (kg)</i>	18 850	18 851	18 863	18 855	18 866	18 860	18 861	18 857
variabilní aplikace	<i>kat. Mehlich III 1 (ha)</i>	25,1	25,6	22,7	26,2	6,4	16,5	19,8	25,9
	<i>kat. Mehlich III 2 (ha)</i>	14,0	12,3	22,2	15,0	33,6	21,5	25,6	14,8
	<i>kat. Mehlich III 3 (ha)</i>	12,2	13,1	6,7	9,6	12,0	11,1	6,1	10,1
	<i>kat. Mehlich III 4 (ha)</i>	1,2	1,5	1,0	1,7	0,6	3,3	1,1	1,7
	<i>kat. Mehlich III 5 (ha)</i>	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2	0,0	0,2
	<i>suma ha</i>	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6
	<i>kat. Mehlich III 1 (%)</i>	47,79	48,66	43,17	49,83	12,14	31,37	37,69	49,17
	<i>kat. Mehlich III 2 (%)</i>	26,66	23,38	42,23	28,44	63,77	40,94	48,67	28,18
	<i>kat. Mehlich III 3 (%)</i>	23,27	24,82	12,66	18,19	22,88	21,08	11,52	19,12
	<i>kat. Mehlich III 4 (%)</i>	2,28	2,82	1,95	3,28	1,22	6,28	2,13	3,18
	<i>kat. Mehlich III 5 (%)</i>	0,00	0,31	0,00	0,26	0,00	0,33	0,00	0,35
	<i>aplikace živiny</i>	1 603	1 587	1 628	1 605	1 510	1 491	1 611	1 601
	<i>aplikace hnojiva</i>	19 348	19 159	19 647	19 380	18 231	18 002	19 447	19 325

kategorie hodnocení obsahu živiny dle Mehlich III: 1 - nízký, 2 - vyhovující, 3 - dobrý, 4 - vysoký, 5 - velmi vysoký

		K	K	K	K	K	K	K	K
	<i>hustota odb. sítě</i>	50	50	100	100	150	150	opt	opt
	<i>počet vzorků</i>	214	214	53	53	27	27	40	40
	<i>interpolace</i>	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN
parametry variogramu	<i>rozsah (m)</i>	592,7	x	1 159,7	x	1 147,3	x	1 159,7	x
	<i>zbytkový rozptyl (co)</i>	788,6	x	831,2	x	859,5	x	678,6	x
	<i>prah</i>	1 293,4	x	2 193,9	x	1 950,0	x	1 037,1	x
	<i>co/(co+c)</i>	0,61	x	0,38	x	0,44	x	0,65	x
popisná statistiku gridu	<i>počet pix.</i>	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059
	<i>min</i>	118,35	91,14	122,65	92,86	133,31	110,19	127,70	104,63
	<i>max</i>	255,05	392,28	212,76	264,31	209,37	279,24	162,45	208,19
	<i>aritmický průměr</i>	146,07	145,53	146,96	146,30	154,55	153,68	139,53	140,25
	<i>stř. odchylka</i>	18,99	31,00	17,71	30,32	14,70	25,02	5,46	19,11
	<i>var. koeficient %</i>	13,00	21,30	12,05	20,72	9,51	16,28	3,91	13,63
paušální aplikace	<i>kat. dle Mehlich III</i>	2	2	2	2	2	2	2	2
	<i>úprava normativu</i>	125	125	125	125	125	125	125	125
	<i>paušální dávka živiny (kg)</i>	6 246	6 246	6 246	6 246	6 246	6 246	6 246	6 246
	<i>paušální dávka hnojiva (kg)</i>	12 553	12 547	12 554	12 551	12 555	12 550	12 567	12 551
variabilní aplikace	<i>kat. Mehlich III 1 (ha)</i>	0,0	0,6	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>kat. Mehlich III 2 (ha)</i>	41,5	36,0	42,2	37,1	40,1	35,7	52,6	44,5
	<i>kat. Mehlich III 3 (ha)</i>	11,2	15,8	10,5	15,3	12,6	16,9	0,0	8,1
	<i>kat. Mehlich III 4 (ha)</i>	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>kat. Mehlich III 5 (ha)</i>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	<i>suma ha</i>	52,6	52,6	52,6	52,6	52,7	52,6	52,7	52,6
	<i>kat. Mehlich III 1 (%)</i>	0,00	1,08	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>kat. Mehlich III 2 (%)</i>	78,81	68,40	80,14	70,50	76,07	67,90	99,85	84,55
	<i>kat. Mehlich III 3 (%)</i>	21,19	30,06	19,86	28,98	23,93	32,05	0,06	15,45
	<i>kat. Mehlich III 4 (%)</i>	0,00	0,44	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00
	<i>kat. Mehlich III 5 (%)</i>	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>aplikace živiny</i>	5 987	5 857	6 004	5 895	5 953	5 846	6 252	6 057
	<i>aplikace hnojiva</i>	12 021	11 761	12 056	11 837	11 954	11 739	12 554	12 163

kategorie hodnocení obsahu živiny dle Mehlich III: 1 - nízký, 2 - vyhovující, 3 - dobrý, 4 - vysoký, 5 - velmi vysoký

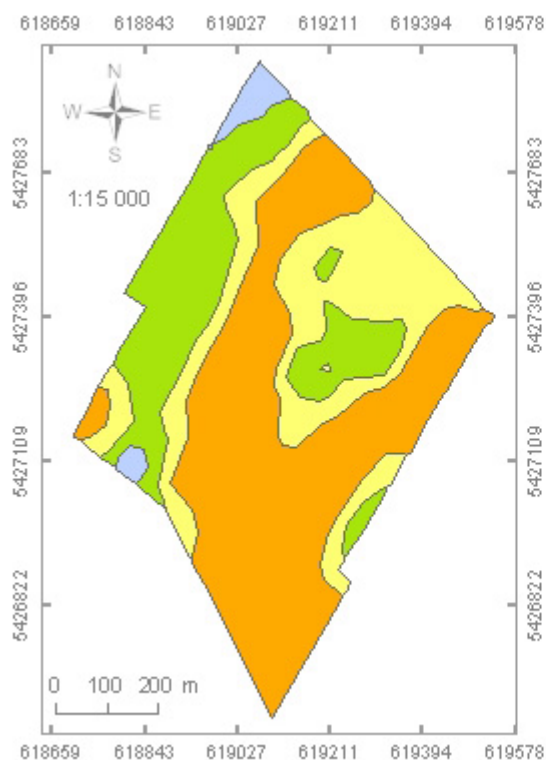
Tab. 3 Statistické výsledky obsahu Mg a půdní reakce

		Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg
	<i>hustota odb. sítě</i>	50	50	100	100	150	150	opt	opt
	<i>počet vzorků</i>	214	214	53	53	27	27	40	40
	<i>interpolace</i>	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN
parametry variogramu	<i>rozsah (m)</i>	566,8	x	535,0	x	345,2	x	337,8	x
	<i>zbytkový rozptyl (co)</i>	9 931,0	x	8 033,9	x	8 985,5	x	14 279,0	x
	<i>prah</i>	15 491,2	x	11 037,4	x	10 935,5	x	25 841,0	x
	<i>co/(co+c)</i>	0,64	x	0,73	x	0,82	x	0,55	x
popisná statistiku gridu	<i>počet pix.</i>	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059
	<i>min</i>	80,19	23,48	103,93	46,96	114,15	62,76	98,13	54,79
	<i>max</i>	337,33	913,59	249,94	410,08	232,97	401,46	458,49	828,63
	<i>aritmetický průměr</i>	177,01	177,26	166,82	167,22	170,79	169,26	206,04	203,38
	<i>stř. odchylka</i>	59,26	101,00	40,53	78,40	27,10	71,16	67,70	105,71
	<i>var. koeficient %</i>	33,48	56,98	24,30	46,88	15,86	42,04	32,86	51,98
paušální aplikace	<i>kat. dle Mehlich III</i>	3	3	3	3	3	3	4	4
	<i>úprava normativu</i>	100	100	100	100	100	100	0	0
	<i>paušální dávka živiny (kg)</i>	600	600	600	600	600	600	0	0
variabilní aplikace	<i>paušální dávka hnojiva (kg)</i>	3 826	3 824	3 826	3 826	3 827	3 826	0	0
	<i>kat. Mehlich III 1 (ha)</i>	0,0	3,4	0,0	2,8	0,0	1,5	1,9	0,0
	<i>kat. Mehlich III 2 (ha)</i>	19,3	22,0	17,3	22,4	3,5	23,2	15,7	10,6
	<i>kat. Mehlich III 3 (ha)</i>	17,4	12,6	27,0	14,4	41,9	15,1	13,8	18,4
	<i>kat. Mehlich III 4 (ha)</i>	15,7	8,5	8,4	9,1	7,2	8,3	14,0	19,7
	<i>kat. Mehlich III 5 (ha)</i>	0,2	6,1	0,0	3,8	0,0	4,5	7,2	3,9
	<i>suma ha</i>	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6	52,6
	<i>kat. Mehlich III 1 (%)</i>	0,00	6,47	0,00	5,41	0,00	2,86	3,59	0,00
	<i>kat. Mehlich III 2 (%)</i>	36,75	41,86	32,83	42,64	6,69	44,15	29,86	20,10
	<i>kat. Mehlich III 3 (%)</i>	33,02	23,91	51,23	27,44	79,70	28,70	26,28	35,02
	<i>kat. Mehlich III 4 (%)</i>	29,79	16,10	15,93	17,35	13,61	15,71	26,62	37,44
	<i>kat. Mehlich III 5 (%)</i>	0,43	11,66	0,00	7,15	0,00	8,57	13,66	7,44
	<i>aplikace živiny</i>	474	515	553	533	528	529	414	361
	<i>aplikace hnojiva</i>	3 021	3 287	3 530	3 399	3 370	3 374	2 640	2 300

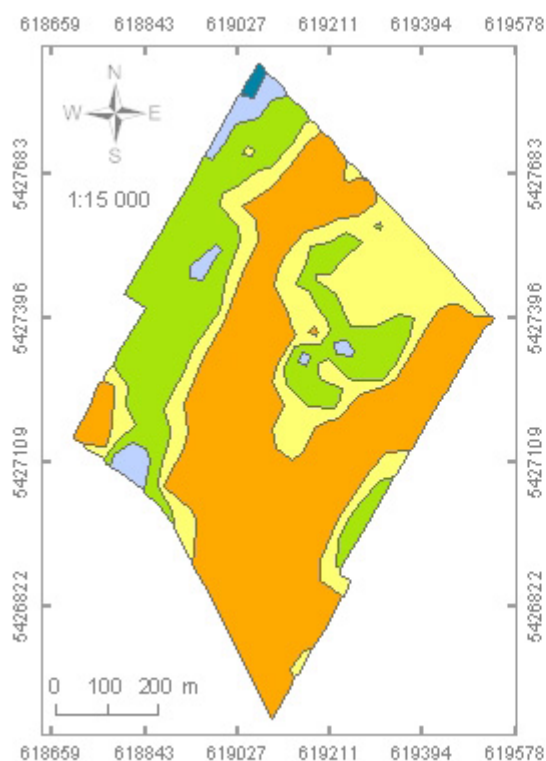
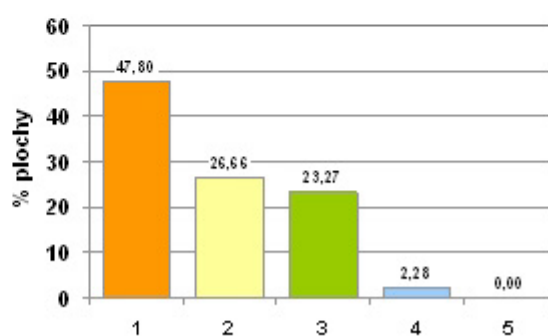
kategorie hodnocení obsahu živiny dle Mehlich III: 1 - nízký, 2 - vyhovující, 3 - dobrý, 4 - vysoký, 5 - velmi vysoký

		pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH	pH
	<i>hustota odb. sítě</i>	50	50	100	100	150	150	opt	opt
	<i>počet vzorků</i>	214	214	53	53	27	27	40	40
	<i>interpolace</i>	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN	OK	OK_NN
parametry variogramu	<i>rozsah (m)</i>	171,8	x	179,6	x	1100,4	x	179,6	x
	<i>zbytkový rozptyl (co)</i>	0,22	x	0,57	x	1,28	x	0,65	x
	<i>prah</i>	0,93	x	0,91	x	1,28	x	1,07	x
	<i>co/(co+c)</i>	0,24	x	0,62	x	1,00	x	0,61	x
popisná statistiku gridu	<i>počet pix.</i>	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059	21 059
	<i>min</i>	4,75	4,37	4,95	4,61	5,91	4,45	5,04	4,47
	<i>max</i>	7,80	7,99	7,25	7,68	7,11	7,69	7,60	7,91
	<i>aritmetický průměr</i>	6,47	6,47	6,43	6,44	6,36	6,33	6,56	6,51
	<i>stř. odchylka</i>	0,73	0,85	0,46	0,74	0,16	0,74	0,42	0,69
	<i>var. koeficient %</i>	11,34	13,16	7,23	11,49	2,56	11,69	6,45	10,63
paušální aplikace	<i>normativ CaO (kg)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
	<i>paušální dávka hnojiva (kg)</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
variabilní aplikace - kategorie dle Mehlich III + celková aplikace	<i>0 kg (ha)</i>	37,33	36,15	41,95	37,65	43,45	31,02	45,81	39,88
	<i>200 kg (ha)</i>	0,19	0,18	1,35	0,63	8,07	2,07	0,63	0,46
	<i>300 kg (ha)</i>	6,78	6,15	6,10	6,50	0,94	8,66	5,32	5,26
	<i>400 kg (ha)</i>	0,01	0,00	0,00	0,03	0,19	1,42	0,00	0,00
	<i>600 kg (ha)</i>	7,30	6,57	3,18	4,62	0,00	6,75	0,86	6,04
	<i>700 kg (ha)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,08	0,00	0,00
	<i>800 kg (ha)</i>	1,02	3,37	0,06	3,22	0,00	1,62	0,00	0,98
	<i>1200 kg (ha)</i>	0,00	0,18	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
	<i>1500 kg (ha)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>0 kg (%)</i>	70,94	68,72	79,69	71,52	82,54	58,93	87,05	75,77
	<i>200 kg (%)</i>	0,35	0,34	2,57	1,19	15,32	3,94	1,20	0,87
	<i>300 kg (%)</i>	12,89	11,69	11,60	12,34	1,78	16,45	10,11	10,00
	<i>400 kg (%)</i>	0,01	0,00	0,00	0,06	0,35	2,69	0,00	0,00
	<i>600 kg (%)</i>	13,87	12,49	6,03	8,77	0,00	12,82	1,64	11,49
	<i>700 kg (%)</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,06	0,00	0,00
	<i>800 kg (%)</i>	1,94	6,41	0,11	6,12	0,00	3,08	0,00	1,86
	<i>1200 kg (%)</i>	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
	<i>aplikace CaO (t)</i>	13,81	16,62	7,70	14,12	3,74	18,43	4,26	11,56
	<i>aplikace hnojiva (t)</i>	28	33	15	28	7	37	9	23

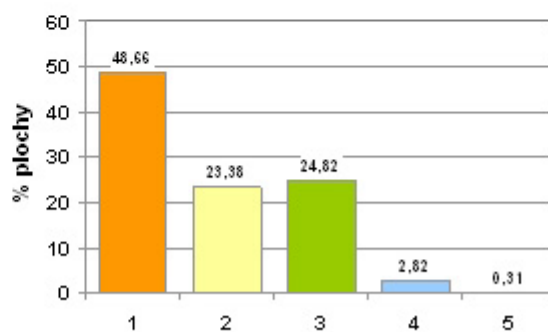
Obr. 3 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu fosforu dle Mehlich III při hustotě vzorkování 50 m



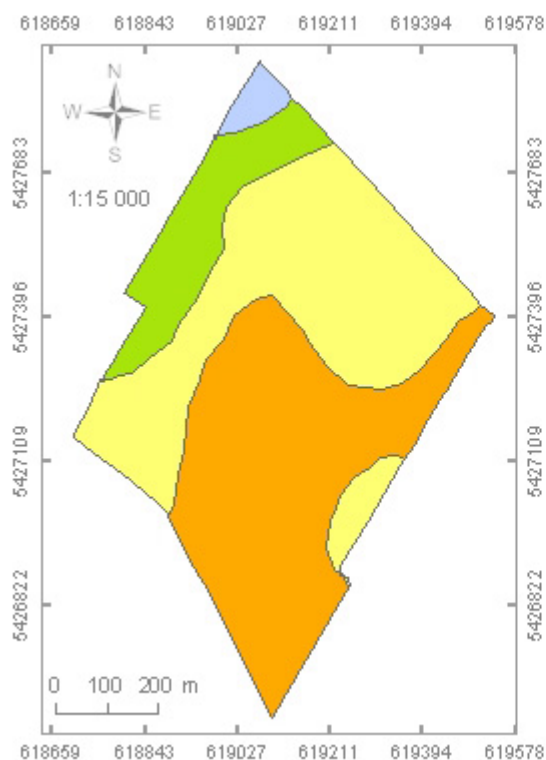
P - 50m - OK



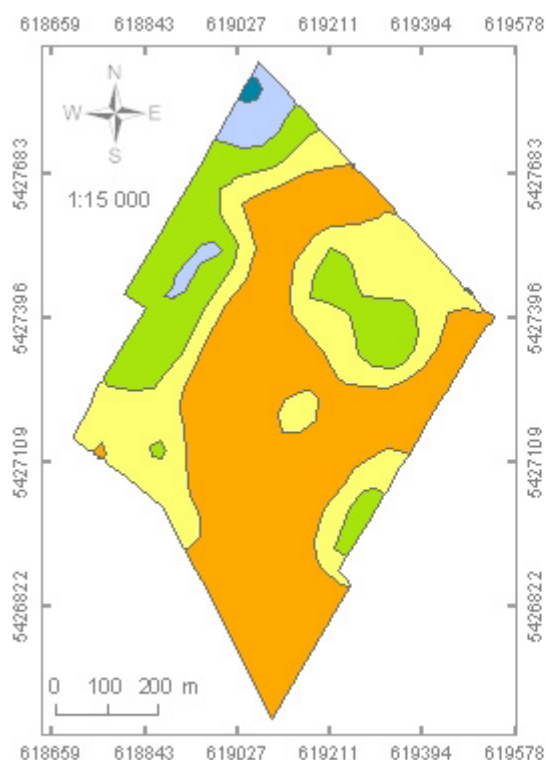
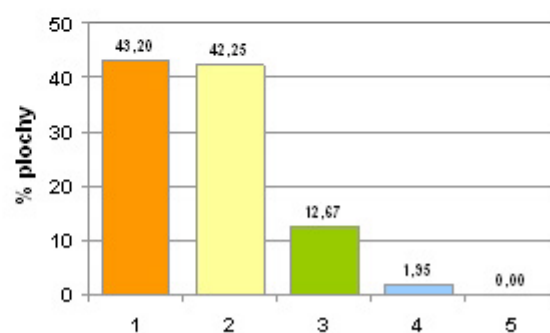
P - 50m - OK NoNugget



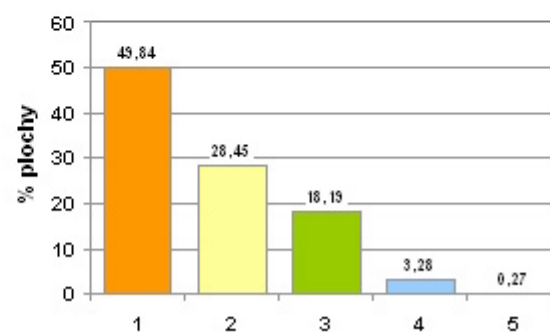
Obr. 4 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu fosforu dle Mehlich III při hustotě vzorkování 100 m



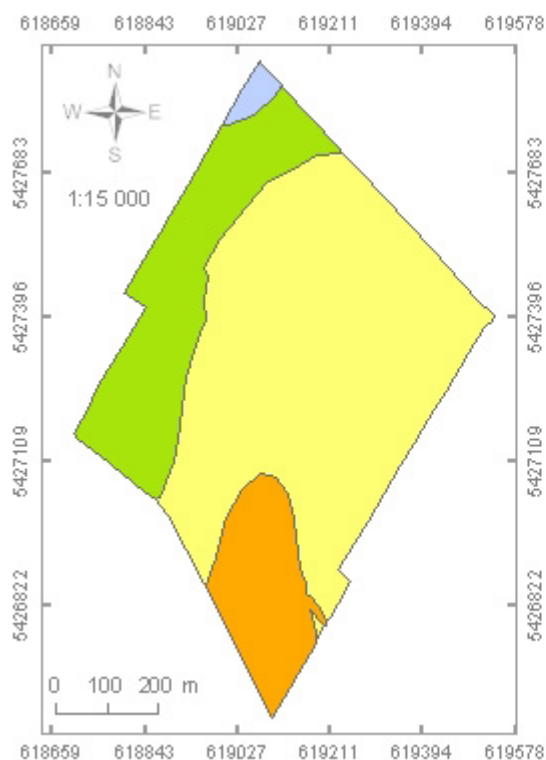
P - 100m - OK



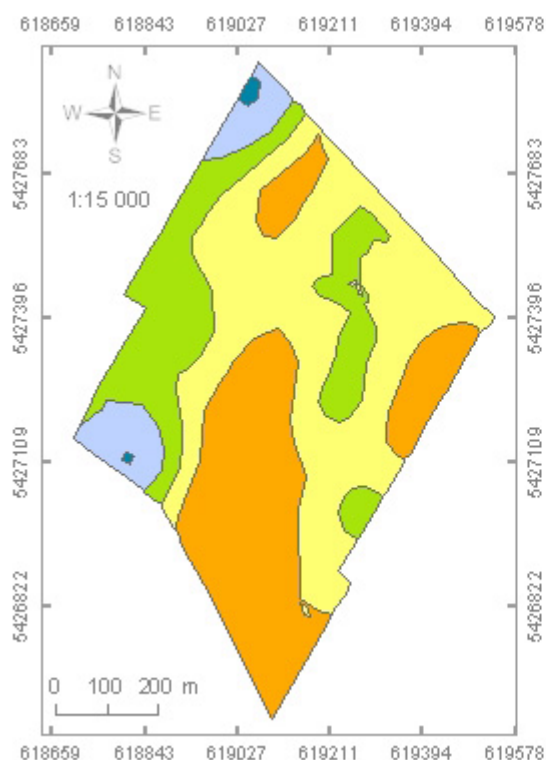
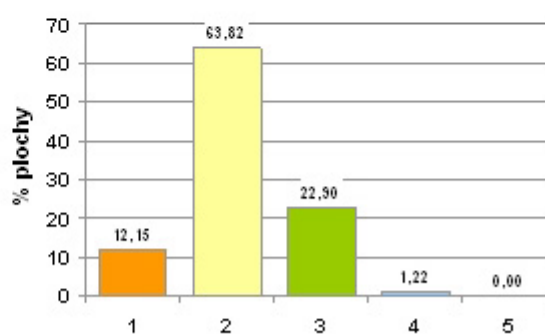
P - 100m - OK NoNugget



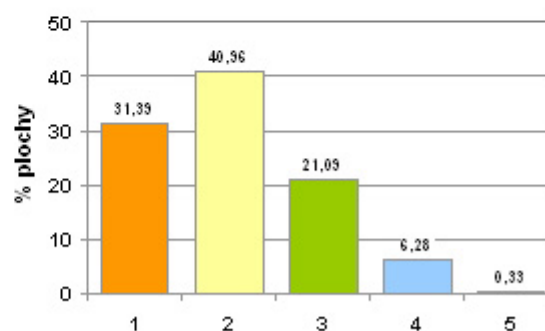
Obr. 5 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu fosforu dle Mehlich III při hustotě vzorkování 150 m



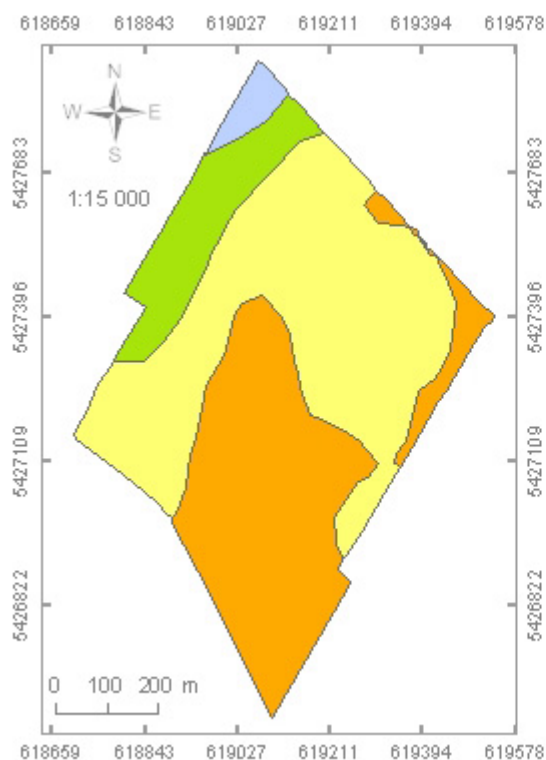
P - 150m - OK



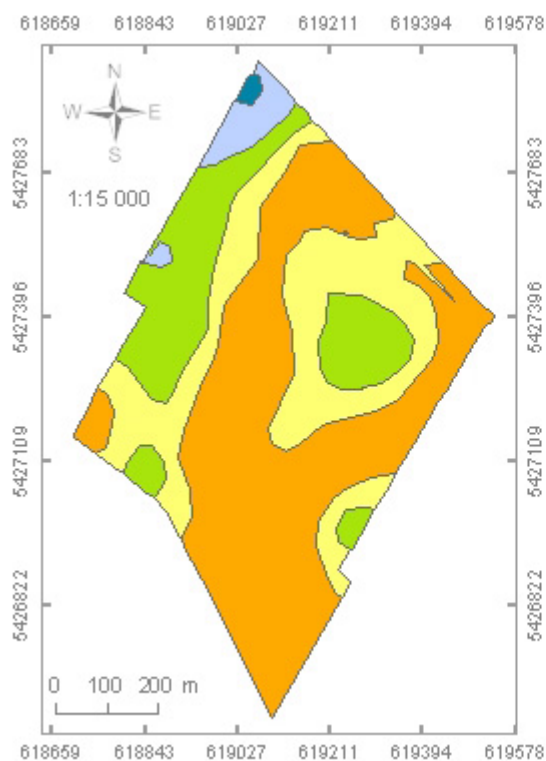
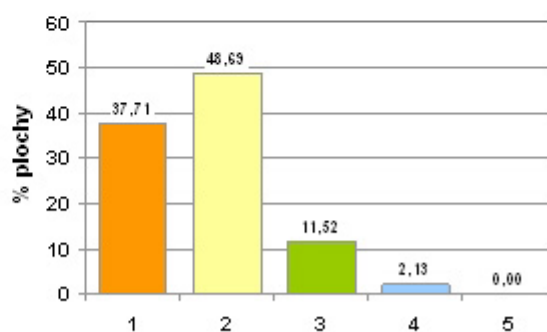
P - 150m - OK NoNugget



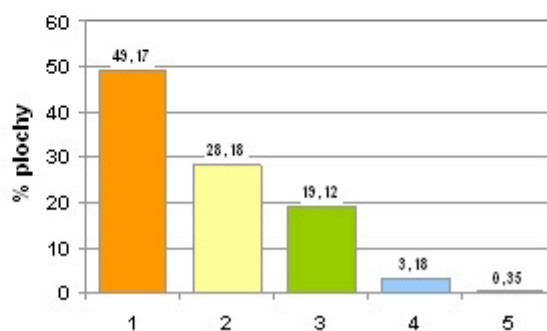
Obr. 6 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu fosforu dle Mehlich III při optimalizované odběrové síti



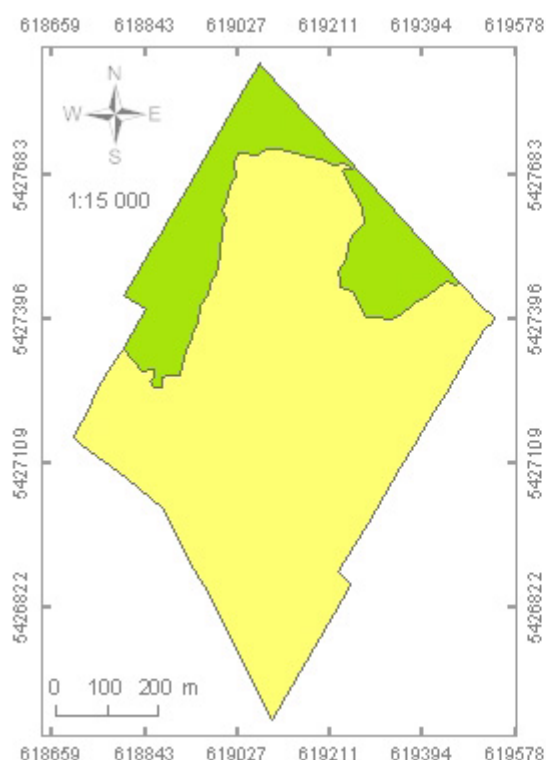
P - opt - OK



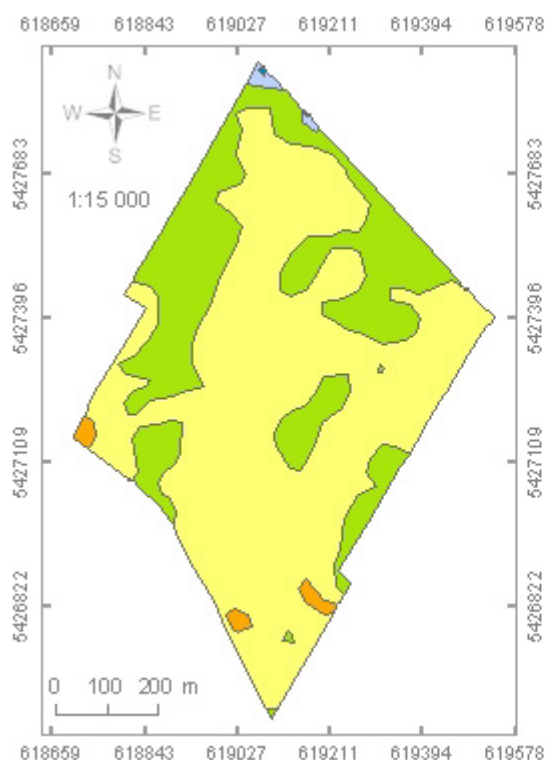
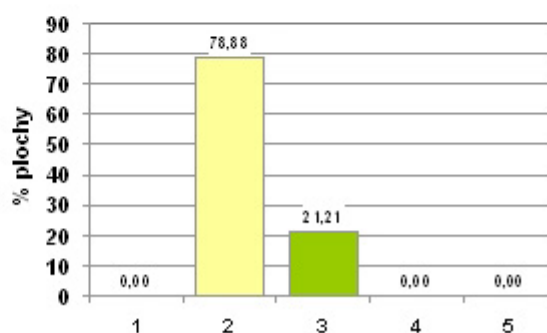
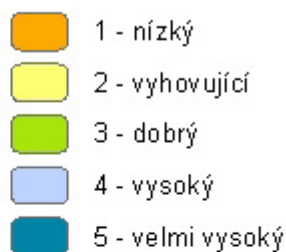
P - opt - OK NoNugget



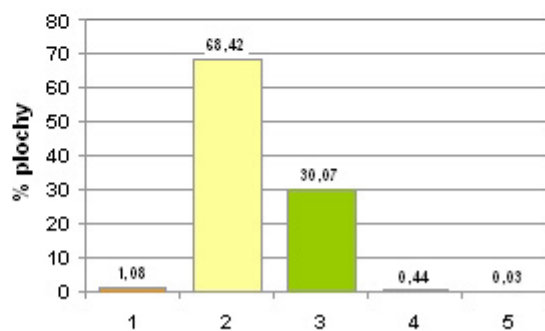
Obr. 7 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu draslíku dle Mehlich III při hustotě vzorkování 50 m



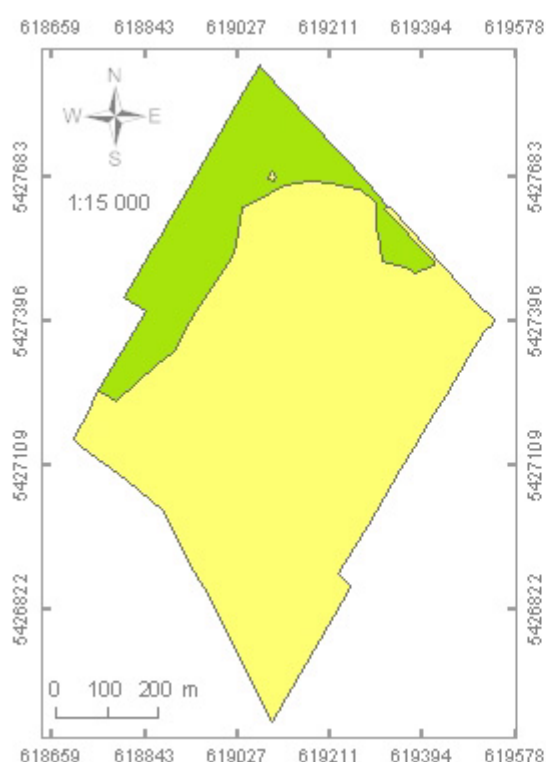
K - 50m - OK



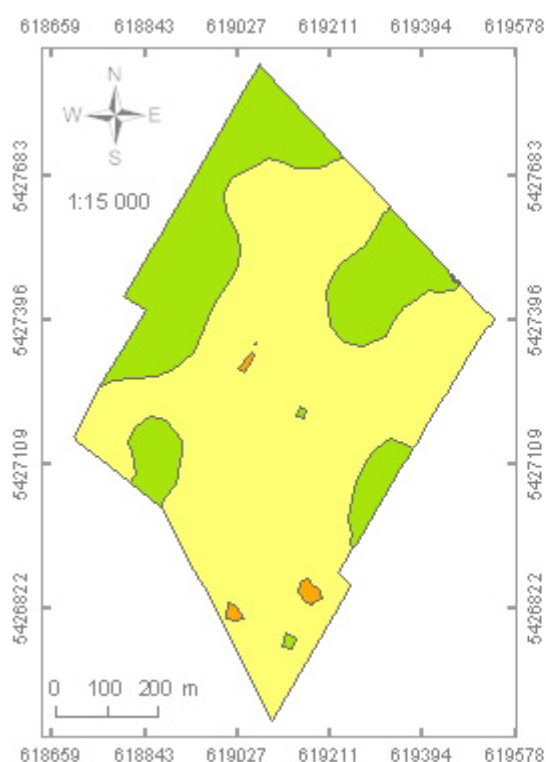
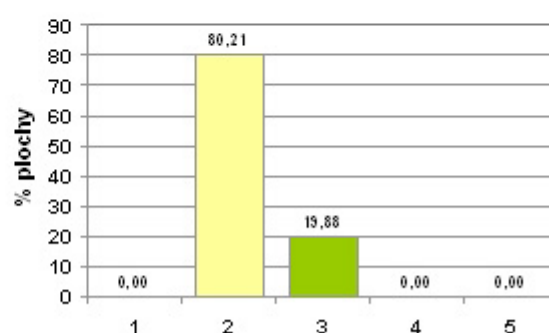
K - 50m - OK NoNugget



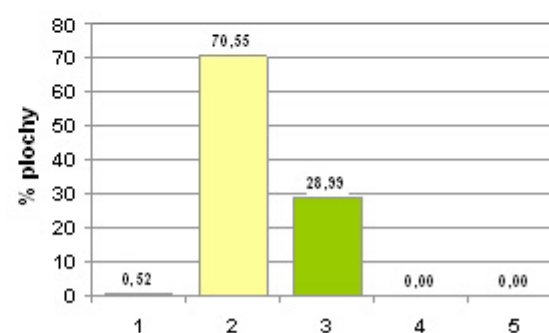
Obr. 8 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu draslíku dle Mehlich III při hustotě vzorkování 100 m



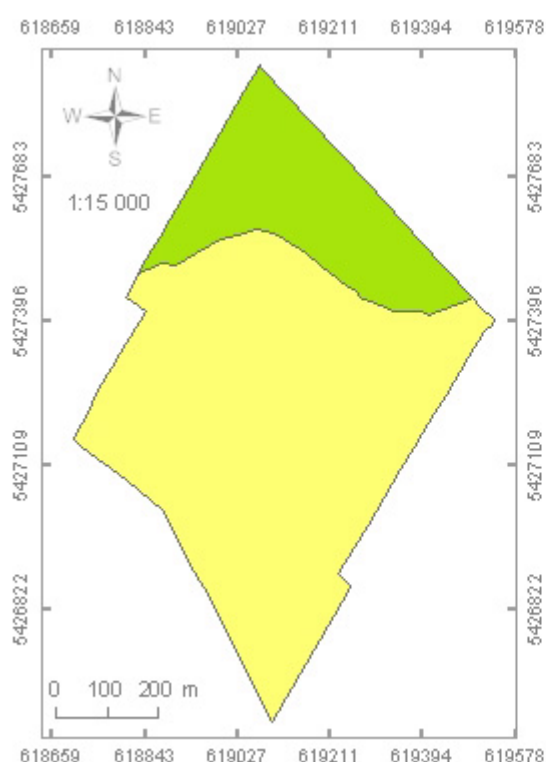
K - 100m - OK



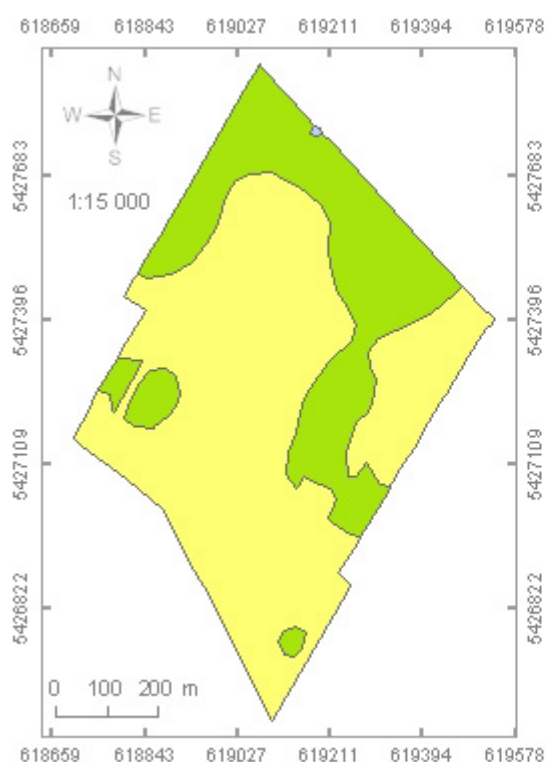
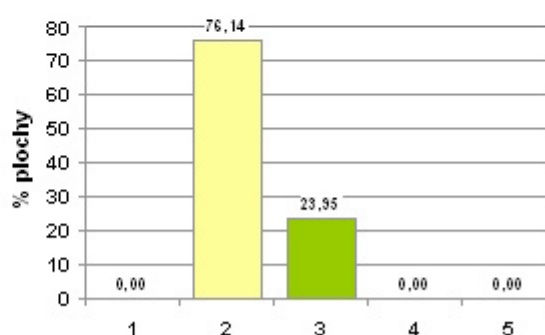
K - 100m - OK NoNugget



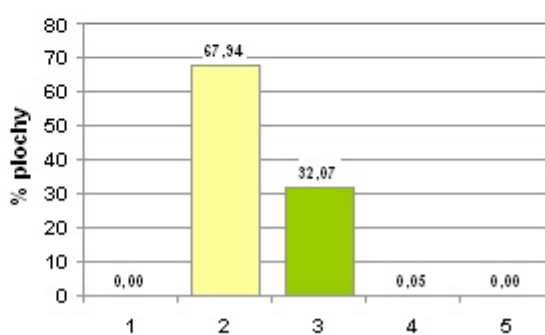
Obr. 9 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu draslíku dle Mehlich III při hustotě vzorkování 150 m



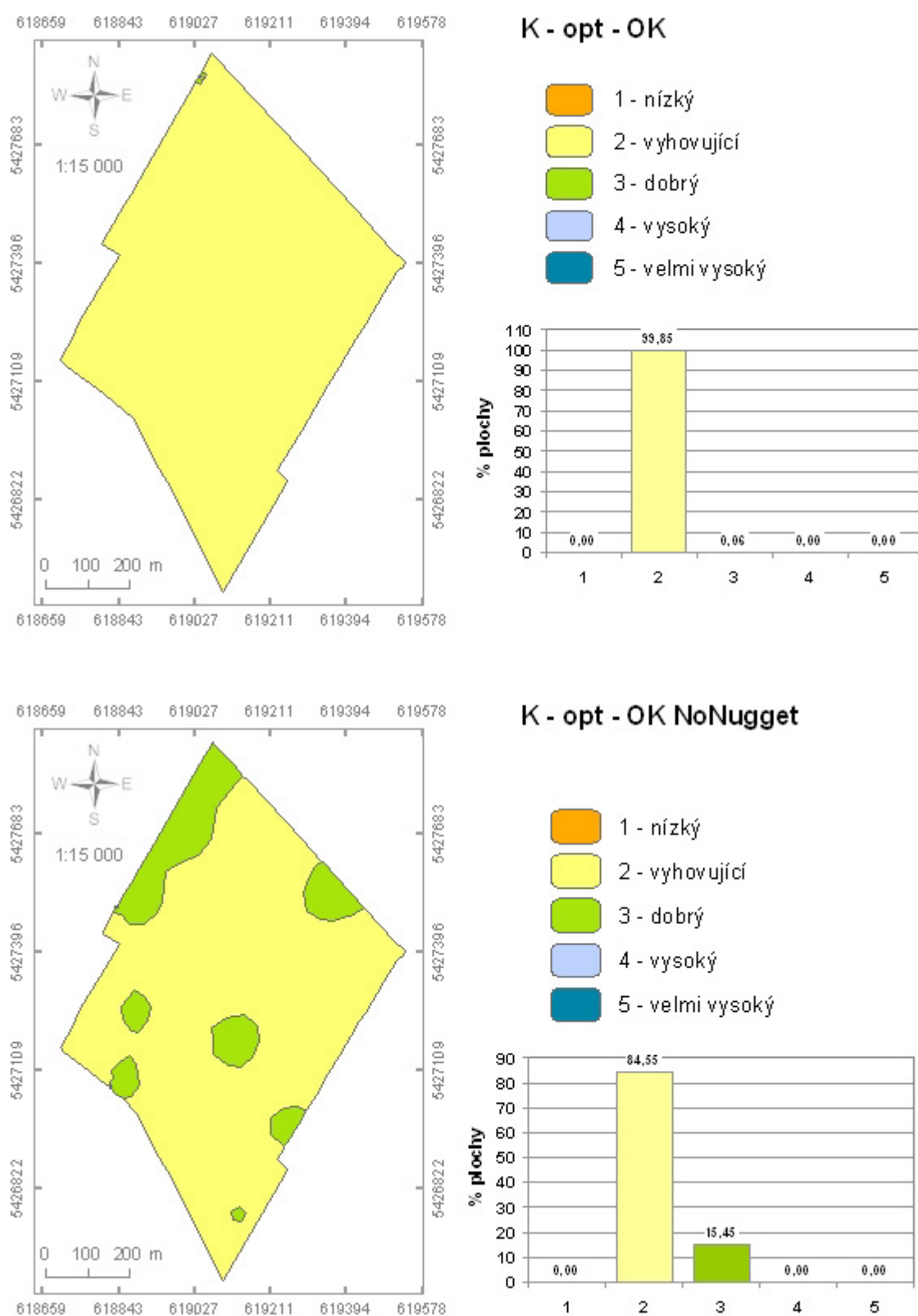
K - 150m - OK



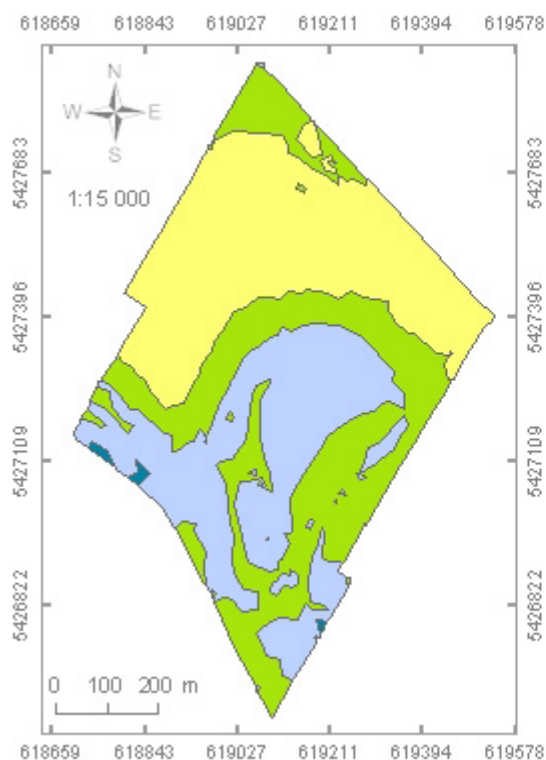
K - 150m - OK NoNugget



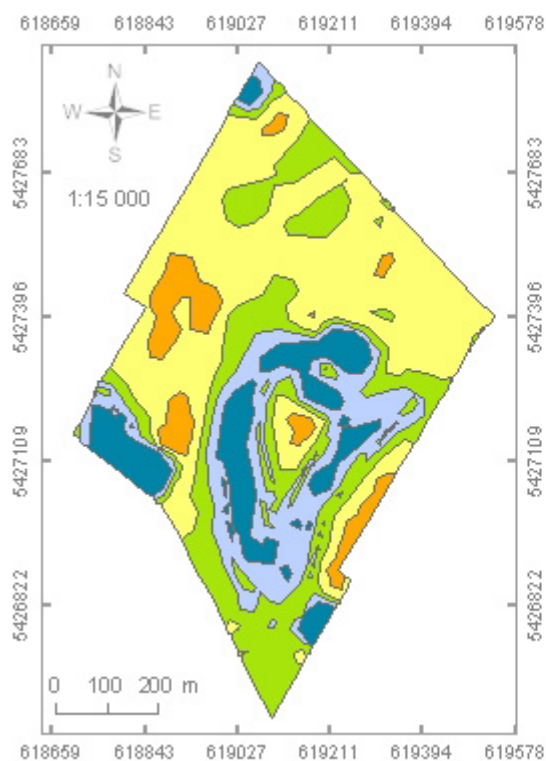
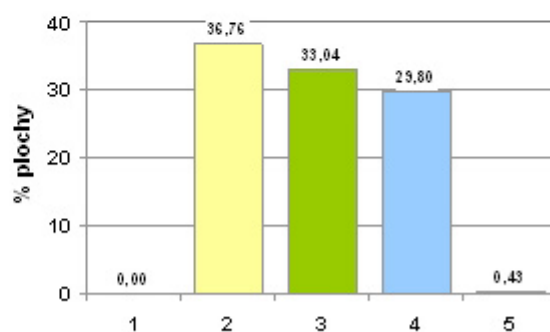
Obr. 10 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu draslíku dle Mehlich III při optimalizované odběrové síti



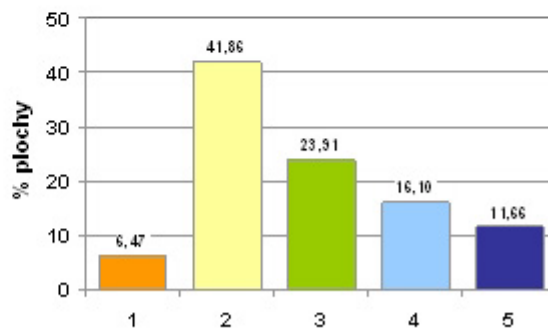
Obr. 11 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu hořčíku dle Mehlich III při hustotě vzorkování 50 m



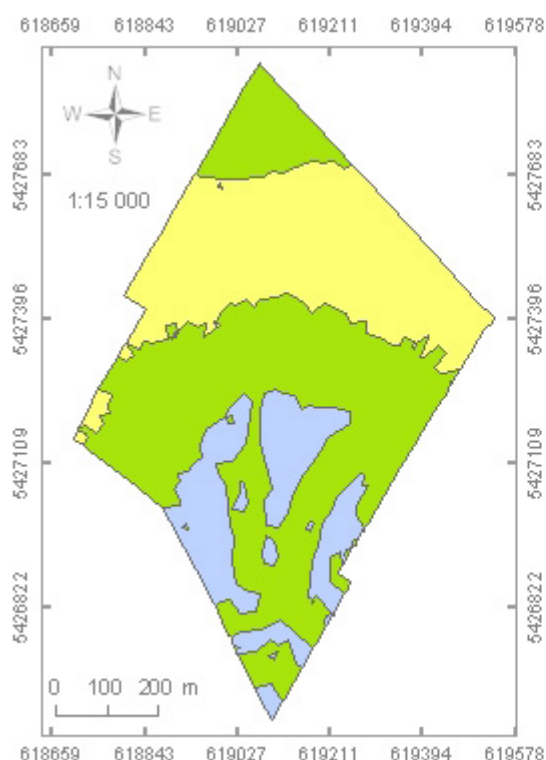
Mg - 50m - OK



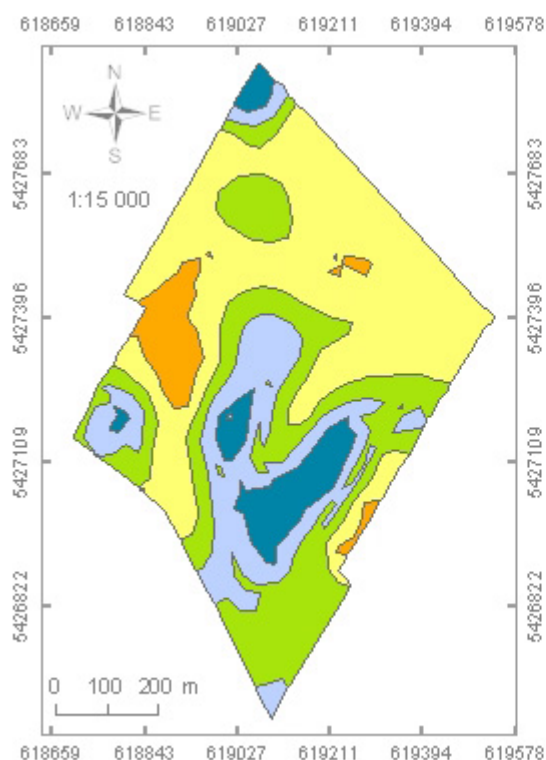
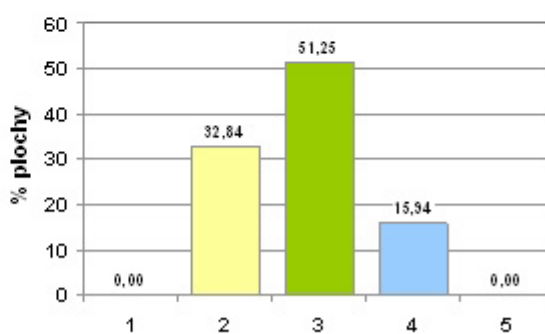
Mg - 50m - OK NoNugget



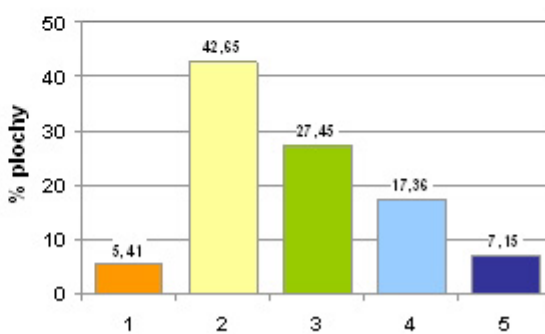
Obr. 12 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu hořčíku dle Mehlich III při hustotě vzorkování 100 m



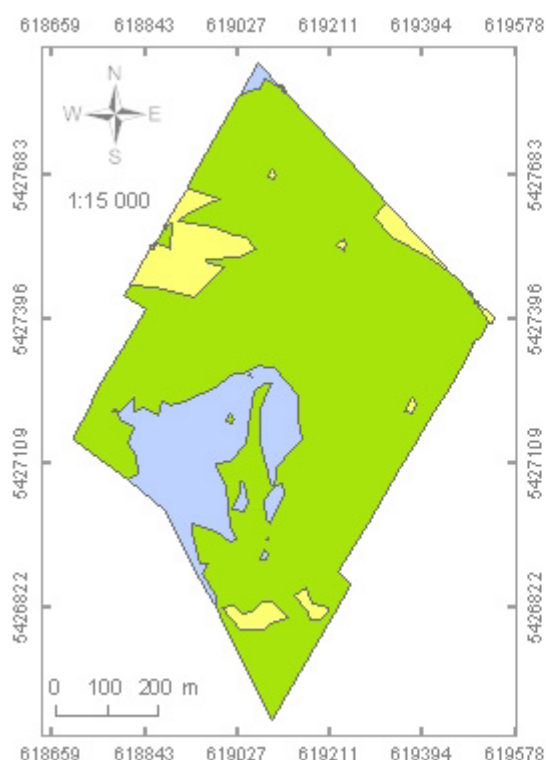
Mg - 100m - OK



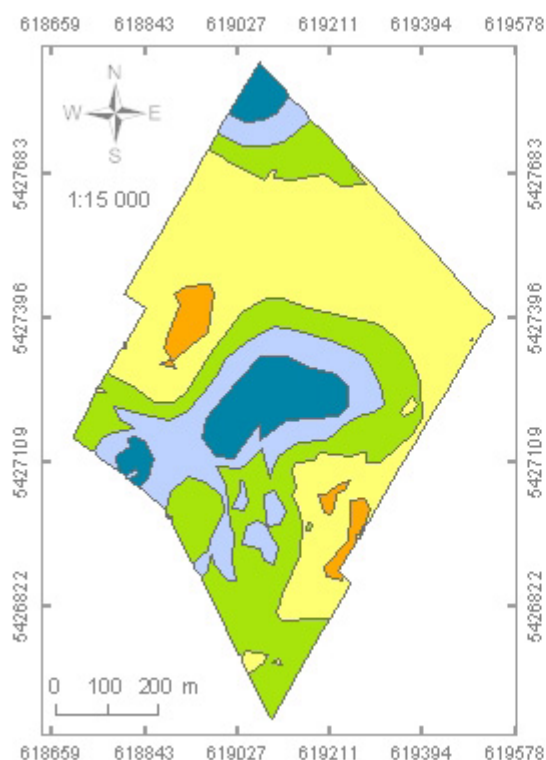
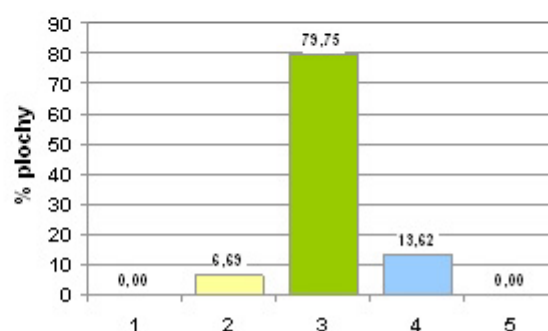
Mg - 100m - OK NoNugget



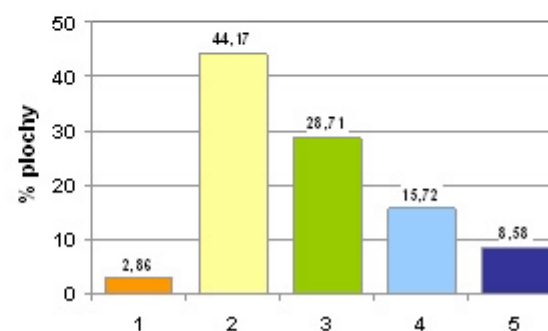
Obr. 13 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu hořčiku dle Mehlich III při hustotě vzorkování 150 m



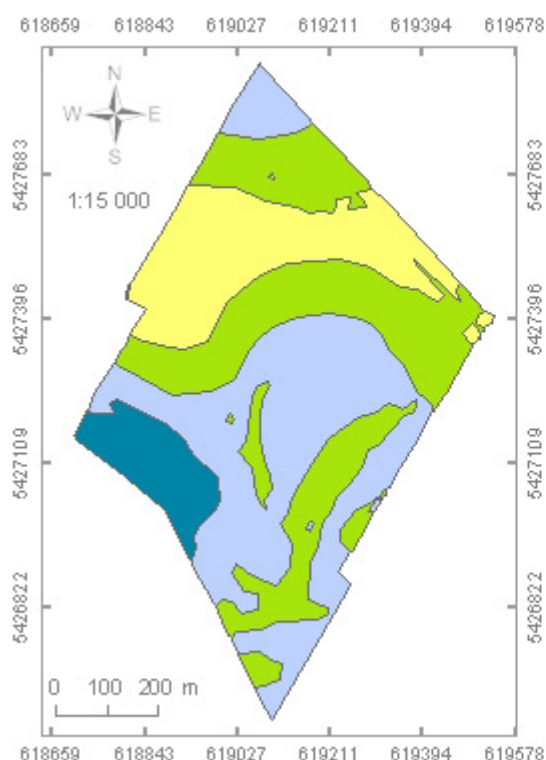
Mg - 150m - OK



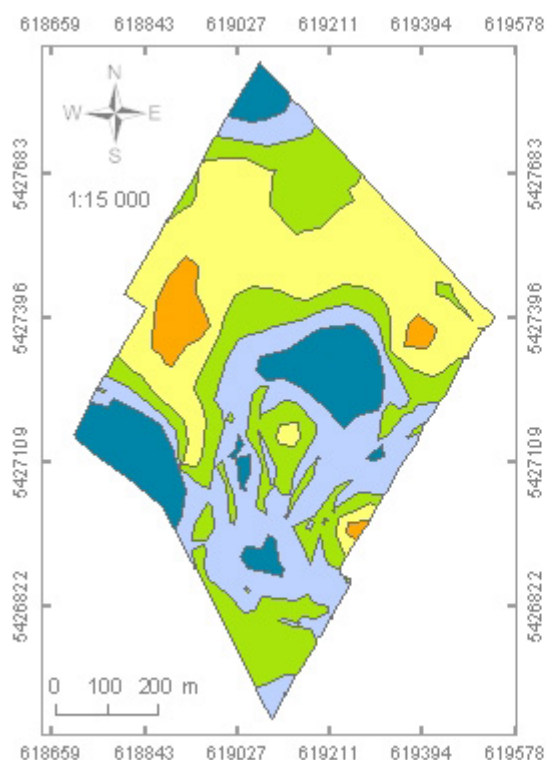
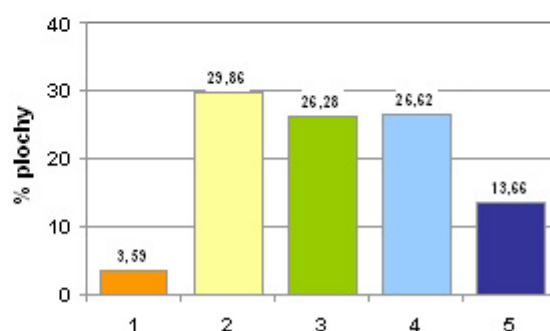
Mg - 150m - OK NoNugget



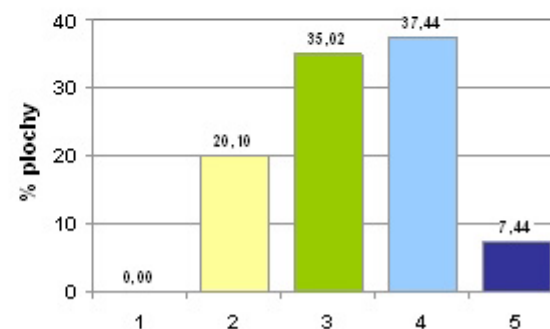
Obr. 14 Mapové znázornění plošného rozložení jednotlivých kategorií hodnocení obsahu hořčiku dle Mehlich III optimalizované odběrové sítě



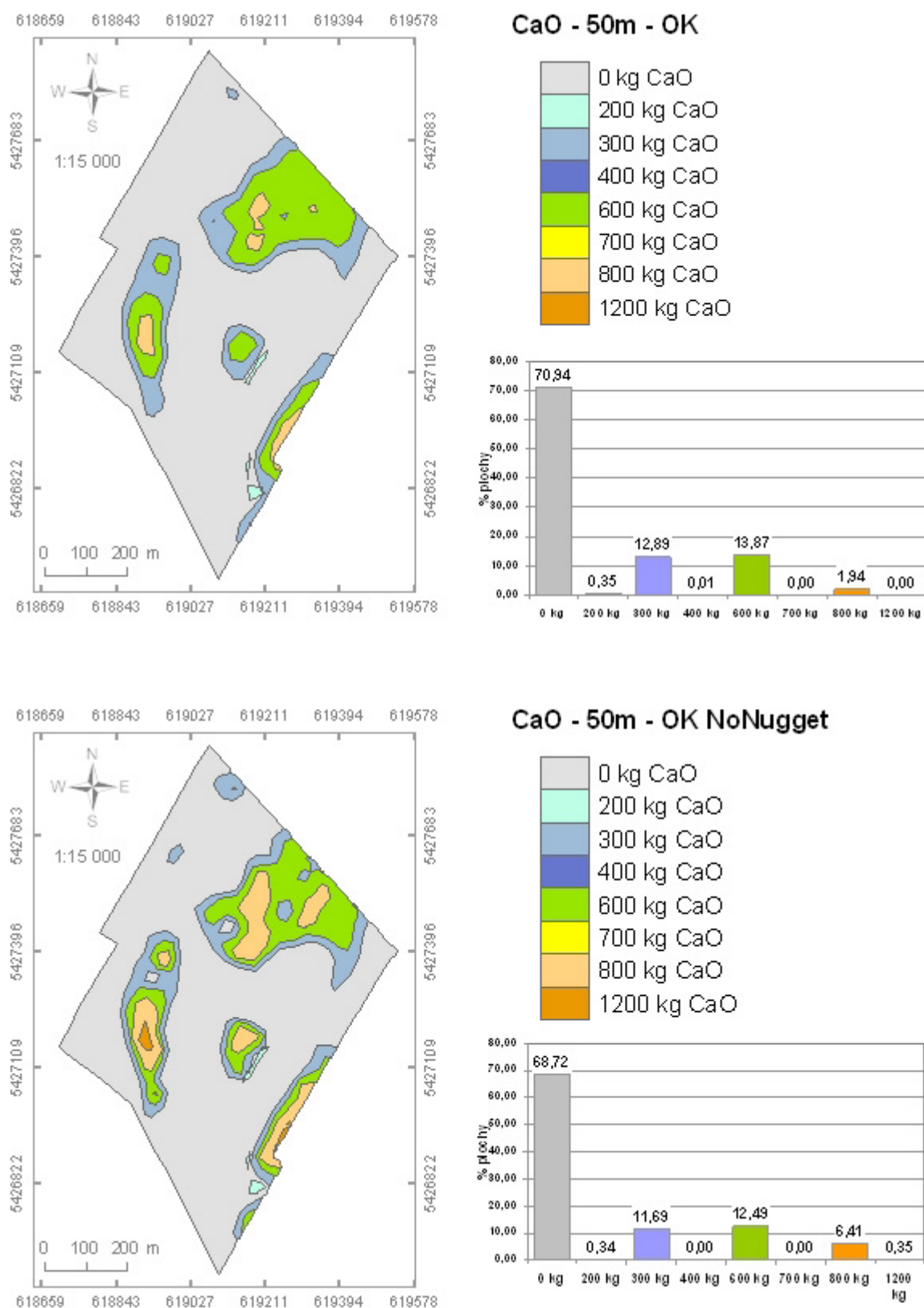
Mg - opt - OK



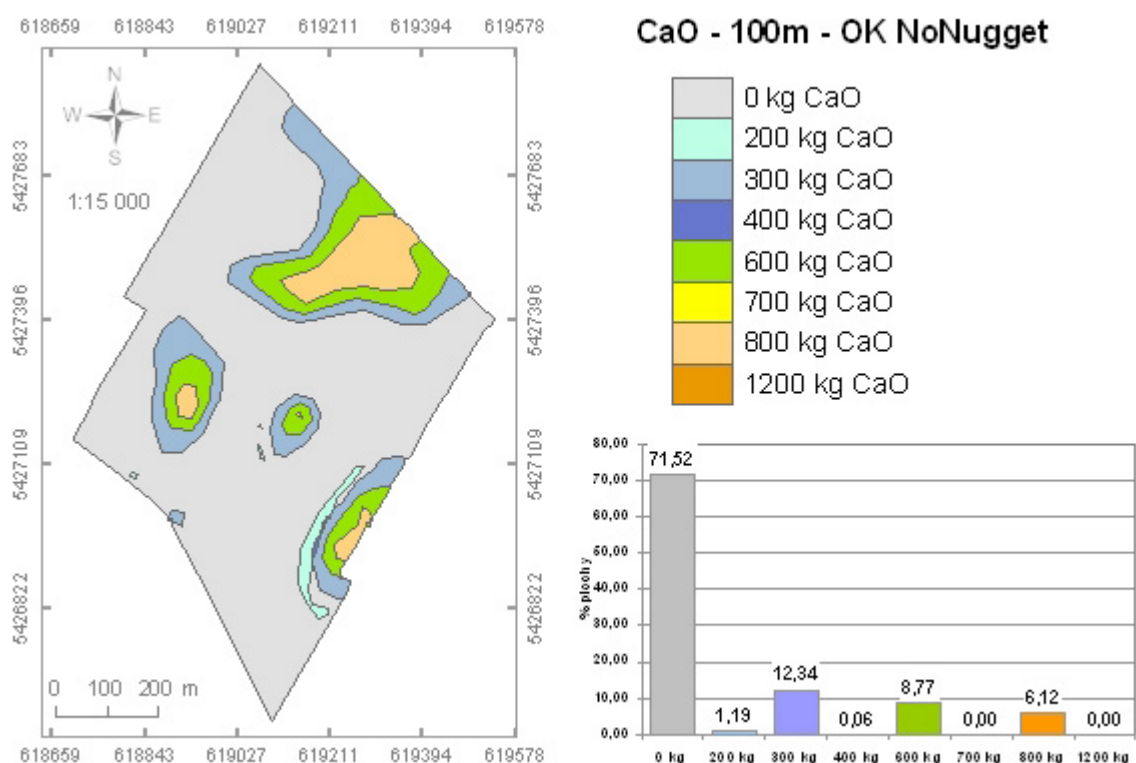
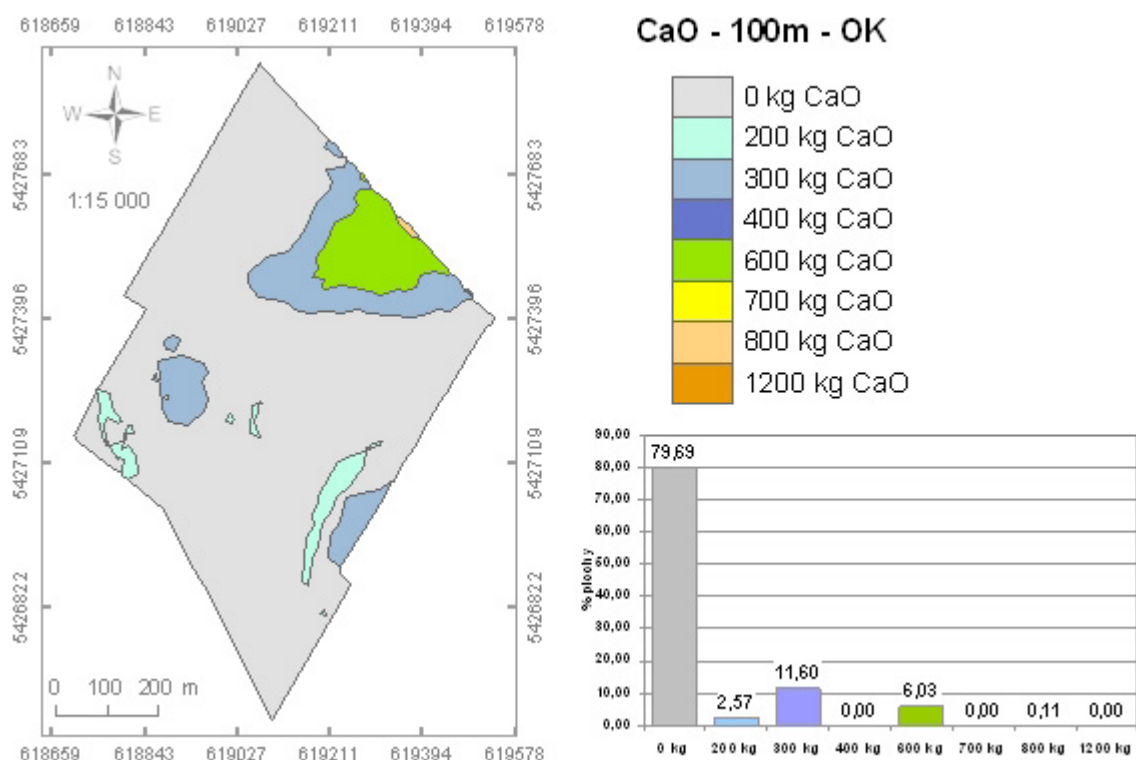
Mg - opt - OK NoNugget



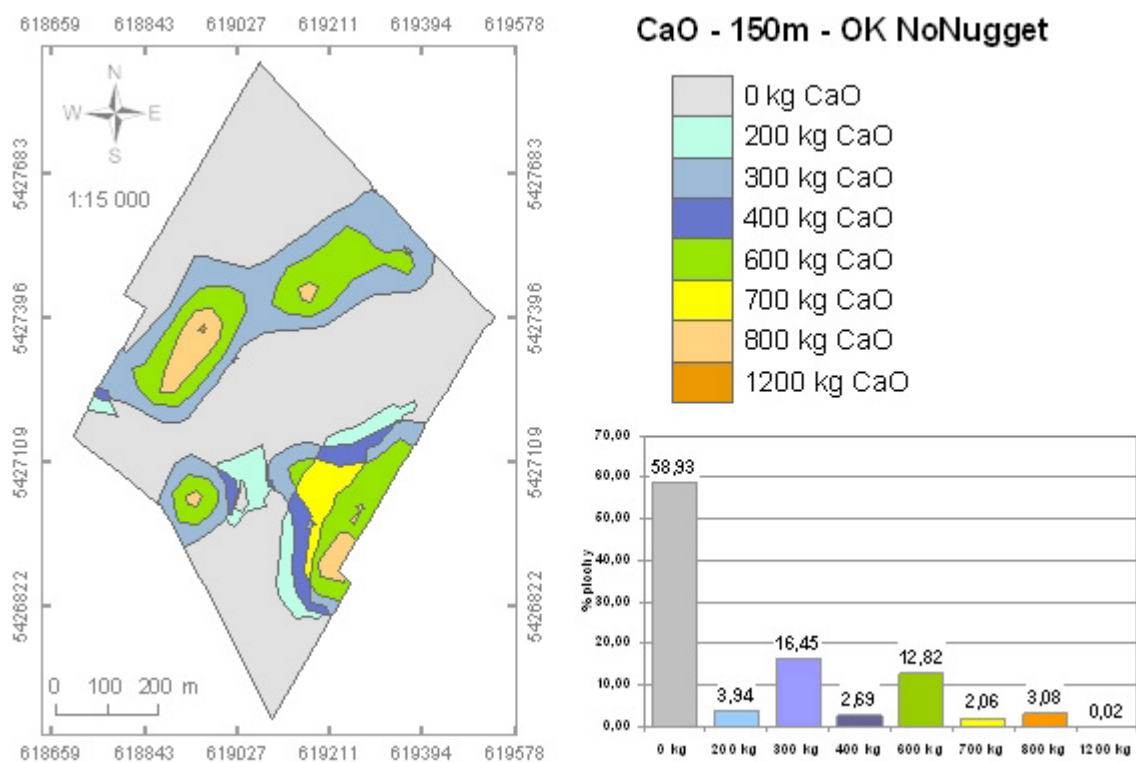
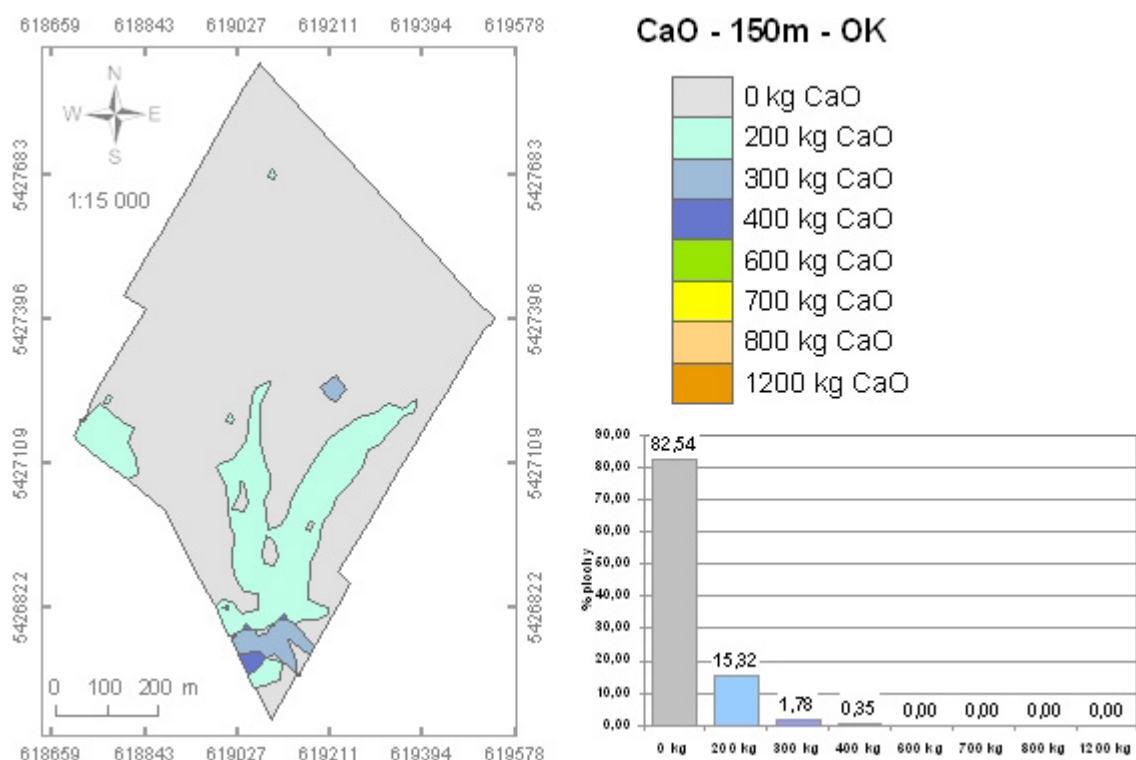
Obr. 15 Mapové znázornění plošného rozložení dávky CaO pro úpravu půdní reakce dle Mehlich III při hustotě vzorkování 50 m



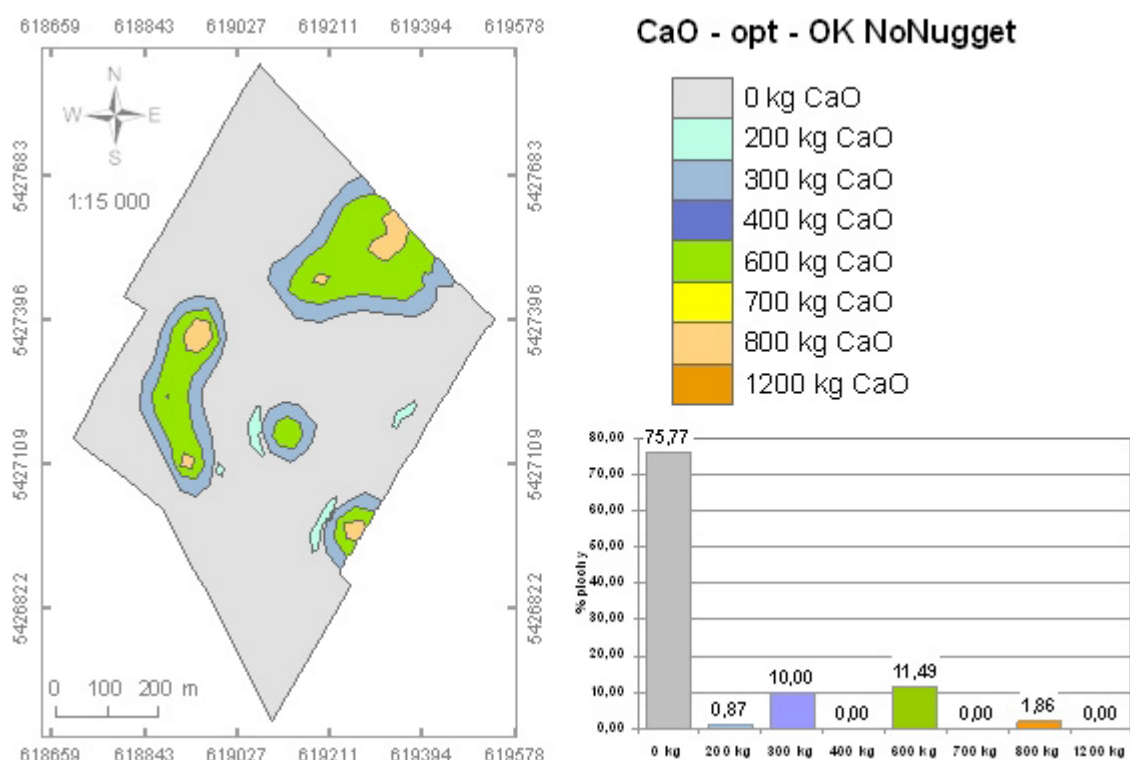
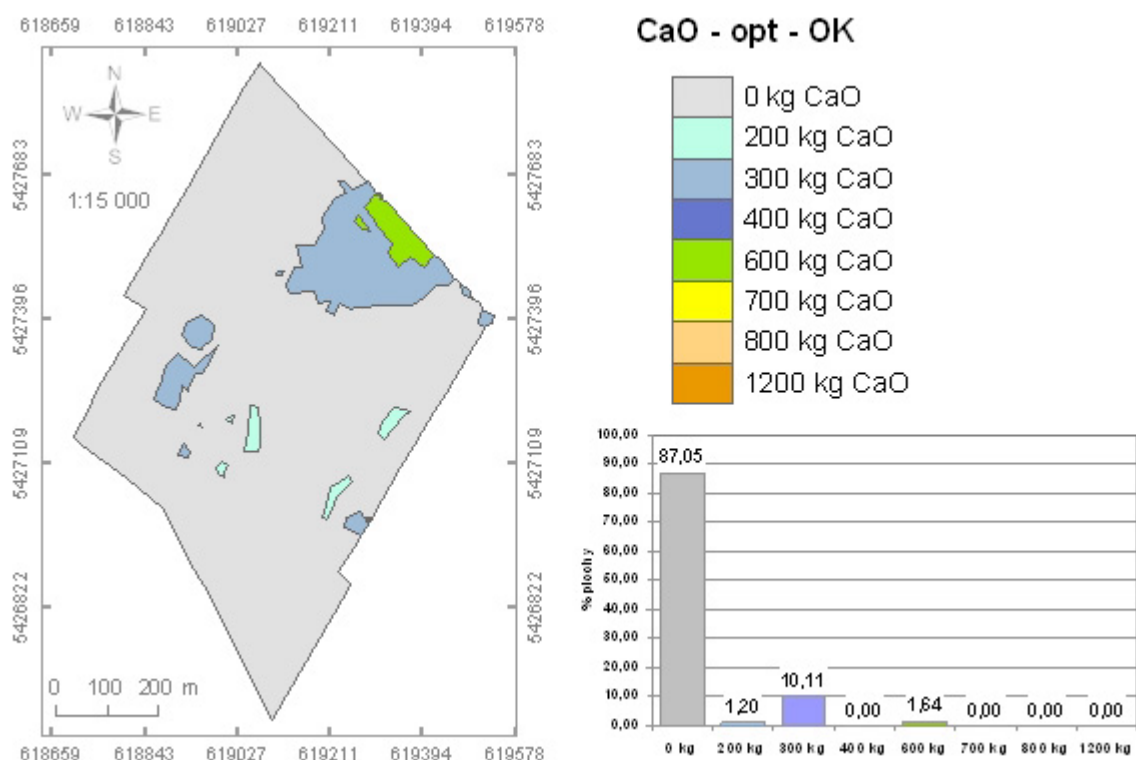
Obr. 16 Mapové znázornění plošného rozložení dávky CaO pro úpravu půdní reakce dle Mehlich III při hustotě vzorkování 100 m



Obr. 17 Mapové znázornění plošného rozložení dávky CaO pro úpravu půdní reakce dle Mehlich III při hustotě vzorkování 150 m



Obr. 18 Mapové znázornění plošného rozložení dávky CaO pro úpravu půdní reakce dle Mehlich III při optimalizované odběrové síti



Výpočet potřeby příslušné živiny byl modelově proveden pro pšenici ozimou o výnosu $4,75 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ podle tabulky průměrné spotřeby čistých živin na výnos (Ryant et. al 2003). Výsledná dávka čistých živin je uvedena v předposledním řádku tab. 2 a 3. Pro úhradu potřeby živin byla vybrány hnojiva superfosfát s 19 % obsahem P_2O_5 (8,3 % čistého P), draselná sůl s 60 % KCl (49,8 % čistého K) a kieserit s 26 % MgO (15,7 % čistého Mg). Pro úpravu půdní reakce byl zvolen jemně mletý vápenec s 50 % CaO.

Vyhodnocení vlivu rozdílné hustoty vzorkování půdy

Je logické, že větší hustota vzorkování půdy vede k získání vyšší variability datové souboru mapované veličiny. Potvrzují to i výsledky v tab. 2 a 3, kde hodnota variačního koeficientu klesá s vyšší vzdáleností mezi odběrovými body u pravidelných vzorkovacích schémat. Z hlediska celkové výše dávek hnojiva aplikovaných na pozemek jsou rozdíly mezi jednotlivými variantami odběrů nepatrné, v případě jejich prostorového rozložení v rámci pozemku jsou odlišnosti dobře viditelné (obr. 3 - 18).

U optimalizovaného schéma s cíleným výběrem rozmístění 40-ti odběrových bodů byla při srovnání s variantou pravidelného vzorkování o celkovém počtu 53 odběrů (100 m) na pozemek zjištěna vyšší variabilita v případě Mg, přibližně stejná u P a viditelně nižší u K. Taktéž prostorová závislost definovaná ukazatelem $c_0/(c_0+c)$ nepravidelné sítě je v případě P a Mg vyšší než 100 m síť (u Mg dokonce vyšší než u varianty 50 m), u pH je přibližně stejná se 100 m sítí a u K je nejnižší ze všech variant hustoty vzorkování. Z toho vyplývá, že ve většině případů optimalizovaný způsob vzorkování půdy poskytuje při stejném počtu odběrových míst lepší zachycení mapované prostorové variability půdních charakteristik než vzorkování v pravidelné síti. Je zřejmé, že tento jev je průkazný pouze u půdních vlastností s vyšší prostorovou variabilitou (v tomto případě P, Mg, pH).

Vyhodnocení vlivu způsobu zpracování (interpolace) dat

Rozdílné chování přesných a vyrovnávacích interpolačních metod je dobře viditelné na rozsahu statistického souboru gridu daného ukazatelem min / max. Vyrovnávací metody (OK s nugget efektem) vyhlazují lokální extrémů a rozsah je menší než v případě přesných metod (OK bez nugget efektu). Dochází k nadhodnocení nízkých a podhodnocení vysokých hodnot. Lokální proměnlivost odhadů je tedy nižší než lokální proměnlivost skutečných hodnot (Goovaerts 1999, 2000 in Borůvka 2001). Zbytkový rozptyl (nugget variance) je přisuzován chybám při analytickém stanovení a variabilitě na nižší úrovni než je krok vzorkování (Brodský 2003)

Vliv interpolací na celkovou dávku hnojiva lze u sledovaných charakteristik označit za nepatrný. V případě P a K došlo k mírnému snížení celkové dávky, u Mg není tento trend zřejmý. Zajímavých rozdílů bylo dosaženo u pH, kde u varianty OK_NN bylo dosaženo značného zvýšení dávky CaO na pozemek. Zde je nejvíce patrný vyhlazovací efekt OK, který snížil variabilitu hodnot pixelů gridu (viz variační koef. pH u OK a OK_NN – tab. 2 a 3). Při

porovnání prostorové distribuce aplikačních dávek na pozemku je diferenciací výrazná u všech sledovaných vlastností.

Vyhodnocení rozdílu mezi paušální a variabilní aplikací hnojiv

Při variabilní aplikaci fosforečných hnojiv je vypočtená dávka vyšší než dávka paušálně hnojeného pozemku (s výjimkou varianty 150 m). V tomto případě by při paušální aplikaci nebyla dostatečně uhrazena potřeba živin na zhruba 40 % plochy, zatímco asi 20 % plochy by bylo přehnojeno. Naopak snížení celkového množství hnojiva vykazovala variabilní aplikace K a Mg, v případě K na zhruba 20 % plochy. Přičemž normativ potřeby Mg by byl na cca 34 % plochy zvýšen o 25% a na cca 27 % plochy redukován na nulovou úroveň. Ekonomický efekt variabilní aplikace hnojiv včetně výpočtu nákladovosti zkoumání plošné variability půdních vlastností bude předmětem dalšího zkoumání.

ZÁVĚR

U sledovaných faktorů (hustota odběrové sítě, interpolace bodových dat) nebyl zjištěn rozhodující vliv na celkové množství aplikovaných hnojiv na pokusný pozemek. Značné rozdíly však byly zaznamenány u prostorového rozložení aplikačních dávek v rámci pozemku. Nižší hustota pravidelně koncipované odběrové sítě citelně vede ke snížení variability sledovaných znaků. Kompromis nabízí takový způsob vzorkování, kdy je rozmístění jednotlivých odběrových bodů provedené na základě předem zjištěné variability půdních podmínek, např. měřením elektrické půdní vodivosti půdy. Při redukovaném počtu vzorků na jednotku plochy je možné získat věrnější podobu výsledných map zkoumaných půdních charakteristik.

Dopad použitých interpolačních technik byl obdobně jako u faktoru hustoty odběrové sítě patrný v případě prostorové distribuce aplikačních dávek. Jednoznačně byl potvrzen vyrovnávací efekt u metody běžný kriging se zbytkovým rozptylem, kdy použití tohoto postupu vedlo ke snížení variability statistického souboru. Tento jev však kromě úpravy půdní reakce, kde došlo ke snížení spotřeby hnojiv, neměl vliv na celkové množství aplikovaných hnojiv. Volba mezi zkoumanými metodami je tedy ovlivněna konkrétním souborem dat, či přesněji cílenou potřebou zvýraznění lokálních jevů nebo naopak trendů globálního charakteru.

Z porovnání paušálně a variabilně prováděné aplikace P, K, Mg a Ca hnojiv vyplývá nedohnojení, příp. přehnojení různě rozlehlých částí pozemku při celoplošně nastavené dávce hnojiva. Rozhodujícím prvkem pro výběr způsobu aplikace jsou ekonomické výsledky, které lze dosáhnout okamžitou úsporou aplikovaného hnojiva nebo trvale vyrovnanou bilancí živin stabilizující půdní úrodnost.

LITERATURA

Borůvka L. (2001): Variabilita půdních vlastností a její hodnocení. Habilitační práce. ČZU Praha

Brodský L. (2003): Využití geostatistických metod pro mapování prostorové variability agrochemických vlastností půd. Disertační práce. ČZU Praha.

Environmental Systems Research Institute (2001): Using ArcGIS™ Geostatistical Analyst.

Lukas V., Křen J. (2004): Metody zjišťování prostorové variability půdních podmínek v precizním zemědělství. Sborník z konference posluchačů postgraduálního doktorského studia MendelNet'04 Agro

Ryant P., Richter R., Hlušek J., Fryščáková E. (2003): Multimediální učební texty z výživy rostlin. <http://www.af.mendelu.cz/agrochem/index.htm>