

SPECIALIZOVANÁ MAPA S ODBORNÝM OBSAHEM

Mapa relativního výnosového potenciálu pro pozemky AGRA Řisuty

Lukas V. - Neudert L. - Duffková R. – Mezera J. – Horniaček I. –
Širůček P. - Krček V.

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Mapa relativního výnosového potenciálu pro pozemky AGRA Řisuty

**N_{map} – Specializovaná mapa s odborným
obsahem**

**VOJTĚCH LUKAS, LUBOMÍR NEUDERT, RENATA DUFFKOVÁ, JIŘÍ
MEZERA, IGOR HORNIAČEK, PETR ŠIRŮČEK, VÍTĚZSLAV KRČEK**

2020

Mapa relativního výnosového potenciálu pro pozemky AGRA Řisuty

Specializovaná mapa s odborným obsahem zobrazuje členění pozemků obhospodařovaných společností AGRA Řisuty s.r.o. dle stanovení relativního výnosového potenciálu pro uplatnění v systému lokálně cíleného hospodaření na zemědělské půdě. Základním zdrojem dat pro prostorové vymezení zón s očekávanou shodnou produktivitou v rámci jednotlivých pozemků byla časová řada družicových multispektrálních snímků Landsat a Sentinel-2 z průběhu vegetačního období plodin za posledních 8 let (2013-2020). Postup tvorby mapy z dat dálkového průzkumu představuje alternativu ke zpracování výnosových map v případě nedostupnosti záznamů ze sklizně plodin. Výsledné mapy slouží pro vyhodnocení heterogenity obhospodařovaných pozemků a návrh lokálně cílené agrotechniky plodin, jako je např. variabilní aplikace hnojiv.

Map of relative yield potential zones for farm enterprise AGRA Řisuty

A specialized map shows the management zones of the land parcels managed by farm enterprise AGRA Řisuty s.r.o. based on the determination of the relative yield potential for utilization in the site specific crop management. The basic data source for the spatial delineation of zones with expected productivity across farm plots was the time-series of Landsat and Sentinel-2 satellite multispectral images from vegetation period for the last 8 years (2013-2020). Creation of these maps from remote sensing data is an alternative to processing yield maps in the situation that crop yields records are unavailable. Final maps can be used to evaluate spatial heterogeneity of arable fields and to design site specific crop management, such as variable rate application of fertilizers.

Specializovaná mapa je výsledkem řešení výzkumného projektu **TAČR Prostředí pro život SS01020309 "Precizní zemědělství na pozemcích s regulovaným drenážním odtokem jako nástroj pro ochranu vod a zvýšení efektivity rostlinné výroby"**

Autorský kolektiv:

Ing. Vojtěch Lukas, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Lubomír Neudert, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně
Ing. Renata Duffková, Ph.D., Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Ing. Jiří Mezera, Mendelova univerzita v Brně
Ing. Igor Horniaček, Mendelova univerzita v Brně
Ing. Petr Šírůček, Mendelova univerzita v Brně
Ing. Vítězslav Krček, Ph.D., AGRA Řisuty s.r.o.

Recenzenti:

Ing. Jan Hrubý, CSc. - Výzkumný ústav pícninářský, spol. s r. o.
Ing. Josef Svoboda, Ph.D. - Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský

Specializovanou mapu s odborným obsahem schválil Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský na základě osvědčení UKZUZ 037241/2021

© Mendelova univerzita v Brně, 2020

ISBN 978-80-7509-746-0

OBSAH

I. Popis specializované mapy.....	4
Specializace mapy	4
Zdrojová data	5
Popis výpočtu map relativního výnosového potenciálu	6
Charakteristika zájmového území.....	7
Výsledky vymezení produkčních zón pro AGRA Řisuty s.r.o.	11
II. Doporučení a závěr	15
Popis novosti mapy	15
Příklad využití specializované mapy při lokálně cíleném hospodaření na orné půdě.....	15
Uplatnění mapy	16
III. Seznam použité literatury	17
IV. Seznam publikací předcházejících mapě.....	18
V. Mapová příloha	19

I. POPIS SPECIALIZOVANÉ MAPY

Specializace mapy

Identifikace produkčních jednotek v rámci jednotlivých pozemků je základním předpokladem pro úspěšné uplatnění postupů precizního zemědělství. Jeho podstatou je přizpůsobení agrotechniky lokálním podmínkám stanoviště a určení intenzity pěstebních zásahů pro jednotlivé části pozemků, tzv. management zóny, s ohledem na jejich nevyrovnanost (Gnip a Charvát, 2003). Běžný způsob identifikace produkčních zón vychází z identifikace podprůměrně a nadprůměrně výnosných částí pozemků z víceletých výnosových map (Blackmore, 2000; Kleinjan et al., 2007). Ucelený sběr výnosových záznamů sklízecí technikou je ale v zemědělských podnicích spíše výjimečný a vyžaduje pokročilé postupy filtrace odlehlých a chybřích hodnot (Širůček, 2014; Vega et al., 2019).

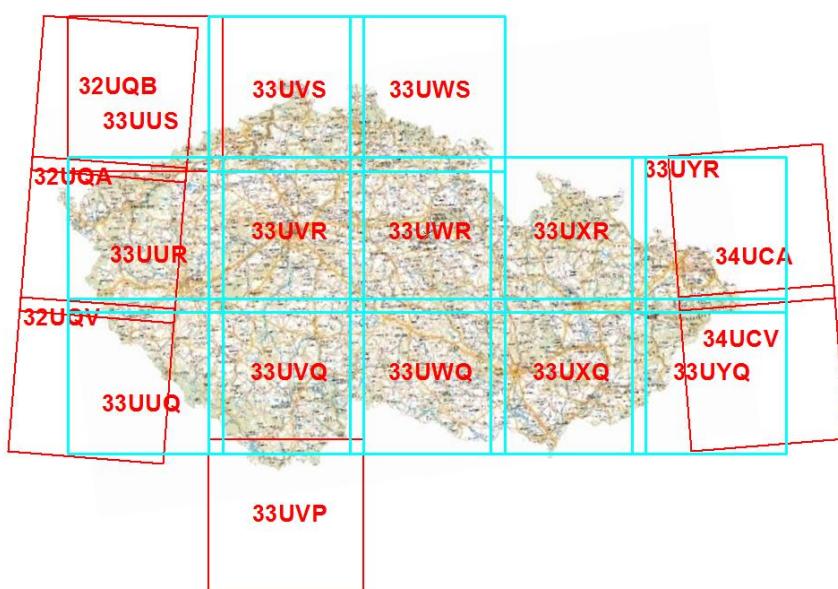
Předkládaná specializovaná mapa představuje inovativní postup vymezení produkčních zón včetně kvantifikace odchylky od průměru pozemku na základě prostorové analýzy časové řady multispektrálních družicových dat. Vymezení zón relativního výnosového potenciálu vychází z analýzy víceleté řady (8 let) družicových dat. Jedná se o alternativu pro případy absence dat z mapování výnosů při sklizni plodin, ať z důvodu nedostupnosti dostatečného technického vybavení sklízecích mlátiček, anebo pro plodiny, jejichž měření výnosu při sklizni není rozšířeno (silážní kukuřice, pícniny, okopaniny a další skupiny plodin). Relativní výnosový potenciál je vypočten jako procentuální vyjádření dosažené produktivity na daném místě vůči průměrné hodnotě za celý pozemek; vždy jednotlivě pro každé sledované vegetační období s následným zprůměrováním za celou časovou řadu dat. V případě využití dat dálkového průzkumu Země je základním principem hodnocení analýza nevyrovnanosti porostů ve vybraných částech vegetačního období na základě vegetačních indexů a kvantifikace vůči průměrné hodnotě pozemku v daném termínu sledování. Výsledkem je identifikace výnosově podprůměrných nebo nadprůměrných oblastí na pozemcích napříč sledovanými ročníky. Toto stanovení lze provést pro jakékoli území pokryté dostatečným počtem bezoblažných družicových snímků a digitálním zmapováním hranic pozemků (např. Registr zemědělské půdy LPIS) doplněné o základní agronomickou evidenci pěstovaných plodin. V případě dostupnosti výnosových map lze procentuální rozpětí relativního výnosového potenciálu korigovat o reálně zmapované výnosy na daném území.

Dálkový průzkum Země (DPZ) poskytuje informace o prostorových a časových změnách veličin významných pro hodnocení stavu plodin, které jsou jinými postupy jen obtížně zachytitelné, a umožňuje tak modelovat chování agroekosystému pro maximalizaci produkce se současnou minimalizací environmentálních rizik (Dorigo et al., 2007). S postupným zaváděním těchto metod do zemědělství se dálkový průzkum vyvinul do podoby cenného nástroje pro podporu agronomického rozhodování, jak popisují např. Hatfield et al. (2008). Hodnocení vazby mezi daty DPZ a dosahovanými výnosy je předmětem celé řady vědeckých studií (Diker et al., 2004; Quarmby et al., 1993; Thenkabail, 2003; Wall et al., 2008). Celoplošné pokrytí zájmového území daty DPZ umožňuje sledování variability výnosů v rámci jednotlivých pozemků a určit tak základní faktory, které ji ovlivňují. Jak ukazuje Kumhálová et al. (2014) na základě hodnocení vegetačního indexu Moisture stress index z Landsat 5, variabilita výnosů zemědělských plodin je významně ovlivněna topografickými faktory na těch pozemcích, kde je rozdílná distribuce půdní vláhy. Výsledky mohou být následně uplatněny zemědělskými podniky při návrhu lokálně cíleného hospodaření.

Zdrojová data

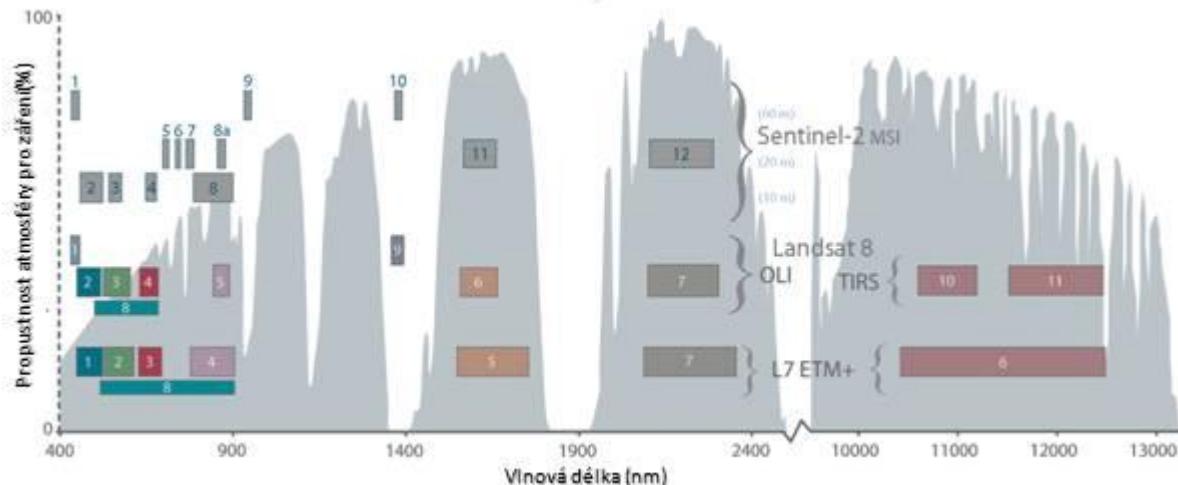
Základním vstupem pro výpočet relativního výnosového potenciálu v mapové podobě jsou družicové multispektrální snímky, hranice pozemků v digitální vektorové podobě doplněné o záznamy z agronomické evidence zemědělského podniku.

Družicová obrazová data umožňují zachycení rozsáhlého území v krátkém časovém intervalu s vysokou periodicitou, která je vhodná pro zachycení dynamiky přírodních jevů. Díky svým vlastnostem a bezplatnou dostupností je jedním z nejčastěji využívaných zdrojů družicových dat pro precizní zemědělství program NASA a USGS (USA) Landsat. Ten představuje ucelenou řadu družicových misí zaměřených na multispektrální a termální průzkum povrchu naší planety (Irons et al., 2012; Roy et al., 2014). Průzkum byl zahájen vypuštěním první družice v roce 1972. Vzhledem k této historické řadě jsou data velmi rozšířená v nejrůznějších aplikacích dálkového průzkumu Země. Novější generaci představují senzory Landsat OLI a TIRS, provozované na družici Landsat 8 LDCM. Multispektrální senzor OLI pokrývá 9 pásem v oblasti viditelného, blízké infračerveného (NIR) a krátkovlnného infračerveného (SWIR) záření; termální senzor TIRS pak přidává další 2 pásmá v termálním infračerveném spektru. Prostorové rozlišení multispektrálního skeneru je 30m / pixel. Všechny scény pořízené družicemi Landsat jsou standardizované – družice přelétají nad zeměkoulí po 232 drahách, šířka záběru snímacího zařízení je 183 kilometrů. Obrazová data v podobě jednotlivých scén jsou dostupná po registraci na stránkách USGS (earthexplorer.usgs.gov), vč. automatického upozorňování na nové snímky vybraného území; velikost jedné scény se všemi spektrálními pásmi je zhruba 2 GB. Družicové snímky jsou dodávány po základním geometrickém zpracování (Level 1). Pro digitální analýzu obrazu je vyžadováno předzpracování na straně uživatele, zahrnující radiometrické a atmosférické korekce. I když plán návratu družice Landsat na určité místo na Zemi (angl. Revisit Time) je dobře znám (perioda 16 dní, pro oblasti s překryvem scén 8 dní), je obvyklé, že se v průběhu vegetačního období nepodaří vzhledem k častému výskytu oblačnosti pořídit v daný termín použitelný snímek. To snižuje použitelnost snímků pro plánování pěstebních operací.



Obr. 1 Rozložení dlaždic družicových snímků Sentinel-2 o velikosti 100 x 100 km nad územím ČR.

V roce 2015 byla v rámci programu Evropské kosmické agentury ESA Copernicus vypuštěna družice Sentinel 2A, která tematicky navazuje na misi Landsat. Pořizuje multispektrální obrazová data ve 13 pásmech s prostorovým rozlišením 10, 20 a 60 metrů v závislosti na vlnové délce o celkové šířce záběru 290 km. Konfigurace spektrálních pásem umožňuje výpočet vegetačních indexů v oblasti red-edge (Drusch et al., 2012). V roce 2017 byla doplněna družice Sentinel 2B, časové rozlišení tandemu družic bude 5 dní (pro oblast rovníku, pro naši zeměpisnou šířku je 3-4 dny).



Obr. 2 Schéma porovnávající spektrální pásmo družic Landsat 7, Landsat 8 a Sentinel 2. Sentinel 2 svoji spektrální konfigurací navazuje na družice Landsat, současně ale přidává několik úzkých pásem v oblasti NIR záření s vyšší citlivostí na změny vegetačních parametrů.

Zdroj: <http://landsat.gsfc.nasa.gov>

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/>).

Popis výpočtu map relativního výnosového potenciálu

Výpočet vychází z analýzy nevýrovnanosti porostů jednotlivých pozemků z vegetačního indexu EVI za posledních 8 let. Vegetační indexy jsou využívány pro zvýraznění vegetační složky v obrazu, zároveň redukují množství vstupních spektrálních pásem do jediné veličiny. Nejčastěji používaným vegetačním indexem při hodnocení vegetace je NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), který je spočítán z odrazivosti v červeném (R) a blízce infračerveném (NIR) pásmu elektromagnetického záření dle níže uvedené rovnice (Rouse et al., 1973):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Huete et al. (1994) představili ve své studii *Enhanced Vegetation Index* (EVI), který redukuje atmosférické vlivy implementací odrazivosti modrého pásmo do normalizované kalkulace:

$$EVI = \frac{2.5 \times (\rho_{NIR} - \rho_{red})}{1 + \rho_{NIR} + 6 \times \rho_{red} - 7.5 \times \rho_{blue}}$$

Podle Gao et al. (2000), NDVI je více ovlivněno obsahem chlorofylu a saturuje při vysokém množství nadzemní biomasy porostu, zatímco EVI odpovídá ve větší míře strukturním změnám porostu a vykazuje vyšší citlivost při plném zapojení porostu. Ve výsledku vykazuje EVI vyšší citlivost na změny v podílu zelené vegetace při vyšší úrovni nadzemní biomasy (Huete et al., 2002).

Pro výpočet jsou vybírány scény z druhé poloviny vegetačního období zemědělských plodin s minimální oblačností a aplikací radiometrických a atmosférických korekcí. Z důvodu nezbytné eliminace všech rušivých jevů v obraze je aplikována maska oblačnosti (klasifikace scény) pro vyfiltrování husté i řídké oblačnosti, stínů oblačnosti, oparu a dalších nežádoucích jevů. Příslušná maska je součástí dat zpracování snímků na úrovni L2A, v případě snímků Landsat zpracovaných algoritmem *CFmask* (Zhu et al., 2015), u Sentinel-2 se pak jedná o výsledky zpracování algoritmu *sen2cor* (Vuolo et al., 2016). Z takto připraveného souboru scén je následně vypočtena relativní hodnota pro danou scénu a pozemek a následně střední hodnota napříč všemi připravenými scénami. Původní prostorové rozlišení (30 m pro Landsat, 10 m pro Sentinel-2) je pomocí metod prostorových interpolací vyhlazeno na výsledných 5 m na pixel. S ohledem na prostorové rozlišení vstupních dat nelze kvůli nedostatečnému počtu pixelů provést výpočet pro plochy menší než 5 ha. Výpočet také zahrnuje eliminaci okrajových ploch, které mohou být u pozemků v blízkosti lesních porostů zakryty korunami stromů. Vymezení ploch je dáno hranicemi vedenými v databázi LPIS a nekoresponduje vždy s jednotlivými plodinami; v případě pěstování více plodin na jednom dílu půdních bloků (DPB) je třeba dodat zpřesňující geometrii hranic jednotlivých plodin či ji manuálně upravit.

Charakteristika zájmového území

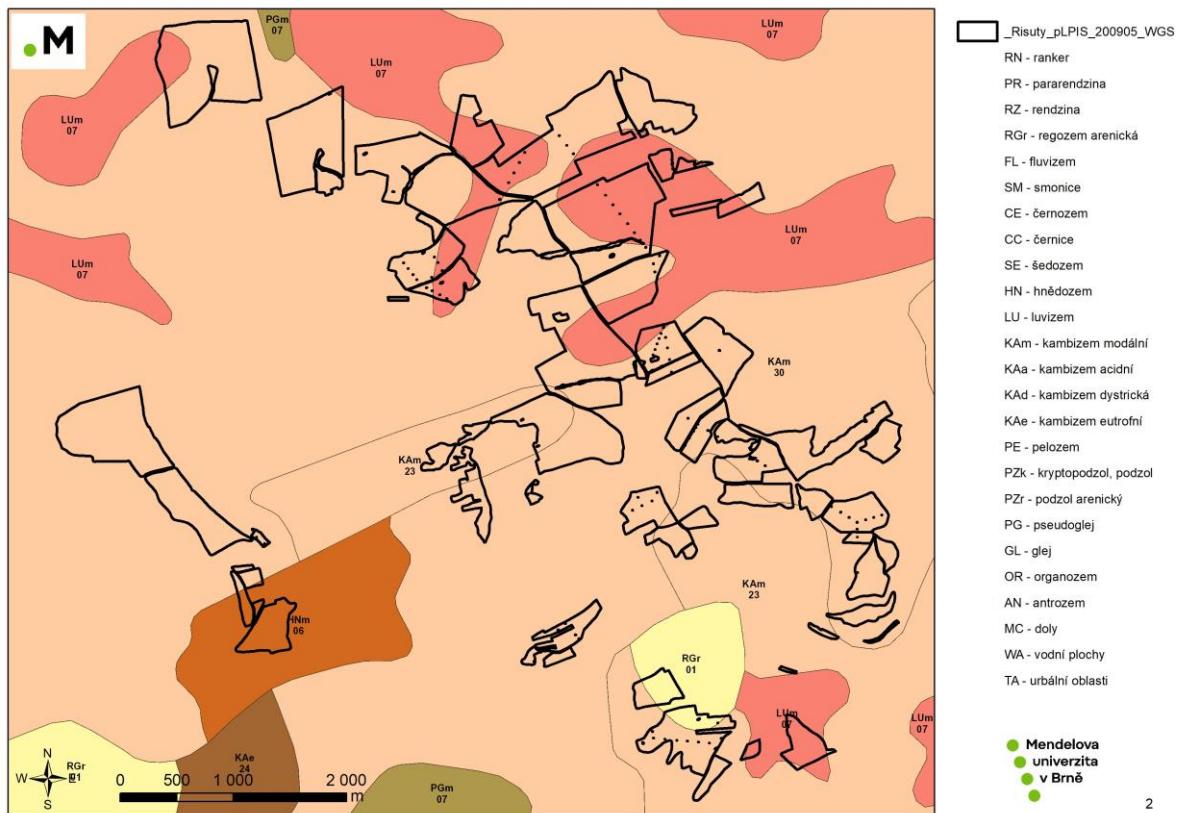
Specializovaná mapa se zaměřuje na území obhospodařované zemědělskou společností Agra Řisuty s.r.o. Jedná se o celkem 2600 ha převážně orné půdy (TTP tvoří 127 ha) v severozápadní části Středočeského kraje. Zájmové území se nachází v řepařské výrobní oblasti a svými klimatickými charakteristikami spadá do mírně teplého, suchého klimatického regionu 4 (MT1) s průměrnou roční teplotou 7 - 8,5°C a průměrným ročním úhrnem srážek 450 – 550 mm. Hospodaření na zemědělské půdě je rozděleno do dvou provozních středisek - středisko Ledce nedaleko města Slaný (1700 ha) a středisko Slabce s 894 ha zemědělské půdy nacházející se na Křivoklátsku.

Zemědělská společnost se zabývá rostlinnou a živočišnou produkcí, na pozemcích se zaměřuje na produkci potravinářského a krmného obilí, ozimé řepky, hořčice a hrachu. Živočišná výroba se specializuje na produkci jatečných prasat (zhruba 8000 ročně) a chov masného skotu (200 ks).

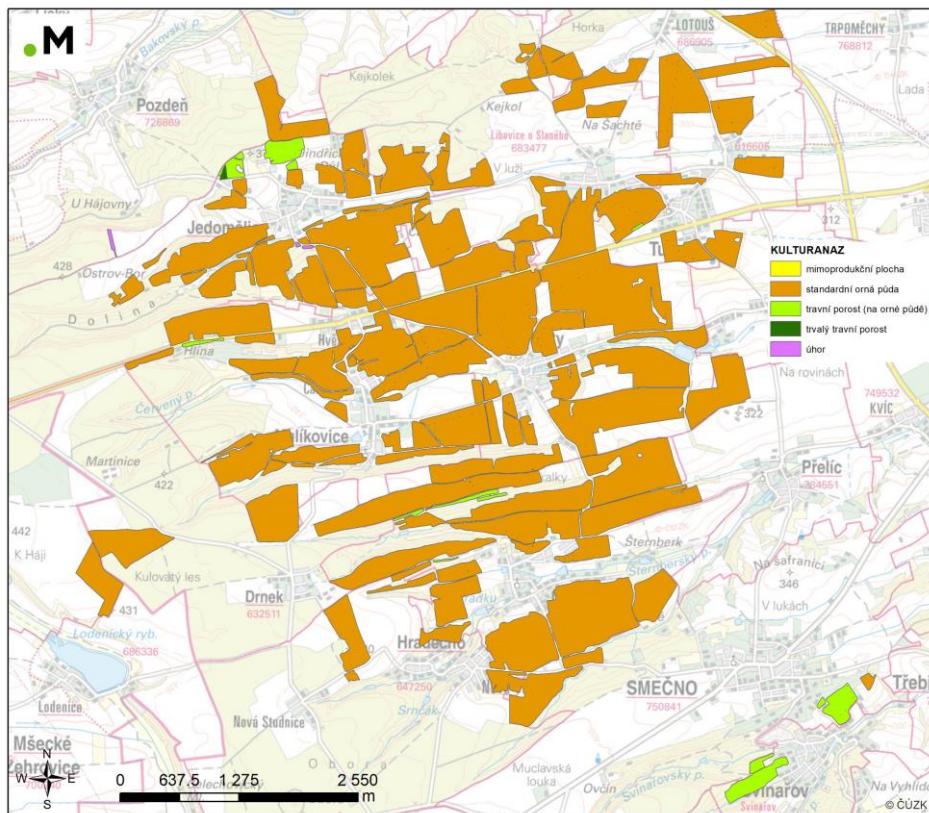
Průměrná nadmořská výška obhospodařovaných pozemků se pohybuje v rozmezí od 247 m n.m. do 457 m n.m. Převažujícím půdním typem jsou kambizemě modální, černozemě (středisko Ledce) a luvizemě (středisko Slabce).



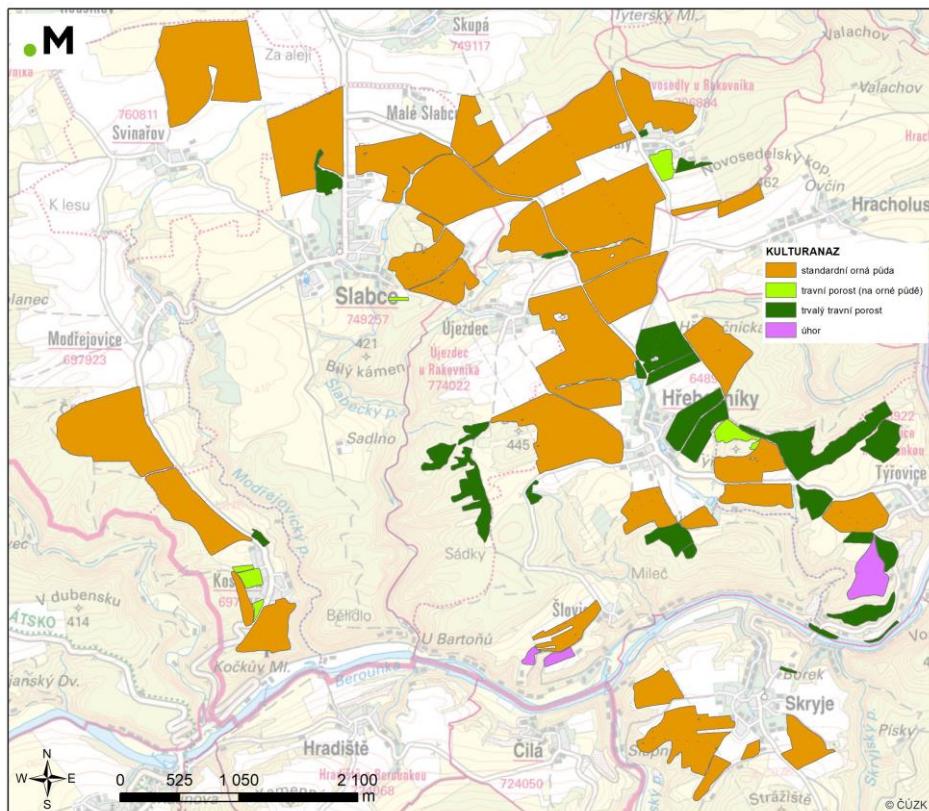
Obr. 3 Mapa půdních typů v zájmovém území – středisko Ledce



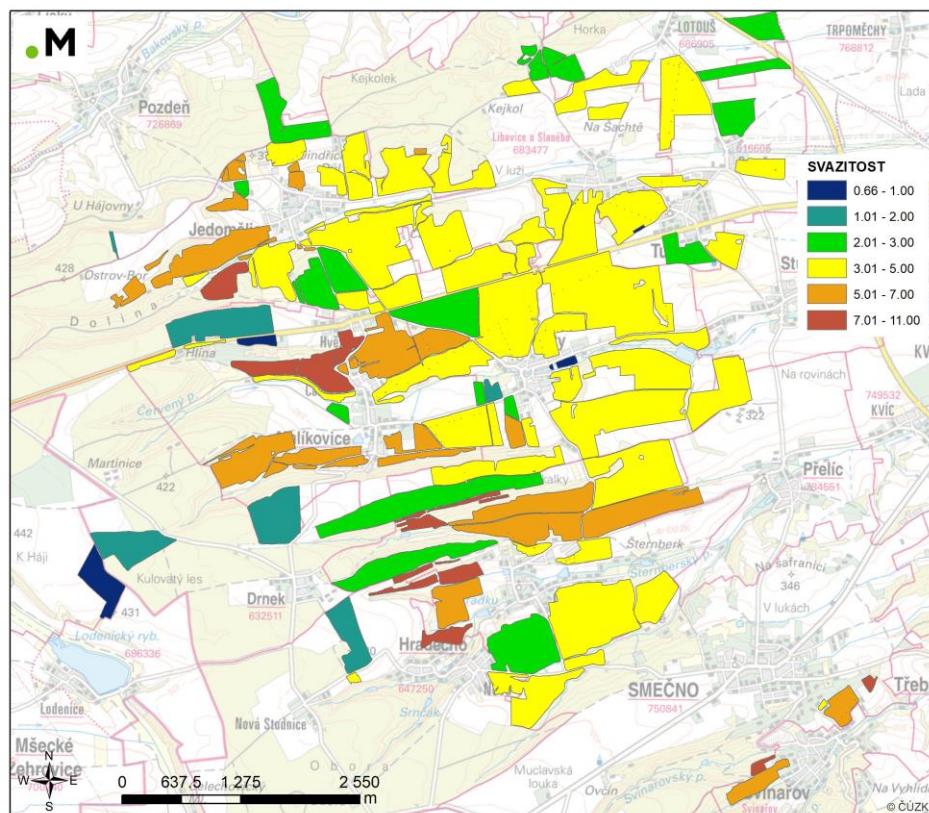
Obr. 4 Mapa půdních typů v zájmovém území – středisko Slabce



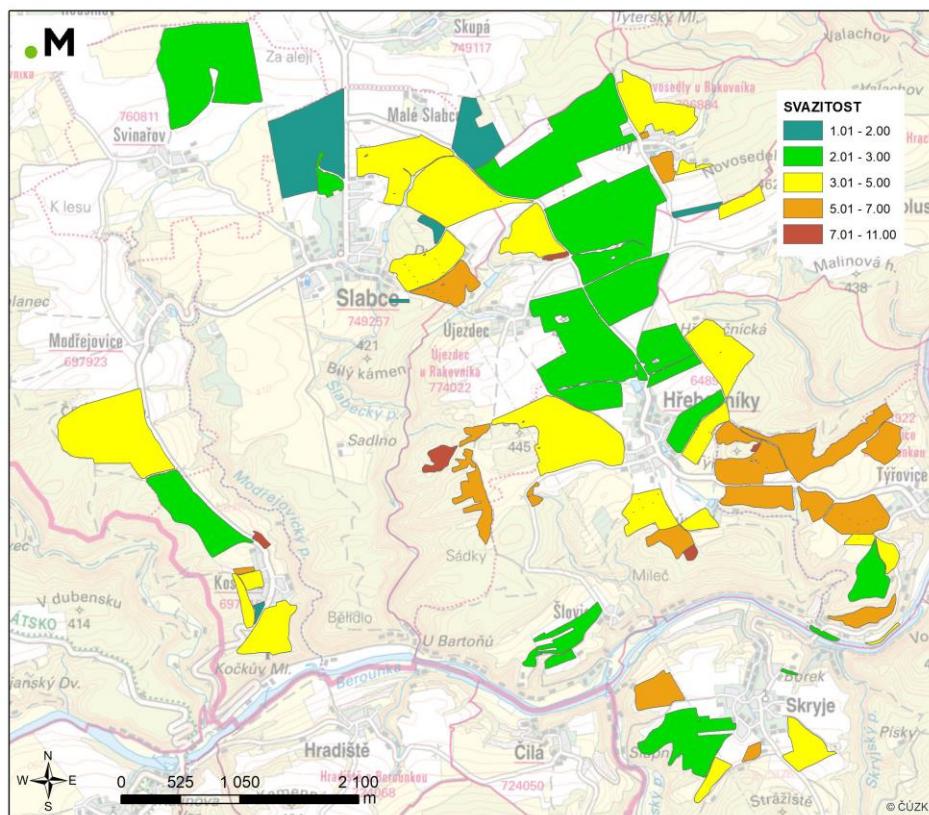
Obr. 5 Mapa půdních bloků se zemědělskými kulturami Agra Řisuty s.r.o. pro středisko Ledece



Obr. 6 Mapa půdních bloků se zemědělskými kulturami Agra Řisuty s.r.o. pro středisko Slabce



Obr. 7 Mapa průměrné svažitosti pozemků pro středisko Ledgec



Obr. 8 Mapa průměrné svažitosti pozemků pro středisko Slabce

Výsledky vymezení produkčních zón pro AGRA Řisuty s.r.o.

Vymezení zón relativního výnosového potenciálu bylo provedeno pro všechny díly půdních bloků (DPB) s orou půdou o výměře nad 5 ha obhospodařované zemědělskou společností AGRA Řisuty s.r.o. Celkem bylo hodnoceno 2298 ha, relativní výnosový potenciál se pohyboval od 55 do 125 %. Přehled hodnocených pozemků (DPB) a procentuální zastoupení jednotlivých kategorií relativního výnosového potenciálu je uvedeno v Tab. 1 a Tab. 2. Souhrnná mapa produkčních zón je znázorněna na *Obr. 9* a *Obr. 10*, podrobné mapové zobrazení pro jednotlivé pozemky je součástí mapové přílohy.

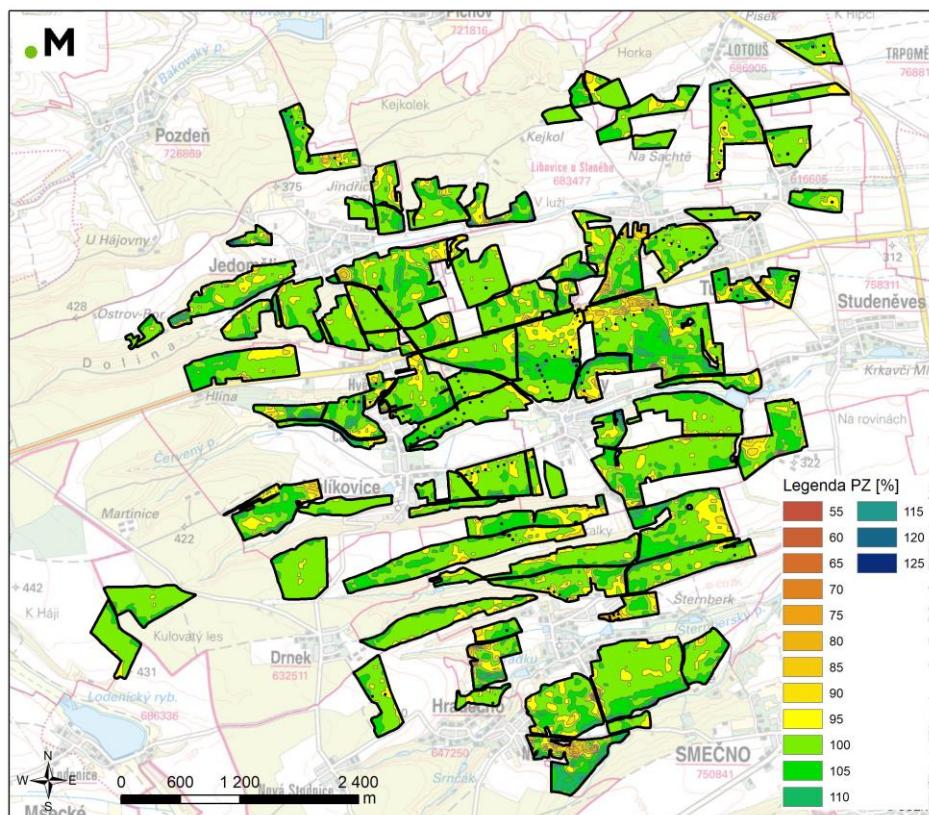
Tab. 1 Procentuální zastoupení kategorií relativního výnosového potenciálu pro jednotlivé pozemky na středisku Ledce

DPB	Výměra (ha)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
0201/4	20.91								1.63	12.37	65.11	20.82	0.07			
0301/1	28.22								0.29	11.02	67.53	19.65	1.30	0.20		
0303/12	22.84								4.35	90.41	4.97	0.27				
0303/15	4.99								2.16	26.53	42.85	22.35	6.11			
0303/17	24.81						0.18	0.71	1.36	17.87	63.04	16.85				
0402/1	49.77								1.43	22.67	47.27	25.61	2.90	0.12		
0503/3	5.38									93.88	6.12					
0506	23.07									20.82	64.83	10.99	2.63	0.73		
0605/1	28.75						0.15	0.69	3.98	20.52	53.74	20.84	0.09			
0606	26.66								1.91	12.89	63.40	20.27	1.35	0.19		
0703/2	35.63		0.07	0.17	0.17	0.24	0.34	4.70	19.92	45.12	25.83	3.43				
1206/4	16.86								5.05	19.15	56.08	16.94	2.78			
1301	11.85								6.26	14.97	62.30	16.47				
1304/7	55.16							0.60	3.60	17.68	53.13	23.29	1.69			
1305/4	7.32									17.03	67.22	15.62	0.14			
1403/3	28.59								0.21	9.31	68.44	21.13	0.90			
1404/2	30.16	0.09	0.14	0.13	0.25	0.26	0.34	0.42	3.14	15.00	55.84	23.02	1.38			
1501/6	47.49							0.11	3.18	16.19	59.59	20.80	0.13			
1502/2	9.05									3.16	86.48	10.37				
1503	6.89									11.71	58.88	24.68	4.73			
1602/7	16.86		0.40	0.90	1.33	2.03	4.52	6.68	22.65	34.86	19.44	6.86	0.34			
1603	6.84								8.19	19.67	36.85	35.29				
1606	28.18								1.54	16.20	67.39	12.31	2.04	0.51		
1607/1	4.95									21.14	65.21	13.65				
1702/2	6.81									13.77	81.10	5.12				
2202/1	5.80									2.23	81.40	16.37				
2302	14.00							0.07	1.29	11.42	85.69	1.53				
2303/2	15.56									10.69	78.76	10.55				
2304/1	20.90								1.44	12.86	68.48	15.23	1.69	0.31		
2403/2	21.38								2.96	24.74	43.48	24.99	3.79	0.05		
2403/4	9.54							0.24	7.60	15.87	37.88	20.00	12.22	6.19		
2501/11	24.20								4.63	24.89	31.88	37.22	1.24	0.13		
2503/1	11.25									2.28	91.26	6.47				
2702/3	18.01									10.87	71.06	18.01	0.06			
3202	4.98							1.08	2.24	3.56	17.82	42.30	18.02	4.50	3.66	6.82

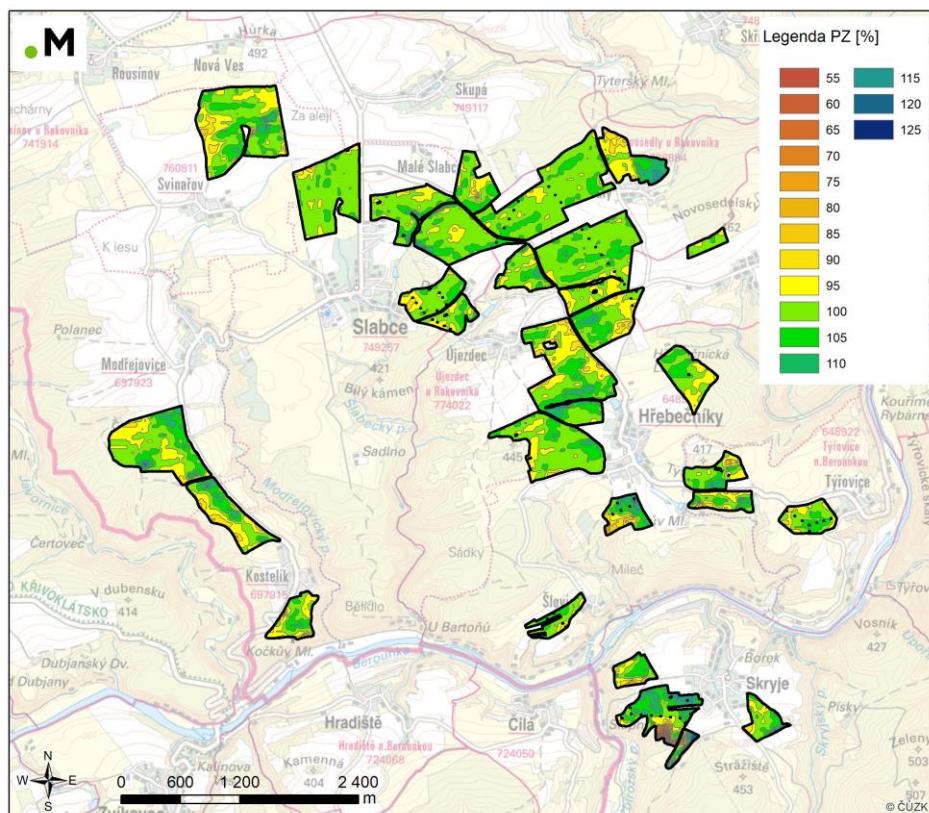
3302/6	32.31		0.02	0.56	1.59	16.27	48.25	32.09	1.23		
3304	11.13					16.52	60.69	16.59	5.32	0.88	
3501/1	26.55					3.28	88.63	7.21	0.88		
4501	21.90					2.12	82.57	14.80	0.51		
5101/8	8.73					3.09	15.51	53.13	25.55	2.72	
5601/1	16.23						7.27	82.56	10.17		
7101/1	11.48					1.62	14.92	76.24	7.21		
7103/10	10.10							16.59	73.67	9.74	
7103/2	14.08							12.91	76.40	10.62	0.07
7302/4	10.36					2.52	6.23	28.44	39.65	17.54	5.62
7303/1	9.75							14.88	53.78	30.38	0.95
8103/3	17.72						1.60	14.05	58.87	25.48	
8104/1	14.72						6.33	14.10	60.63	18.95	
8201/2	31.41						0.85	16.61	67.07	13.79	1.68
8301/13	83.10		0.04	0.08	0.08	0.65	3.12	5.86	14.99	40.64	30.63
8301/17	11.32						0.20	7.48	26.02	23.19	40.44
8303/4	24.78						0.28	1.28	12.48	74.52	11.44
8401/1	9.91							26.87	42.90	30.23	
8402/8	27.96		0.01	0.21	0.22	0.22	0.22	7.43	15.29	43.91	32.21
8502/5	46.53							2.81	19.98	39.59	30.66
9203/6	5.80								6.17	73.90	19.93
9301/3	23.48						3.20	6.02	9.92	13.27	40.03
9304/2	22.01						0.18	0.37	2.23	23.32	48.34
9401/6	8.89								13.56	47.31	23.66
9402/2	14.38						0.69	2.93	7.57	23.20	25.87
9501/8	32.06						0.04	0.75	5.27	82.39	11.32
9502/4	55.19		0.00	0.13	0.15	0.29	0.40	2.43	10.76	67.53	18.22
9603/2	31.77								11.45	64.39	20.96
9606/1	9.70						1.78	8.38	5.27	8.51	22.05
9701	5.31								17.29	67.92	14.79
9703/1	58.47						0.09	0.23	0.24	0.58	12.03
9703/2	17.01								1.92	9.16	66.89
SUMA	1417.79	0.00	0.00	0.02	0.03	0.06	0.23	0.56	2.52	14.94	59.07
										20.35	1.90
										0.24	0.07
											0.00

Tab. 1 Procentuální zastoupení kategorií relativního výnosového potenciálu pro jednotlivé pozemky na středisku Slabce

DPB	Výměra (ha)	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125
0003/1	10.83								5.18	18.48	44.80	20.35	6.33	3.93	0.93	
0701/3	14.45						0.07	1.16	3.05	18.79	50.65	18.02	7.62	0.66		
0803/2	11.17						1.52	2.37	7.63	29.46	32.25	21.67	4.73	0.38		
0804/4	14.29								3.86	23.59	48.47	24.09				
1002/5	26.55	3.67	1.14	1.81	1.55	1.17	1.30	1.39	2.80	9.98	17.53	29.10	21.74	6.83		
1404/2	20.19							0.42	12.21	39.25	11.27	9.85	20.67	6.33		
1501	64.58								0.37	14.28	66.61	18.33	0.41			
1601/1	25.41							1.27	6.77	23.38	36.52	27.27	4.68	0.13		
1605/1	19.41								1.17	28.10	45.04	25.51	0.18			
1802/1	12.32						1.43	2.27	8.68	14.52	9.50	13.29	24.34	19.28	5.72	0.95
1906/2	9.81							1.78	4.44	8.27	23.13	28.05	33.61	0.71		
2402/7	61.93									6.03	75.39	18.54	0.04			
2505/1	15.12								0.10	18.23	56.53	19.52	5.27	0.36		
2603/4	60.31						0.09	0.97	7.24	23.67	34.45	25.21	7.57	0.62	0.19	
2701/1	42.46								0.96	15.13	61.75	19.21	2.88	0.08		
3401/7	16.77						0.21	0.81	3.69	21.53	42.97	30.67	0.13			
3403/4	24.59								0.58	16.06	60.00	18.91	3.93	0.52		
3503	33.64								0.40	9.37	63.10	22.24	3.37	0.85	0.64	0.02
3506	10.94								0.13	27.75	49.49	21.04	1.58			
3507	17.21								3.79	16.89	61.02	18.30				
5404/3	61.28						0.14	0.99	4.79	23.83	43.23	23.79	3.00	0.22		
5702	24.87							0.77	12.53	28.22	29.54	19.15	8.73	1.00	0.06	
5806	14.54							1.44	1.76	5.55	32.36	36.66	20.50	1.74		
6601/2	46.91								2.57	25.39	42.27	22.53	6.30	0.79	0.14	
SUMA	659.61	0.15	0.05	0.07	0.06	0.07	0.21	0.68	3.76	19.42	47.82	21.80	4.90	0.91	0.10	0.00



Obr. 9 Mapa rozložení relativního výnosového potenciálu na pozemcích AGRA Řisuty s.r.o. (stř. Ledce)



Obr. 10 Mapa rozložení relativního výnosového potenciálu na pozemcích AGRA Řisuty s.r.o. (stř. Slabce)

II. DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Popis novosti mapy

Vymezení produkčních jednotek v rámci jednotlivých pozemků je základním předpokladem pro úspěšné uplatnění postupů precizního zemědělství. Jeho podstatou je přizpůsobení agrotechniky lokálním podmínkám stanoviště a určení intenzity pěstebních zásahů pro jednotlivé části pozemků, tzv. management zóny, s ohledem na jejich nevyrovnanost. Běžný způsob identifikace produkčních zón vychází z identifikace podprůměrně a nadprůměrně výnosných částí pozemků z víceletých výnosových map. Ucelený sběr výnosových záznamů sklízecí technikou je ale v zemědělských podnicích spíše výjimečný. Předkládaná specializovaná mapa představuje inovativní postup vymezení produkčních zón včetně kvantifikace odchylky od průměru pozemku na základě prostorové analýzy časové řady multispektrálních družicových dat. Toto stanovení lze provést pro jakékoli území pokryté dostatečným počtem bezoblačných družicových snímků a digitálním zmapováním hranic pozemků (např. LPIS) včetně základní agronomické evidence o pěstovaných plodinách. V případě dostupnosti výnosových map lze procentuální rozpětí relativního výnosového potenciálu korigovat o reálně zmapované výnosy na daném území.

Příklad využití specializované mapy při lokálně cíleném hospodaření na orné půdě

Mapa relativního výnosového potenciálu je určena jako podklad pro variabilní provádění pěstebních zásahů, pro které je podstatná informace o rozložení výnosových hladin v rámci pozemků.

- **Variabilní aplikace dusíkatých hnojiv** – dávka hnojení je stanovena dle očekávaného výnosu plodiny, jehož rozložení je určeno dle zón relativního výnosového potenciálu. Postup určení dávek vychází ze strategie hnojení na daném zemědělském podniku. Zpravidla je doporučeno snížení intenzity hnojení dusíkatými hnojivy v místech s nižším relativním výnosovým potenciálem, tedy na místech, kde lze vlivem dlouhodobě nižšího očekávaného výnosu předpokládat nižší odběr živiny. Rozhodnutí o výši dávek dusíku v zónách s nadprůměrným výnosovým potenciálem vychází ze znalosti o riziku poléhání porostů či intenzitě mineralizace dusíku v půdě. V zónách s nejvyšším výnosovým potenciálem v terénních depresích lze doporučit snížení dávky hnojení z důvodu akumulace dusíku ze svažitých částí pozemku.

Pro přihnojování porostů během vegetace je vhodné rozložení výnosového potenciálu doplnit o aktuální hodnocení stavu porostů z dálkového průzkumu nebo senzorového měření. Mapa může být také využita jako podkladová informace pro plodinové senzory pracující v režimu *map-overlay*.

- **Variabilní aplikace zásobního hnojení** – normativ pro stanovení dávky je upraven dle rozložení zón a následně korigován hodnocením obsahu živin v půdě v souladu s metodikou Mehlich 3. V zónách s vyšší produktivitou lze doporučit zvýšení dávky hnojení pro pokrytí vyšší potřeby odběru živin.
- **Variabilní setí plodin** – změna výsevního množství na základě očekávaného výnosu. Při zakládání porostů obilnin lze v oblastech s vyšší produktivitou snížit výsevek pro snížení rizika přehuštění porostu a poléhání rostlin.

- **Variabilní aplikace přípravků na ochranu rostlin** – např. zvýšení dávky regulátorů růstu v zónách s vyšším výnosovým potenciálem, kde hrozí riziko poléhání porostu. Podobně lze uvažovat také o zvýšení dávek fungicidních látek v oblastech s vyšší produktivitou, která odpovídá četnějšímu výskytu porostu s vyšším množstvím nadzemní hmoty za sledované období

Uplatnění mapy

Předkládaná specializovaná mapa určuje rozložení relativního výnosového potenciálu z družicových dat pro zemědělský podnik AGRA Řisuty s.r.o. Jedná se o doplnění běžnému vyhodnocení z výnosových map či jejich náhradu v případě, že zemědělský podnik záznamy z mapování výnosu při sklizni nesbírá nebo tato data nemá k dispozici. Vstupními daty jsou multispektrální družicové snímky doplněné o hranice pozemků a jejich popisné informace. Vymezení produkčních jednotek v rámci jednotlivých pozemků je základním předpokladem pro úspěšné uplatnění postupů precizního zemědělství. Jeho podstatou je přizpůsobení agrotechniky lokálním podmínkám stanoviště a určení intenzity pěstebních zásahů pro jednotlivé části pozemků, tzv. management zóny, s ohledem na jejich nevýrovnanost. Využití předkládaných mapových podkladů povede k optimalizaci hospodaření na nevýrovnaných pozemcích a zefektivnění materiálových vstupů při agrotechnice polních plodin.

III. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- Blackmore, S. 2000. The interpretation of trends from multiple yield maps. *Computers and Electronics in Agriculture*. vol. 26, no. 1, pp. 37-51. ISSN 0168-1699
- Diker, K., Heermann, D. F., Brodahl, M. K. 2004. Frequency analysis of yield for delineating yield response zones. *Precision Agriculture*. vol. 5, no. 5, pp. 435-444. ISSN 13852256 (ISSN)
- Dorigo, W. A., Zurita-Milla, R., de Wit, A. J. W., Brazile, J., Singh, R., Schaepman, M. E. 2007. A review on reflective remote sensing and data assimilation techniques for enhanced agroecosystem modeling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. vol. 9, no. 2, pp. 165-193. ISSN 15698432
- Drusch, M., Del Bello, U., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F., Hoersch, B., Isola, C., Laberinti, P., Martimort, P., Meygret, A., Spoto, F., Sy, O., Marchese, F., Bargellini, P. 2012. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. *Remote Sensing of Environment*. vol. 120, pp. 25-36. 5/15/. ISSN 0034-4257
- Gao, X., Huete, A. R., Ni, W. G., Miura, T. 2000. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. *Remote Sensing of Environment*. vol. 74, no. 3, pp. 609-620. Dec. ISSN 0034-4257
- Gnip, P., Charvát, K. 2003. Management of zones in precision farming. *Agricultural economics*. vol. 49, no. 9, pp. 3. ISSN 0139-570X
- Hatfield, J. L., Gitelson, A. A., Schepers, J. S., Walthall, C. L. 2008. Application of Spectral Remote Sensing for Agronomic Decisions. *Agron J*. vol. 100, no. Supplement_3, pp. S-117-131. May 7, 2008
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., Ferreira, L. G. 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*. vol. 83, no. 1-2, pp. 195-213. Nov. ISSN 0034-4257
- Huete, A., Justice, C., Liu, H. 1994. Development of Vegetation and Soil Indexes for Modis-Eos. *Remote Sensing of Environment*. vol. 49, no. 3, pp. 224-234. Sep. ISSN 0034-4257
- Irons, J. R., Dwyer, J. L., Barsi, J. A. 2012. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission. *Remote Sensing of Environment*. vol. 122, no. 0, pp. 11-21. 7//. ISSN 0034-4257
- Kleinjan, J., Clay, D. E., Carlson, C. G., Clay, S. A. 2007 Productivity zones from multiple years of yield monitor data, In: Pierce, F. J. et al. (eds.) *GIS applications in agriculture*, pp. 65-80, Boca Raton: CRC Press. ISBN 9780849375262
- Kumhálová, J., Zemek, F., Novák, P., Brovkina, O., Mayerová, M. 2014. Use of landsat images for yield evaluation within a small plot. *Plant, Soil and Environment*. vol. 60, no. 11, pp. 501-506. ISSN 12141178 (ISSN)
- Quarmby, N. A., Milnes, M., Hindle, T. L., Silleos, N. 1993. Use of multi-temporal NDVI measurements from AVHRR data for crop yield estimation and prediction. *International Journal of Remote Sensing*. vol. 14, no. 2, pp. 199-210. ISSN 01431161 (ISSN)
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: *Proc. Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, Goddard Space Flight Center, NASA SP-351*, United States: Science and Technical Information Office, NASA, Washington, DC,, p. 309-317. ISBN
- Roy, D. P., Wulder, M. A., Loveland, T. R., C.E, W., Allen, R. G., Anderson, M. C., Helder, D., Irons, J. R., Johnson, D. M., Kennedy, R., Scambos, T. A., Schaaf, C. B., Schott, J. R., Sheng, Y., Vermote, E. F., Belward, A. S., Bindschadler, R., Cohen, W. B., Gao, F., Hippel, J. D., Hostert, P., Huntington, J., Justice, C. O., Kilic, A., Kovalskyy, V., Lee, Z. P., Lymburner, L., Masek, J. G., McCorkel, J., Shuai, Y., Trezza, R., Vogelmann, J., Wynne, R. H., Zhu, Z. 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*. vol. 145, pp. 154-172. ISSN 00344257 (ISSN)
- Širůček, P. 2014. *Zpracování a interpretace výnosových map jako podklad pro agronomické rozhodování*. Diplomová práce, Mendelova univerzita v Brně. 99.

- Thenkabail, P. S. 2003. Biophysical and yield information for precision farming from near-real-time and historical Landsat TM images. *International Journal of Remote Sensing*. vol. 24, no. 14, pp. 2879-2904. ISSN 01431161 (ISSN)
- Vega, A., Córdoba, M., Castro-Franco, M., Balzarini, M. 2019. Protocol for automating error removal from yield maps. *Precision Agriculture*. ISSN 1385-2256
- Vuolo, F., Zoltak, M., Pipitone, C., Zappa, L., Wenng, H., Immitzer, M., Weiss, M., Baret, F., Atzberger, C. 2016. Data Service Platform for Sentinel-2 Surface Reflectance and Value-Added Products: System Use and Examples. *Remote Sensing*. vol. 8, no. 11, pp. 16. Nov. ISSN 2072-4292
- Wall, L., Larocque, D., Léger, P. M. 2008. The early explanatory power of NDVI in crop yield modelling. *International Journal of Remote Sensing*. vol. 29, no. 8, pp. 2211-2225. ISSN 01431161 (ISSN)
- Zhu, Z., Wang, S., Woodcock, C. E. 2015. Improvement and expansion of the Fmask algorithm: cloud, cloud shadow, and snow detection for Landsats 4–7, 8, and Sentinel 2 images. *Remote Sensing of Environment*. vol. 159, pp. 269-277. 3/15/. ISSN 0034-4257

IV. SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍCH MAPĚ

LUKAS V.; NOVÁK J.; NEUDERT L.; SVOBODOVA I.; RODRIGUEZ-MORENO, F.; EDREES M. M. R. H.; KŘEN J.: The combination of UAV survey and Landsat imagery for monitoring of crop vigor in precision agriculture. In: XXIII ISPRS Congress: Technical Commission VII. Göttingen: Copernicus GmbH, 2016, 41, s. 953-957. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B8-953-2016>

LUKAS V.; NEUDERT L.; KŘEN J.: Využití dálkového průzkumu pro lokálně cílenou agrotechniku. Mechanizace zemědělství. 2017, 67(5), 60-61. ISSN 0373-6776.

LUKAS V.; NOVÁK J.; NEUDERT L.; PAULOVÁ N.; ŠIRŮČEK P.: Metody analýzy a interpretace půdních vlastností pro tvorbu aplikačních map v precizním zemědělství. Úroda. 2018, 66(12), 319-324. ISSN 0139-6013.

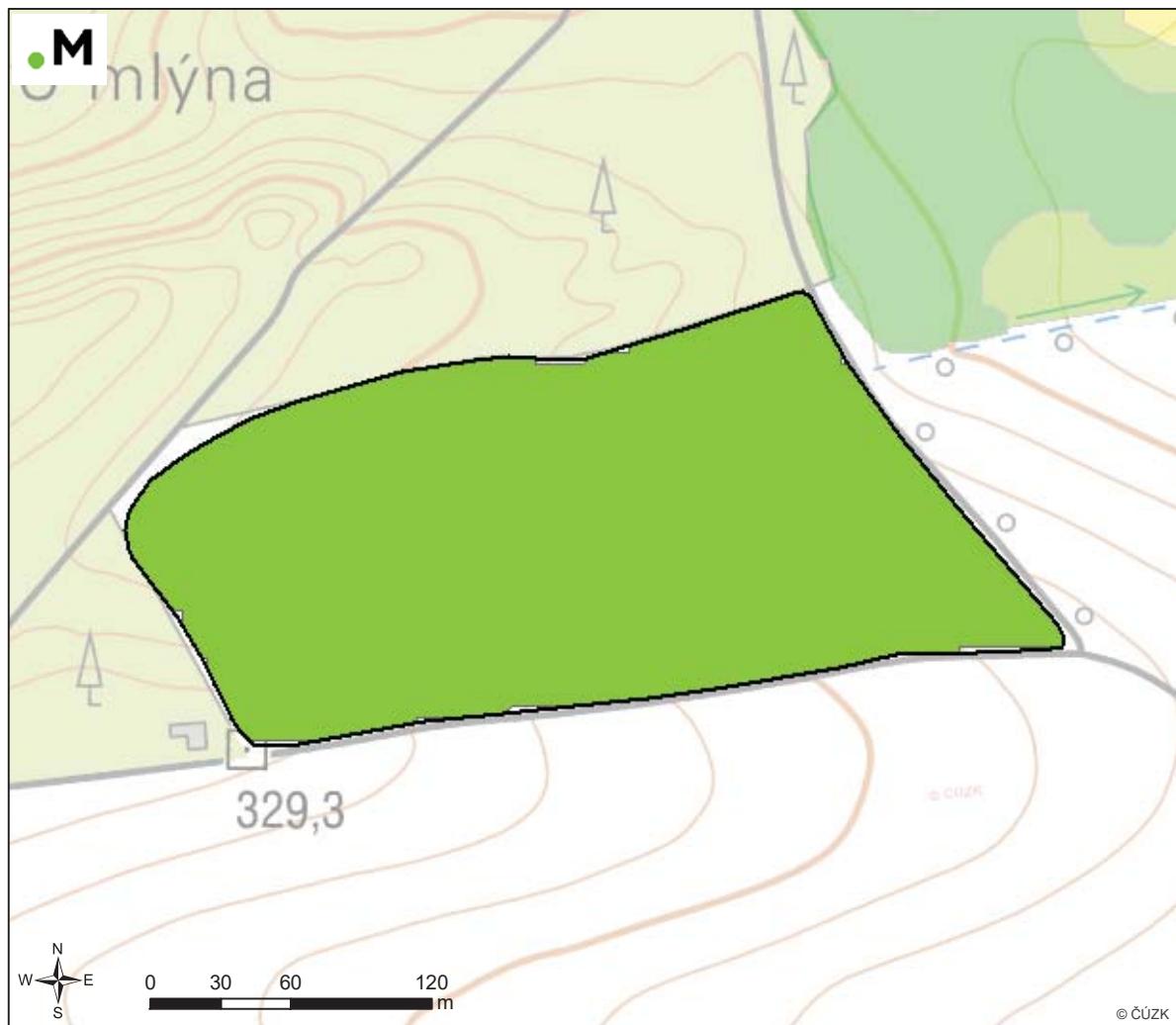
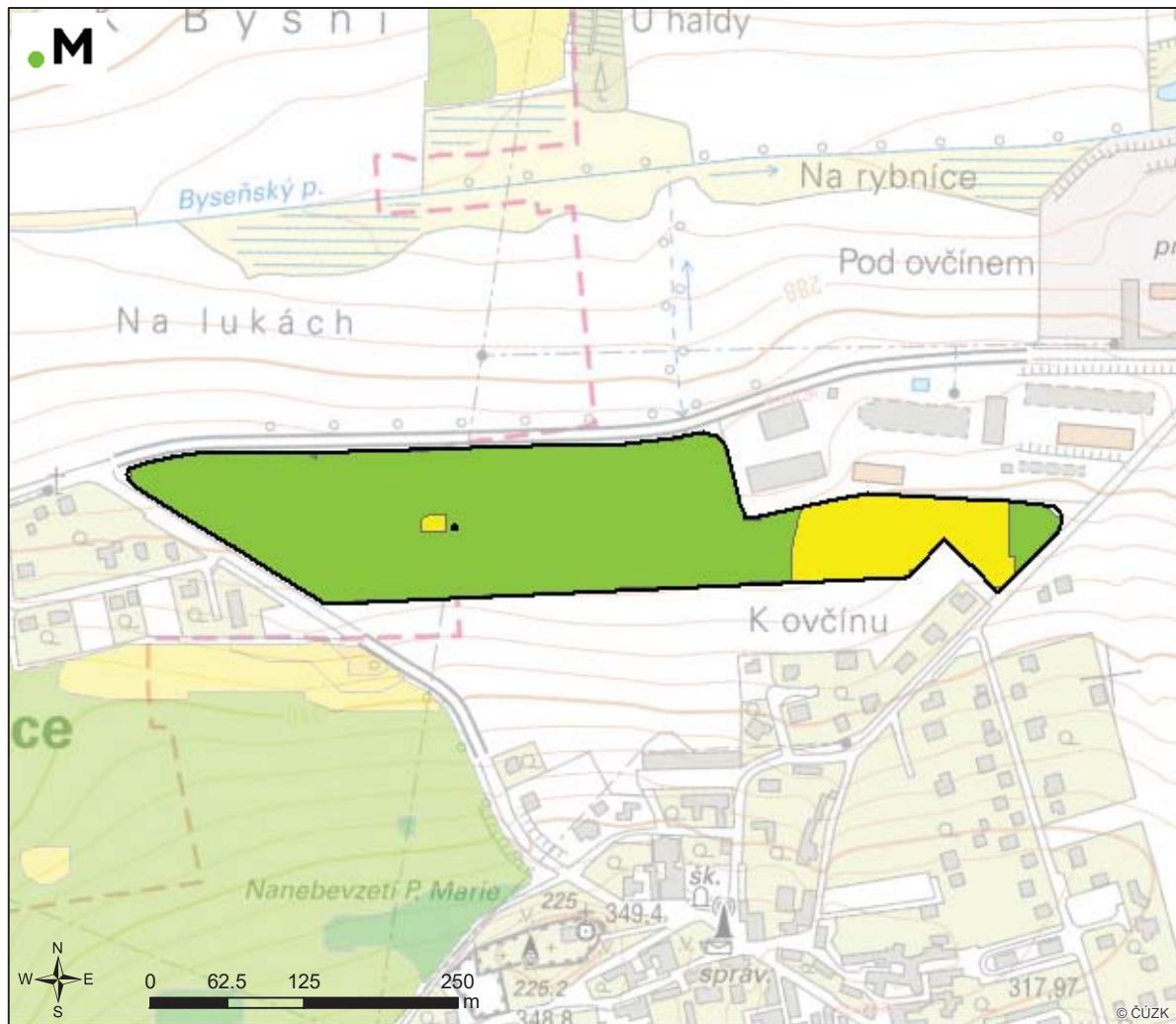
LUKAS, V.; NEUDERT, L.; DUFFKOVÁ, R.; FUČÍK, P.; MEZERA, J. Mapa výnosového potenciálu pro Zemědělské družstvo Kojčice. 2019. ISBN 978-80-7509-631-9. Dostupné z: http://user.mendelu.cz/xlukas0/publikace/Lukas_Nmap_2018.pdf

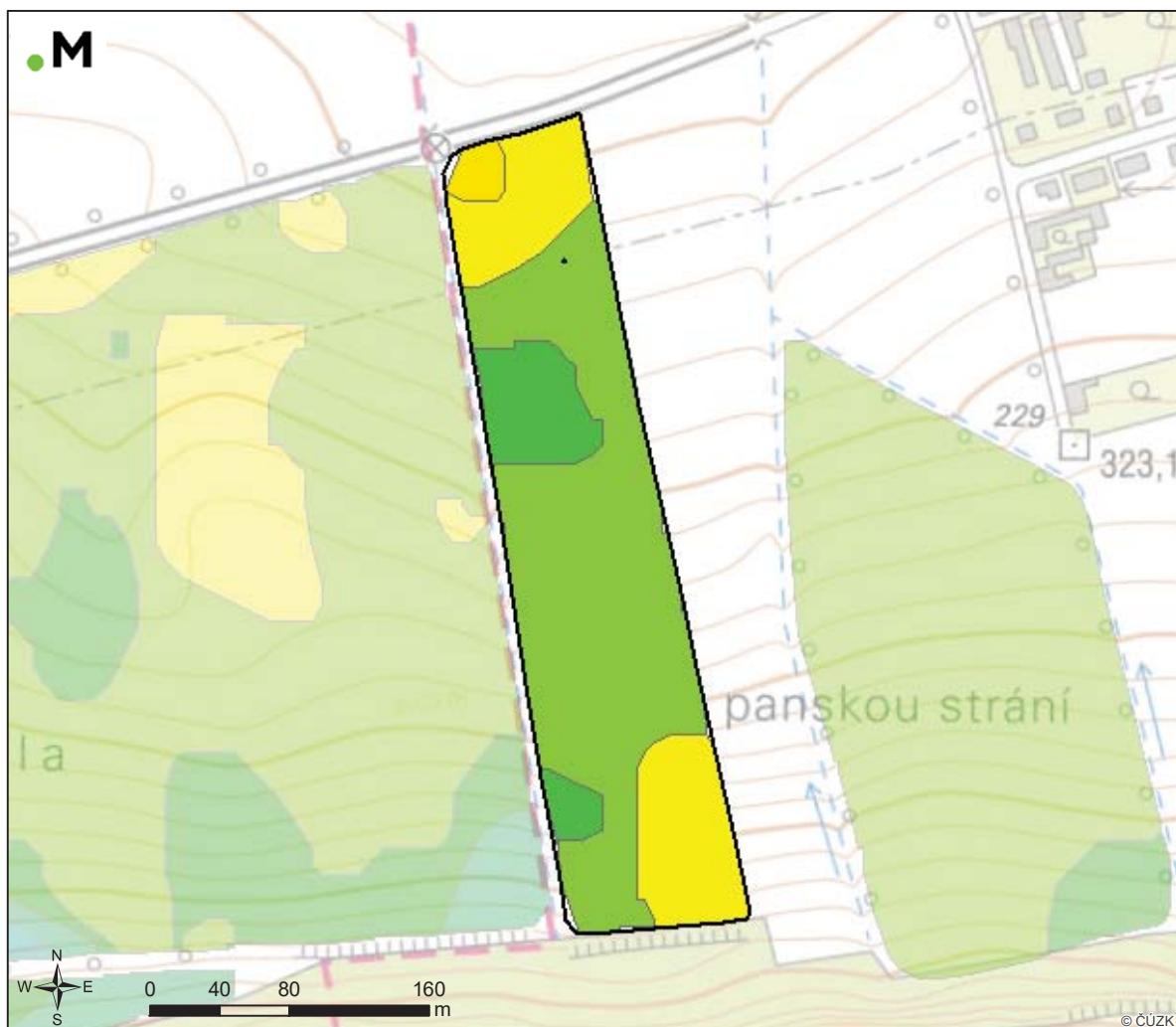
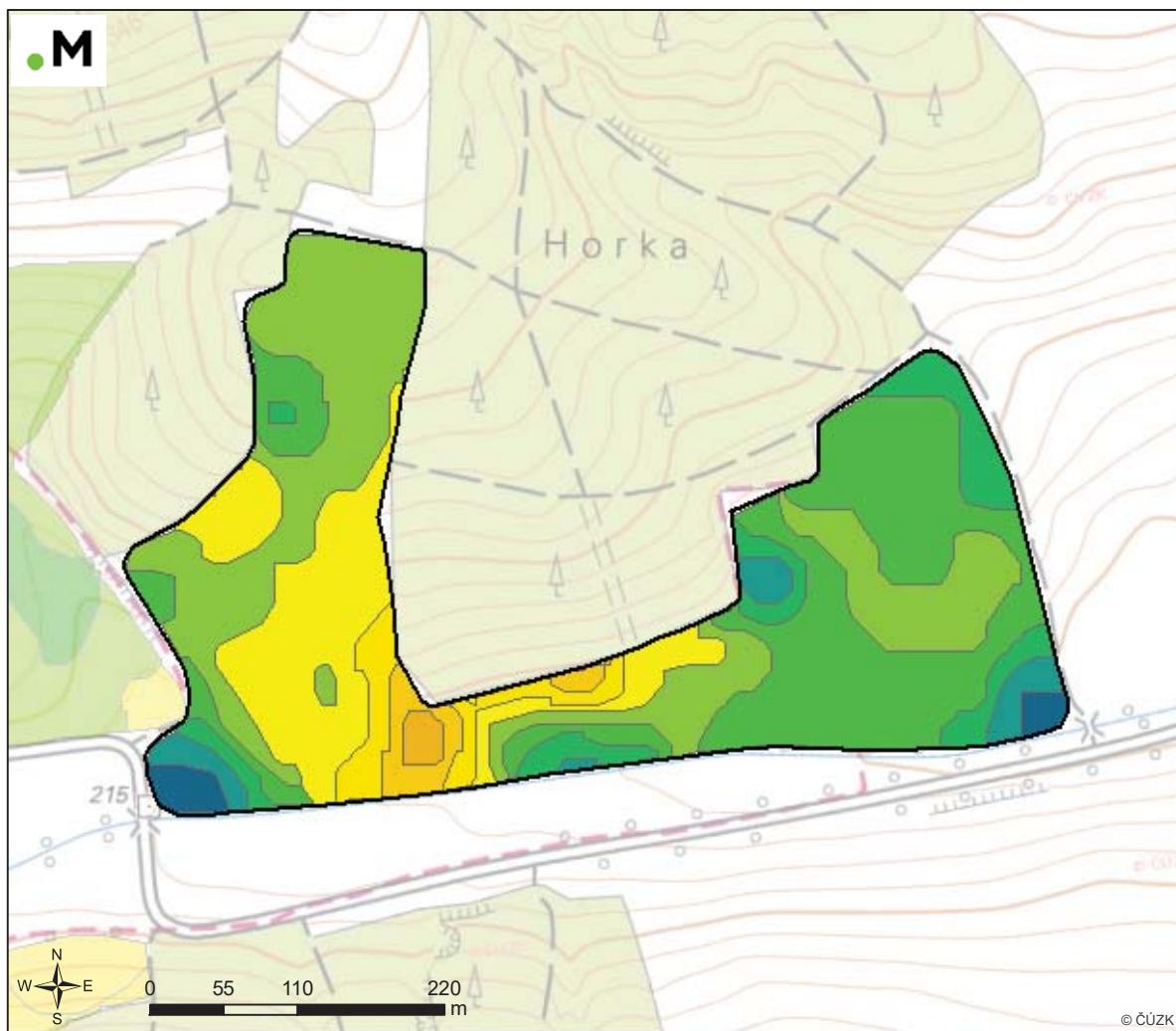
LUKAS, V.; ŠIRŮČEK, P.; MEZERA, J.; ELBL, J.; VLČEK, V. Vyhodnocení heterogenity pozemků z výnosových map a dálkového průzkumu. Úroda. 2020, 68(12), 411-418. ISSN 0139-6013.

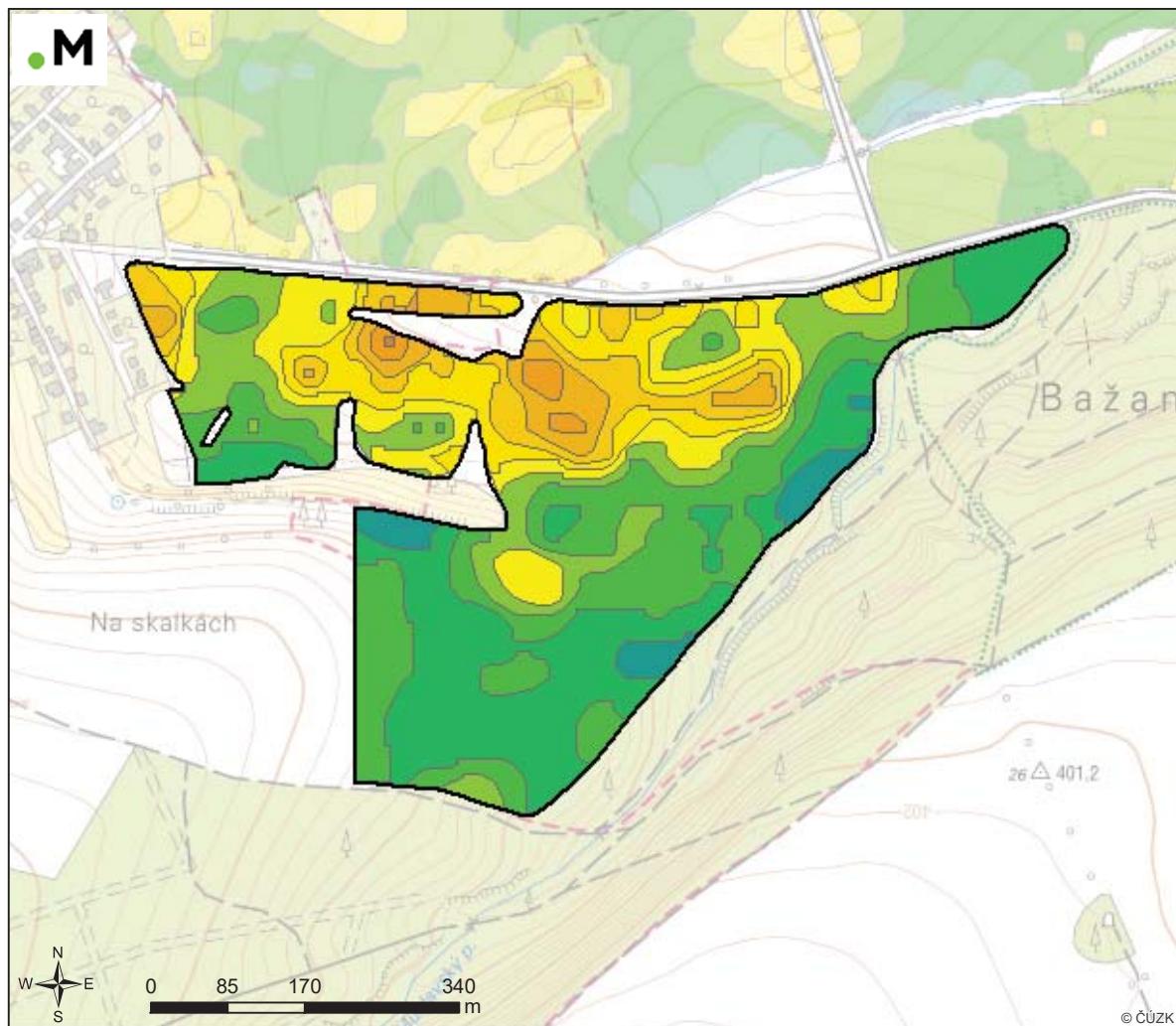
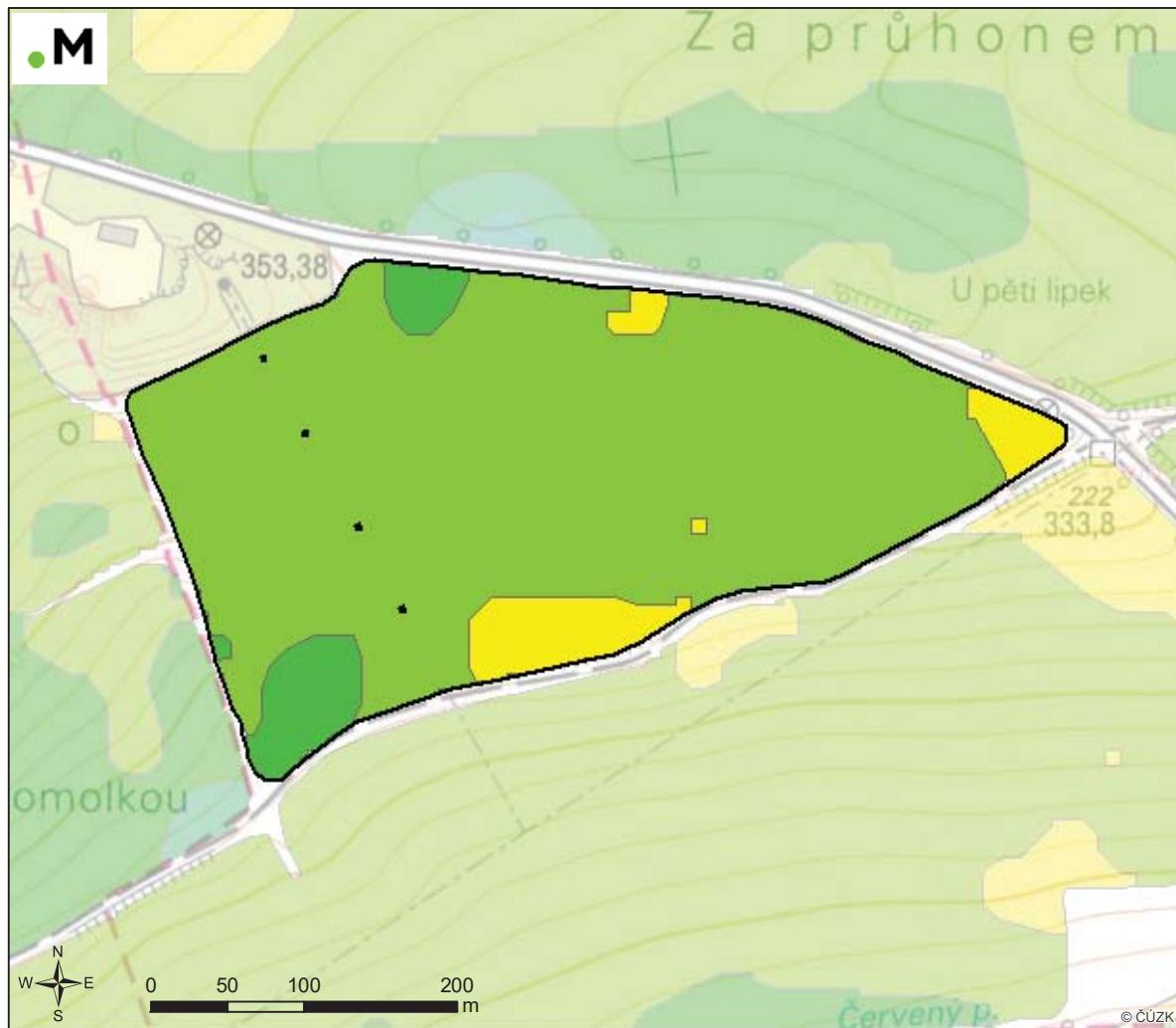
LUKAS, V.; ELBL, J.; ŠIRŮČEK, P.; NEUDERT, L.; MEZERA, J.; DUFFKOVÁ, R. Význam zpracování aplikačních map pro lokálně cílenou agrotechniku zemědělských plodin. Agromanuál. 2020, 15(9-10), 78-81. ISSN 1801-7673. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/casopis-agromanual/agromanual-2020-9>

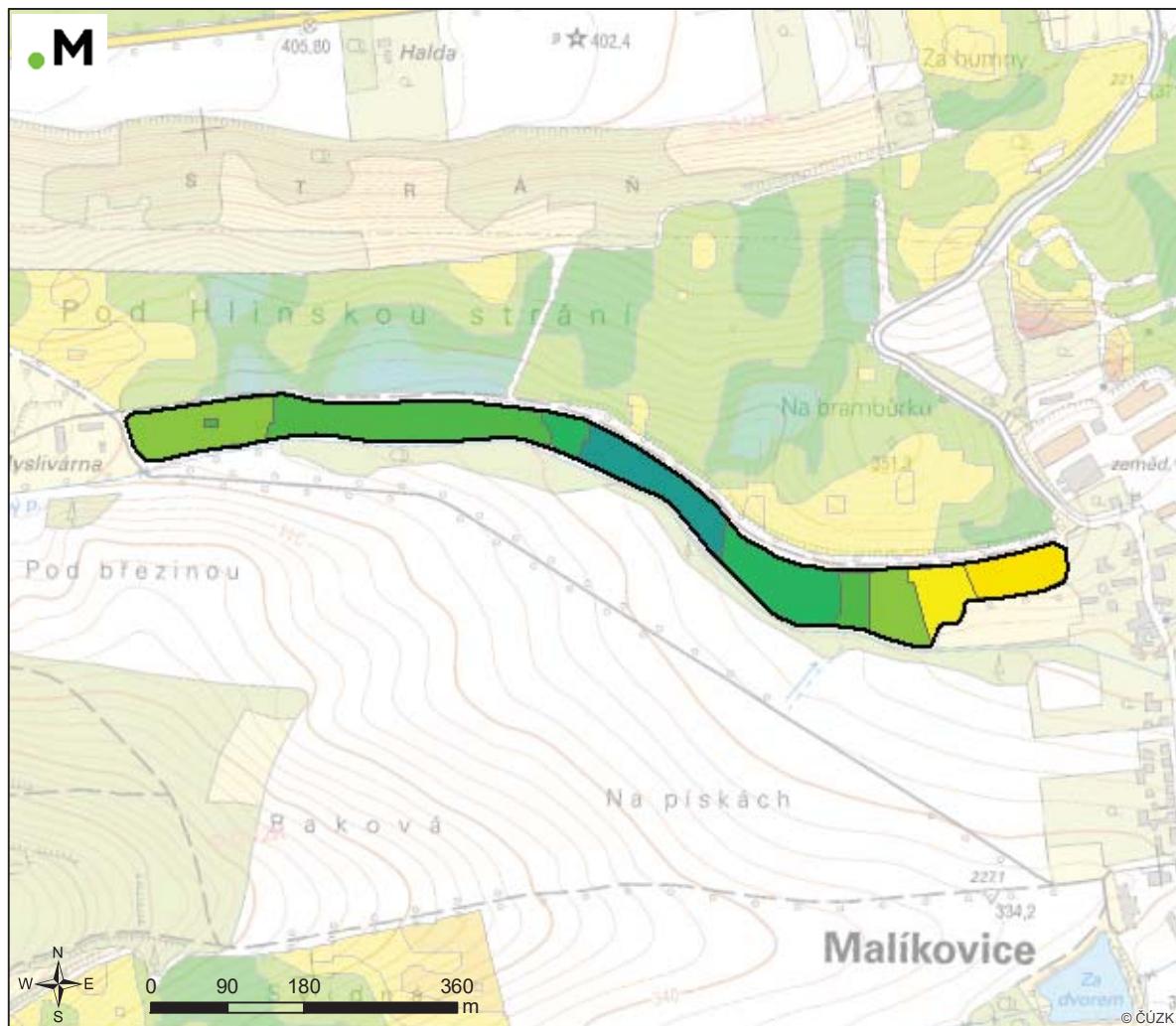
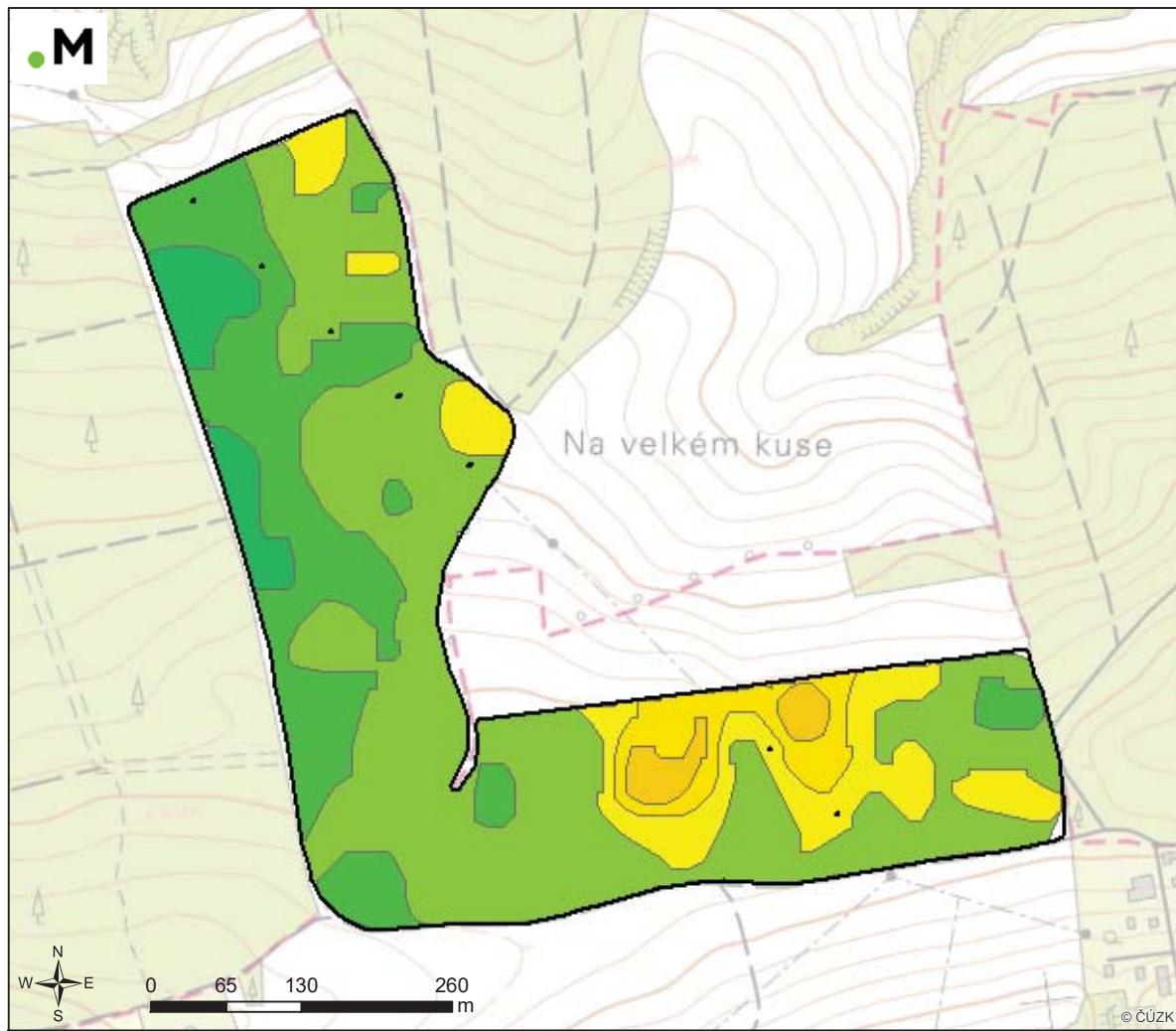
ŘEZNÍK, T.; PAVELKA, T.; HERMAN, L.; LUKAS, V.; ŠIRŮČEK, P.; LEITGEB, Š.; LEITNER, F. Prediction of Yield Productivity Zones from Landsat 8 and Sentinel-2A/B and Their Evaluation Using Farm Machinery Measurements. Remote Sensing. 2020, 12(12), 1917. ISSN 2072-4292. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/rs12121917>

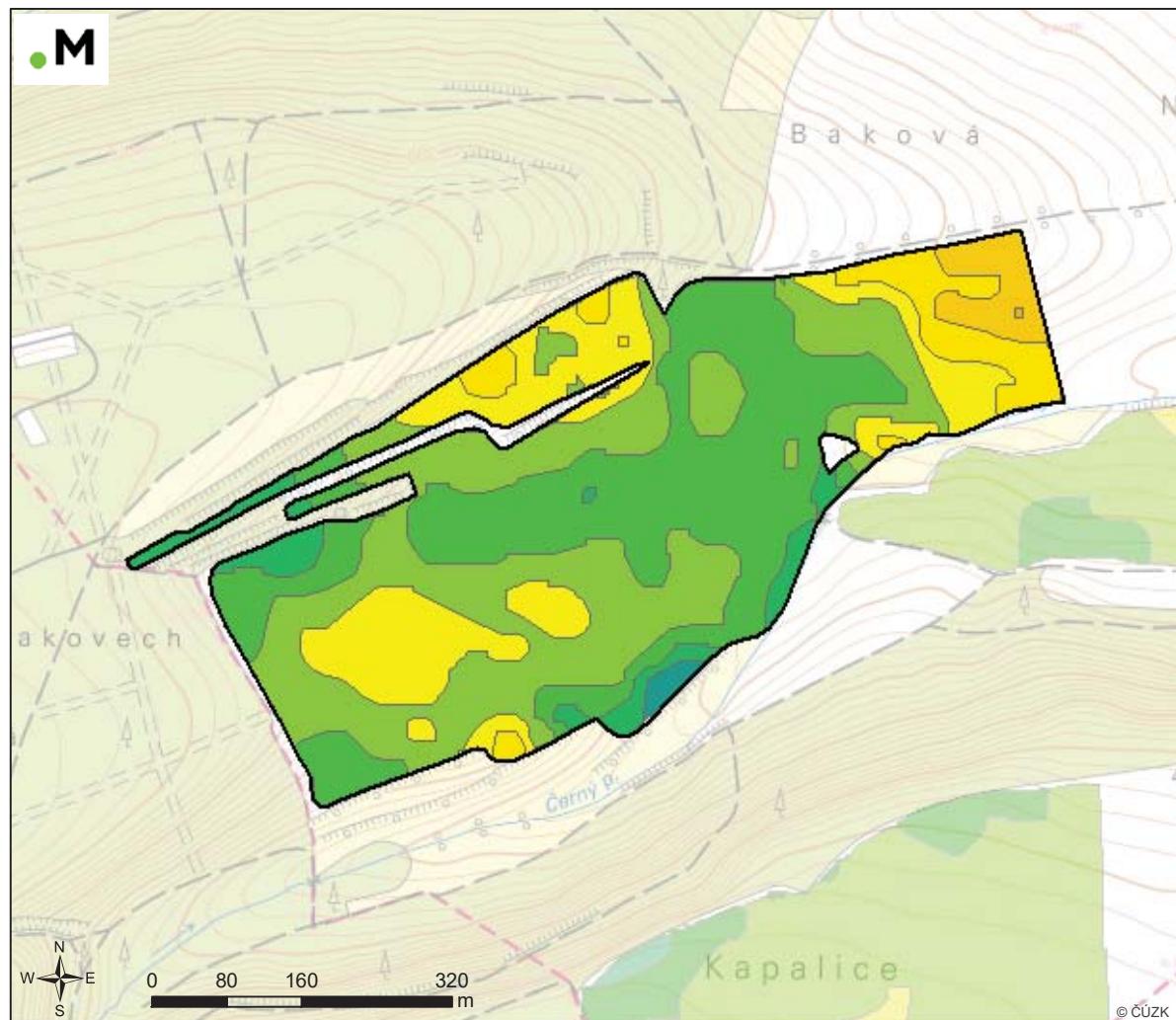
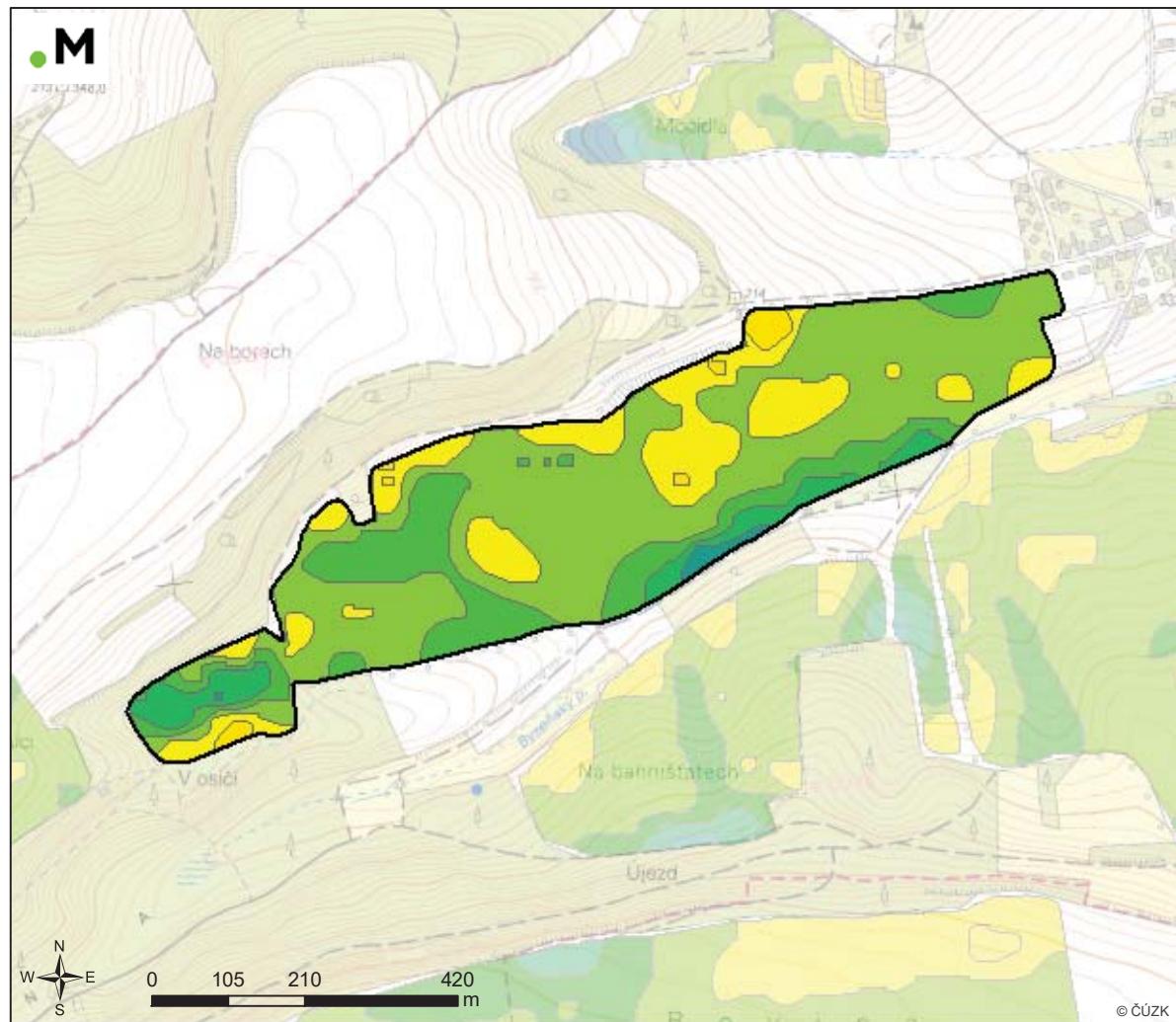
V. MAPOVÁ PŘÍLOHA





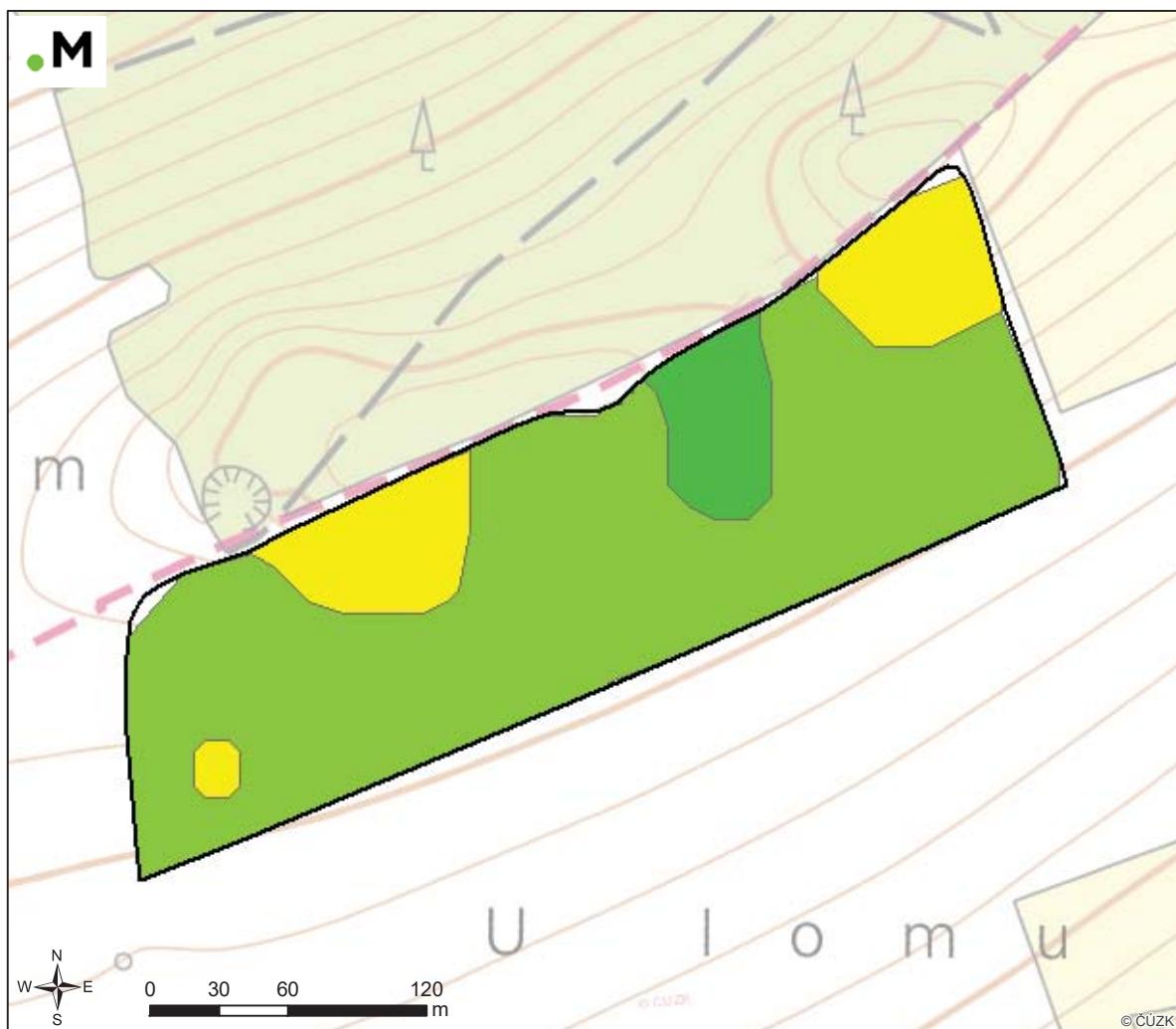




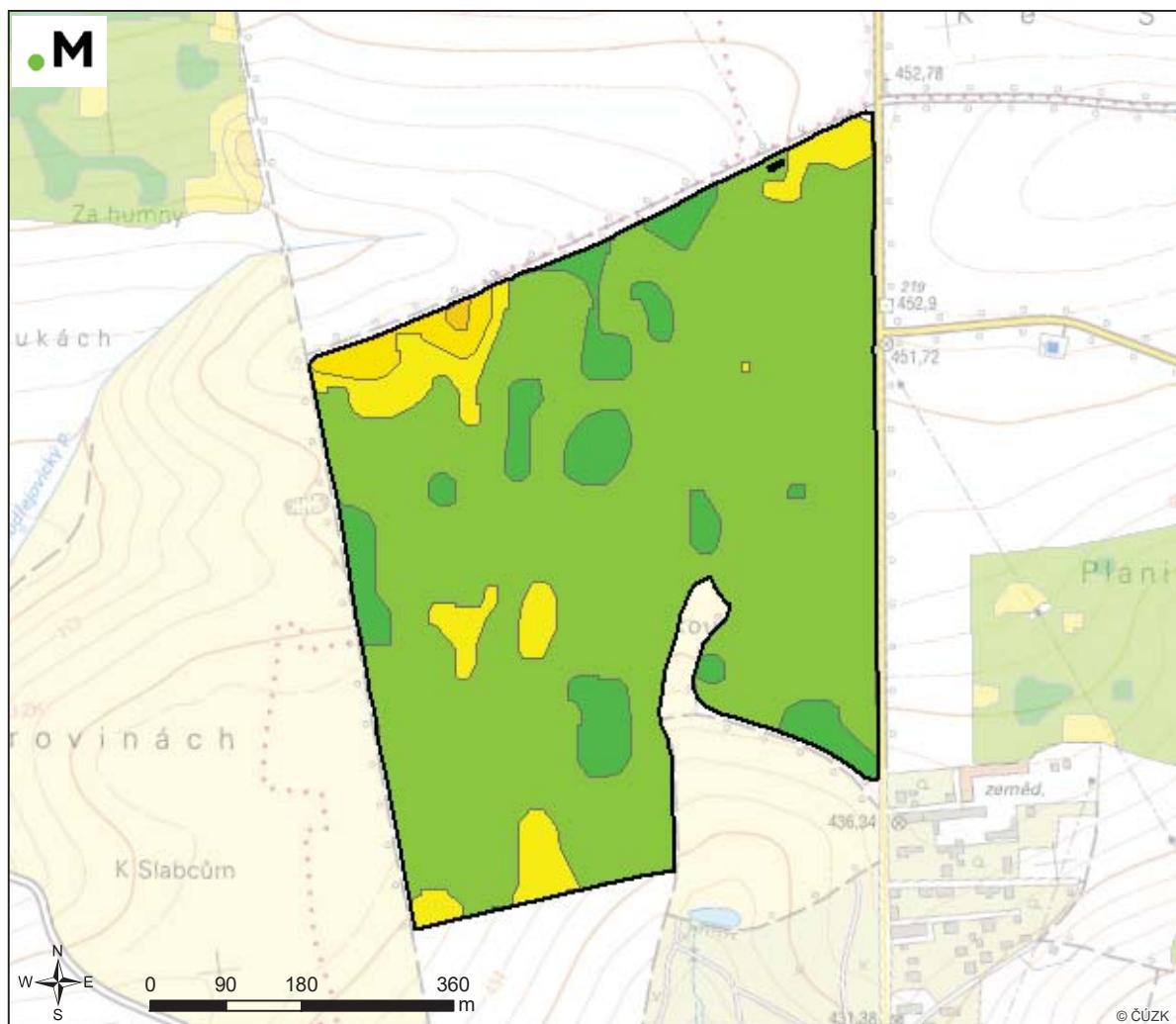
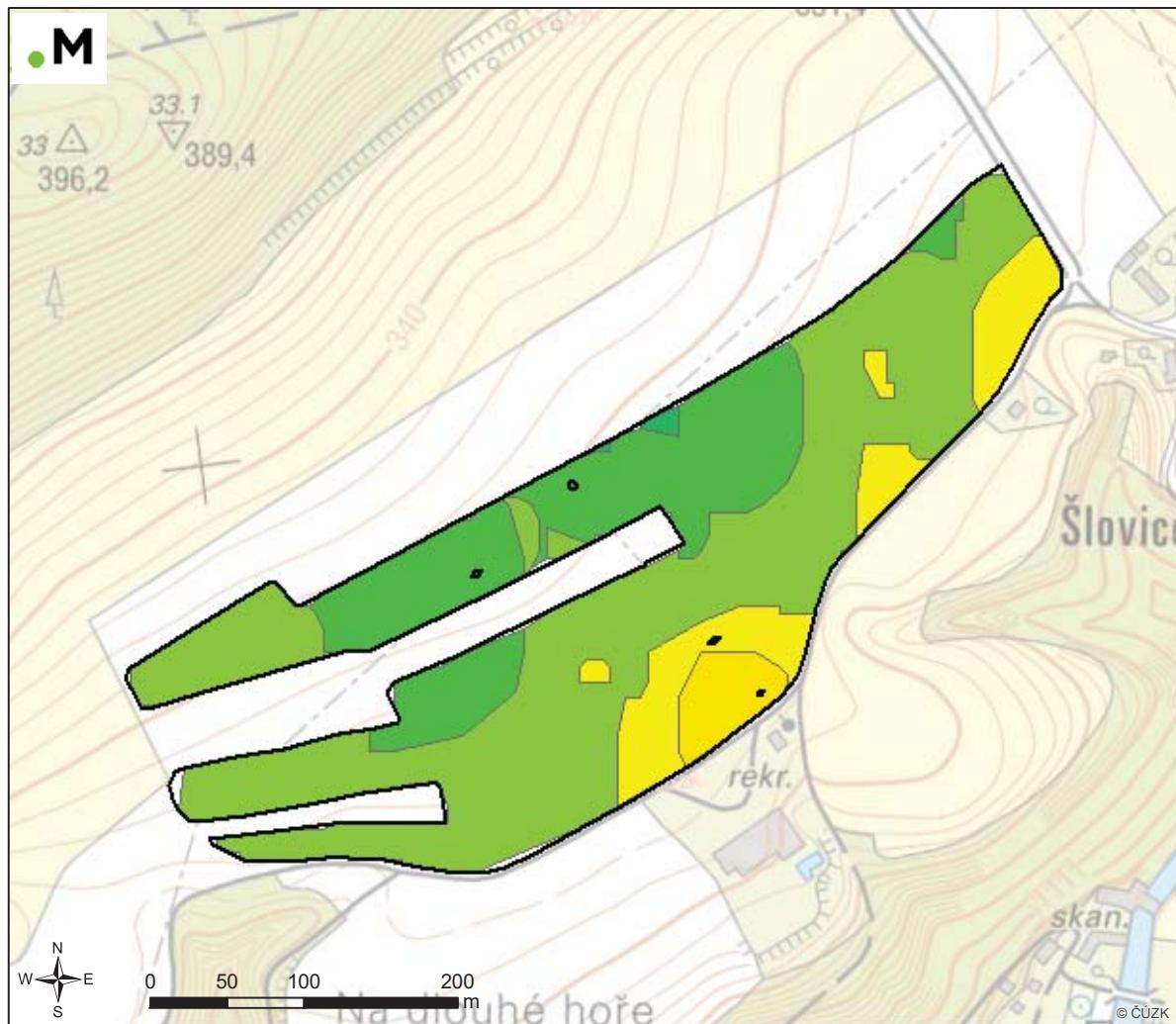


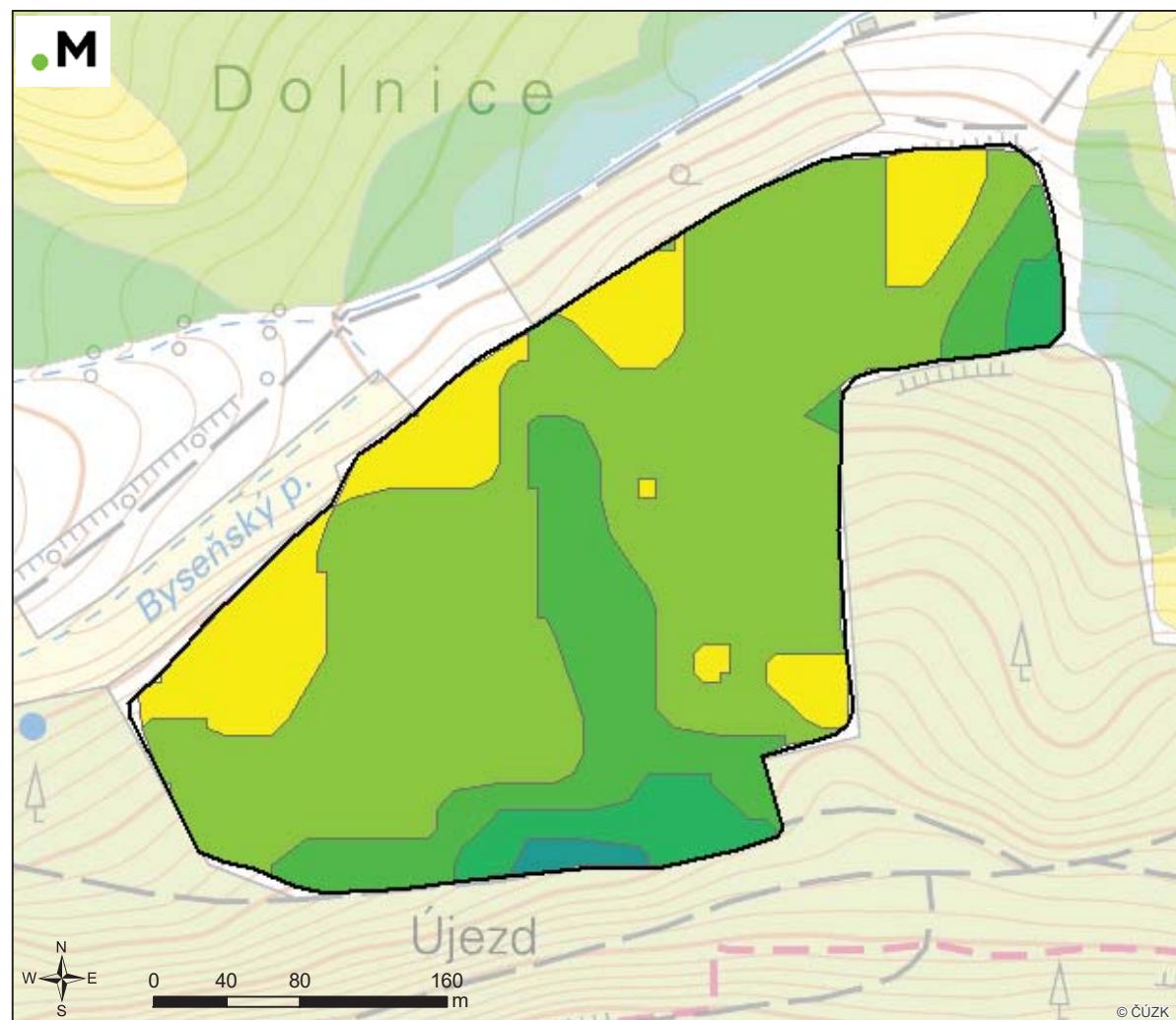
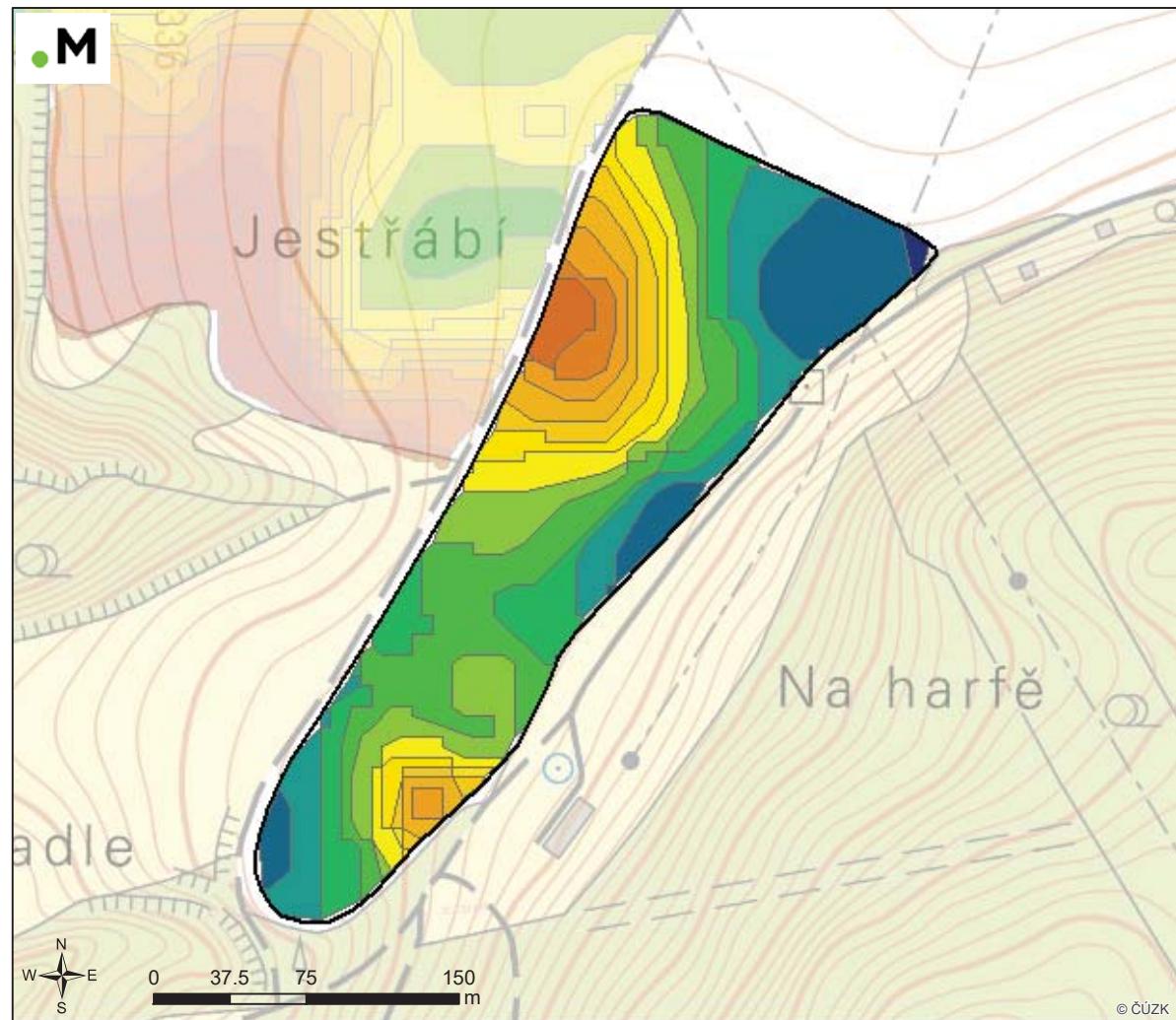


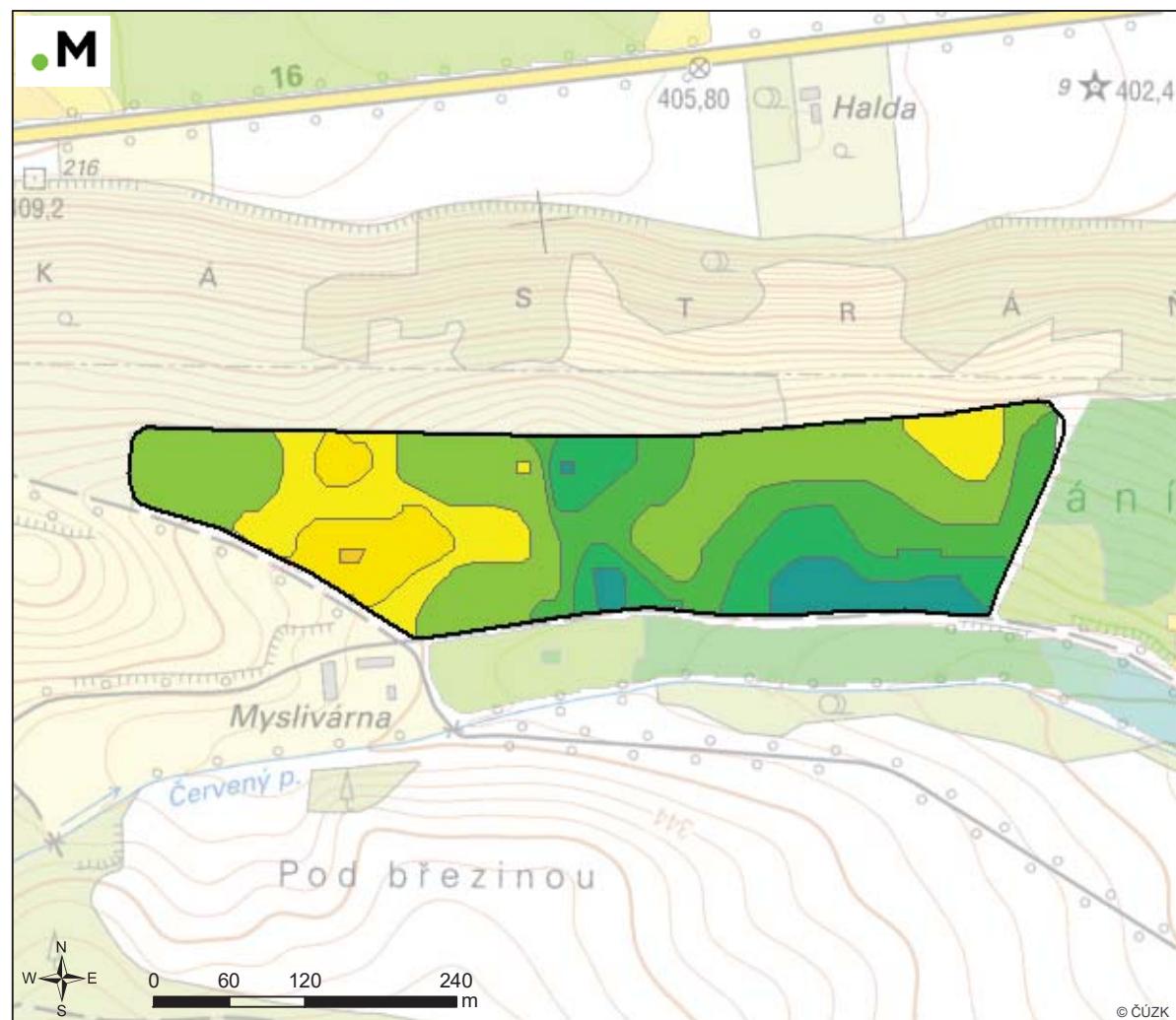
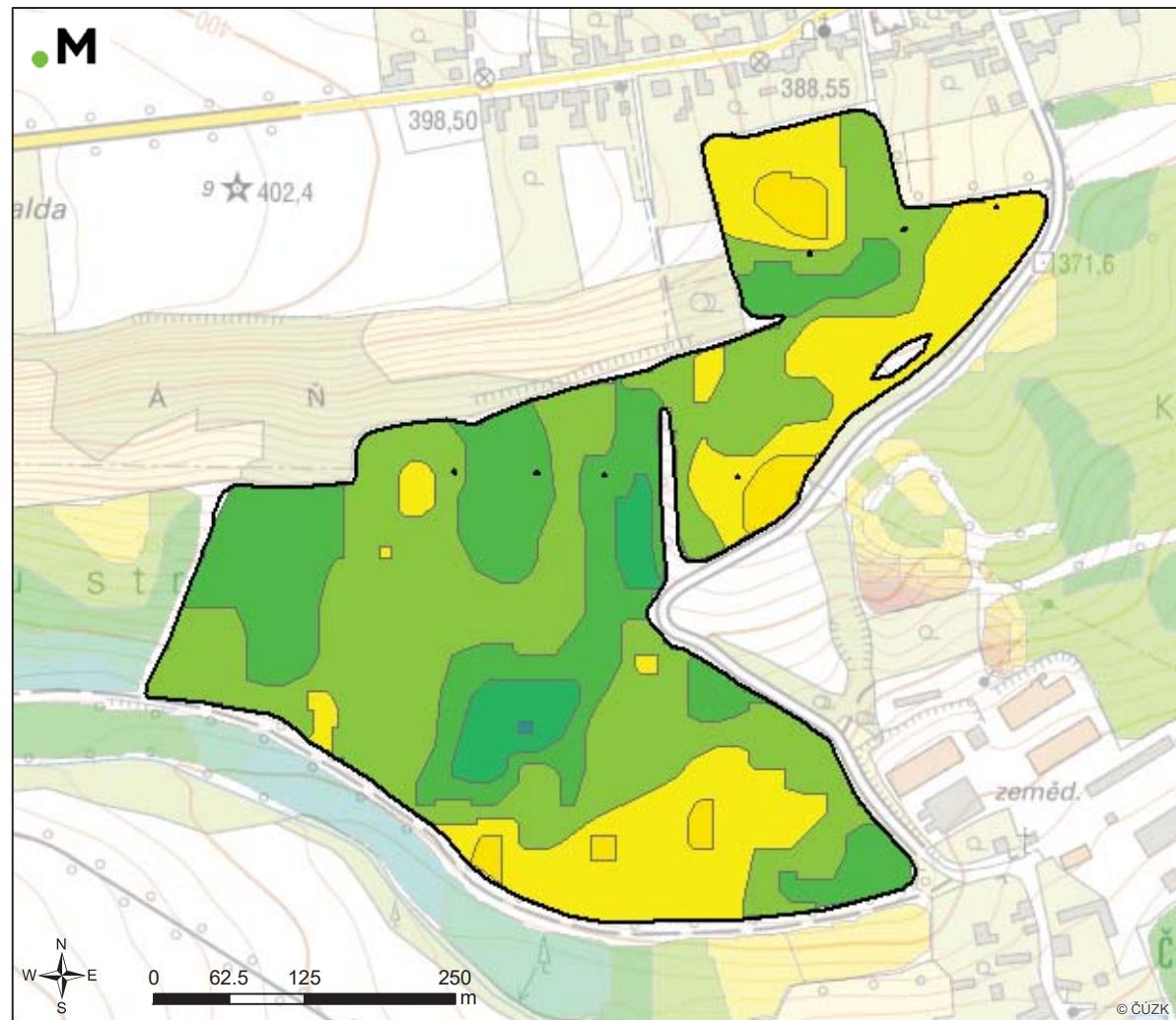
Mendelova
univerzita
v Brně

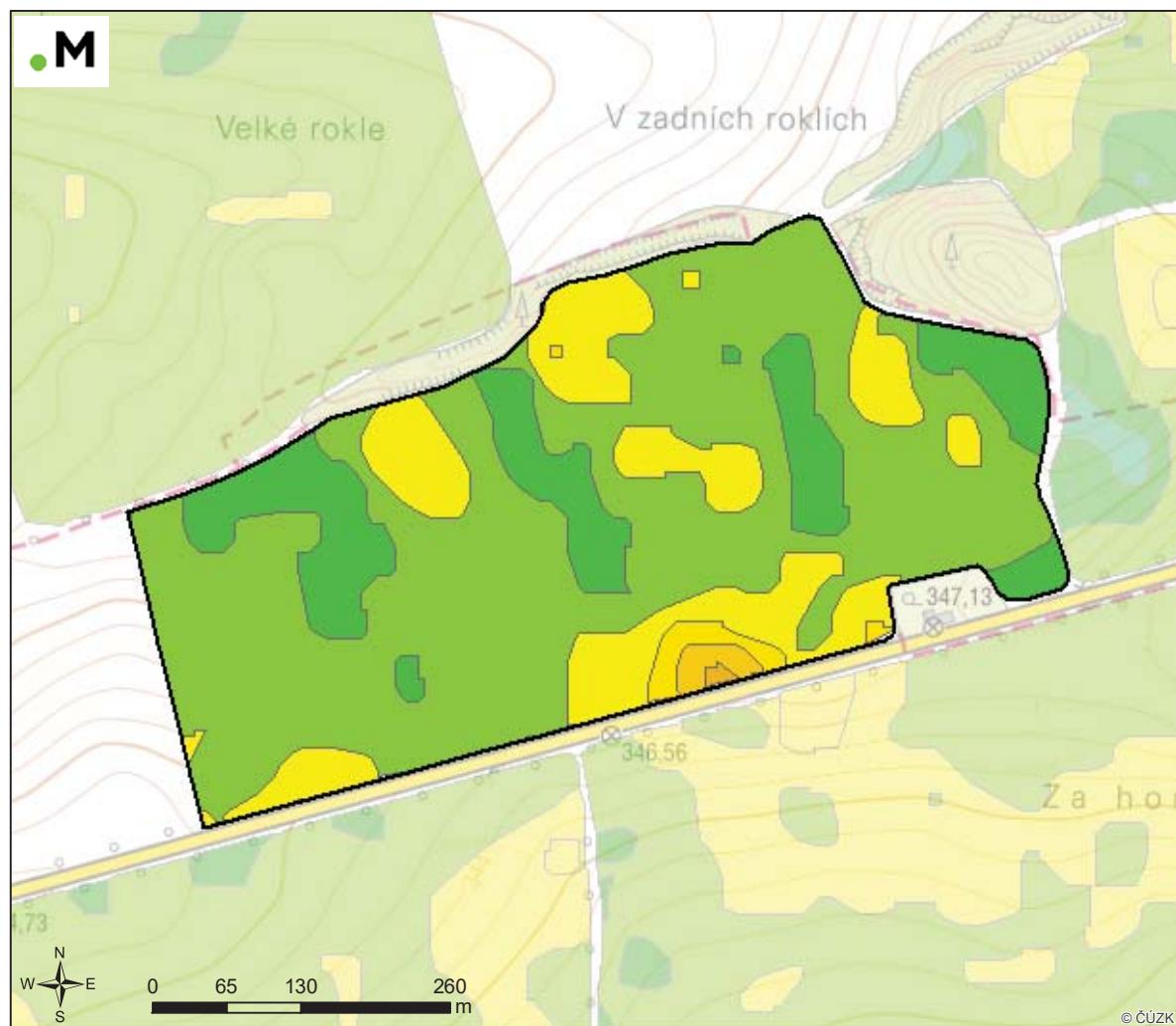


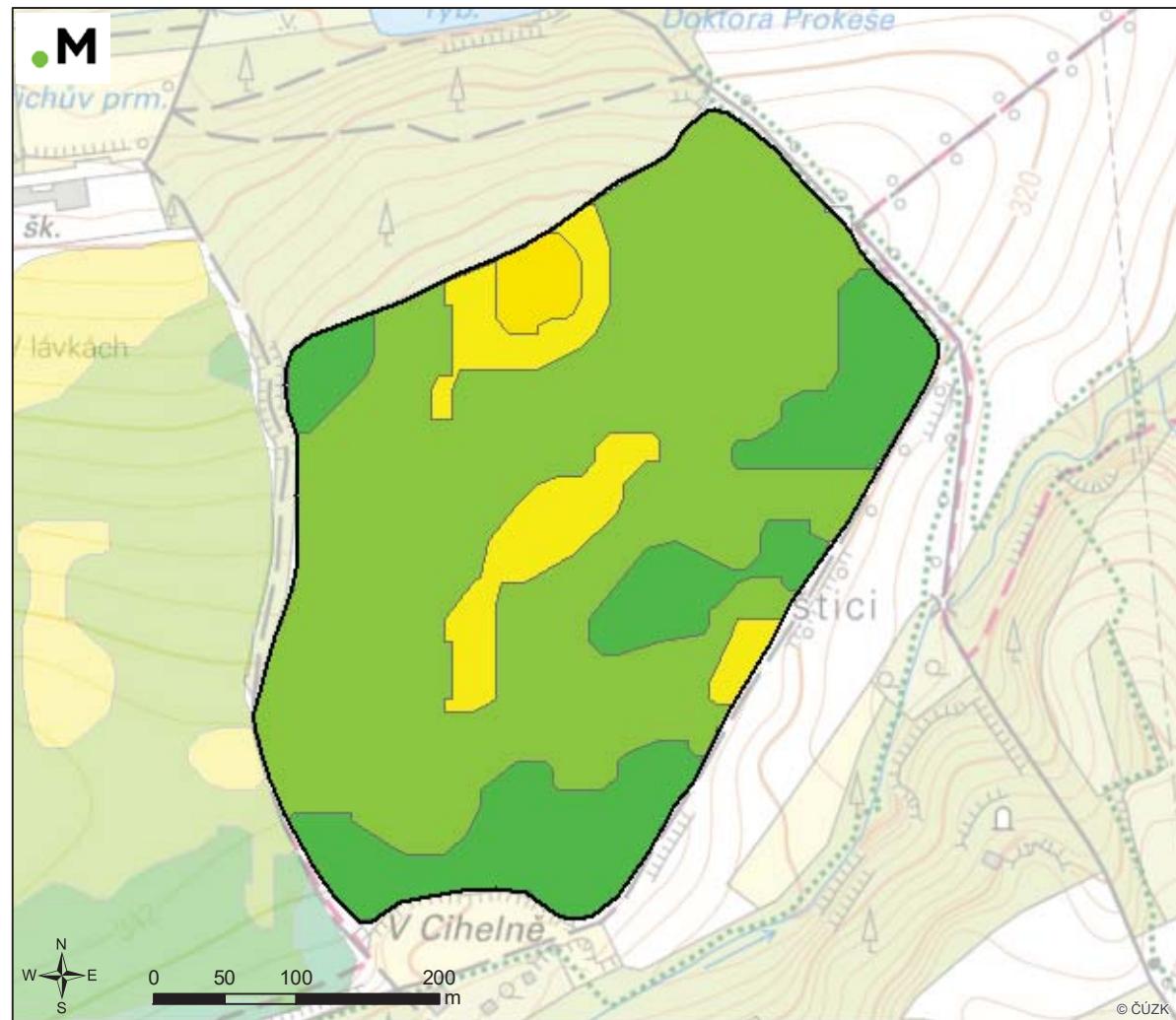
Mendelova
univerzita
v Brně











Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Cihelna

DPB: 9703/2

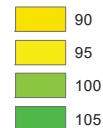
Středisko: Ledeč

Čtverec: 760-1020

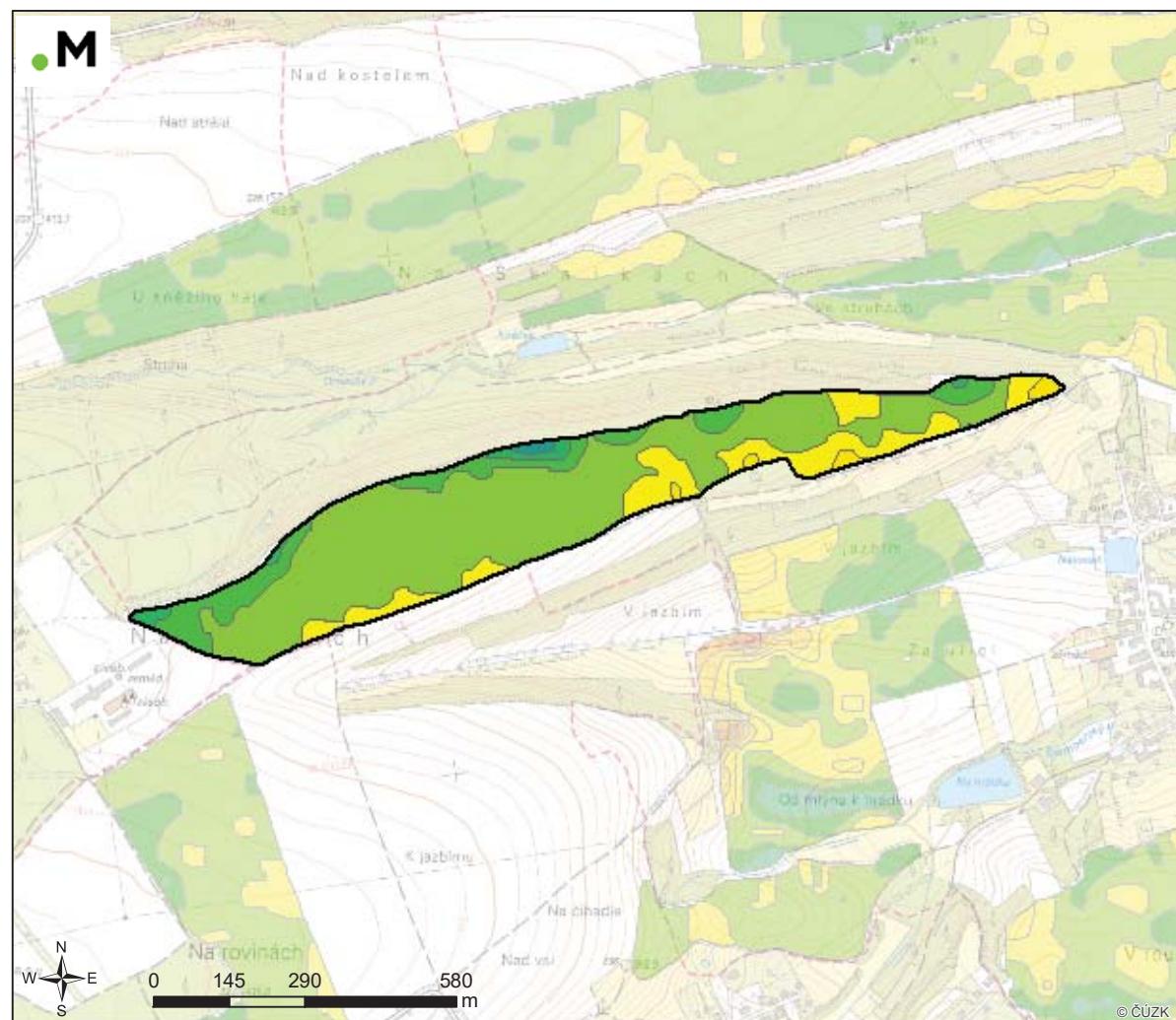
FID: 12195904

Výměra: 17.09 ha

Legenda PZ [%]



Mendelova
univerzita
v Brně



Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Drnecká rovina

DPB: 1606

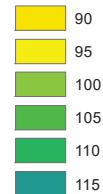
Středisko: Ledeč

Čtverec: 770-1020

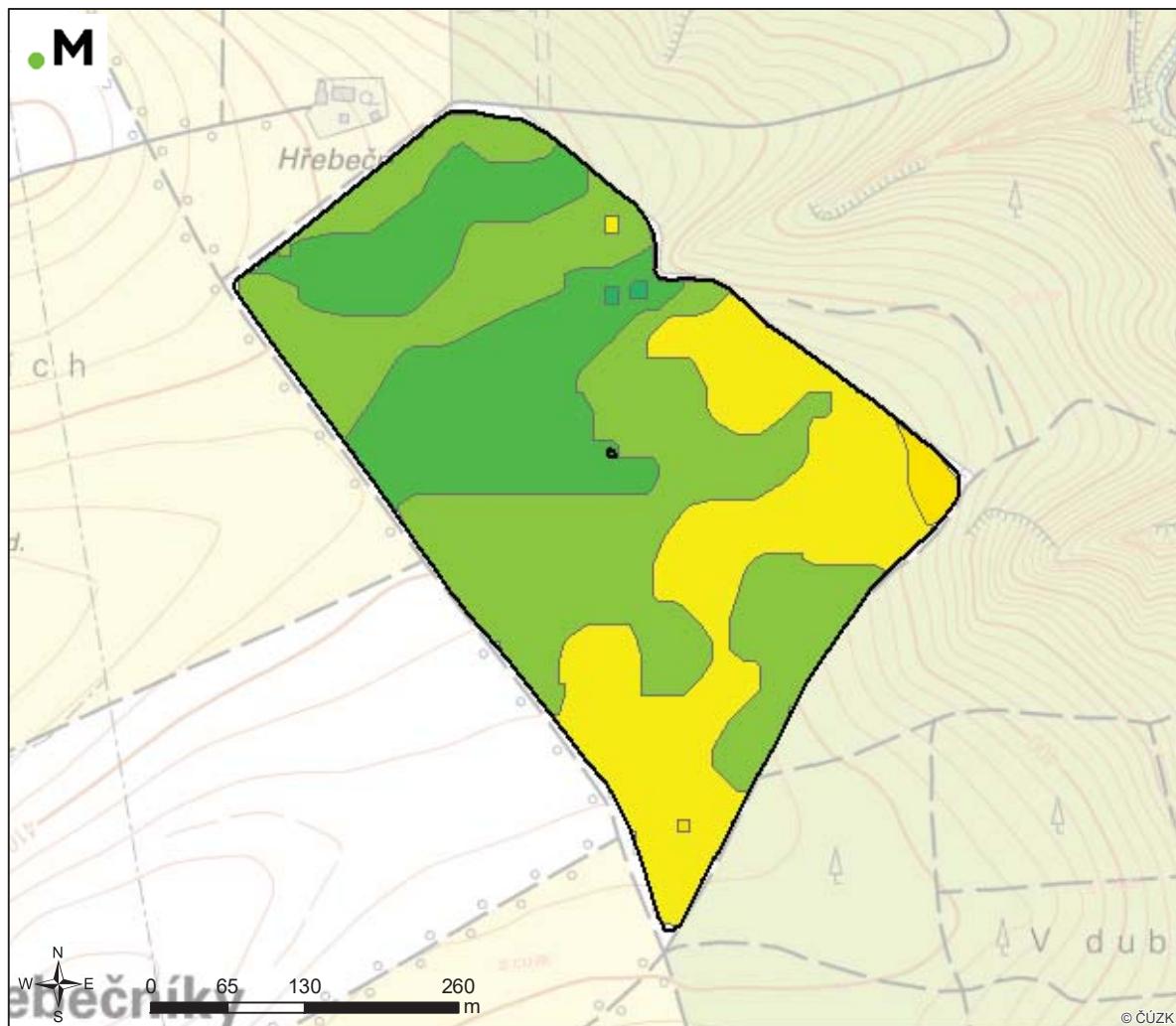
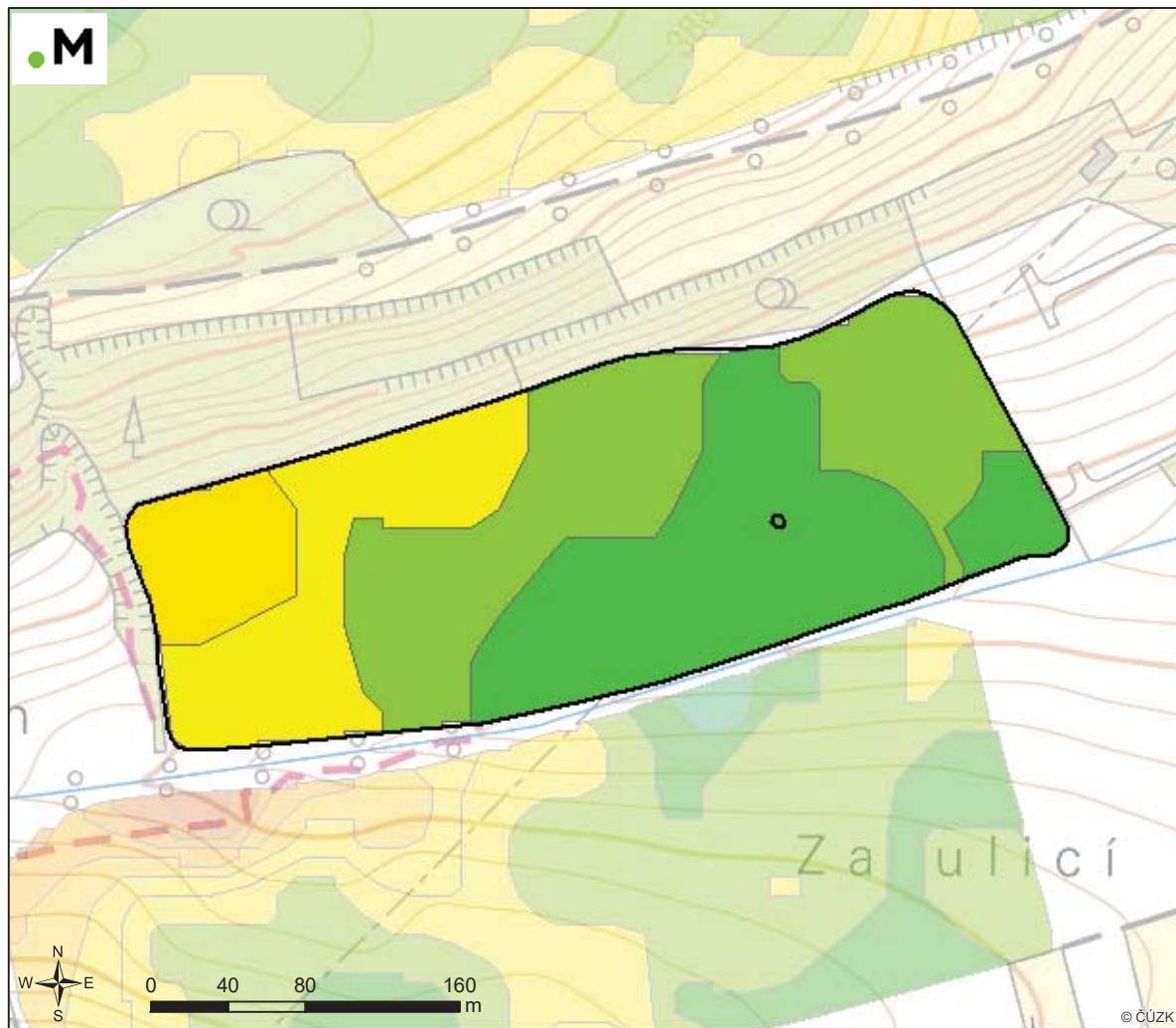
FID: 12217823

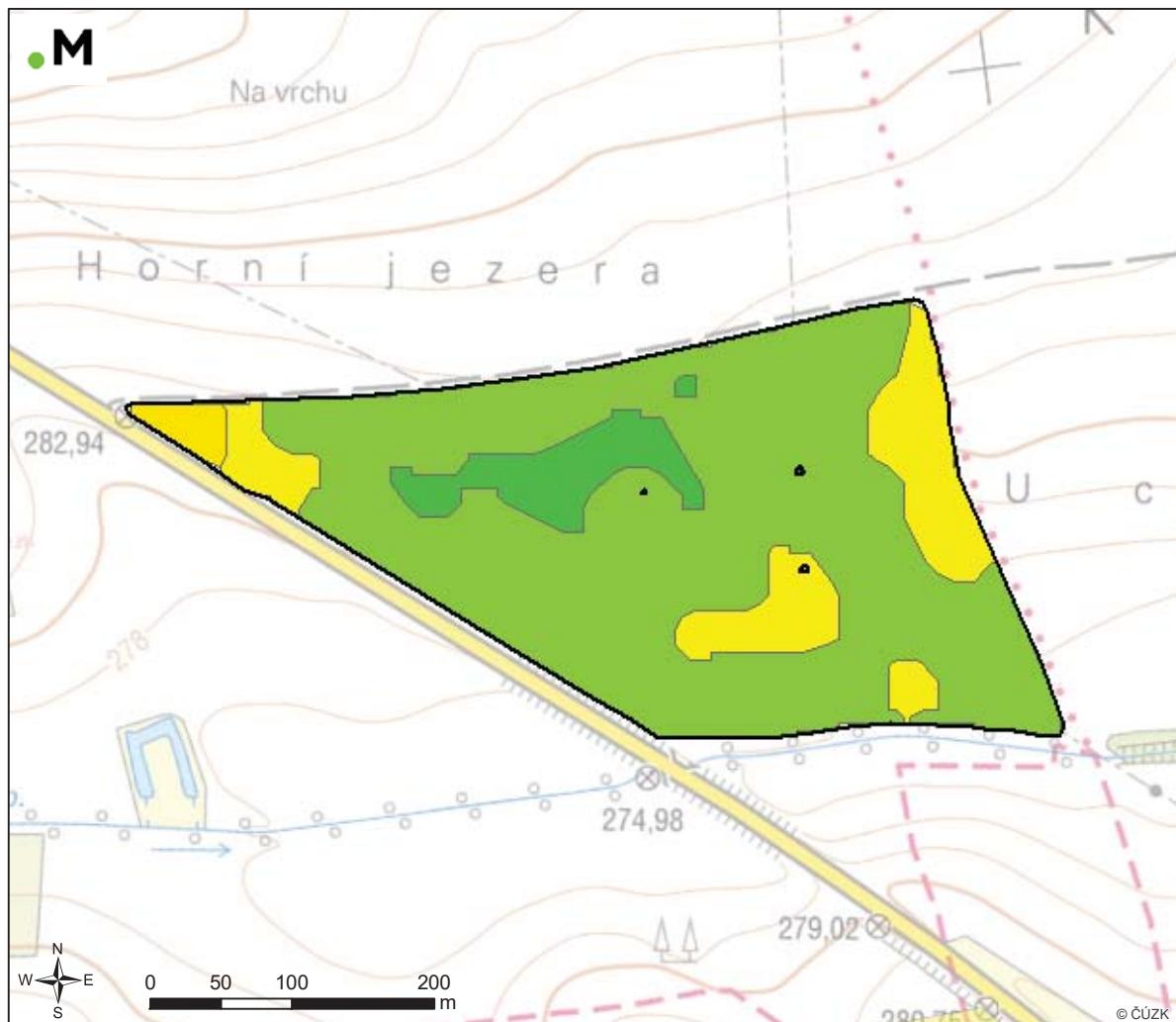
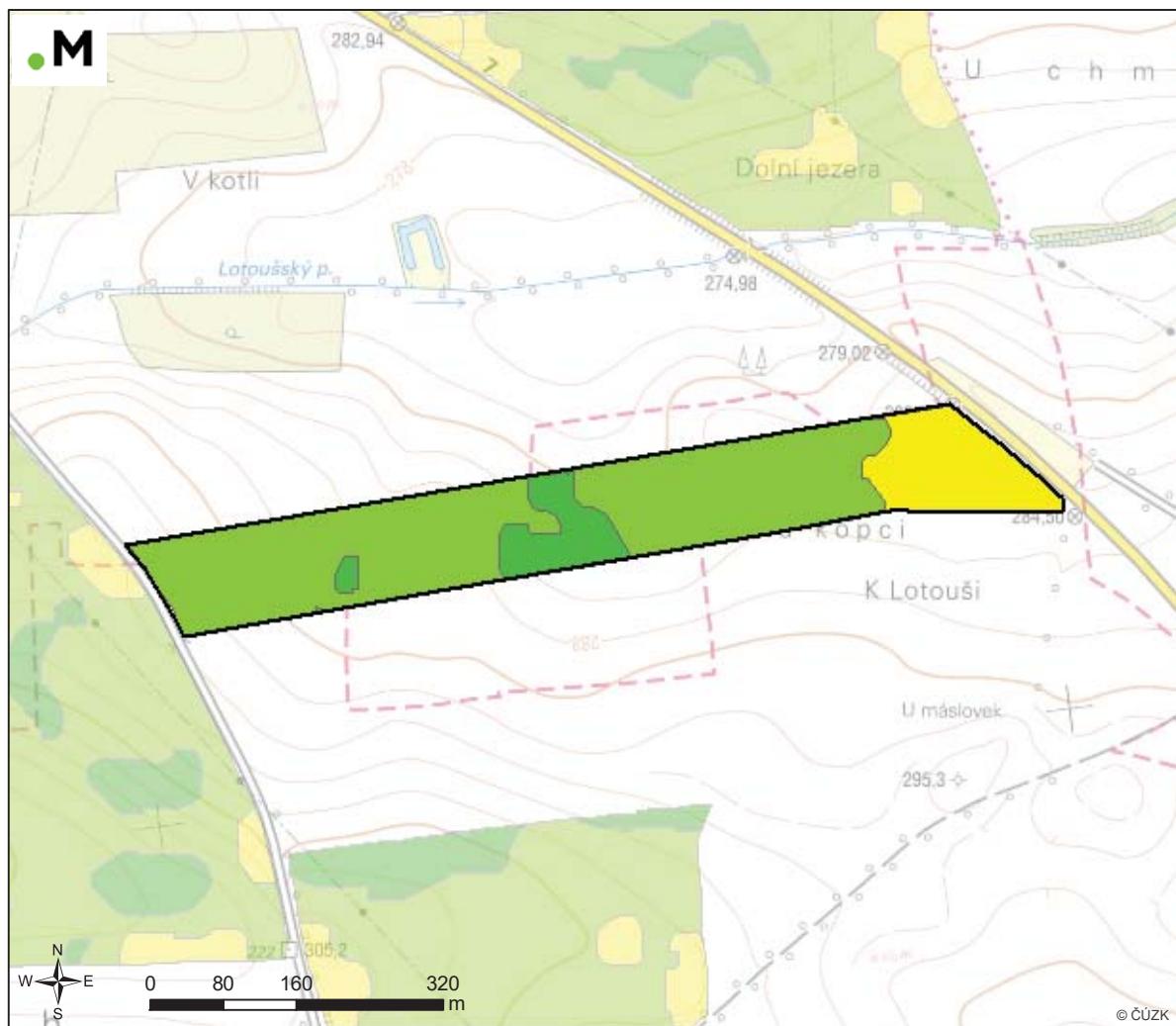
Výměra: 28.42 ha

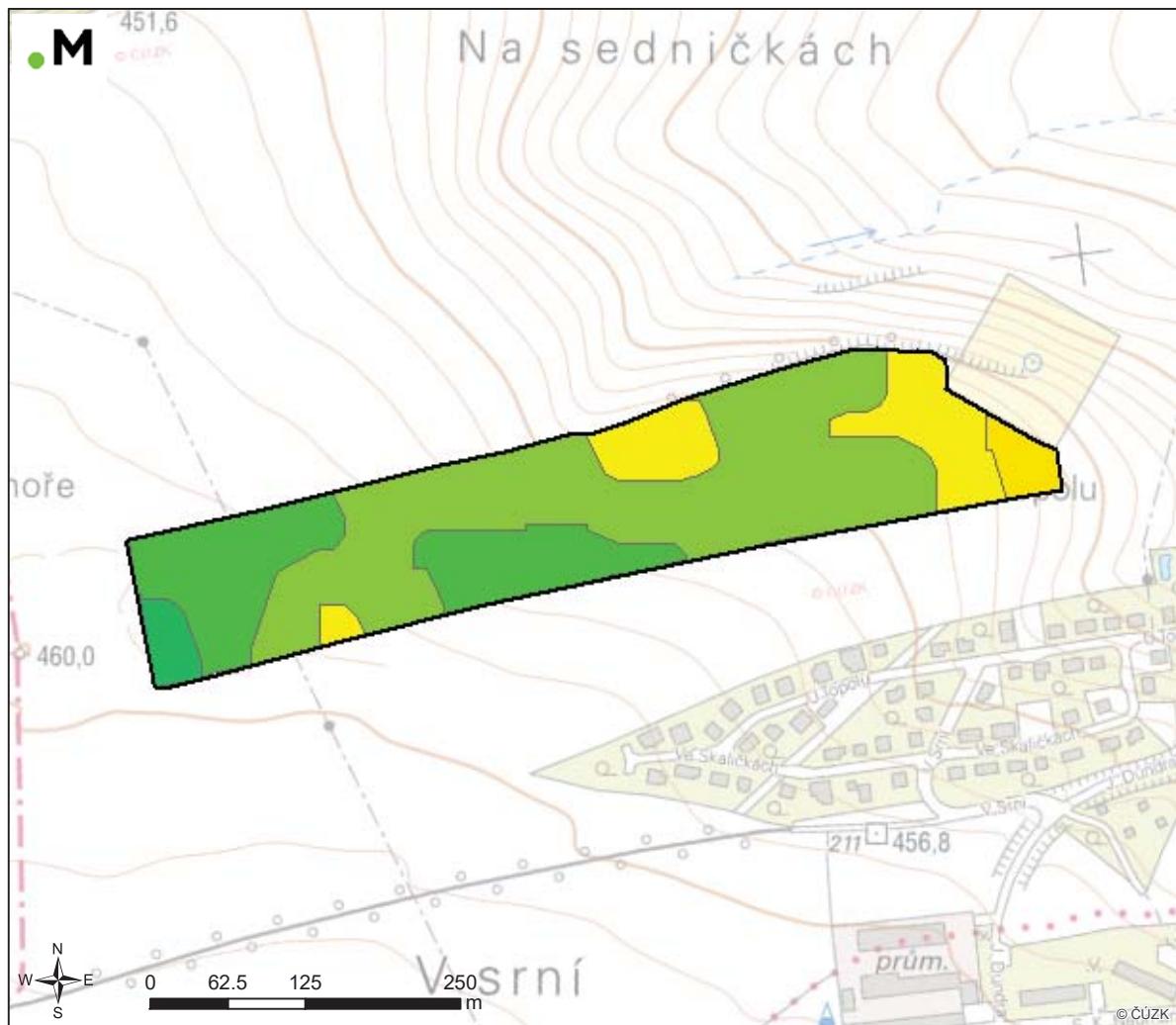
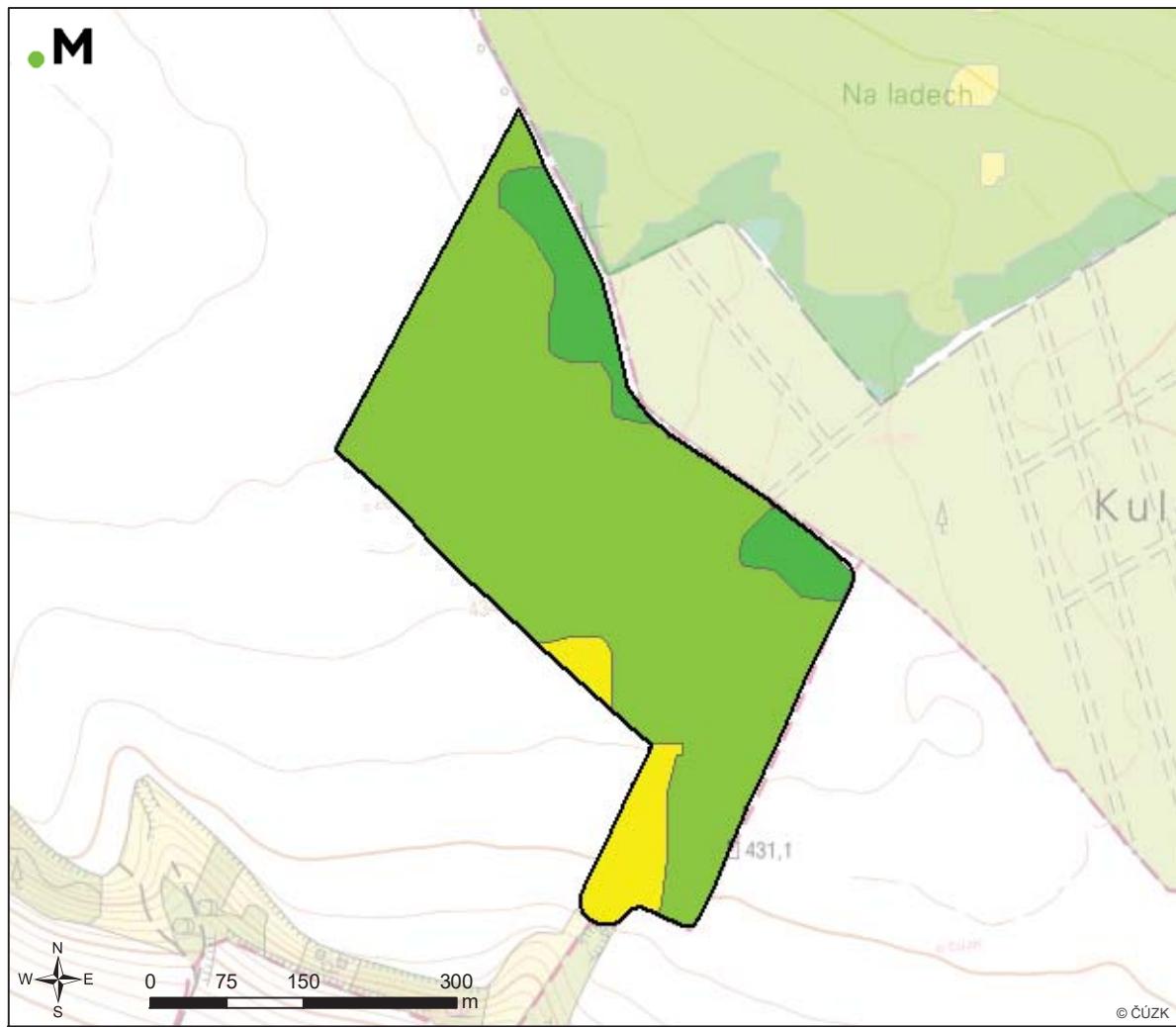
Legenda PZ [%]

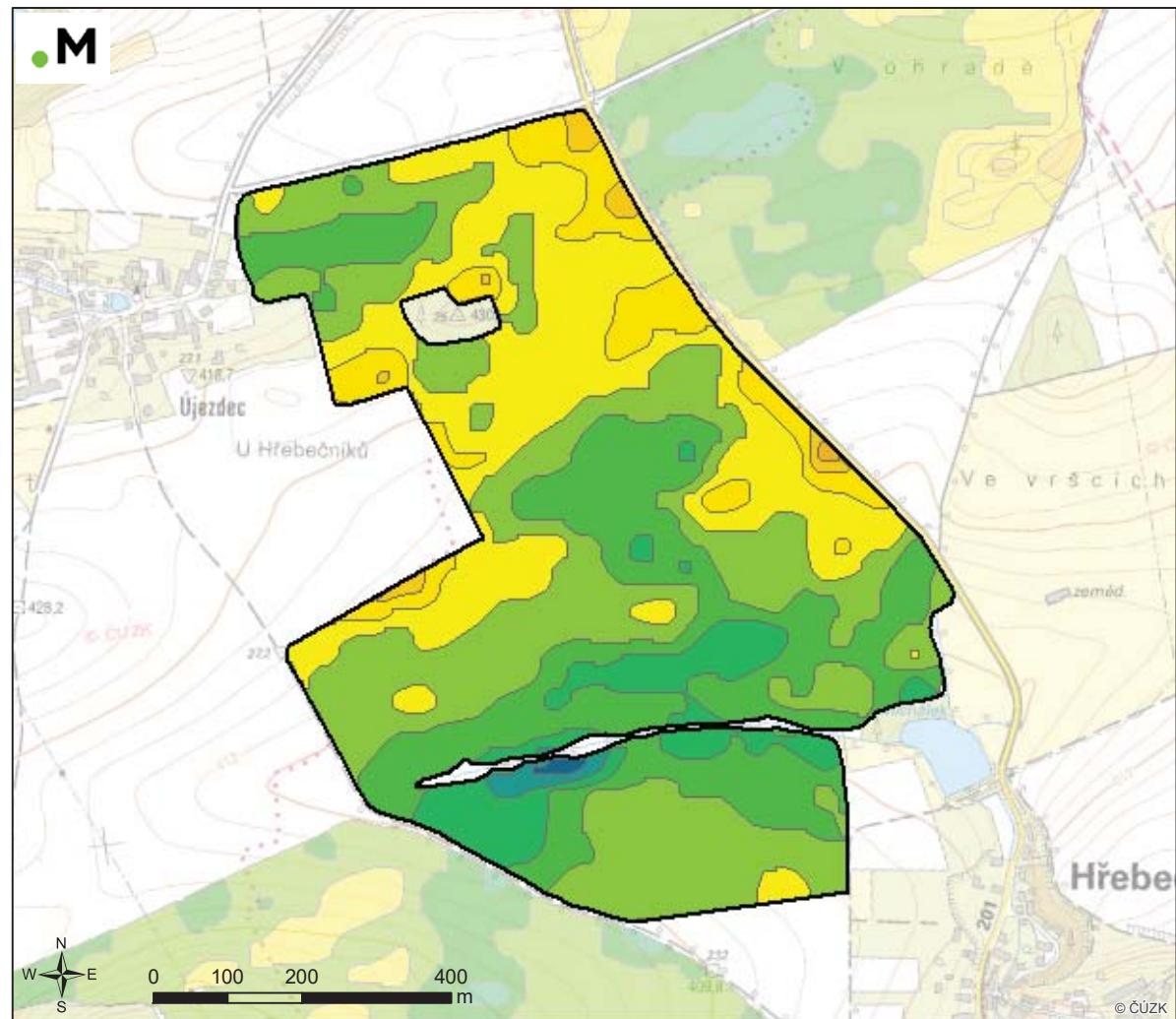


Mendelova
univerzita
v Brně









Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Hřebečníky hájek

DPB: 2603/4

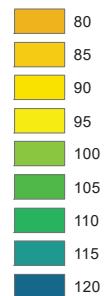
Středisko: Slabce

Čtverec: 790-1040

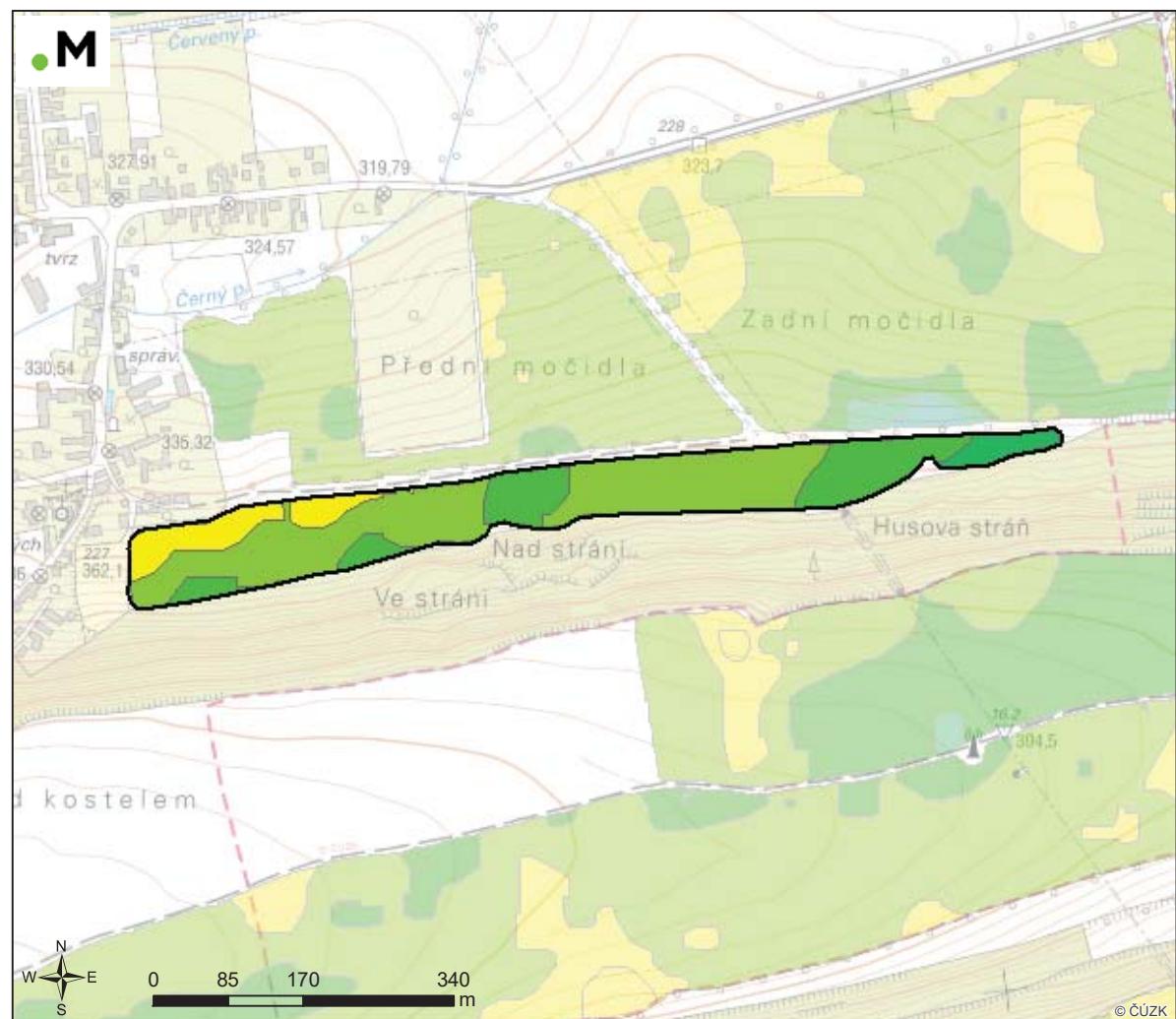
FID: 12264295

Výměra: 60.63 ha

Legenda PZ [%]



Mendelova
univerzita
v Brně



Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Husová

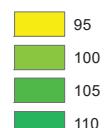
DPB: 1503

Středisko: Ledeč

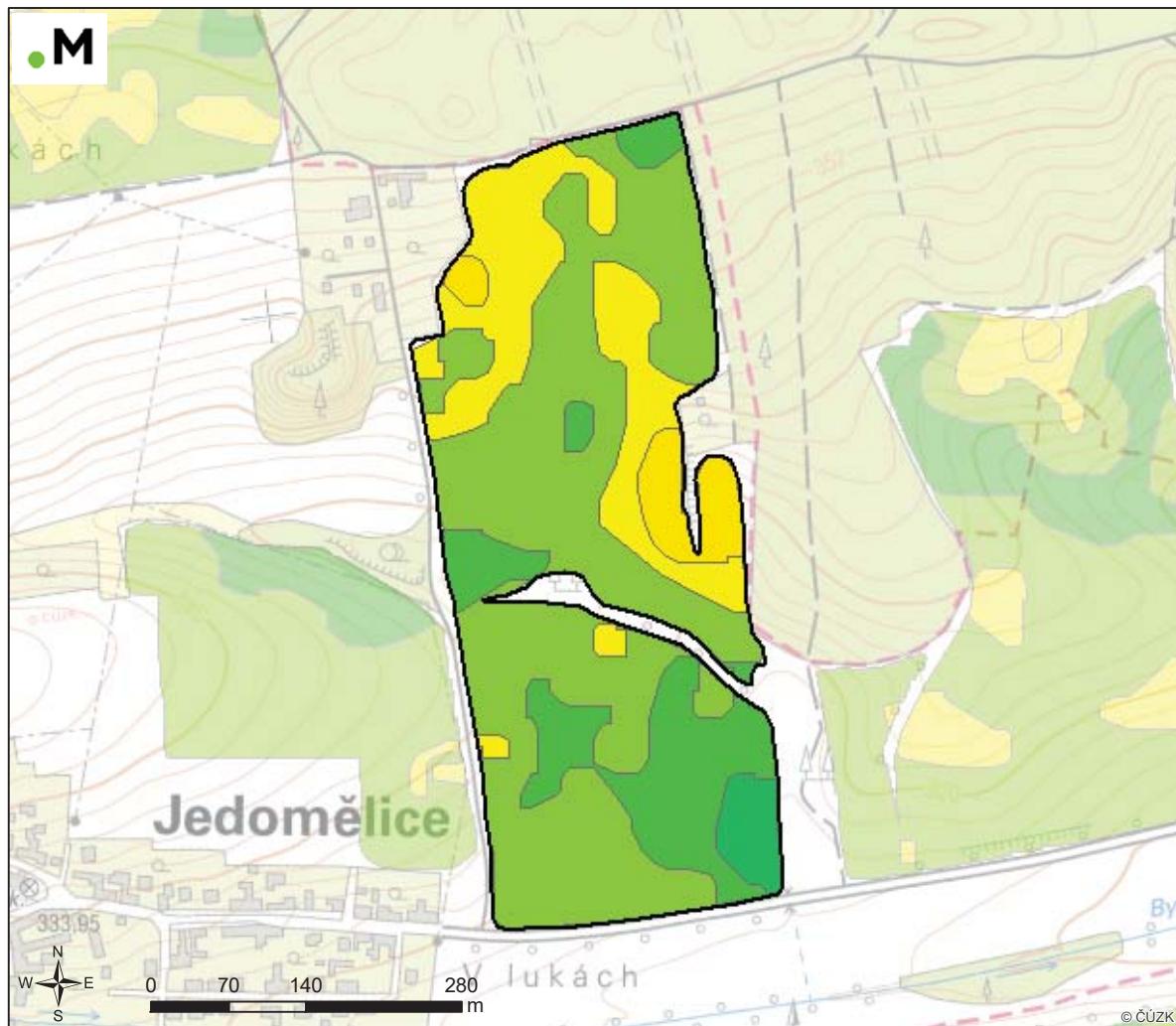
Středisko: Želče
Čtyverec: 770-1020

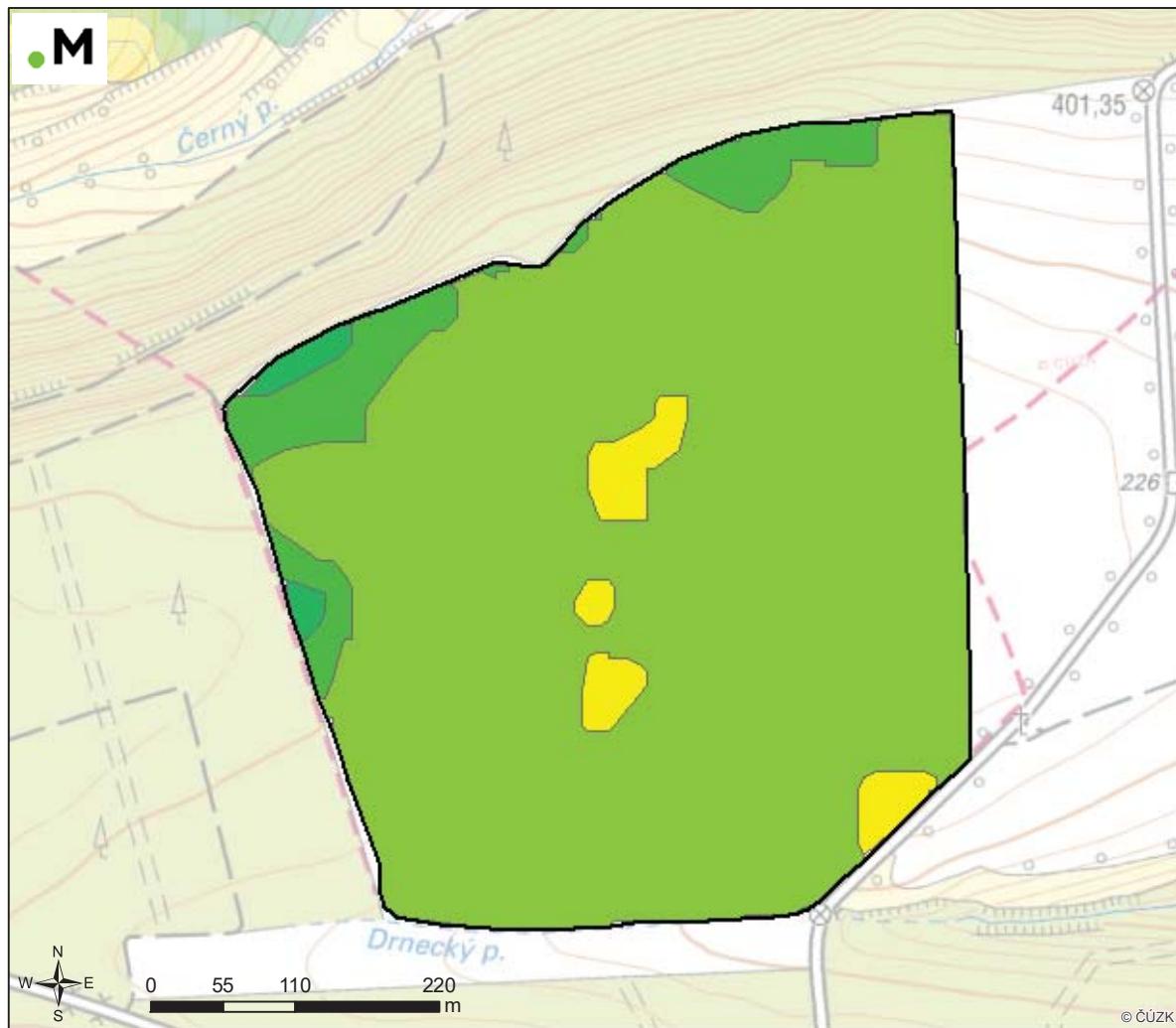
FID: 12211619

Legenda PZ [%]



Mendelova
univerzita
v Brně





Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Kapalice

DPB: 3501/1

Středisko: Ledeč

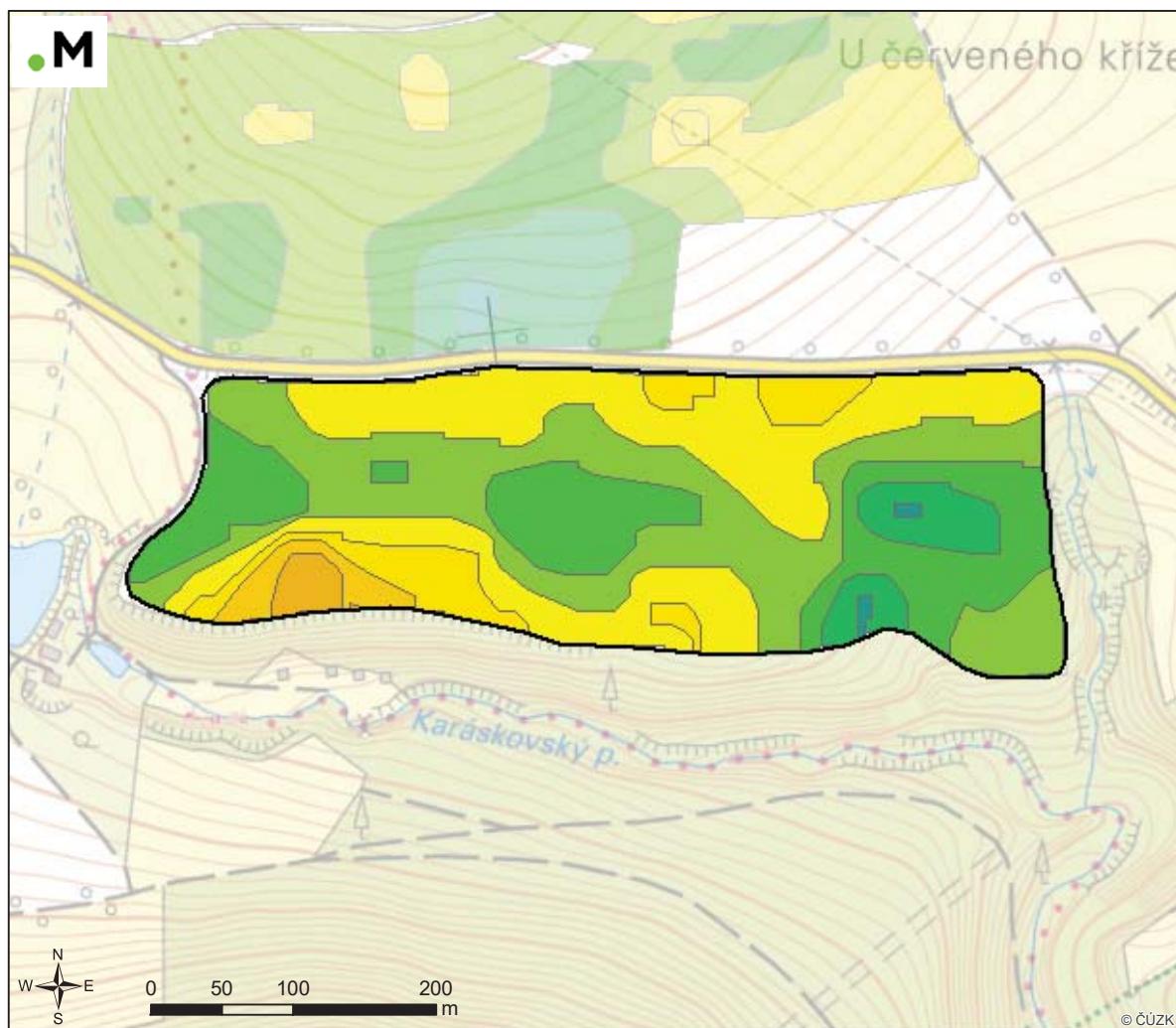
Čtverec: 770-1020

FID: 12211148

Výměra: 26.67 ha

Legenda PZ [%]

95
100
105
110



Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Karásek

DPB: 0803/2

Středisko: Slabce

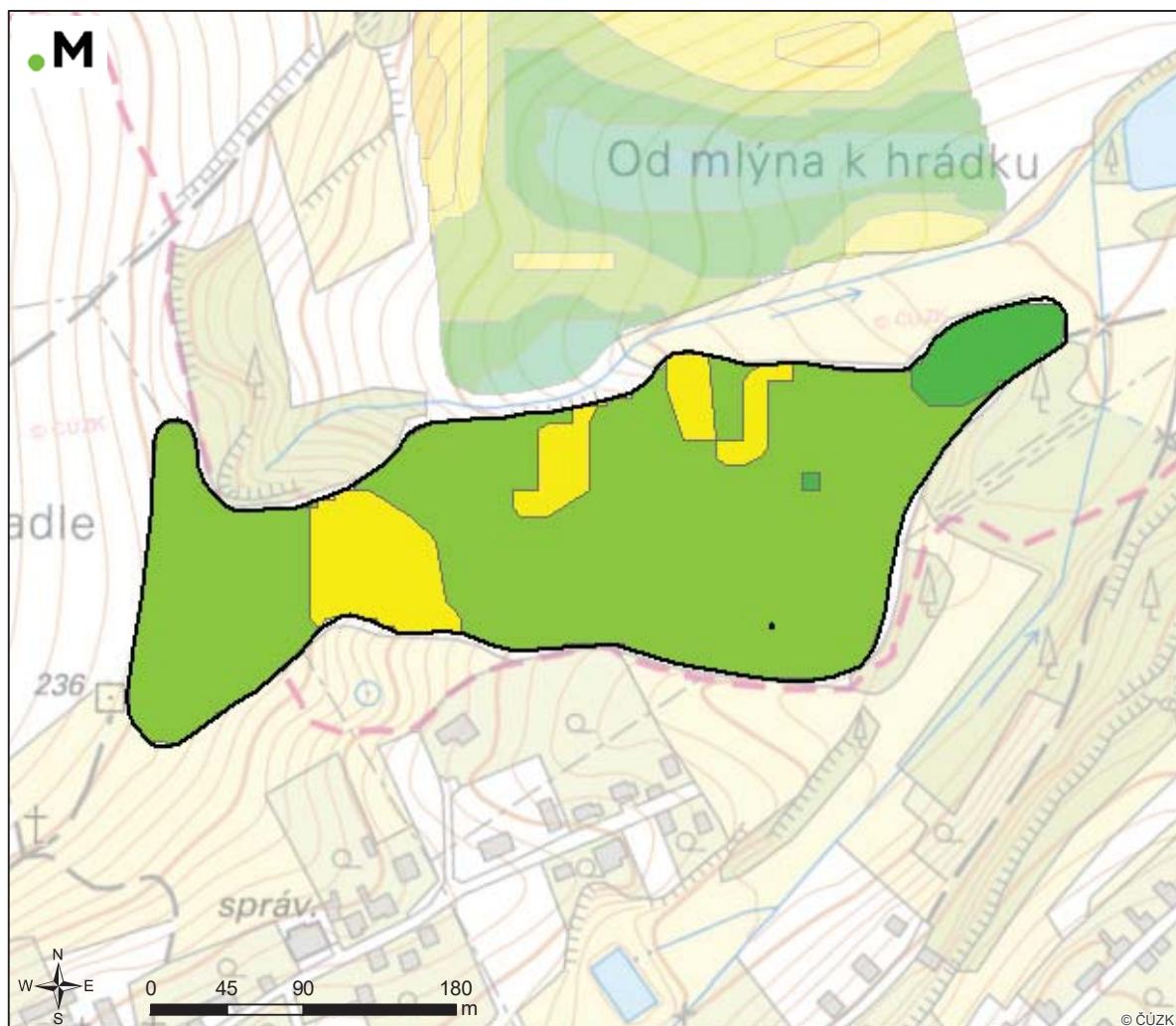
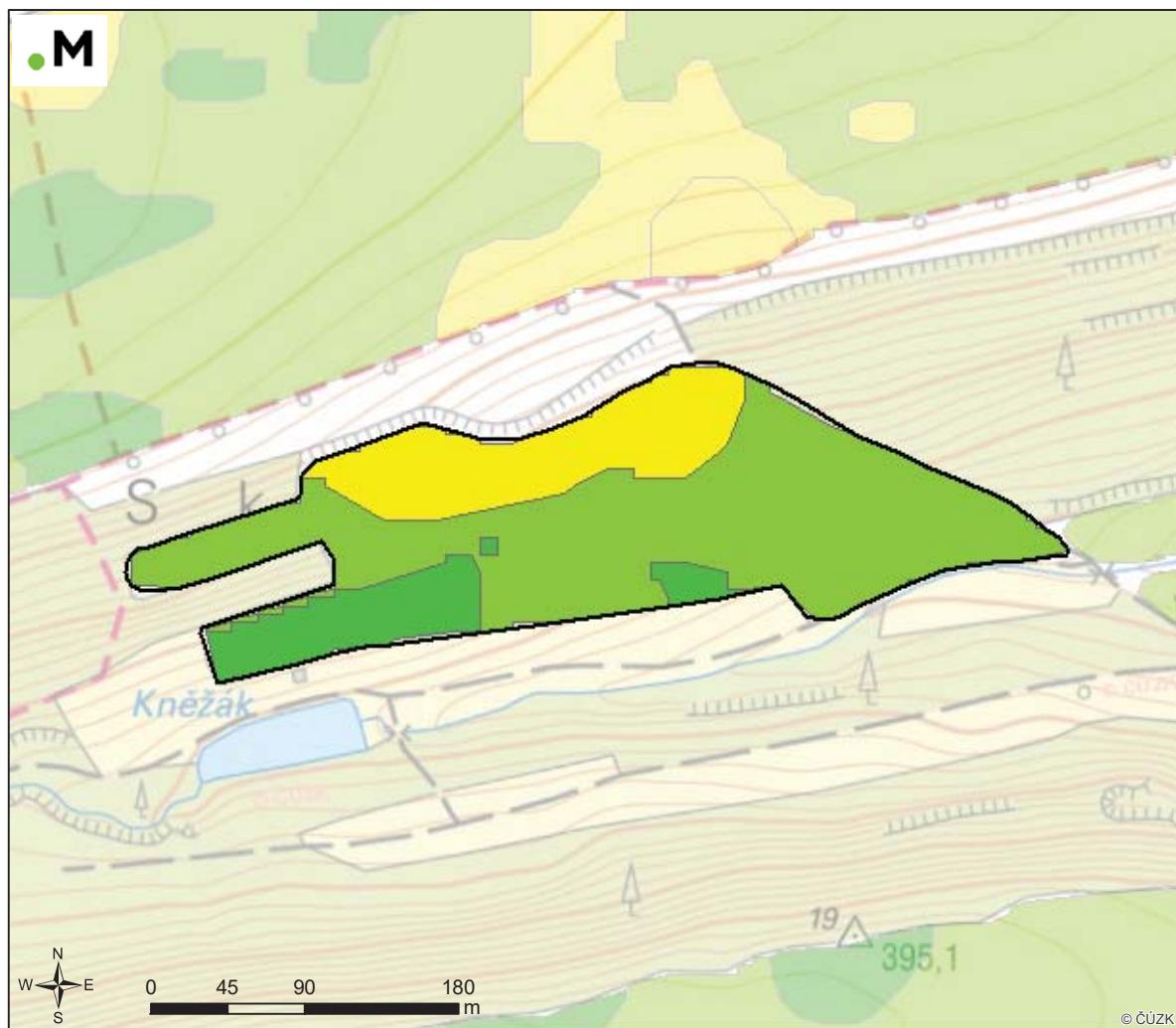
Čtverec: 790-1040

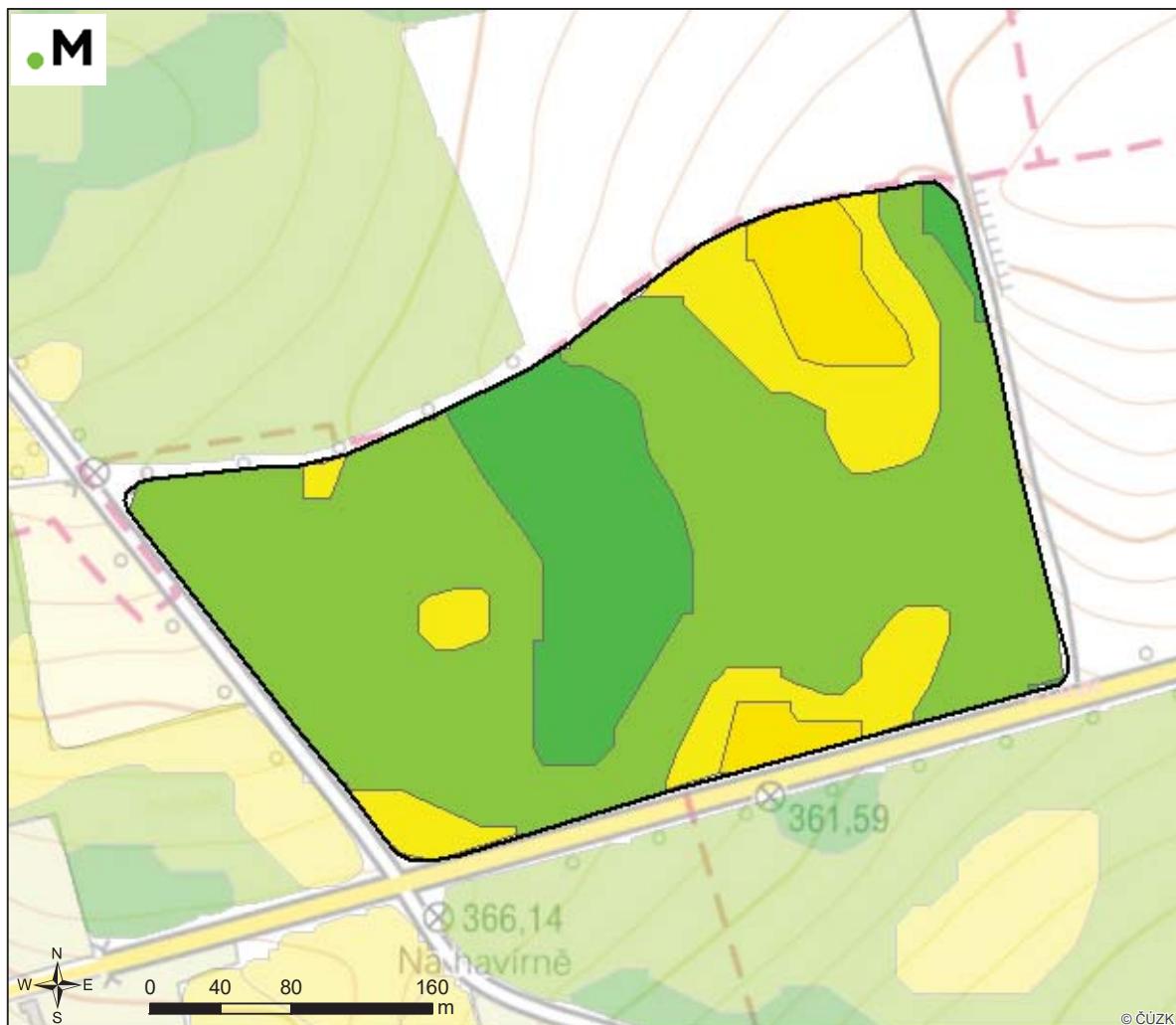
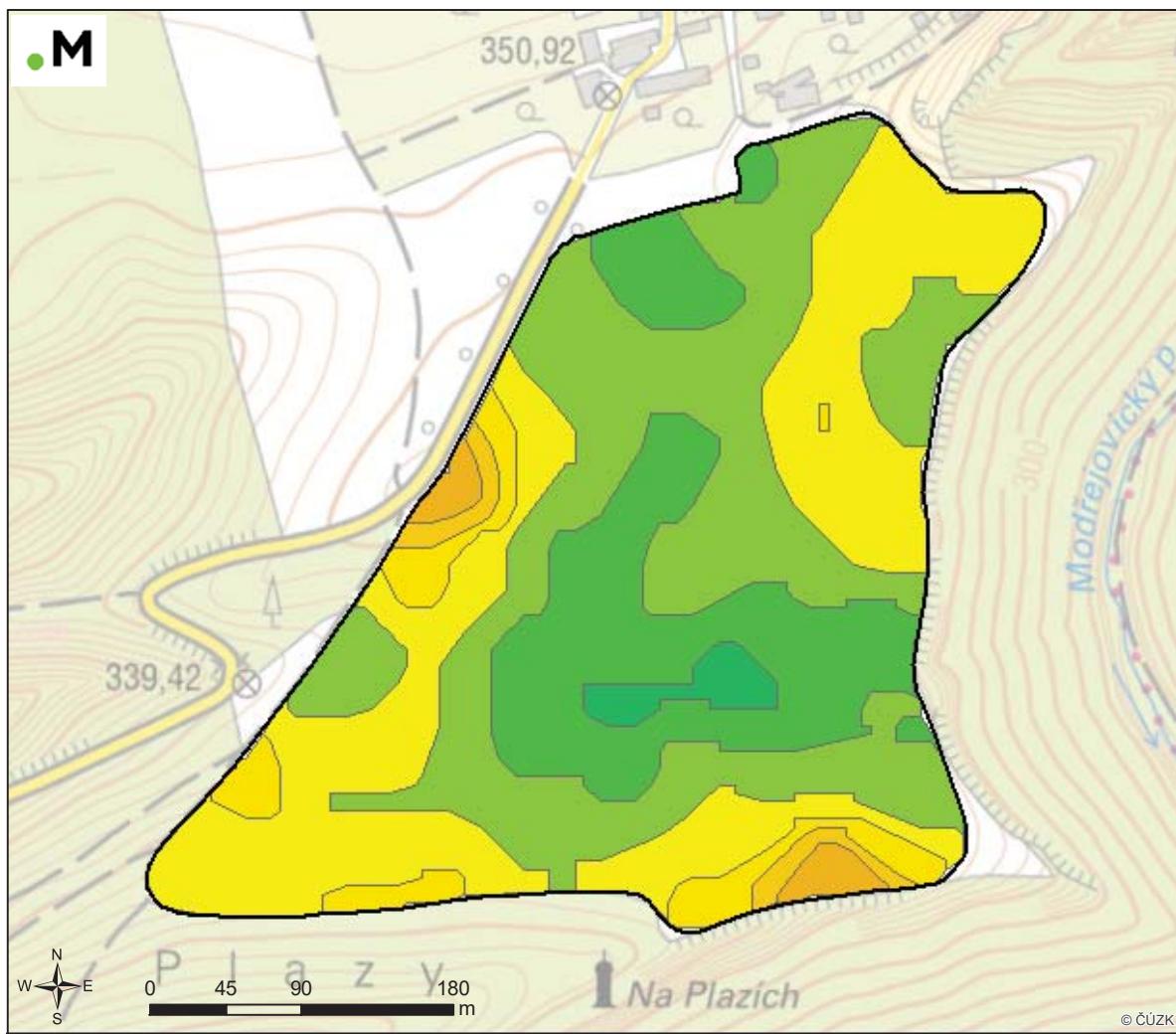
FID: 12064245

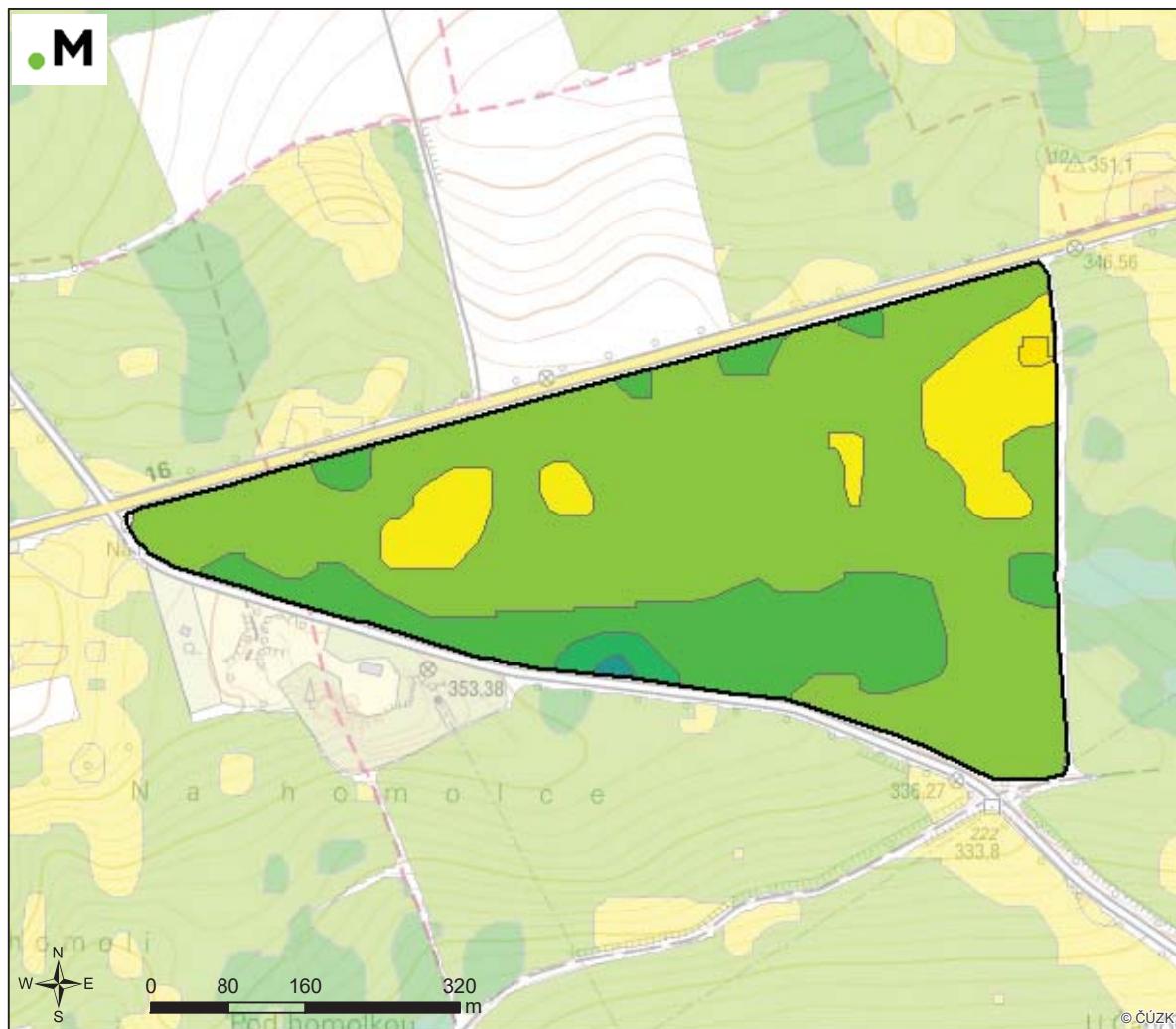
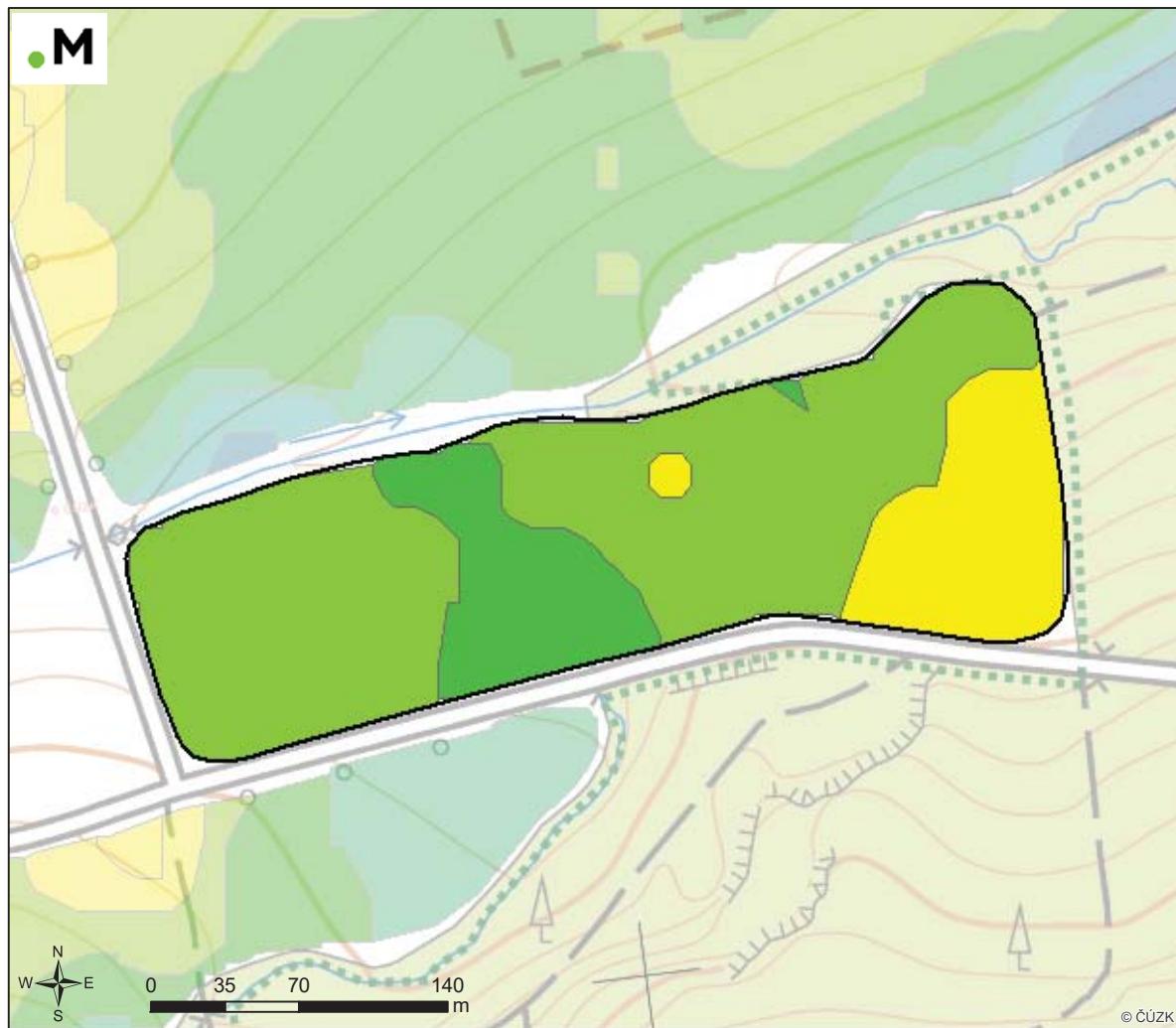
Výměra: 11.27 ha

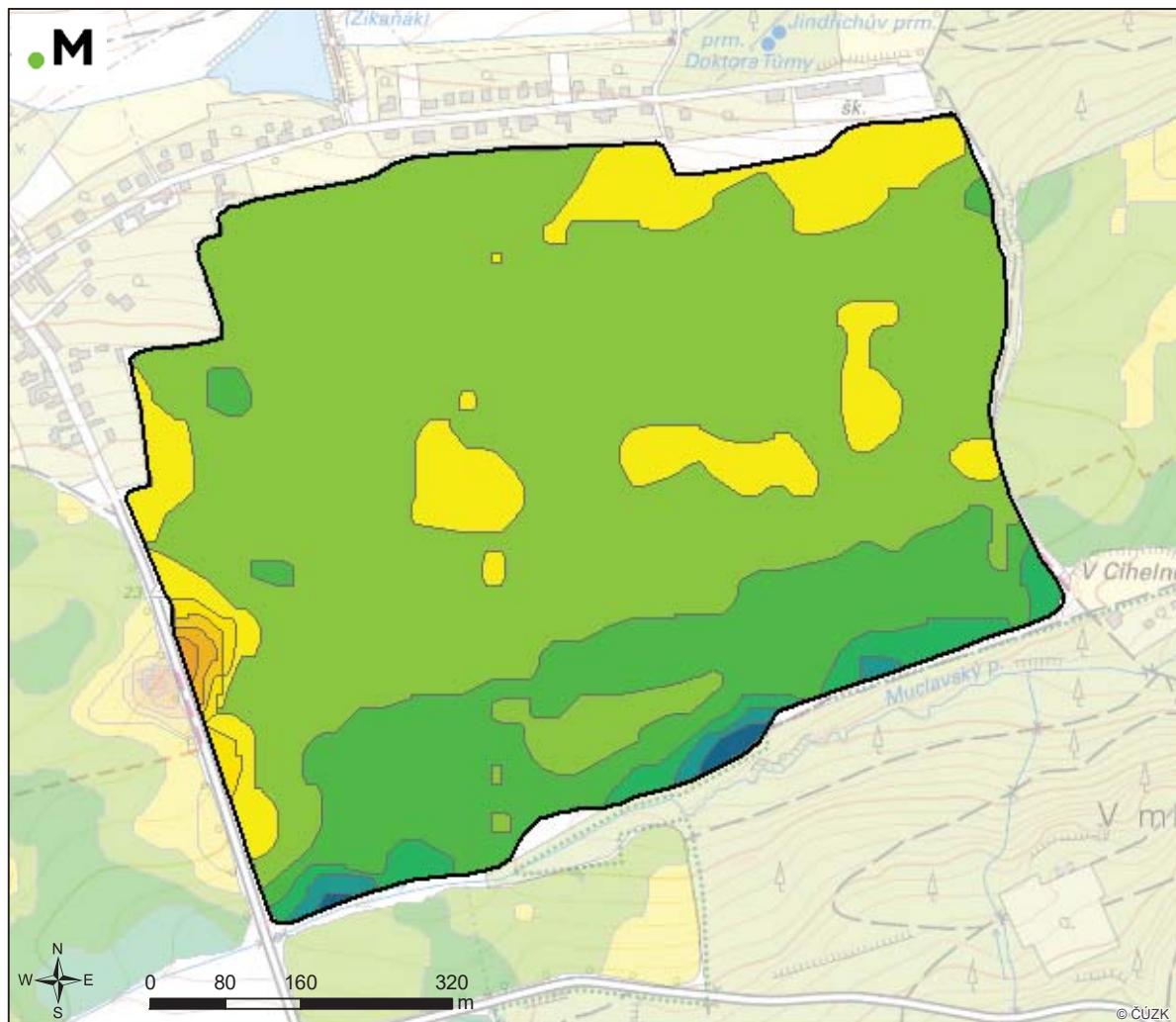
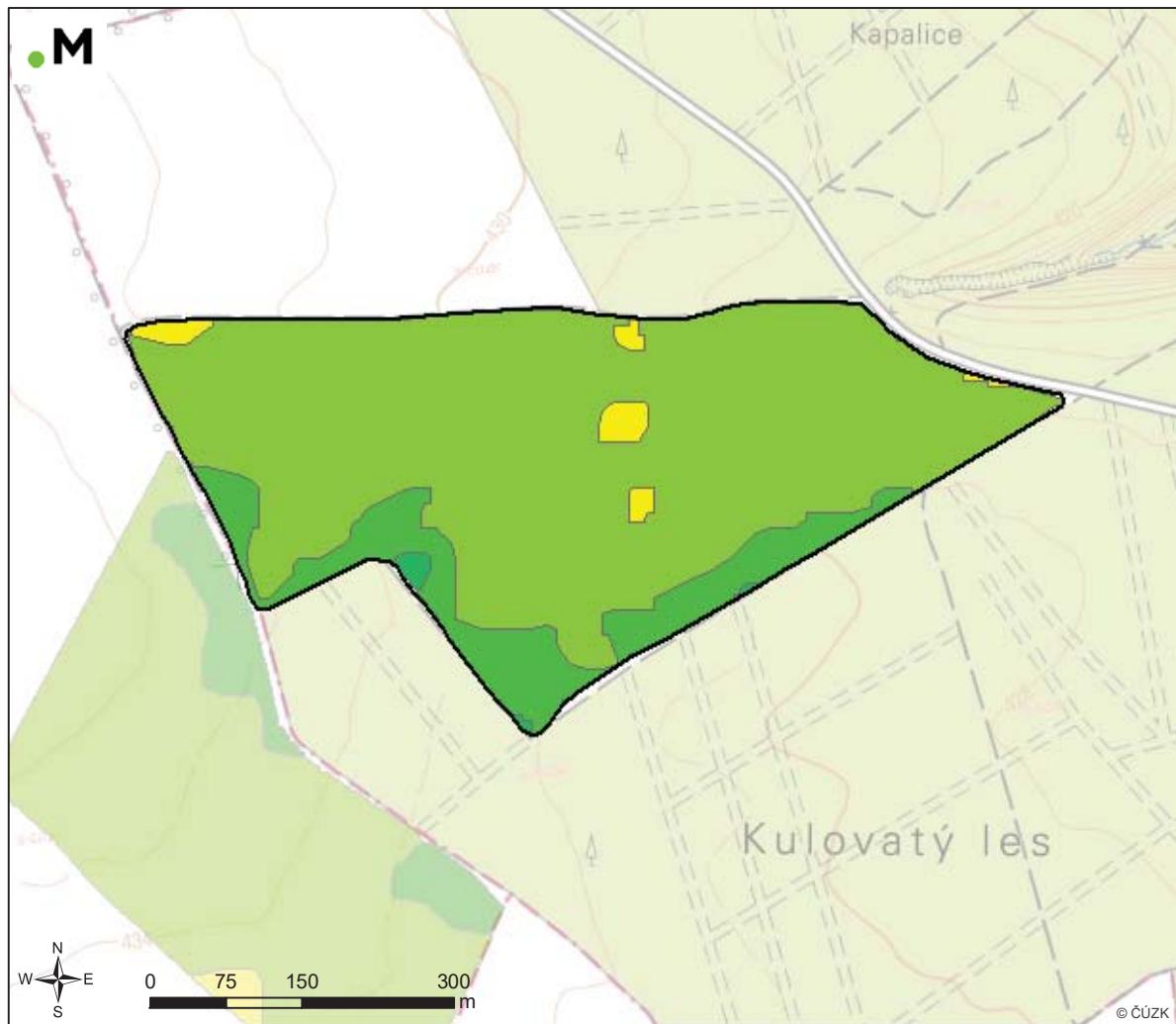
Legenda PZ [%]

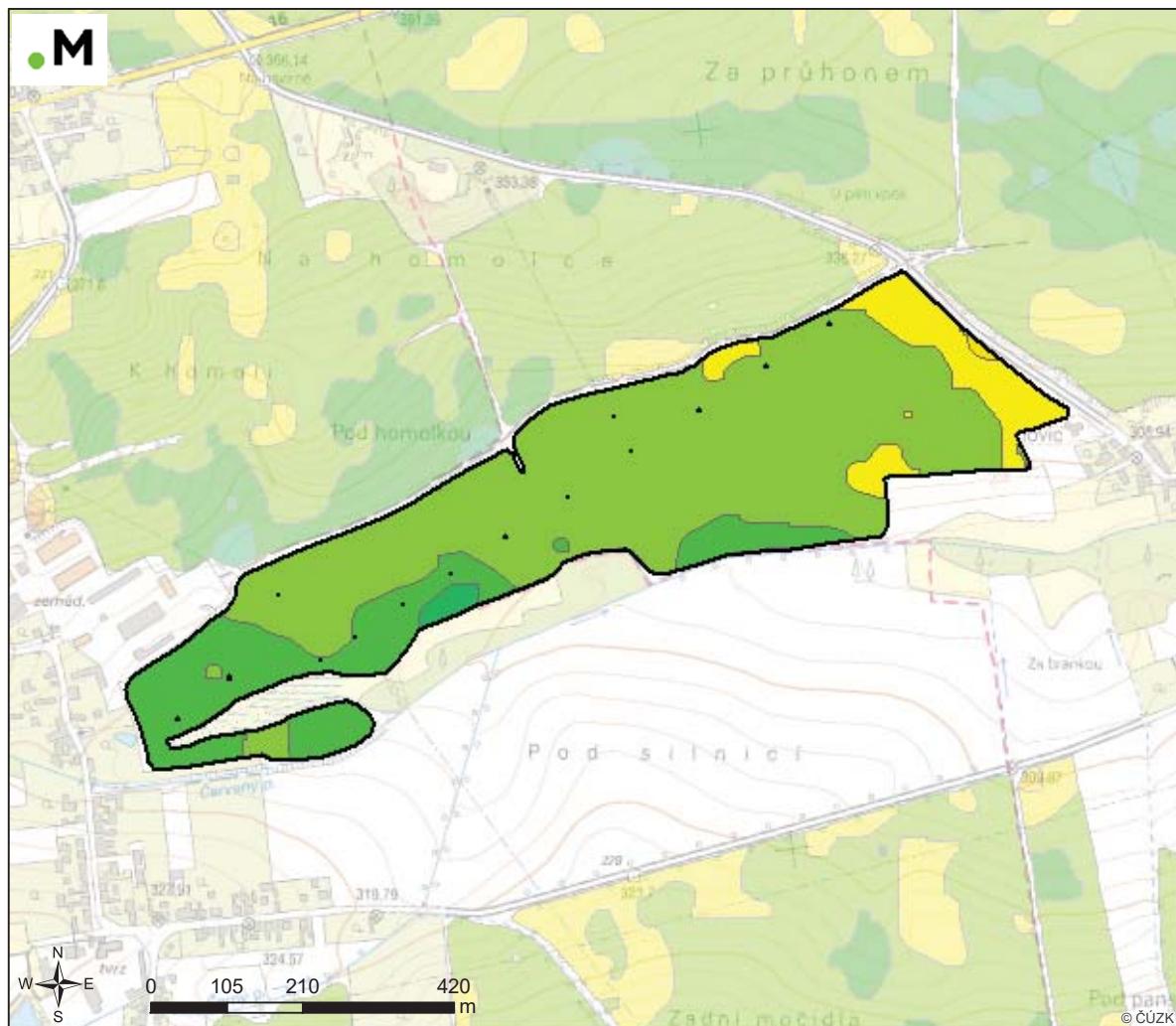
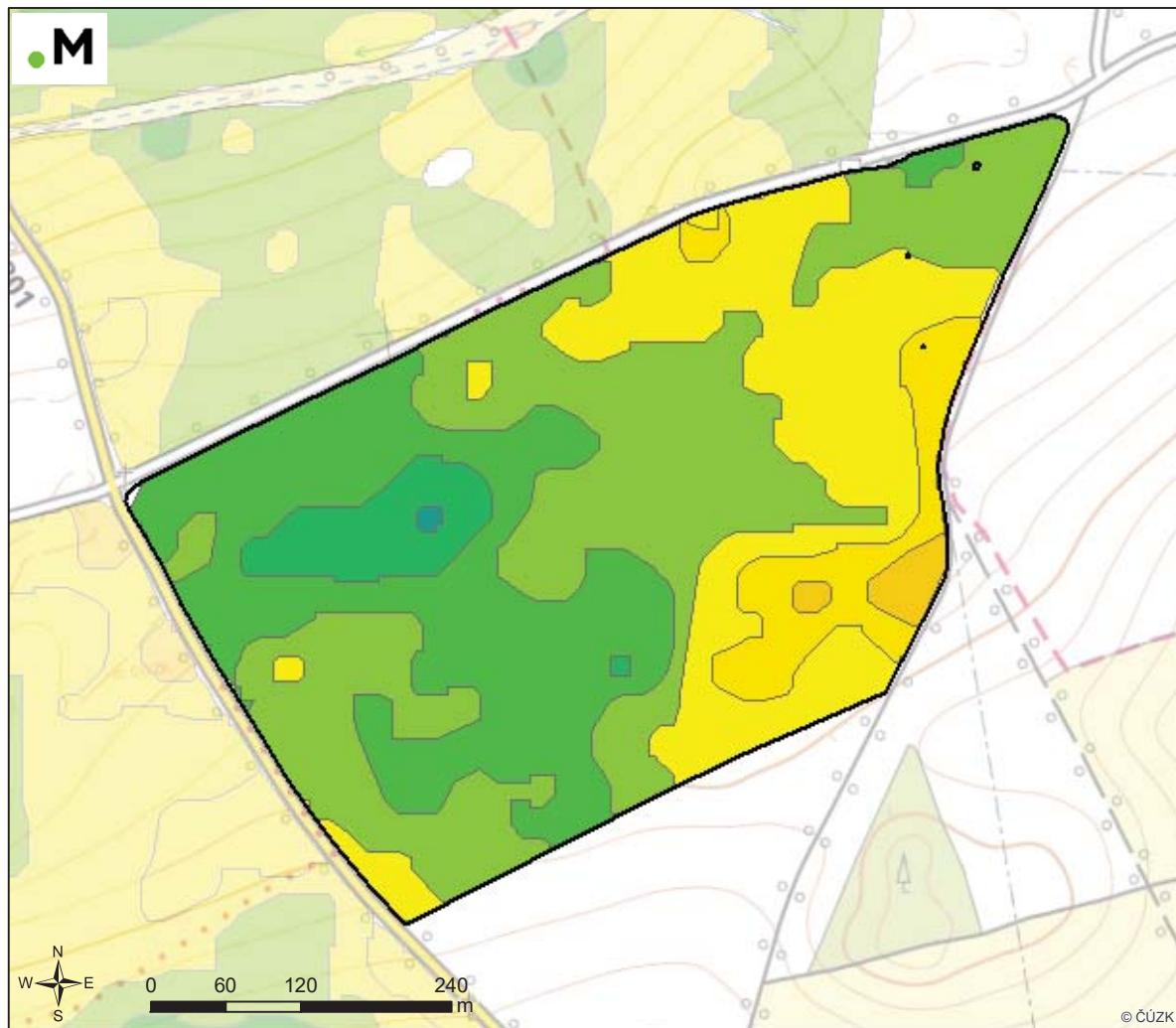
80
85
90
95
100
105
110
115

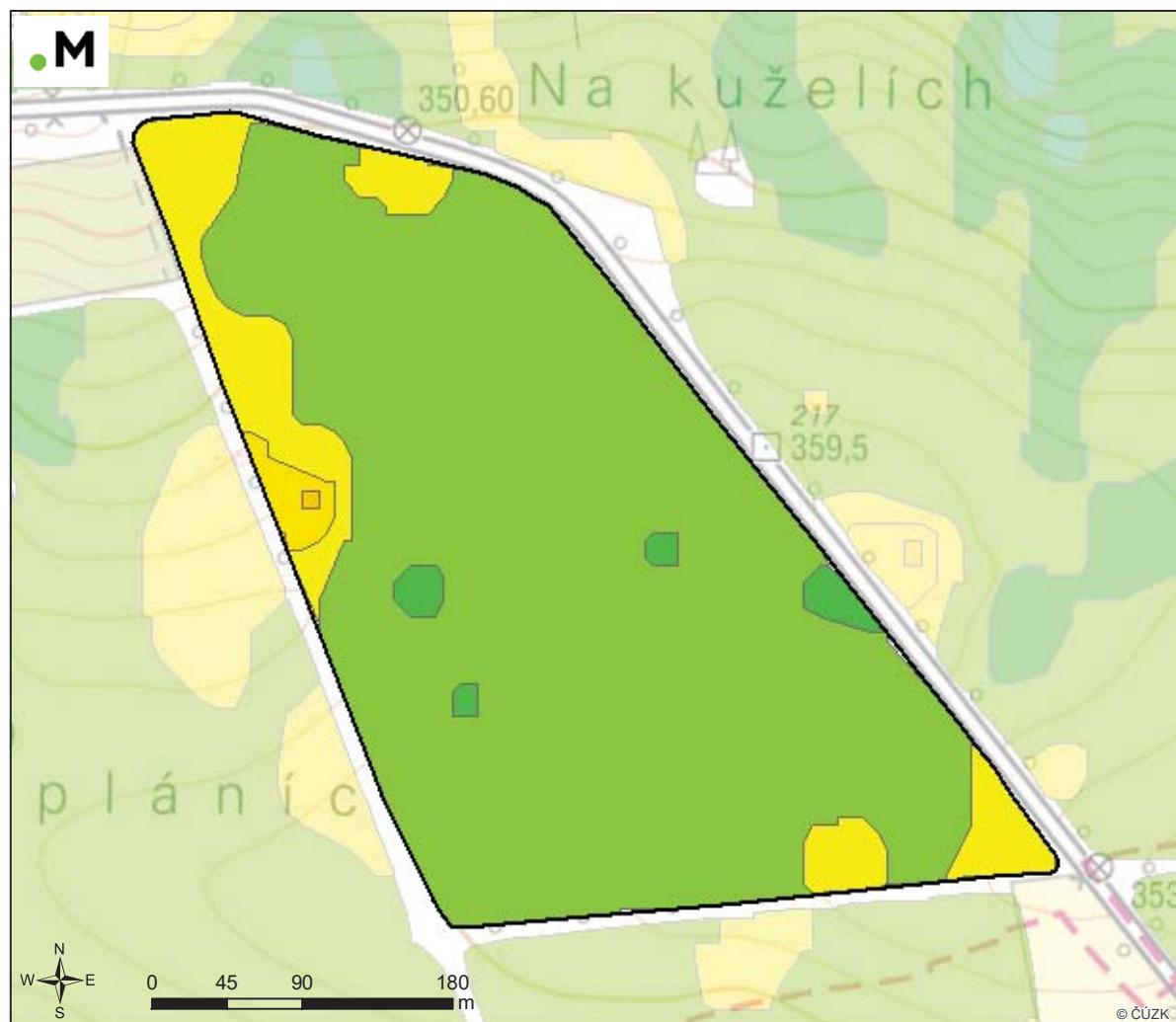
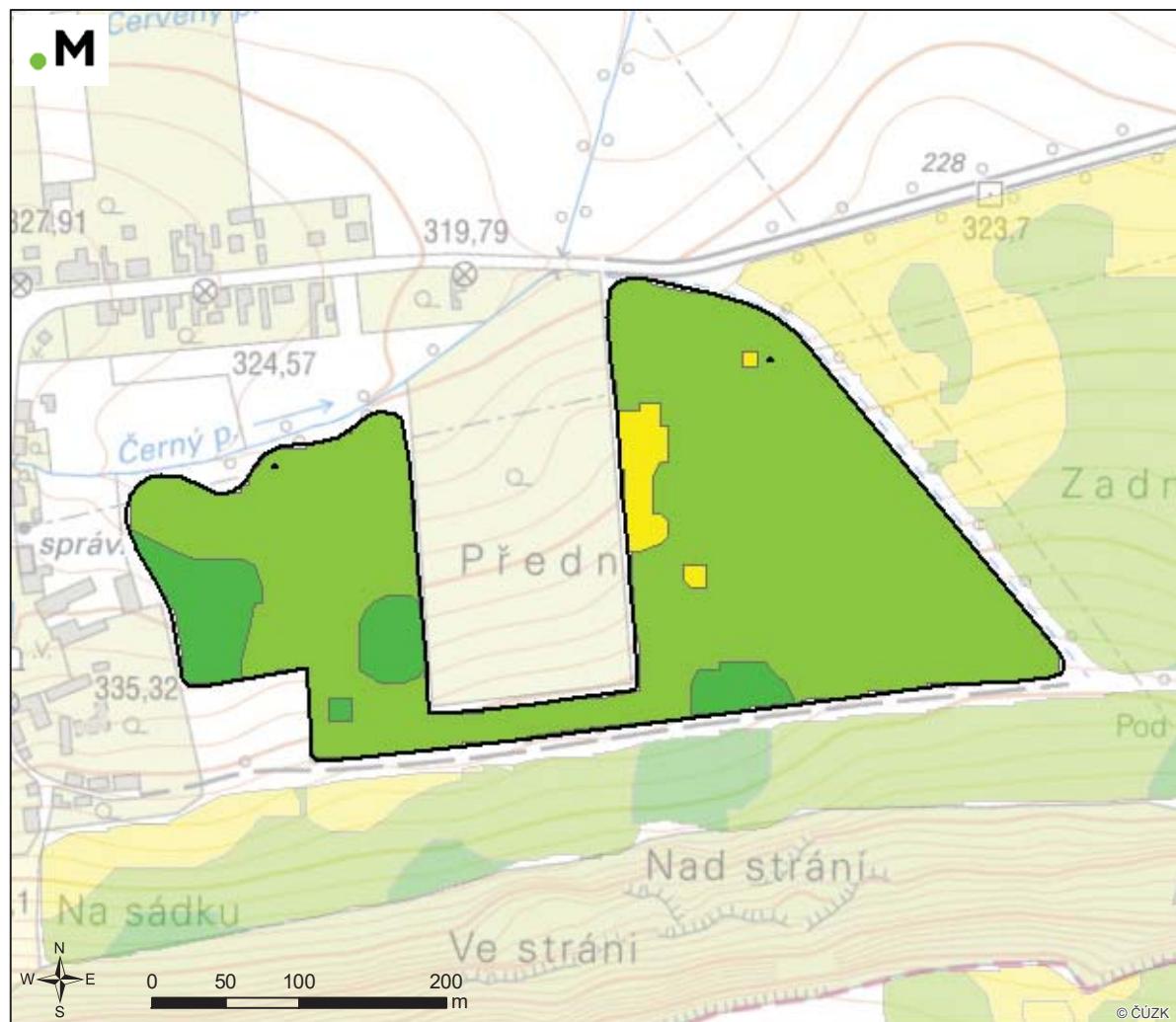


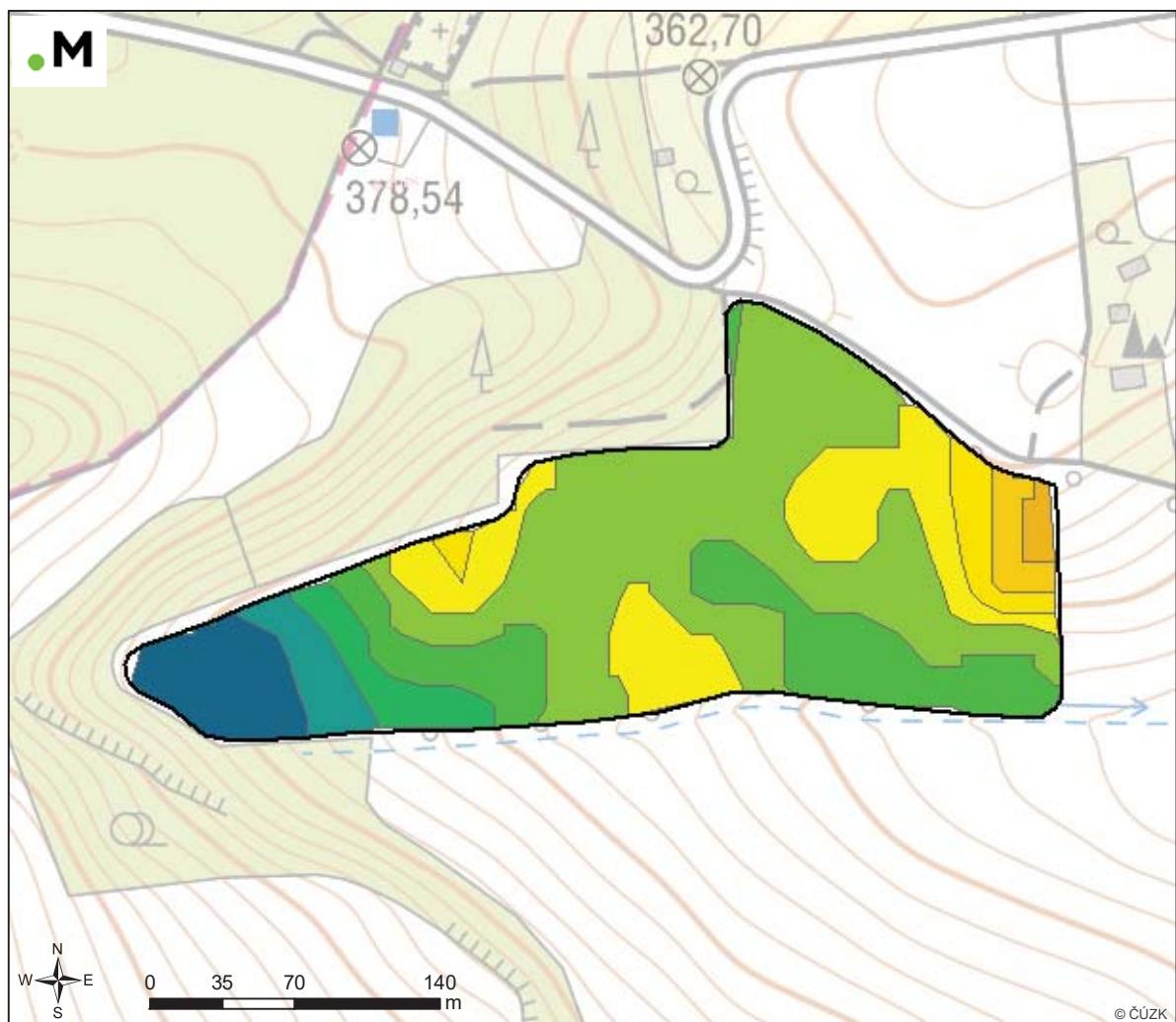
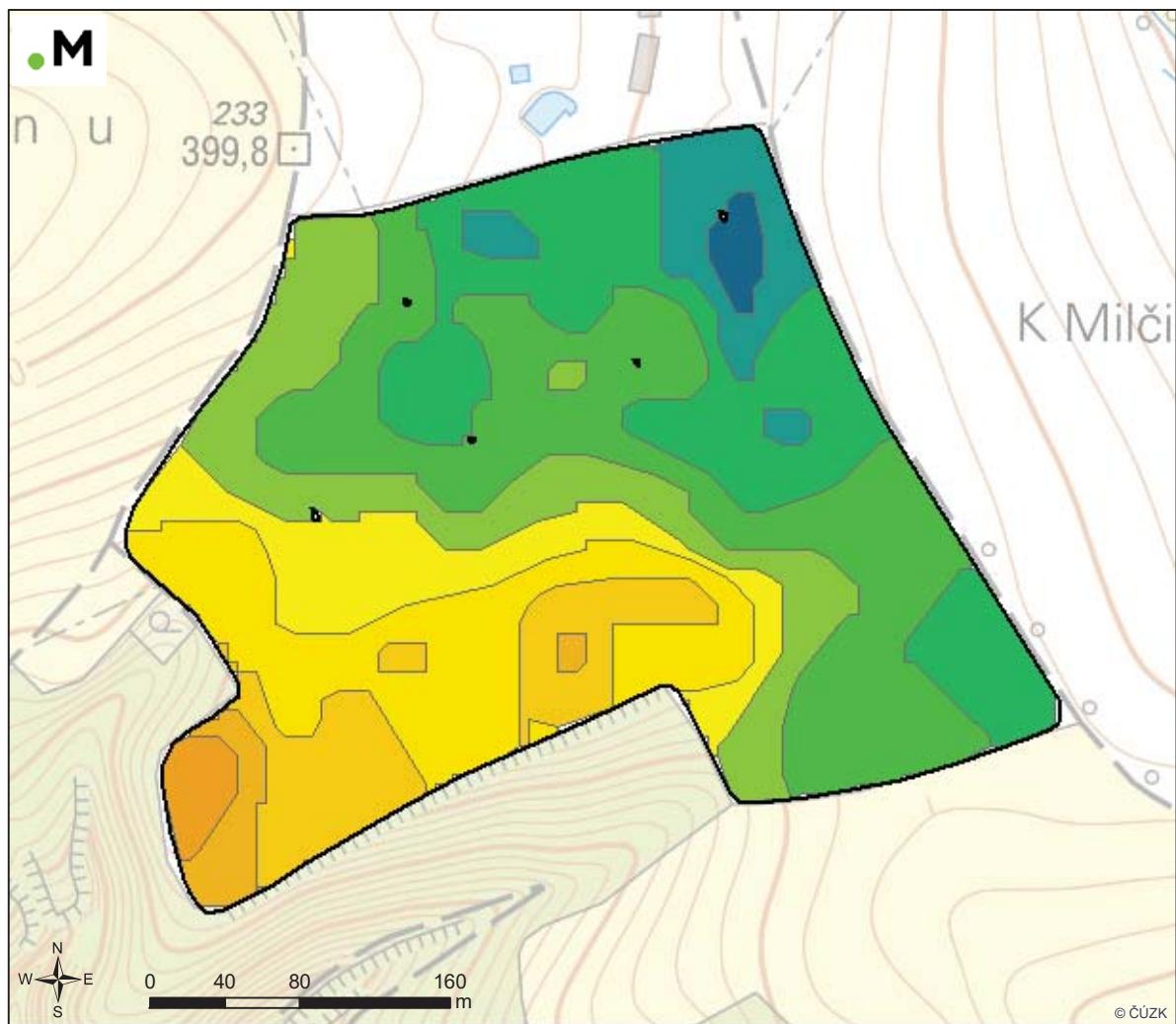


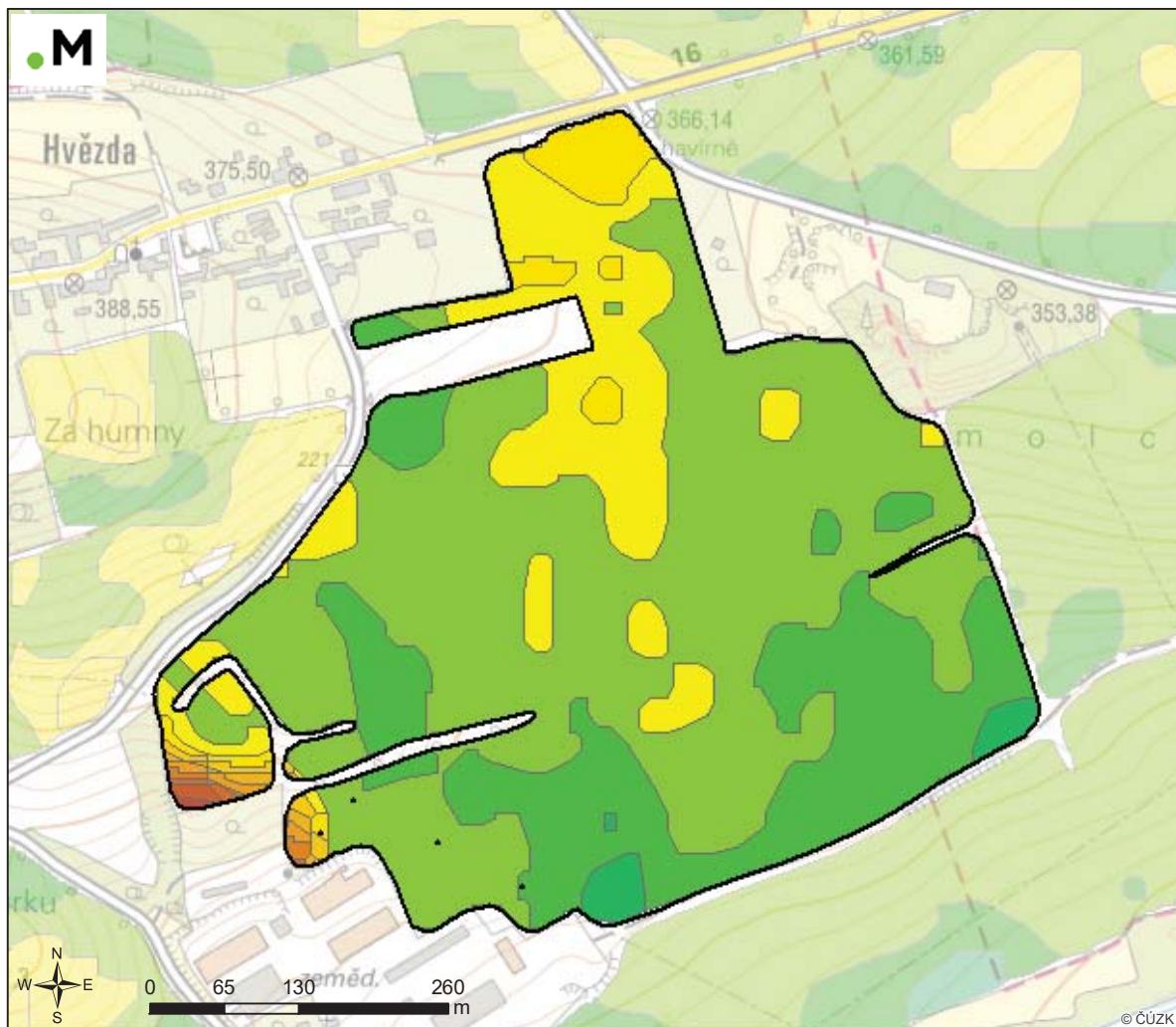
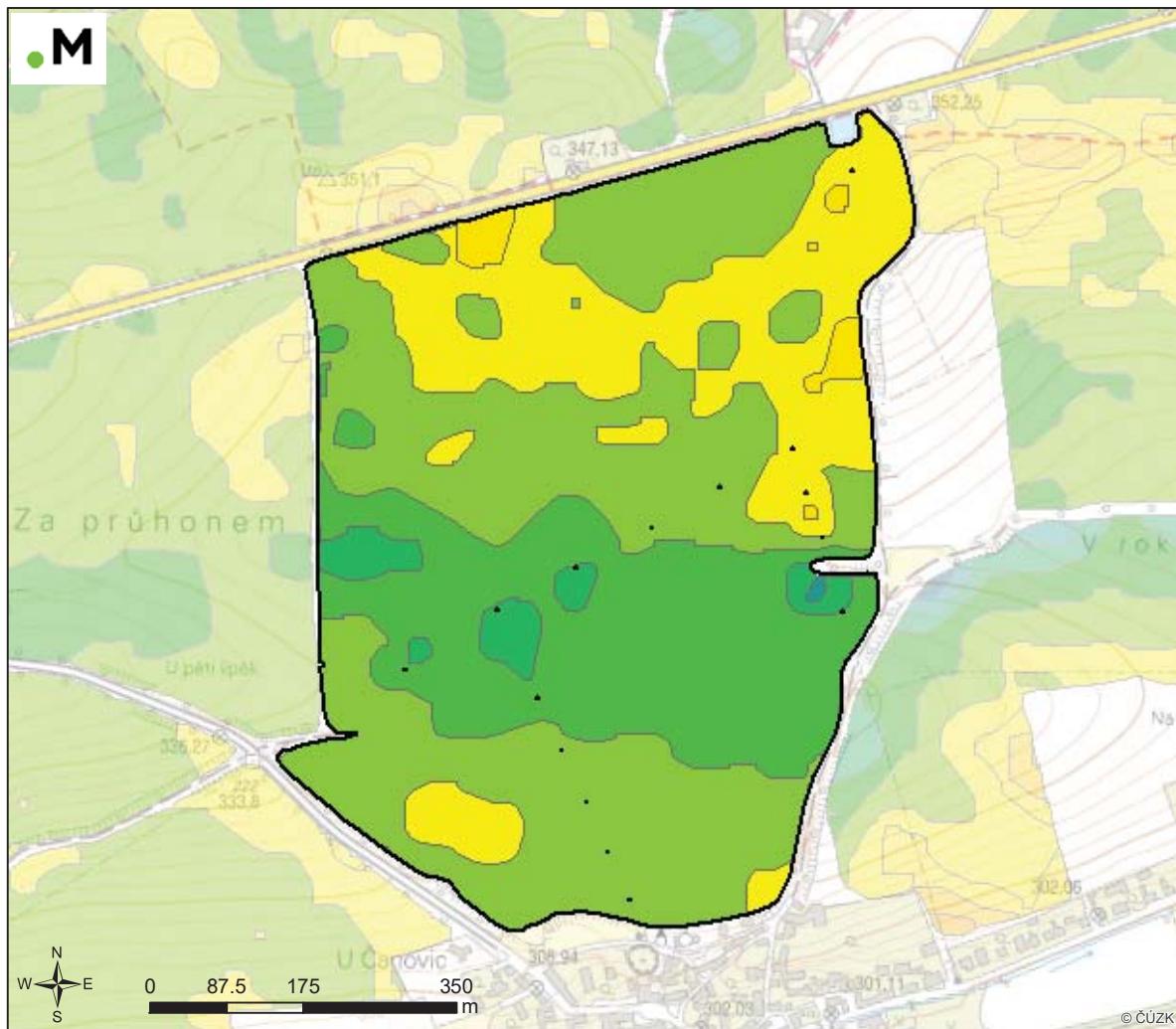


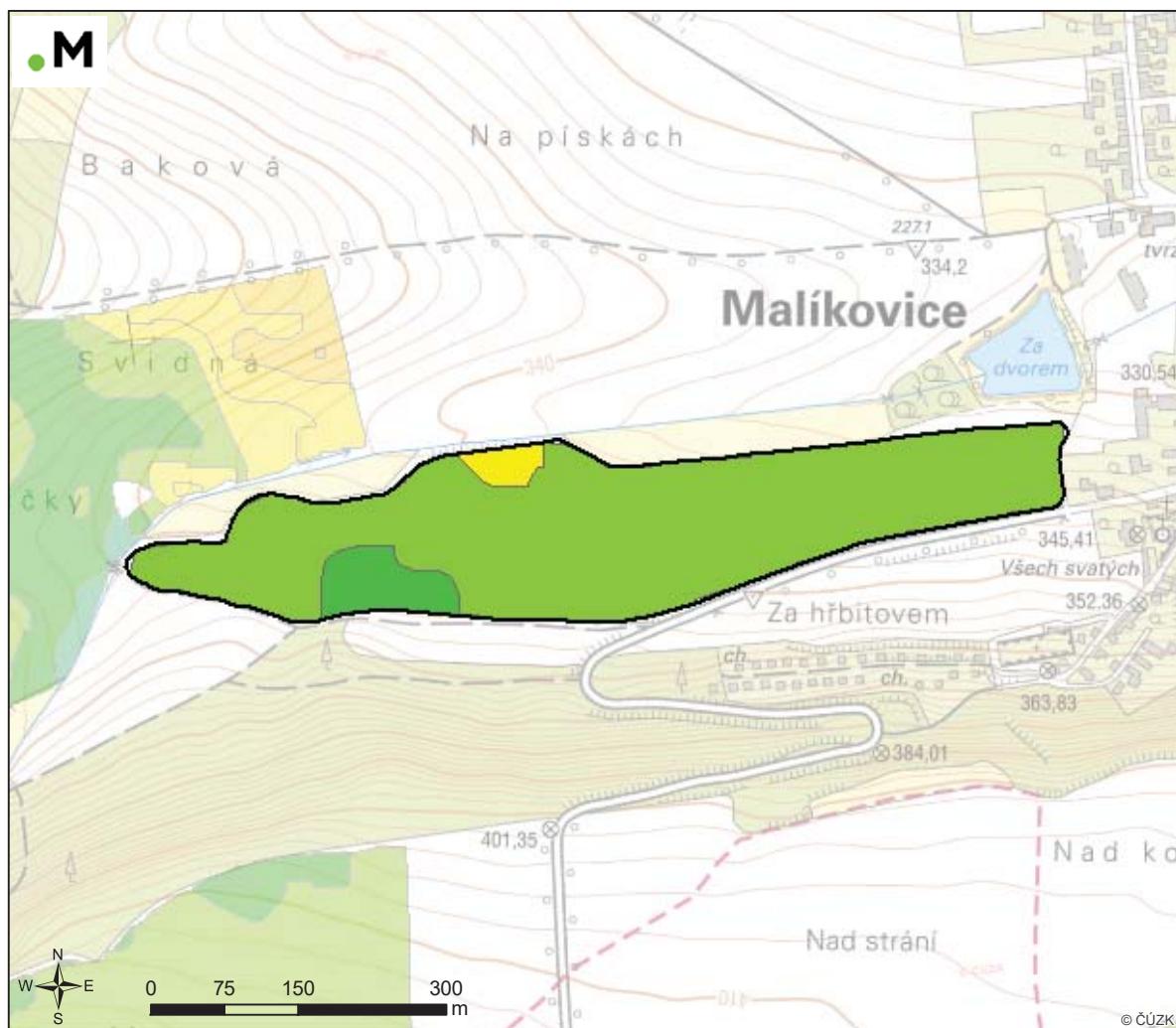
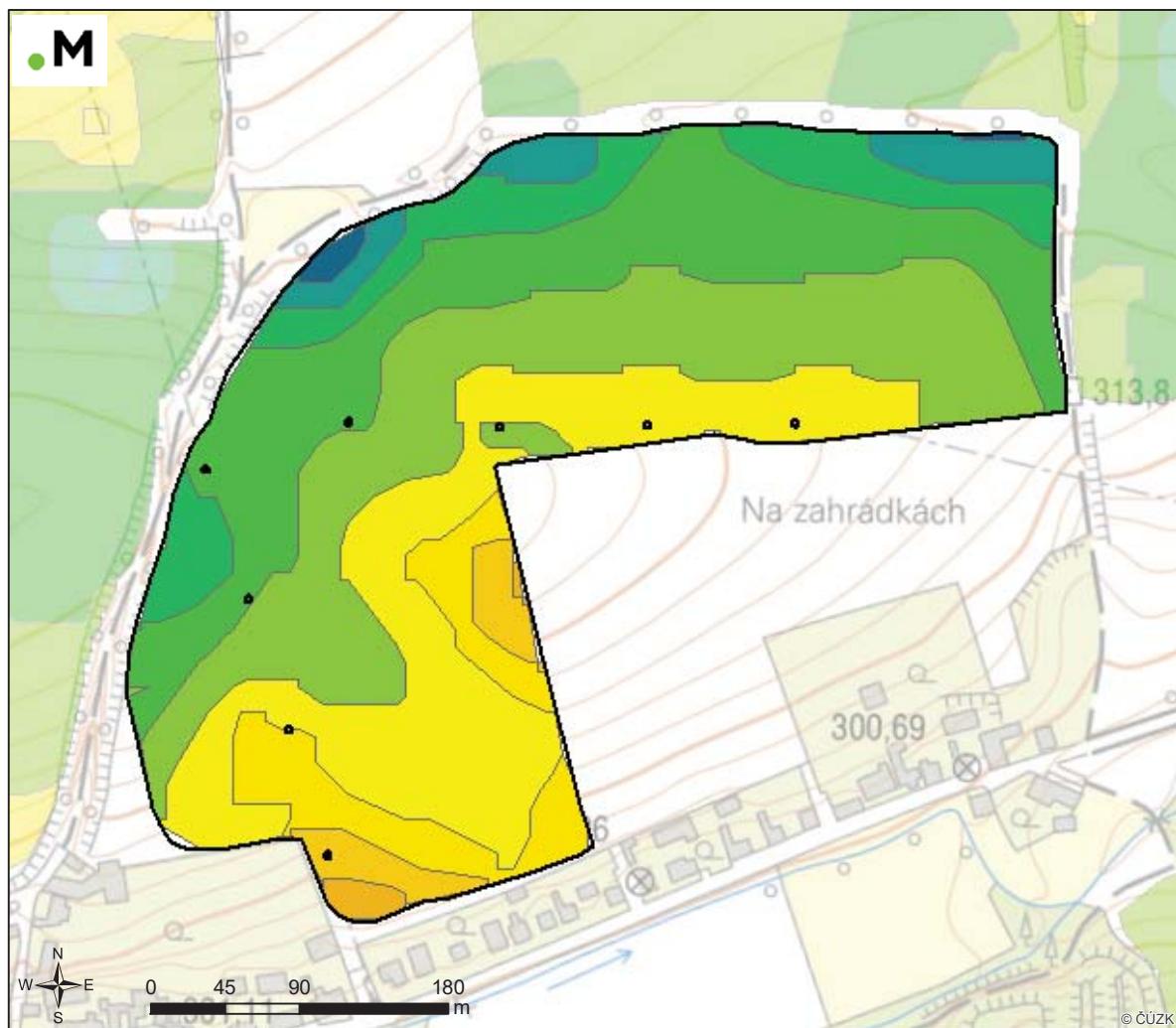


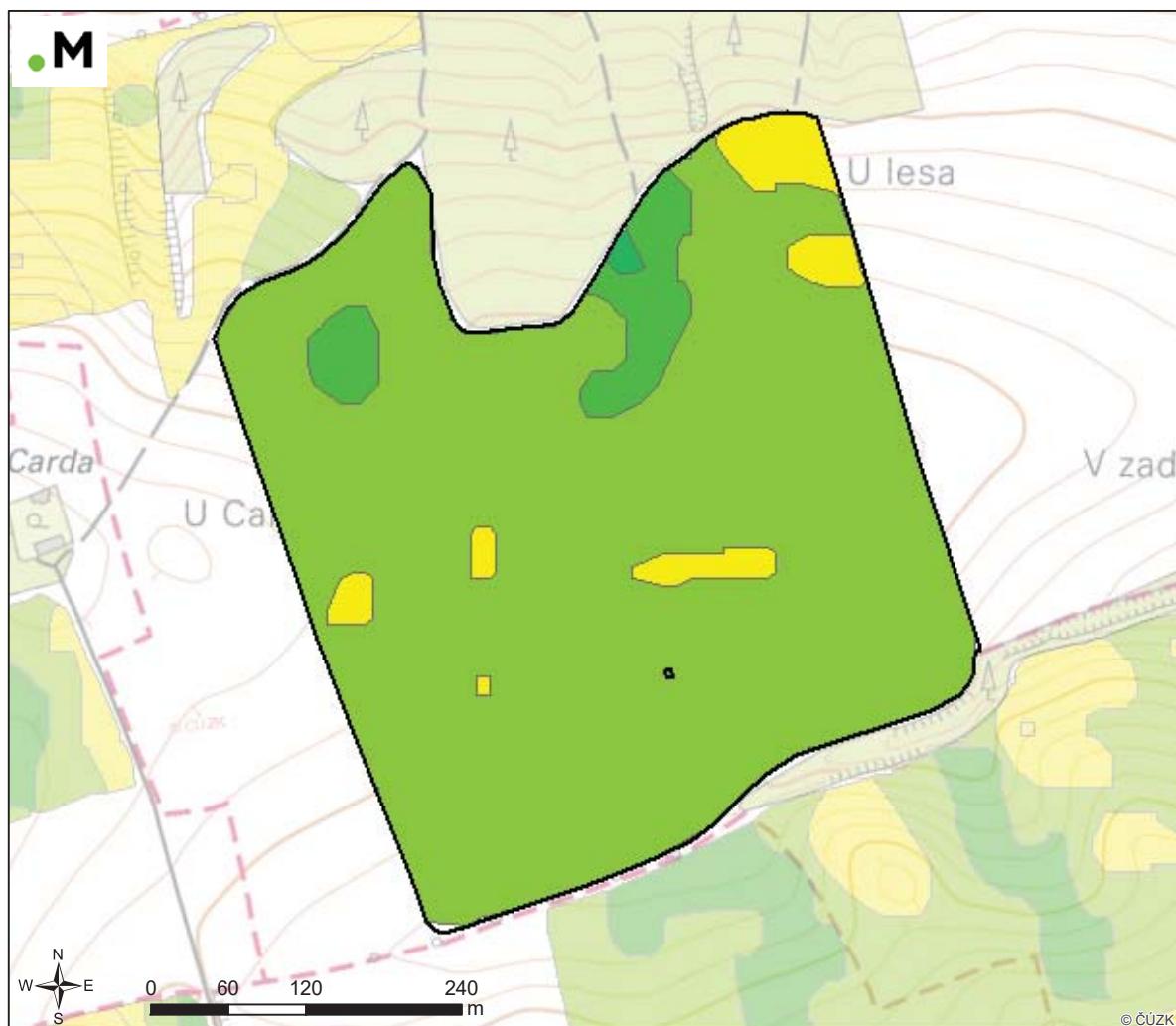
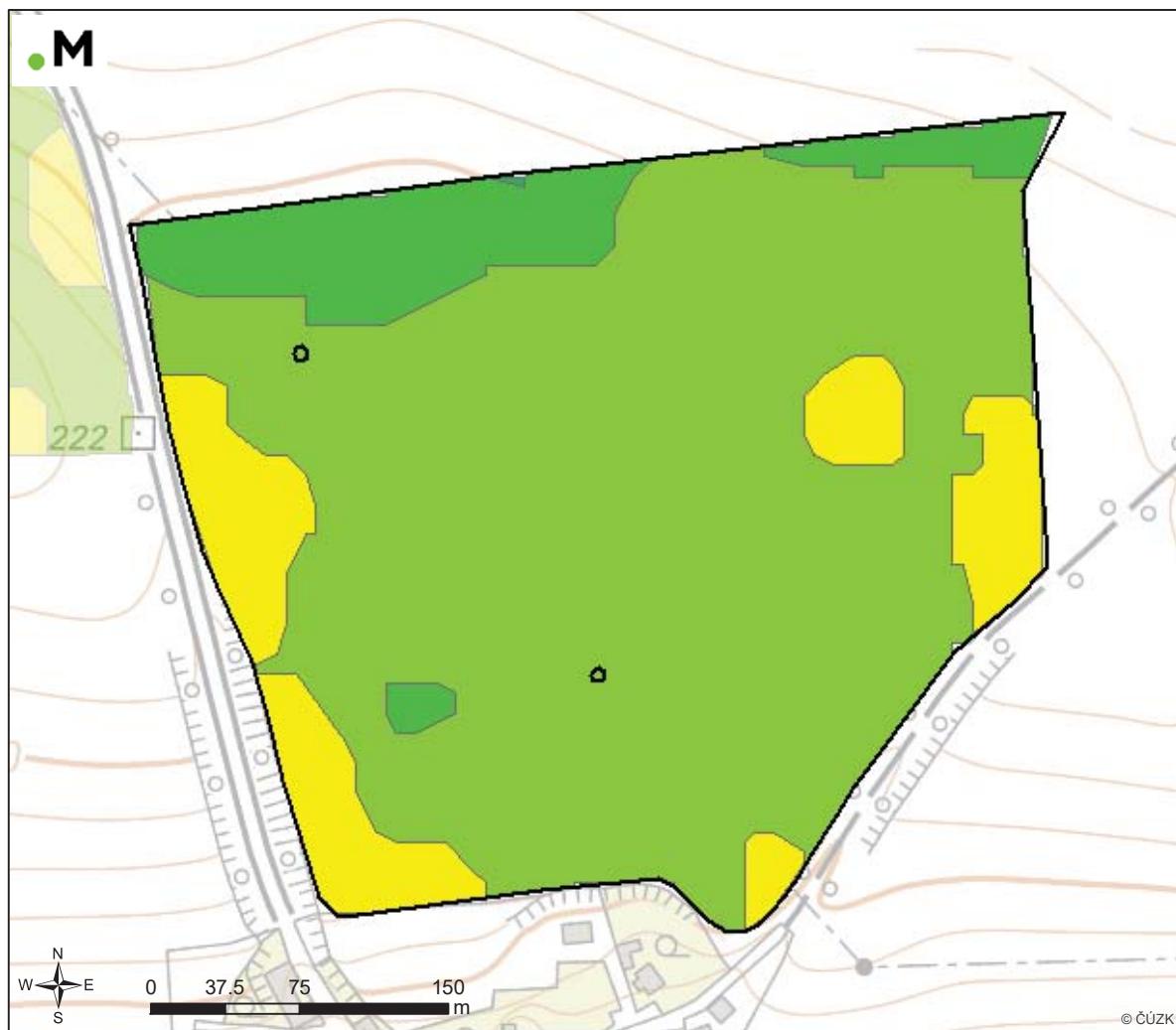


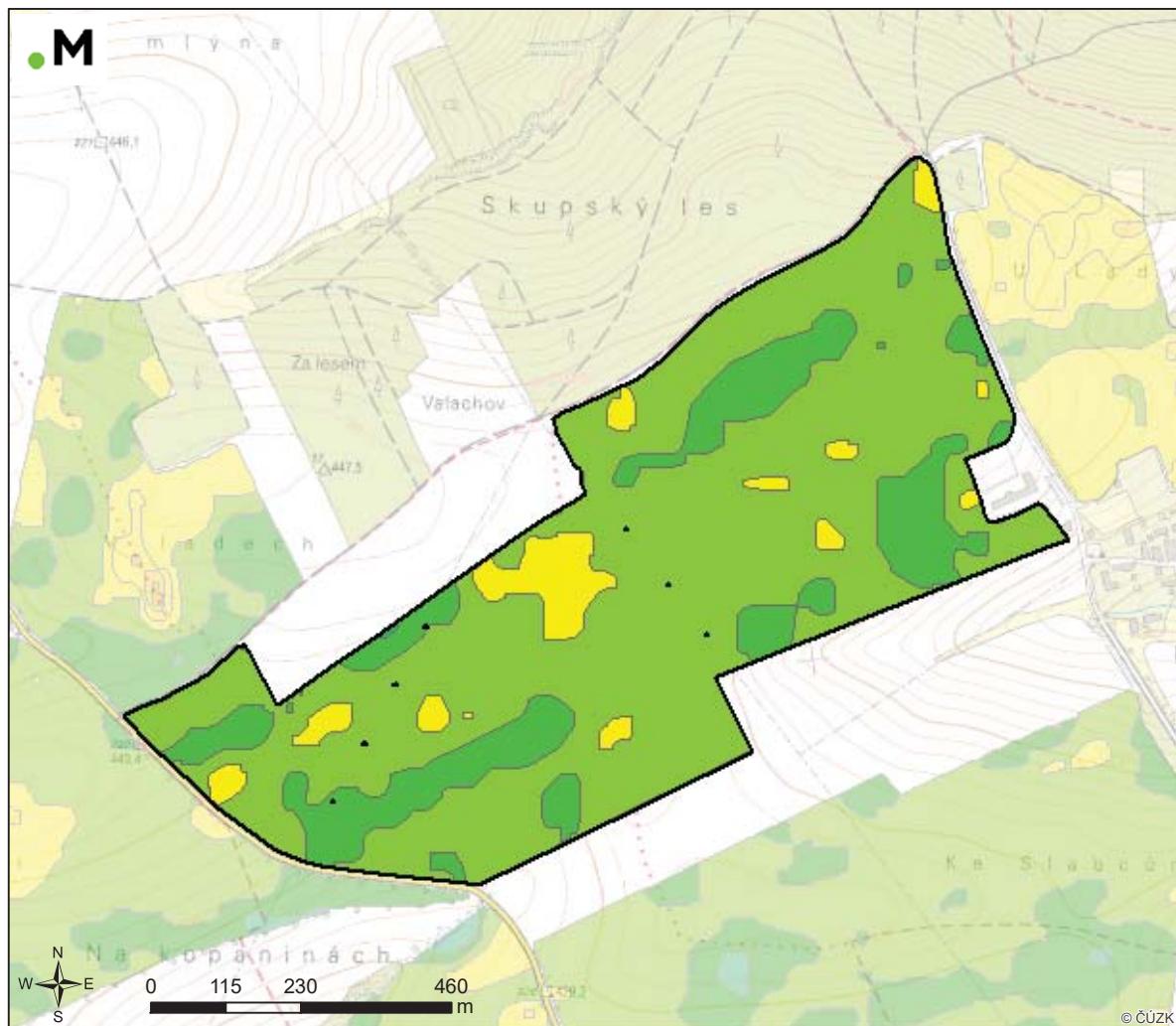
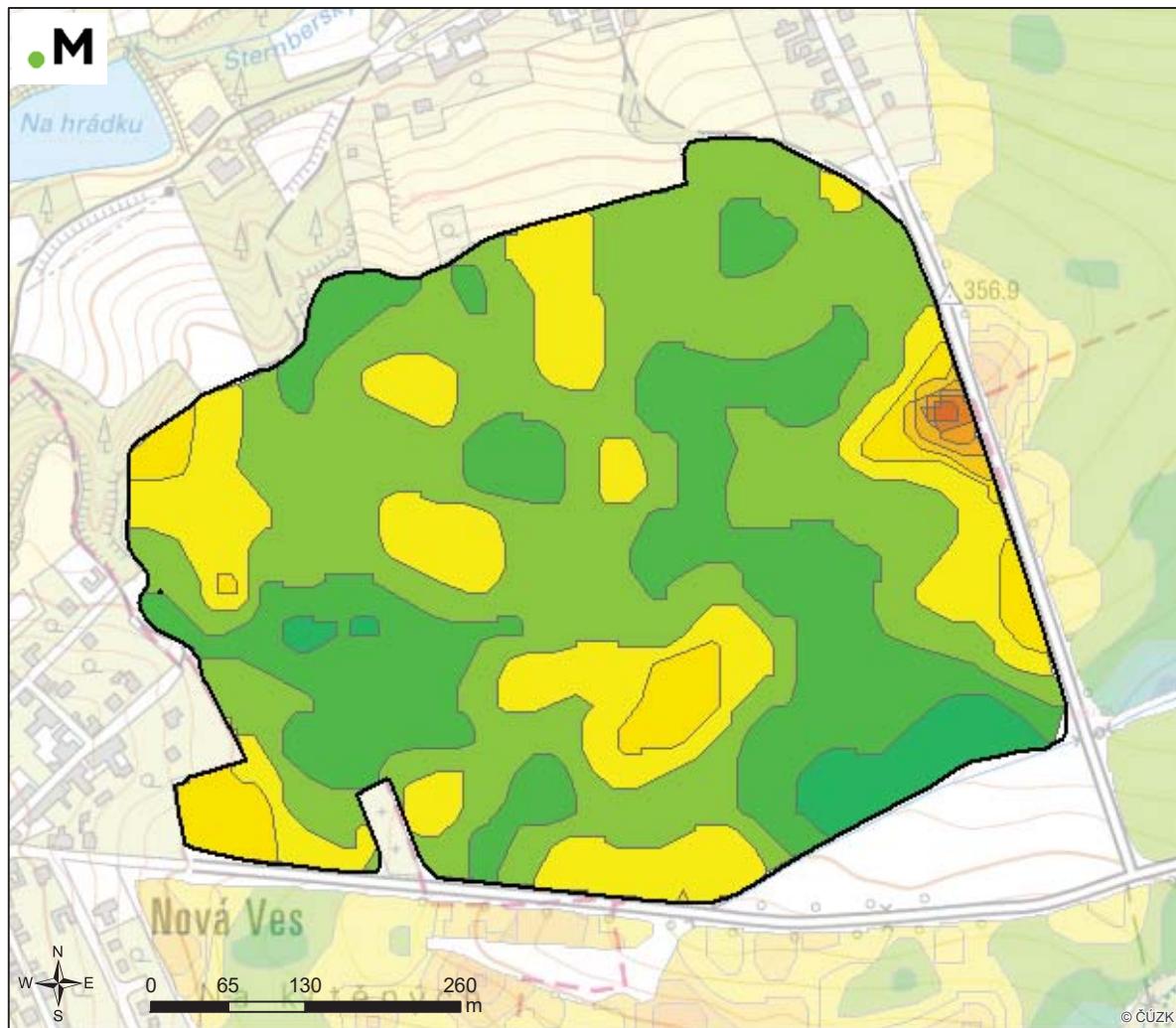


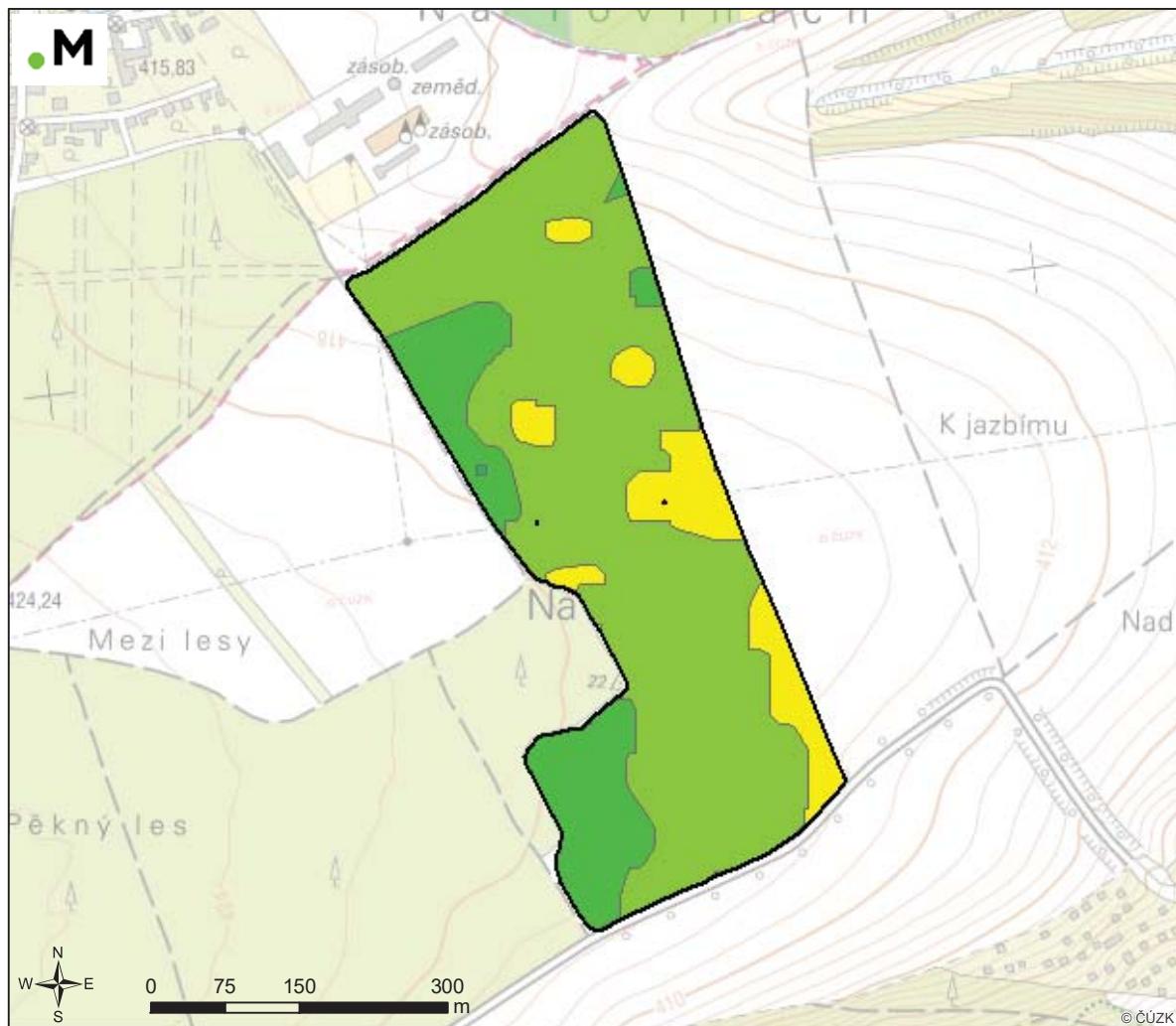
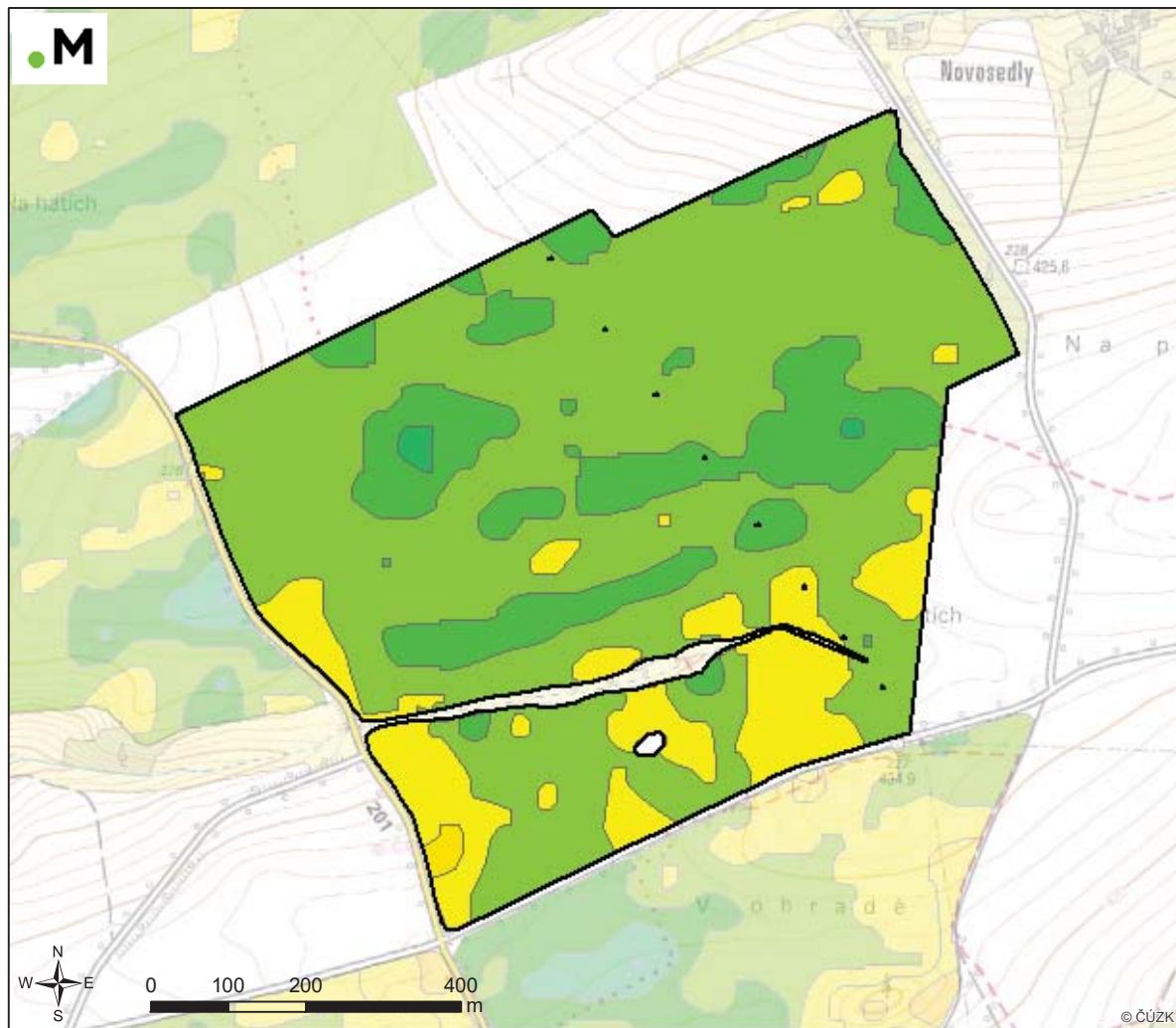


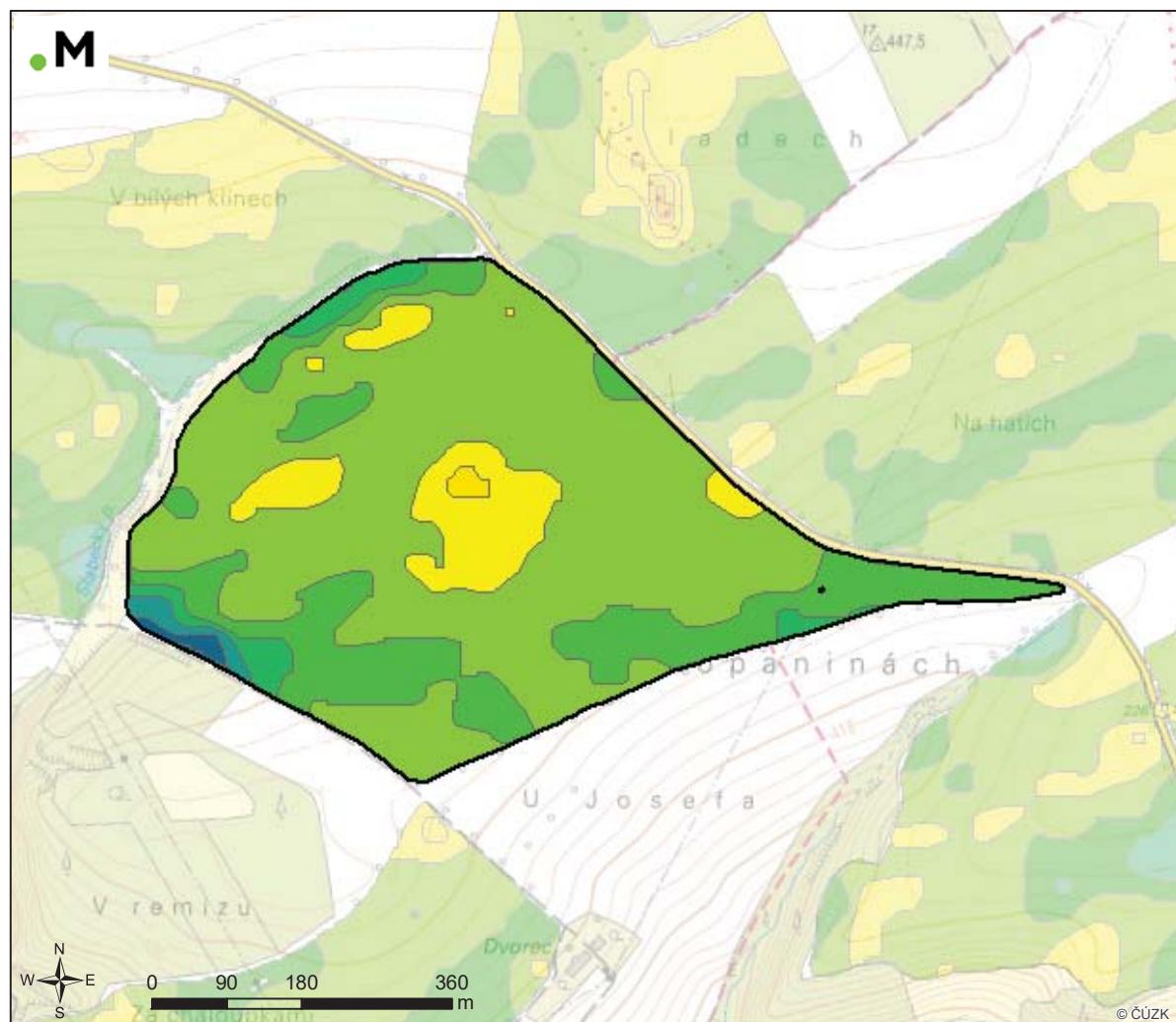


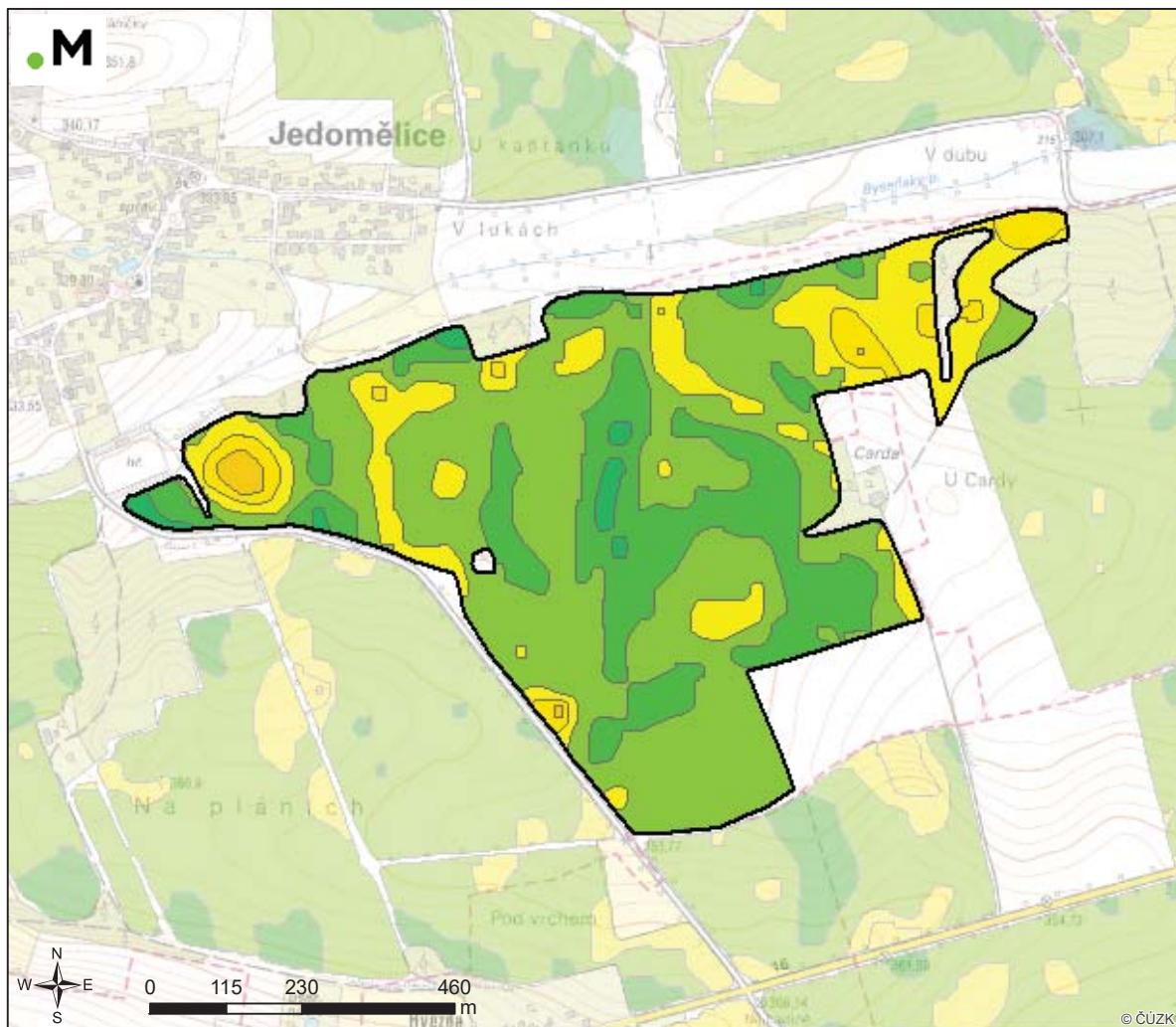
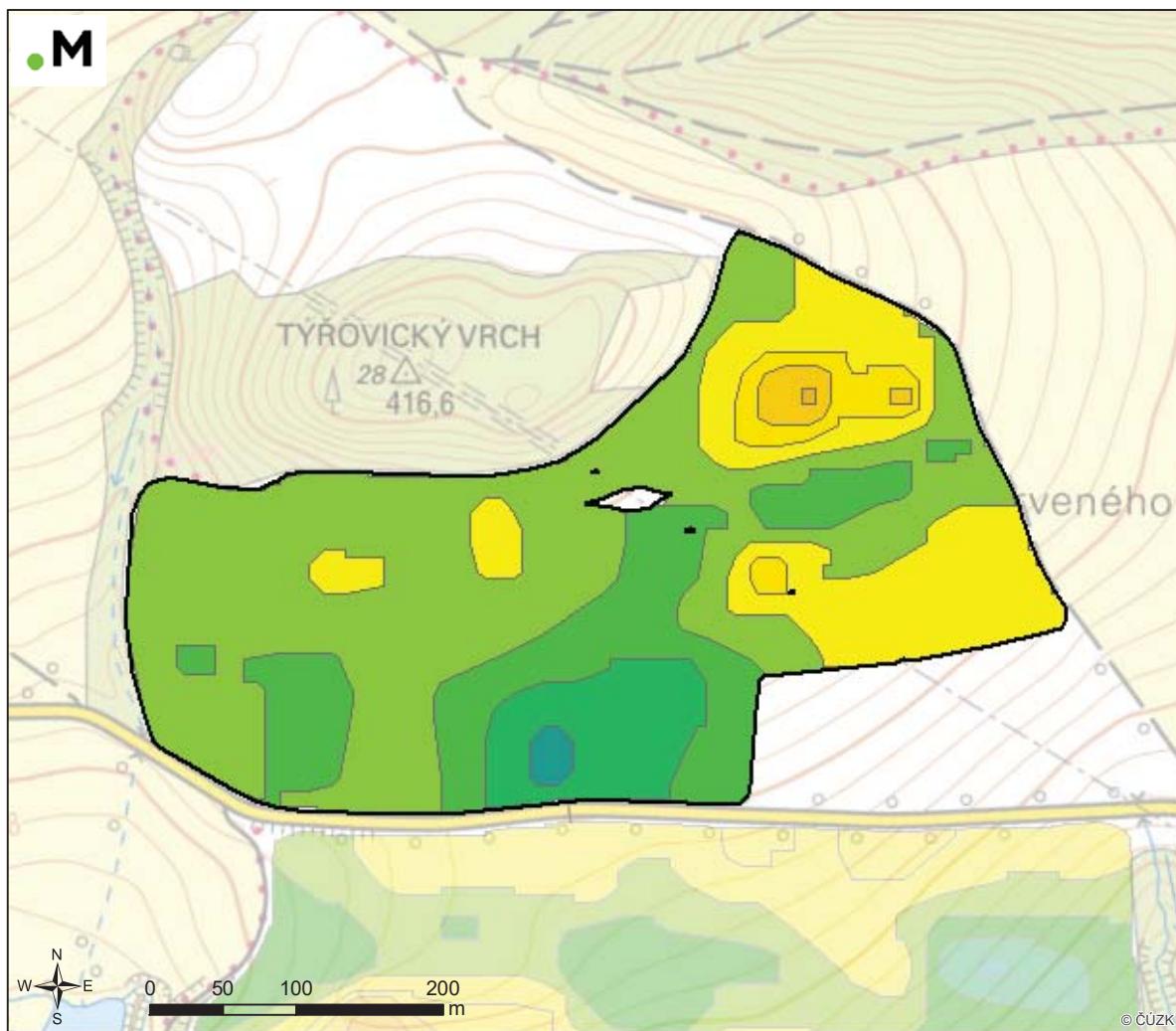


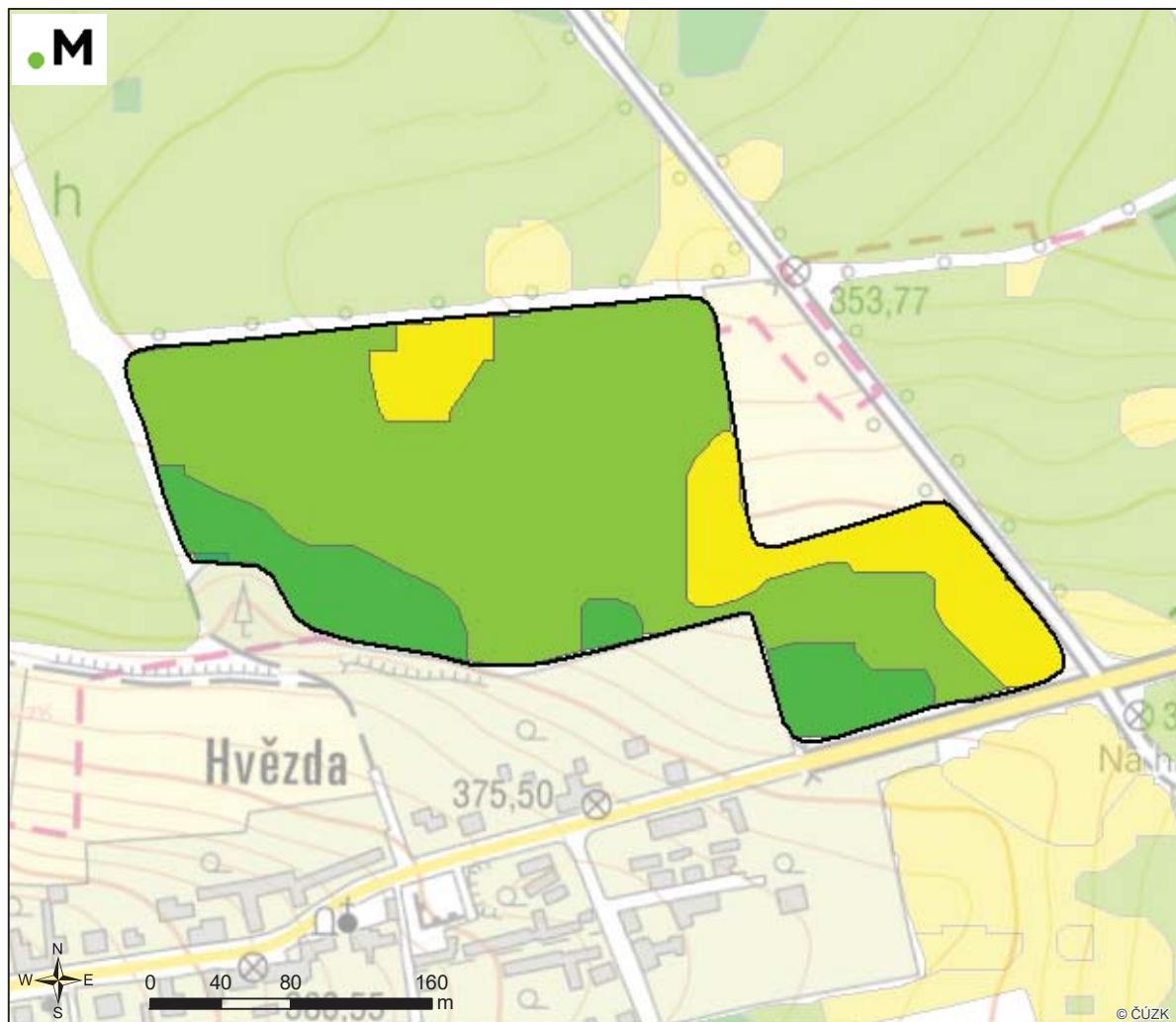
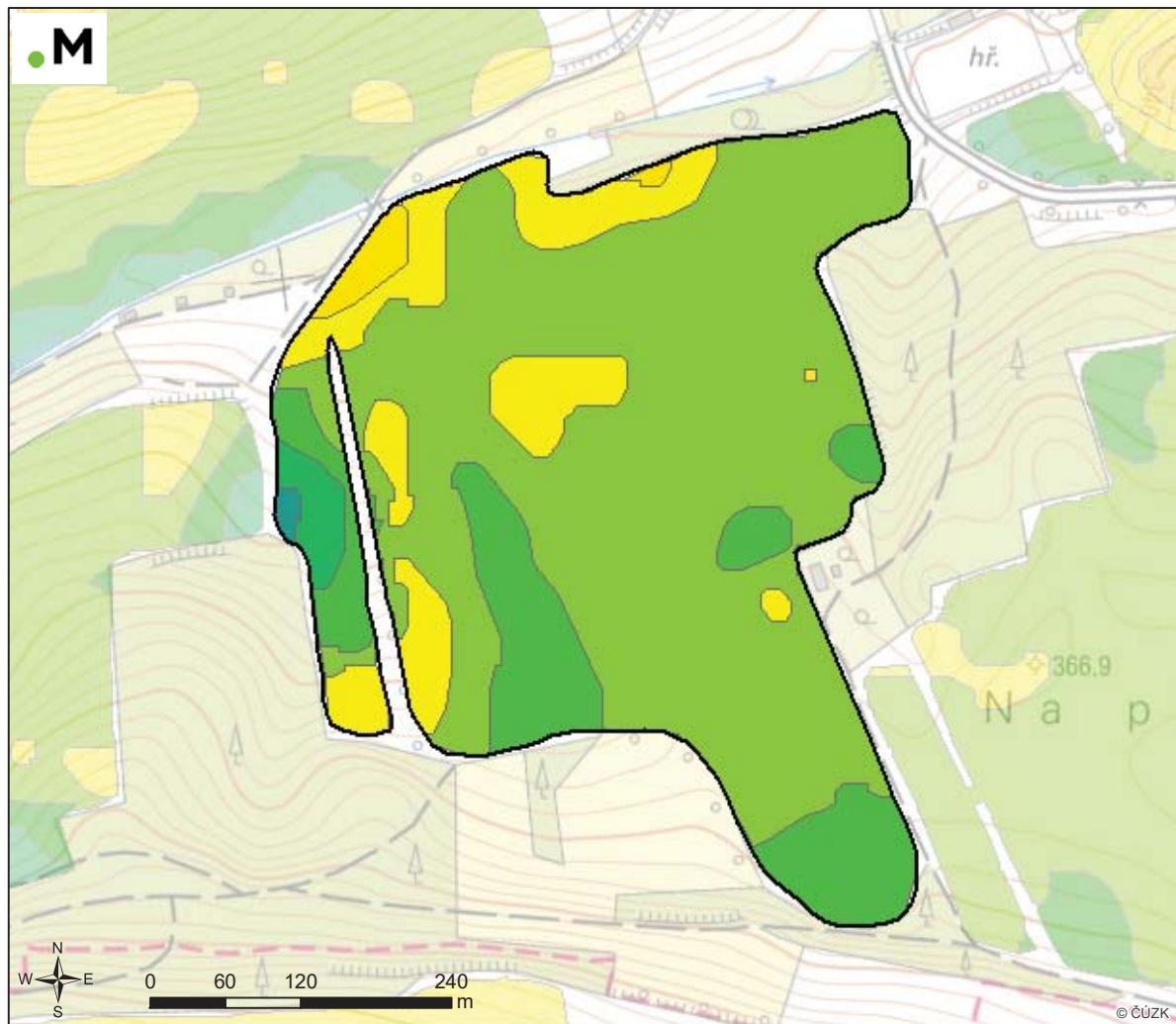


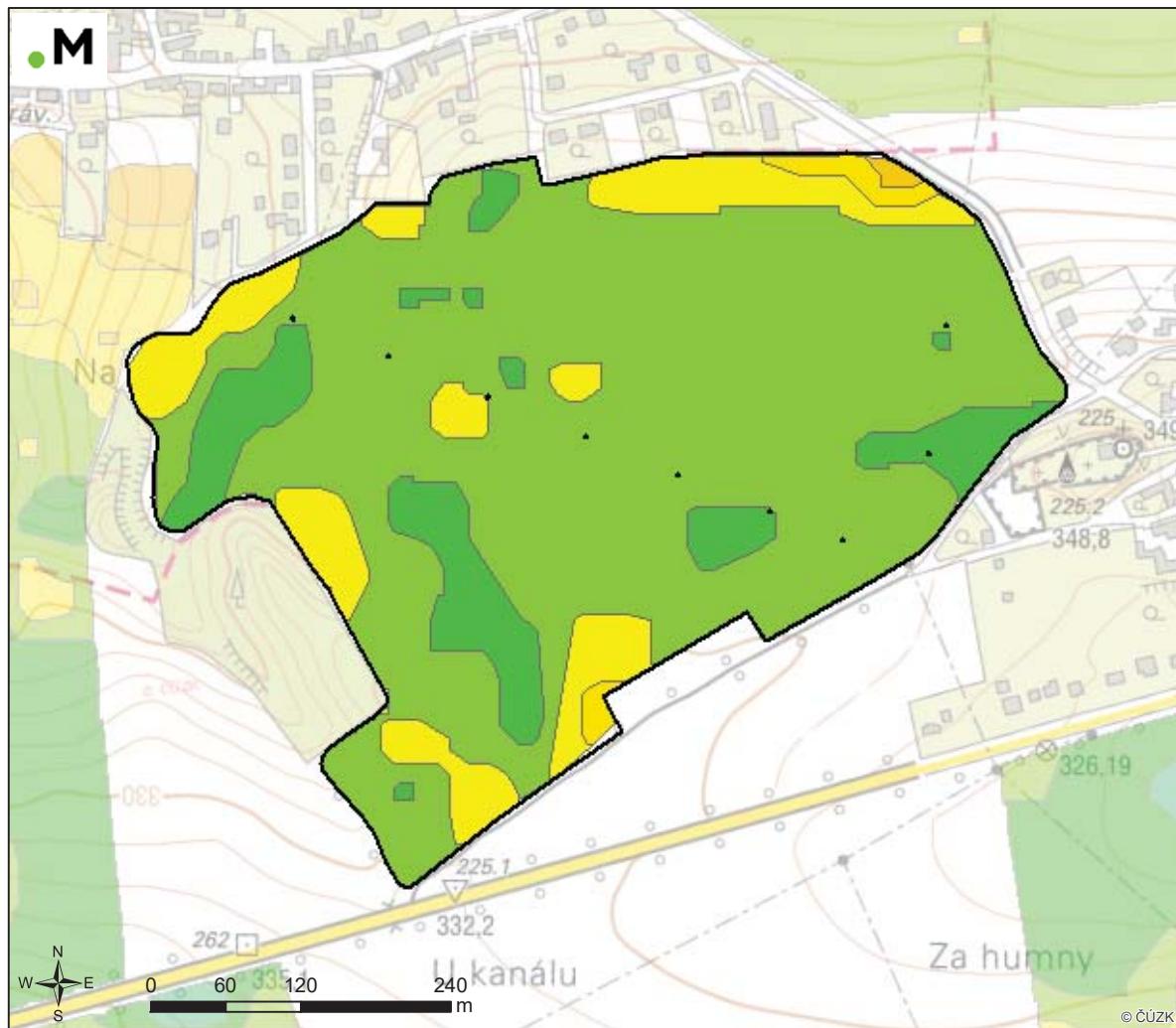


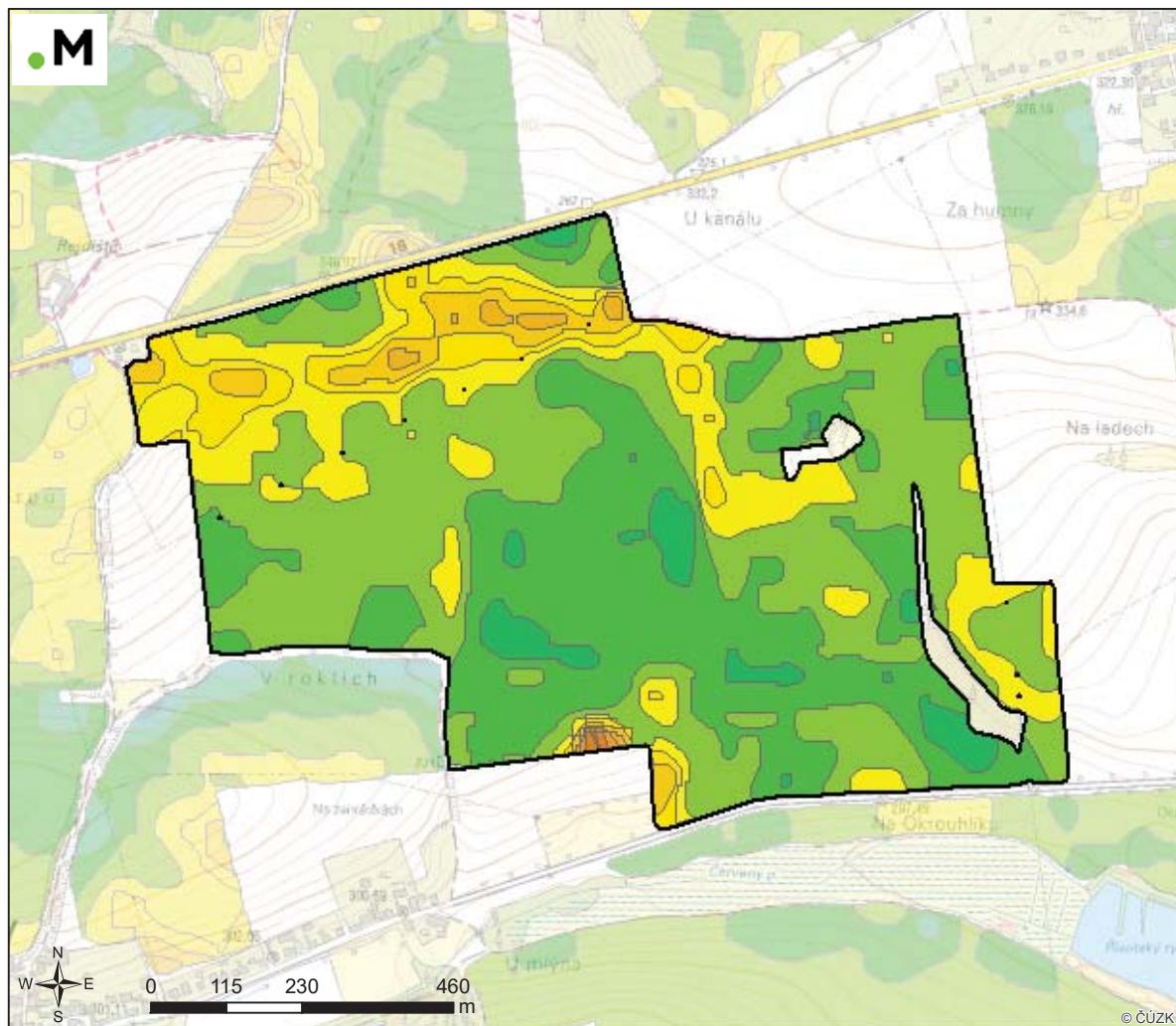
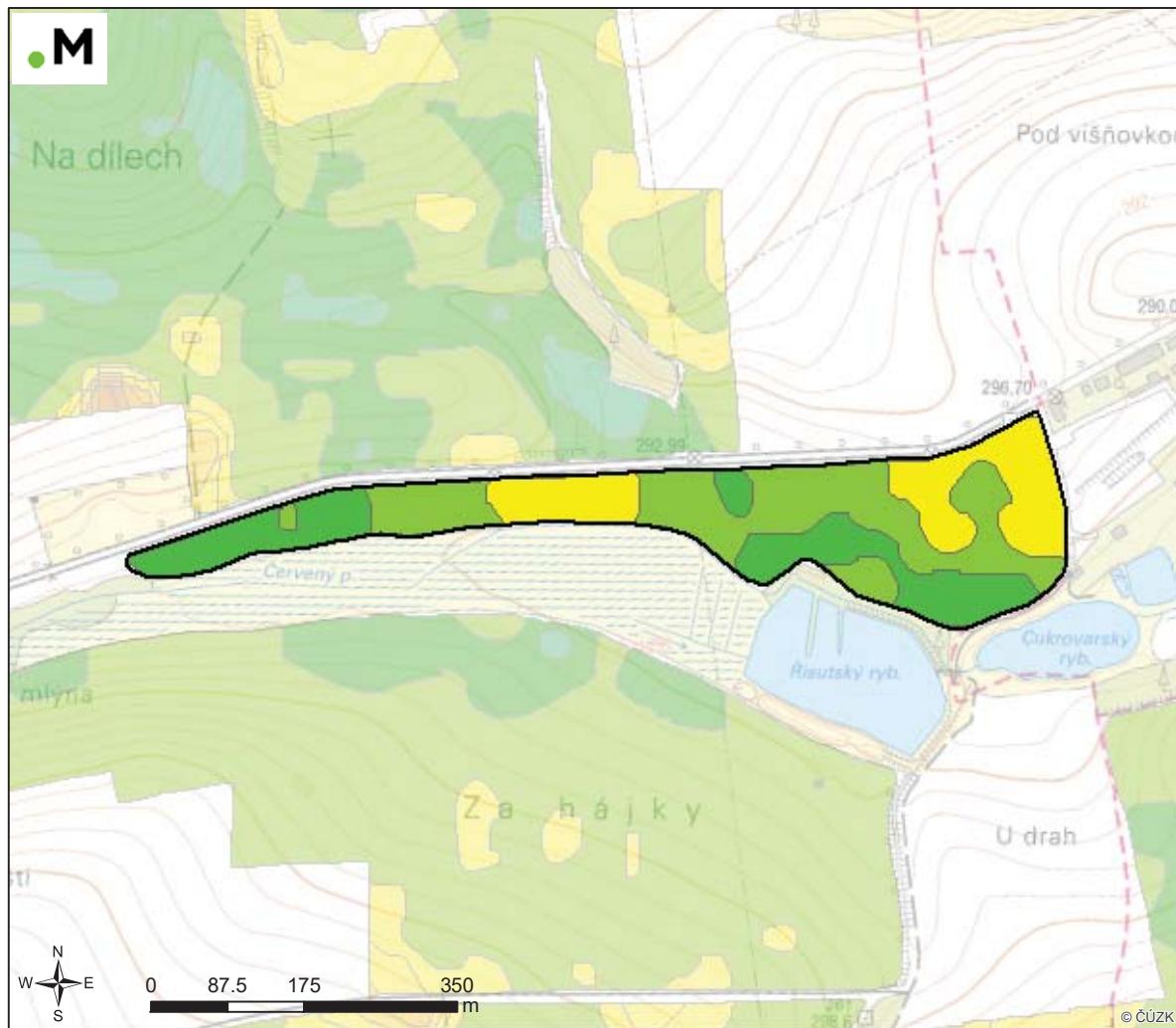


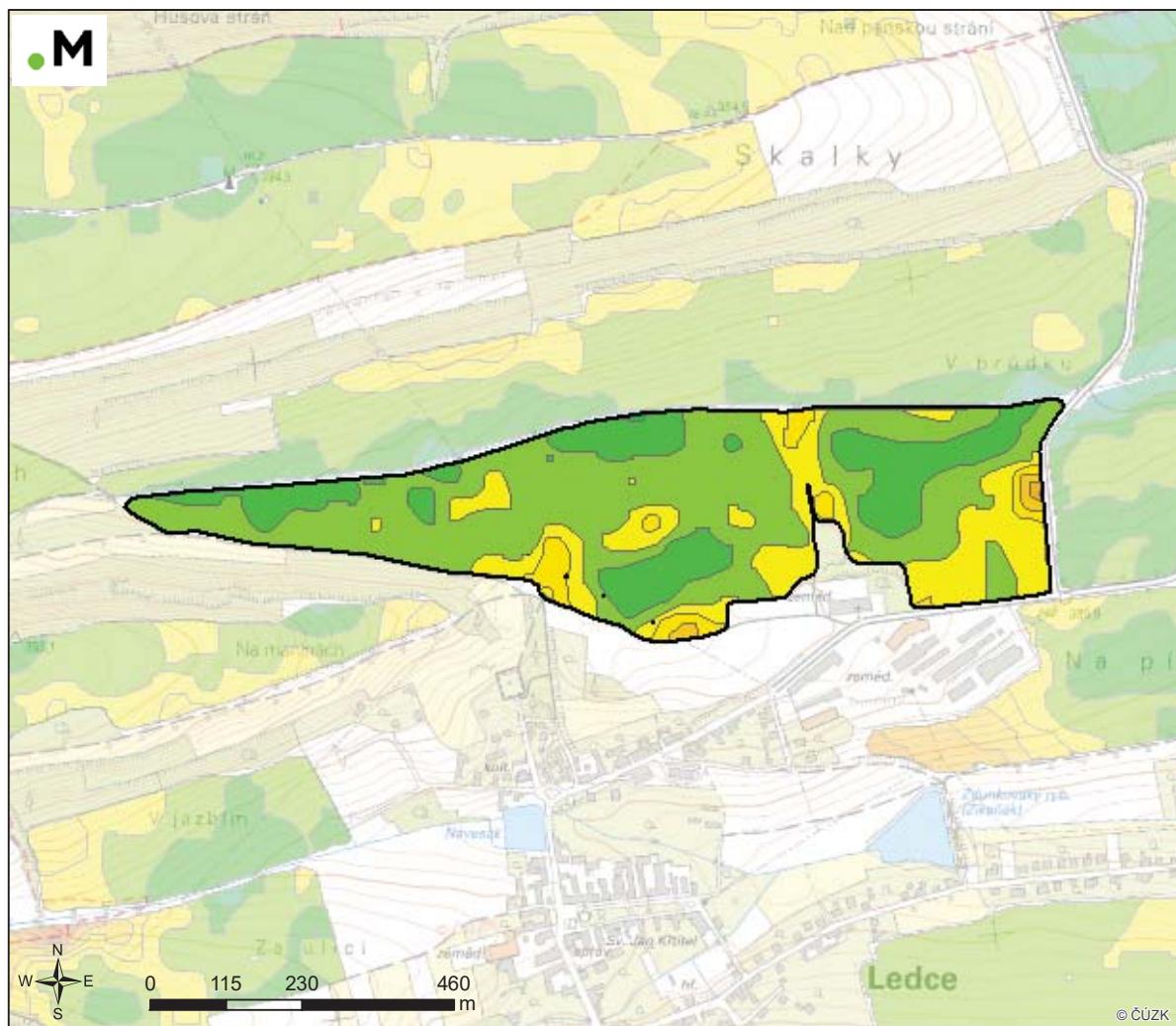












Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Skalka - seník

DPB: 0605/1

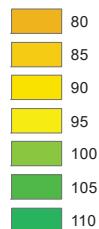
Středisko: Ledeč

Čtverec: 770-1020

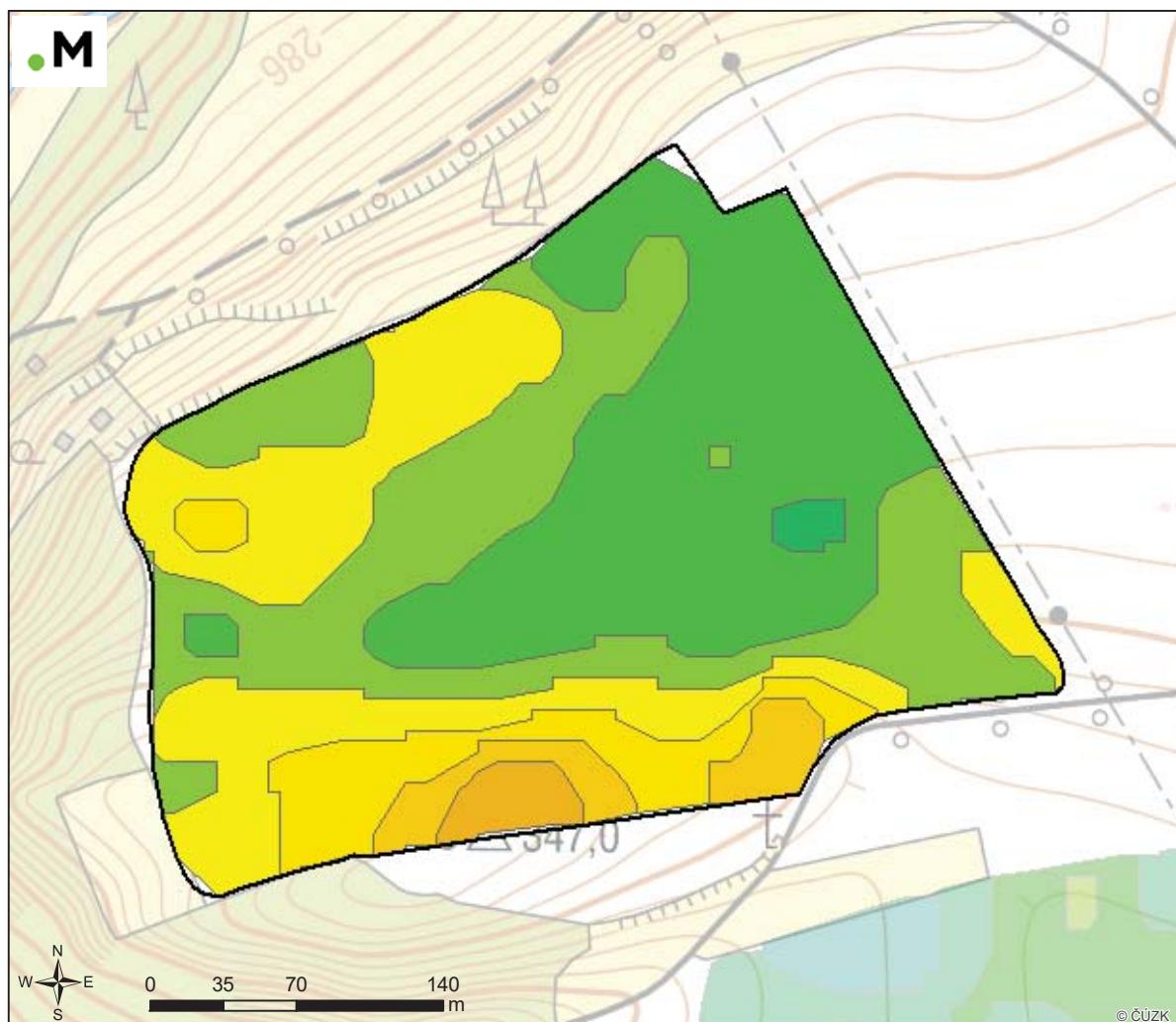
FID: 12199728

Výměra: 28.99 ha

Legenda PZ [%]



● Mendelova
● univerzita
● v Brně



Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: Skryje klůček

DPB: 1906/2

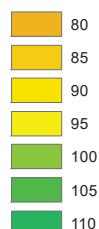
Středisko: Slabce

Čtverec: 790-1040

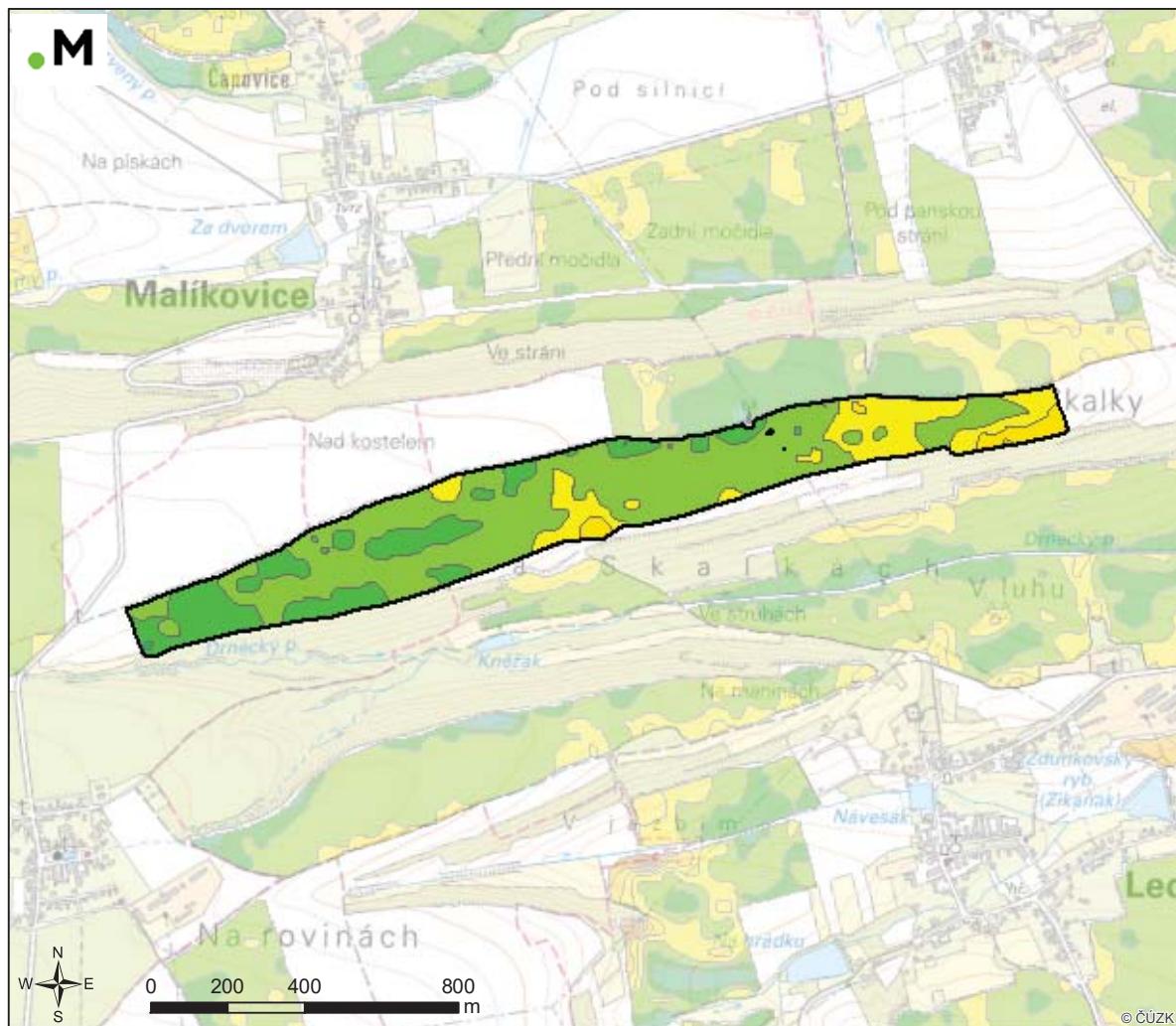
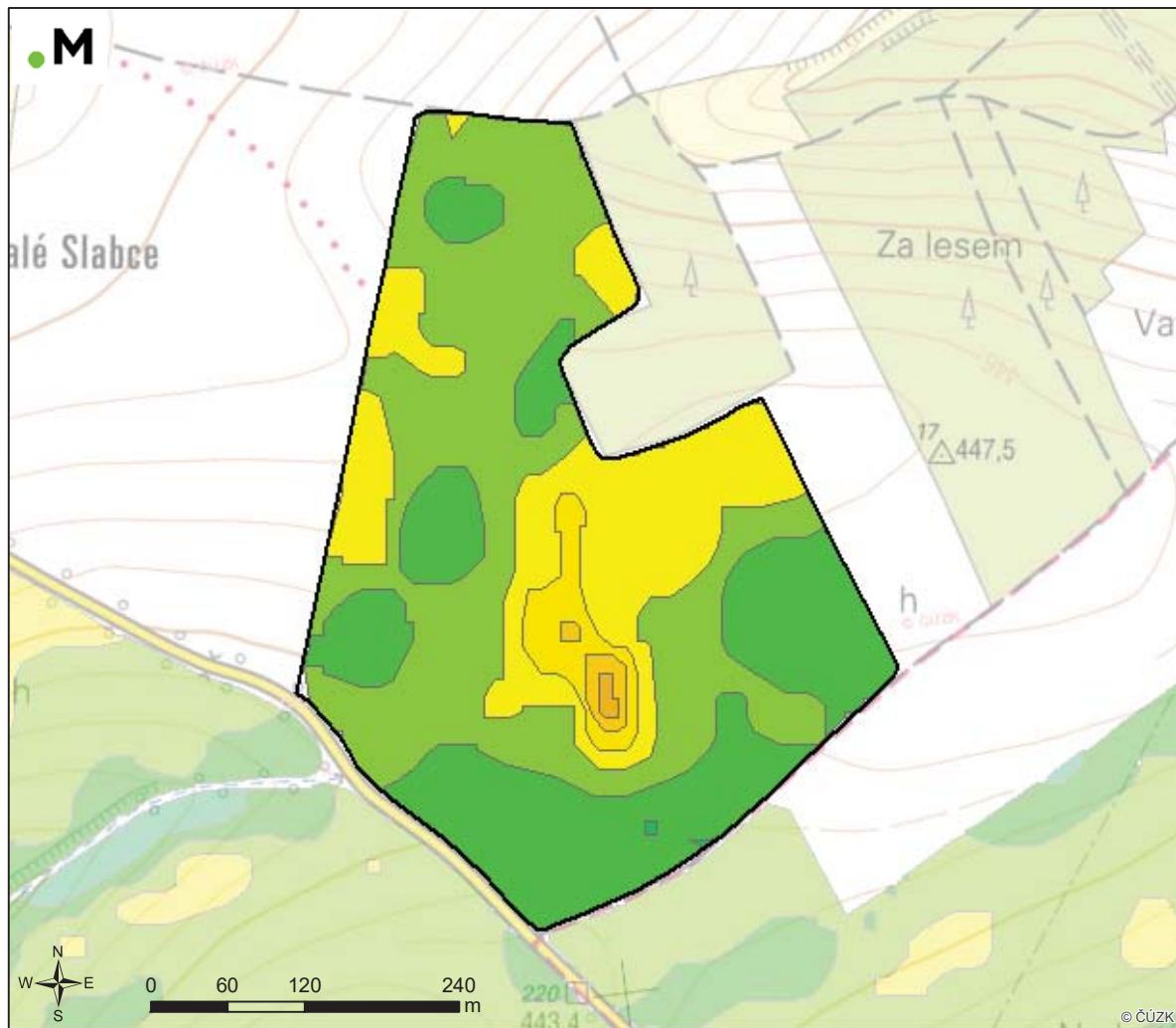
FID: 12082664

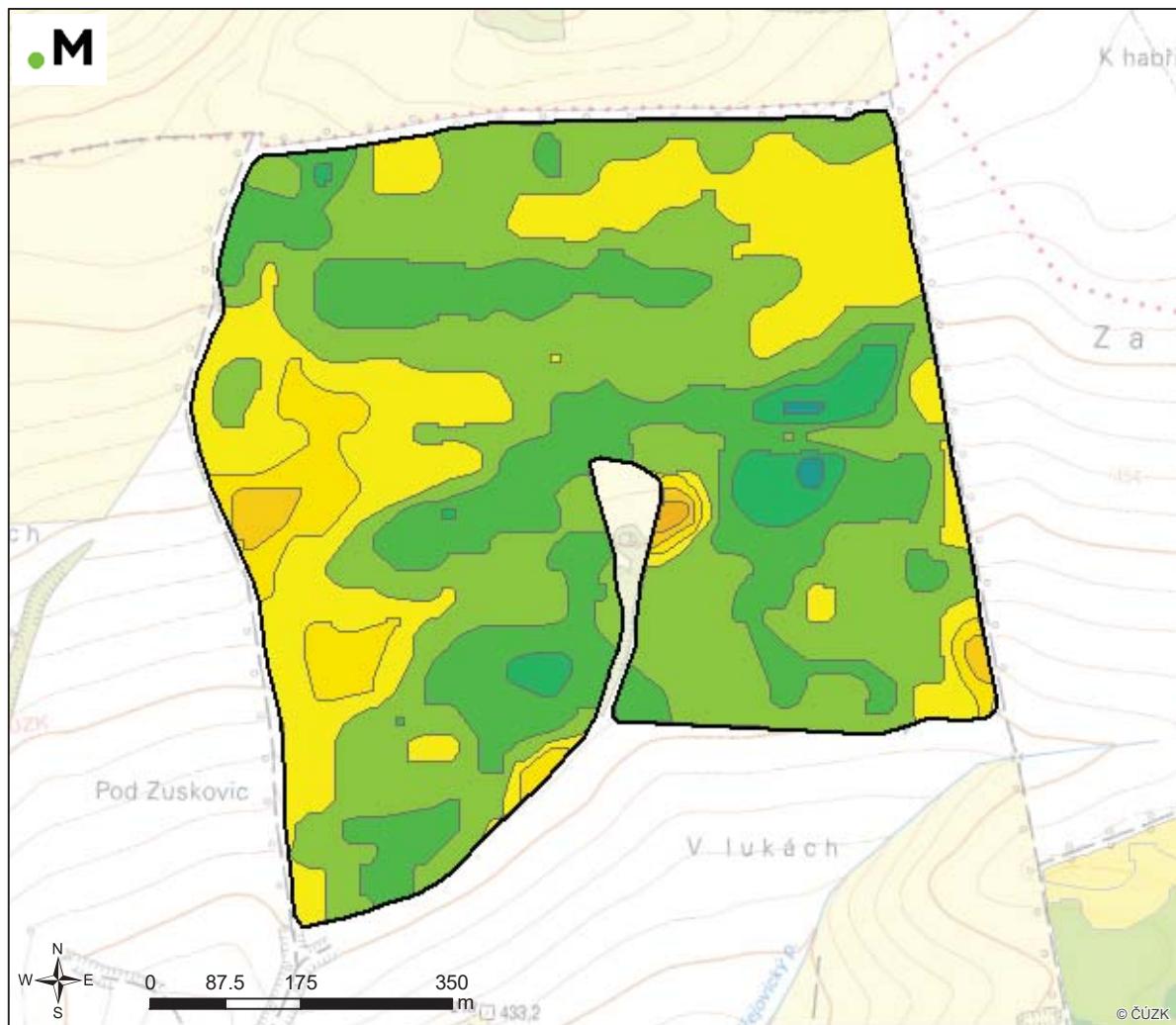
Výměra: 9.89 ha

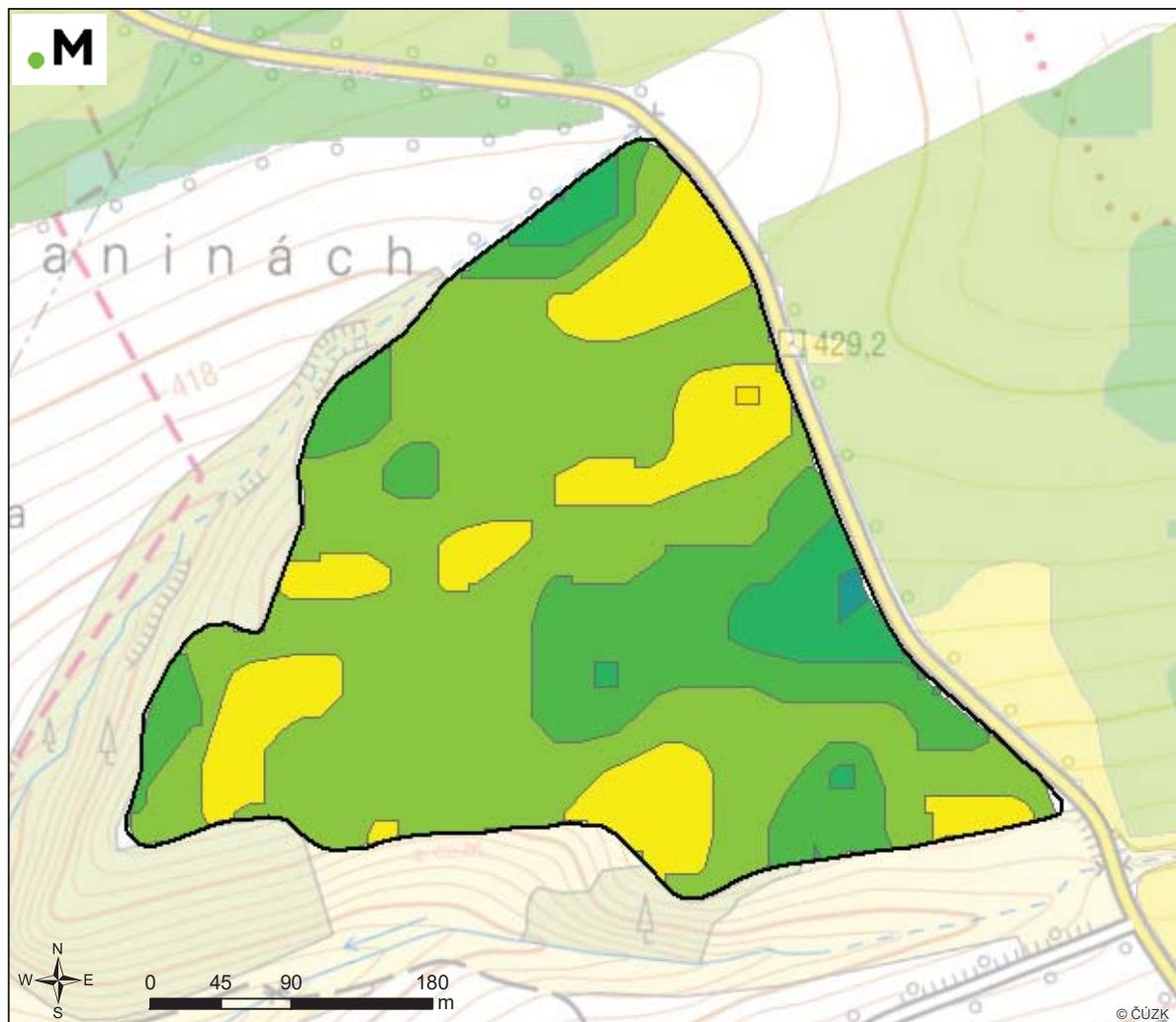
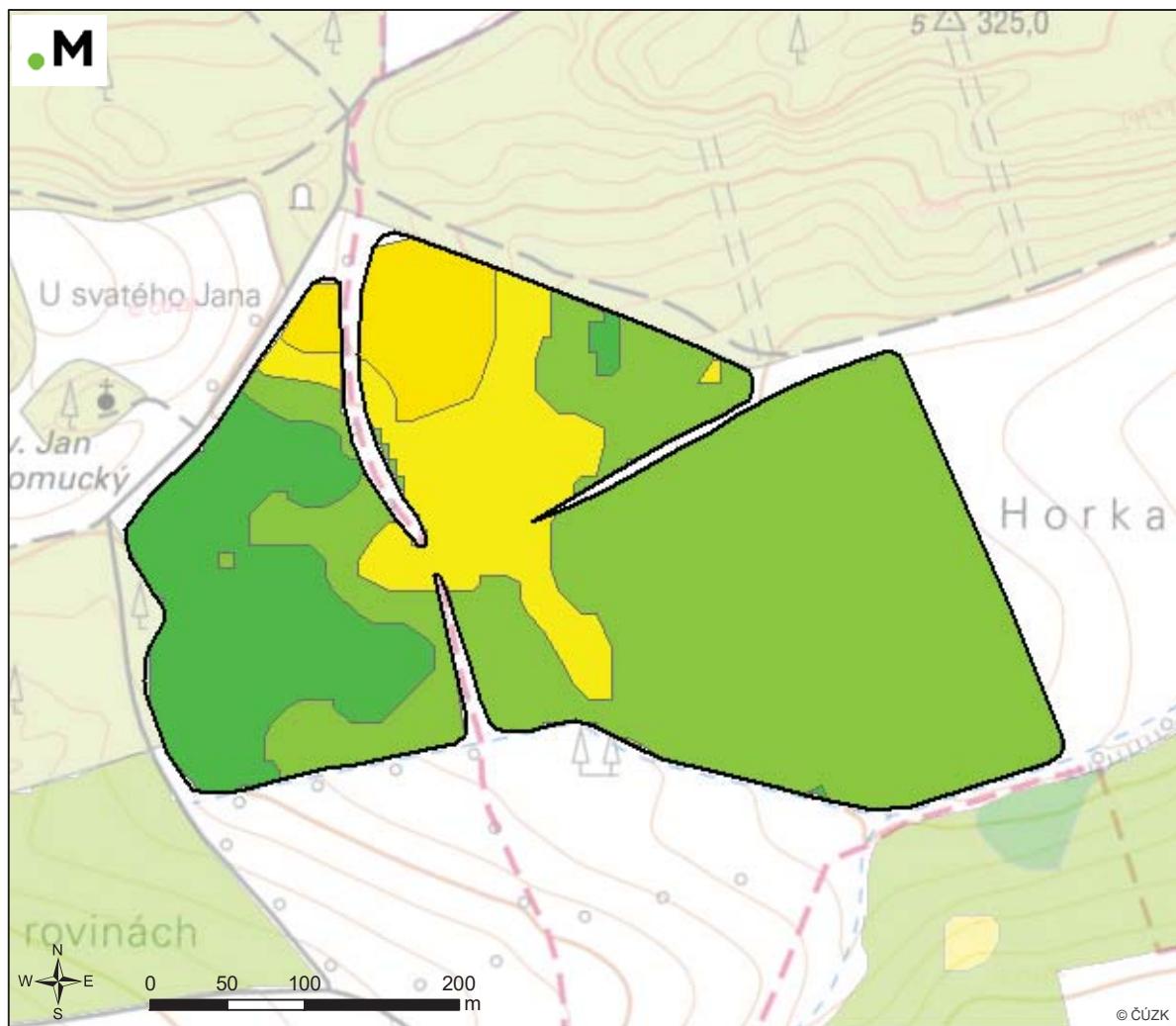
Legenda PZ [%]

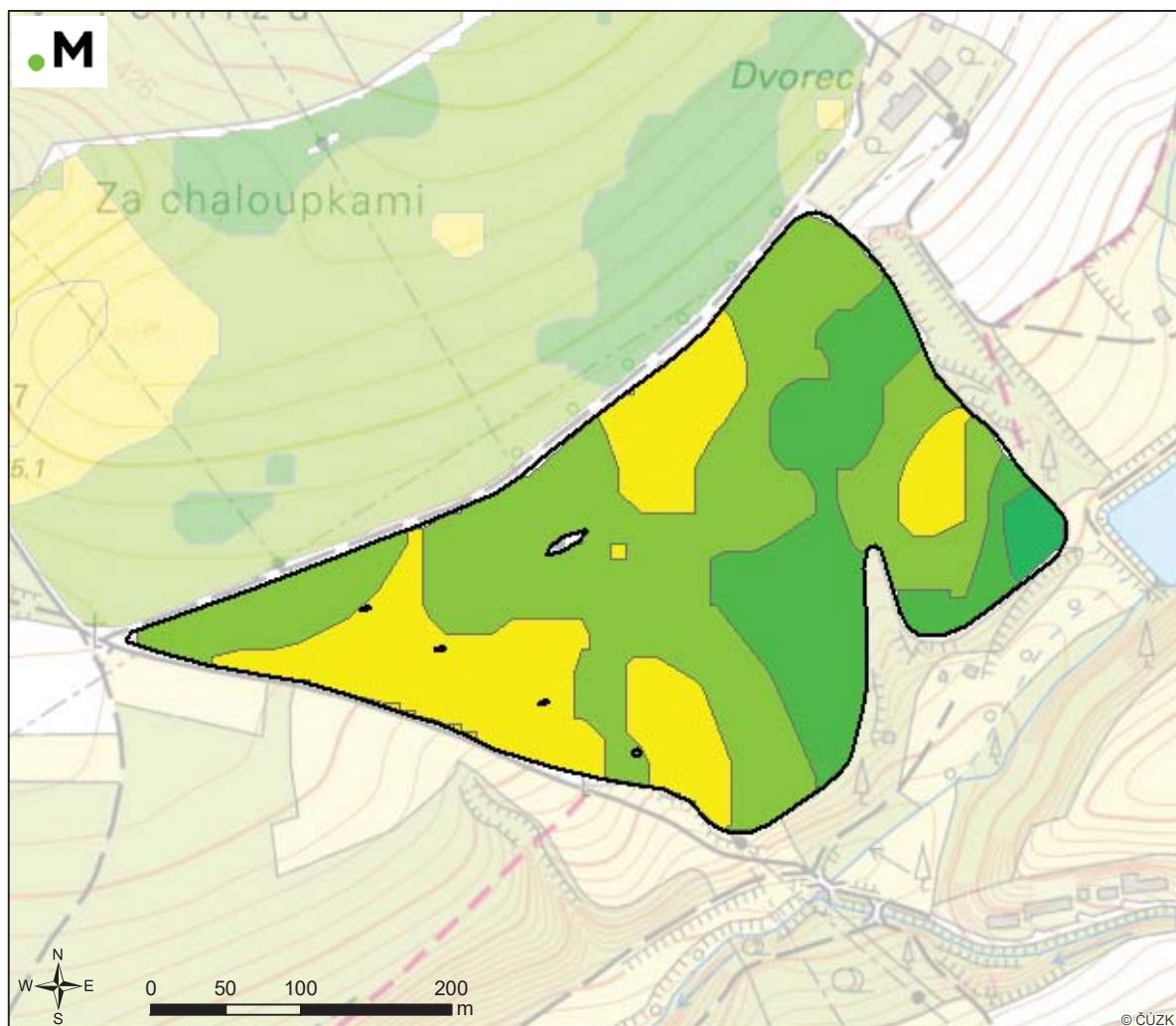
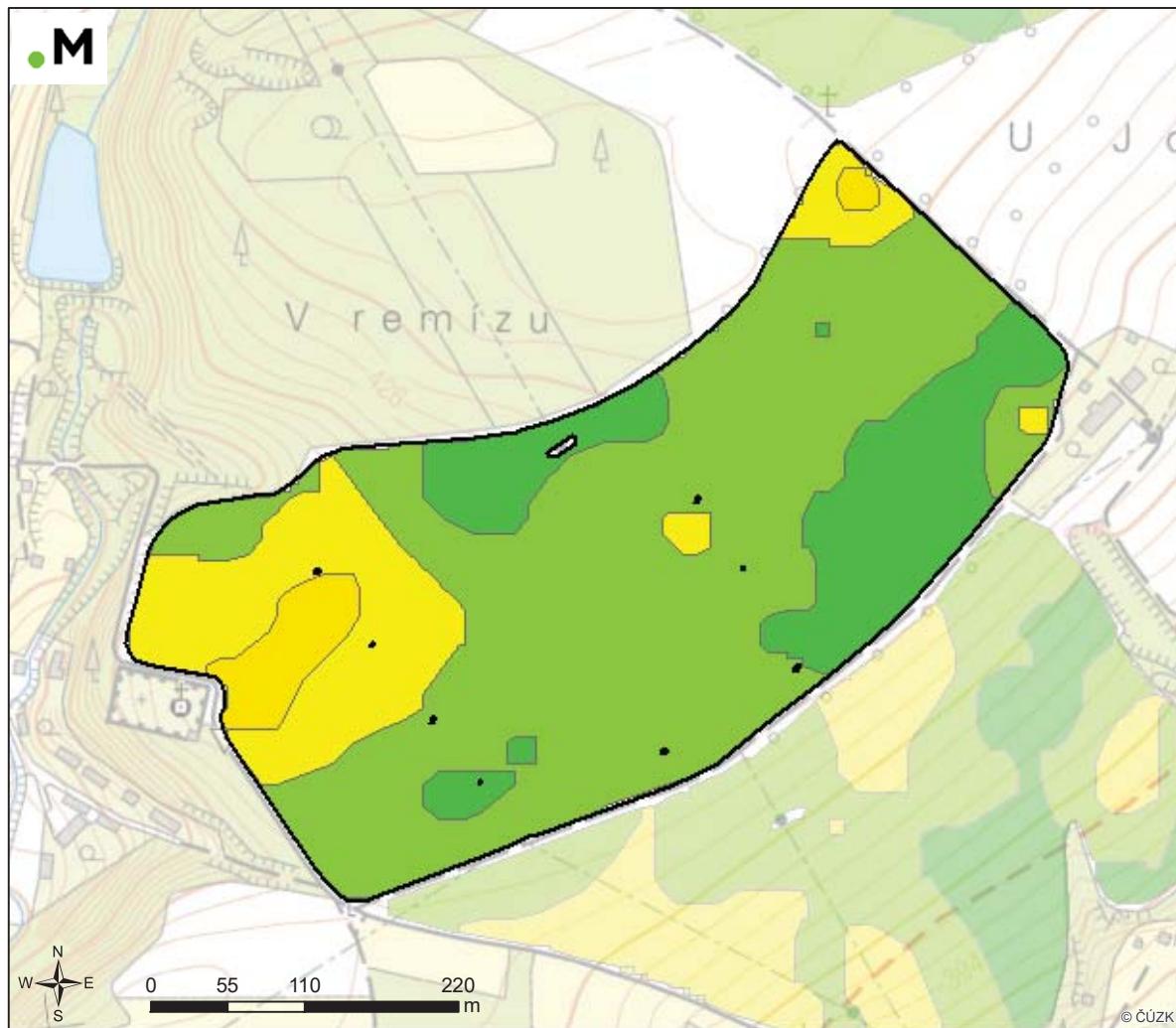


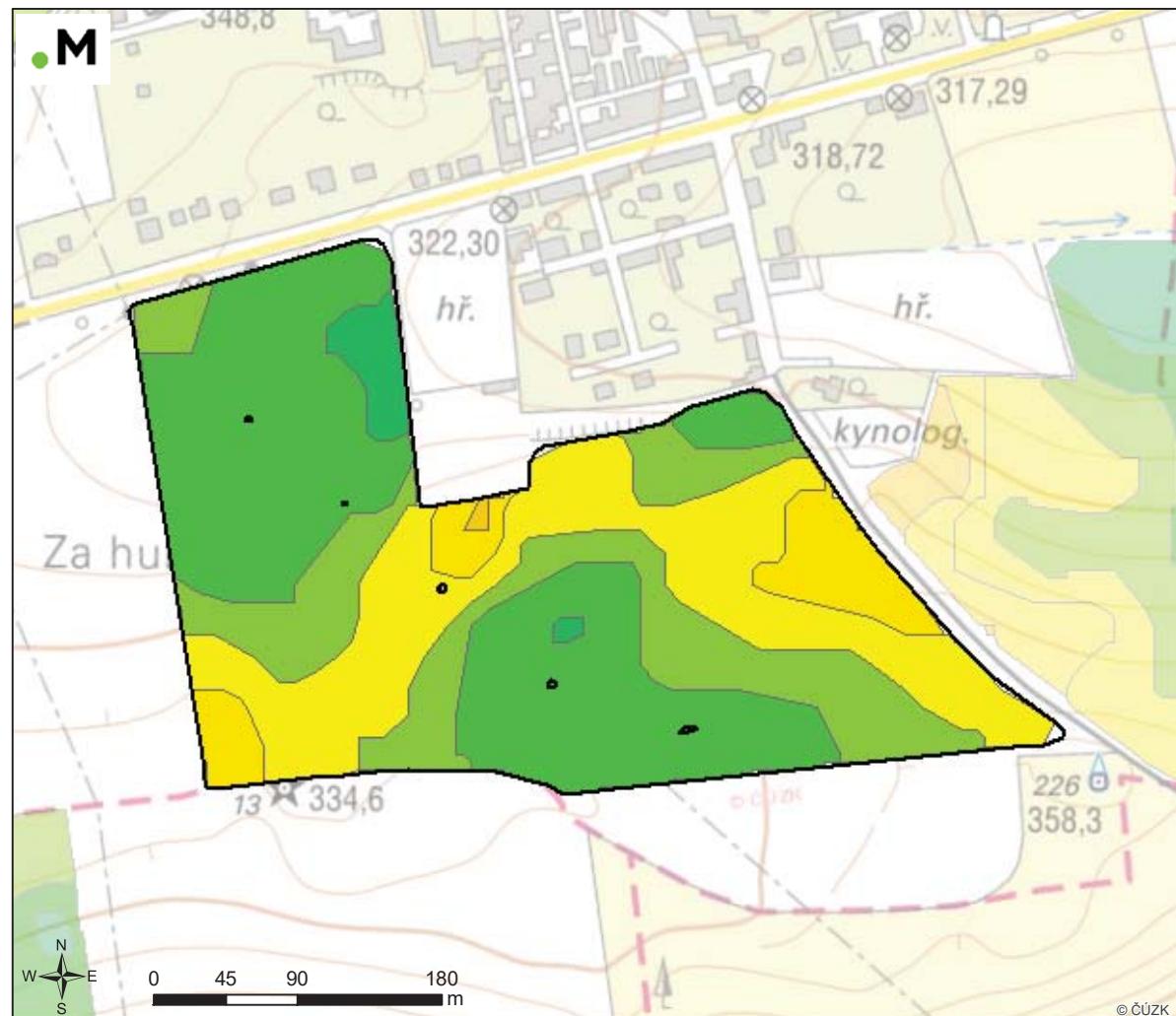
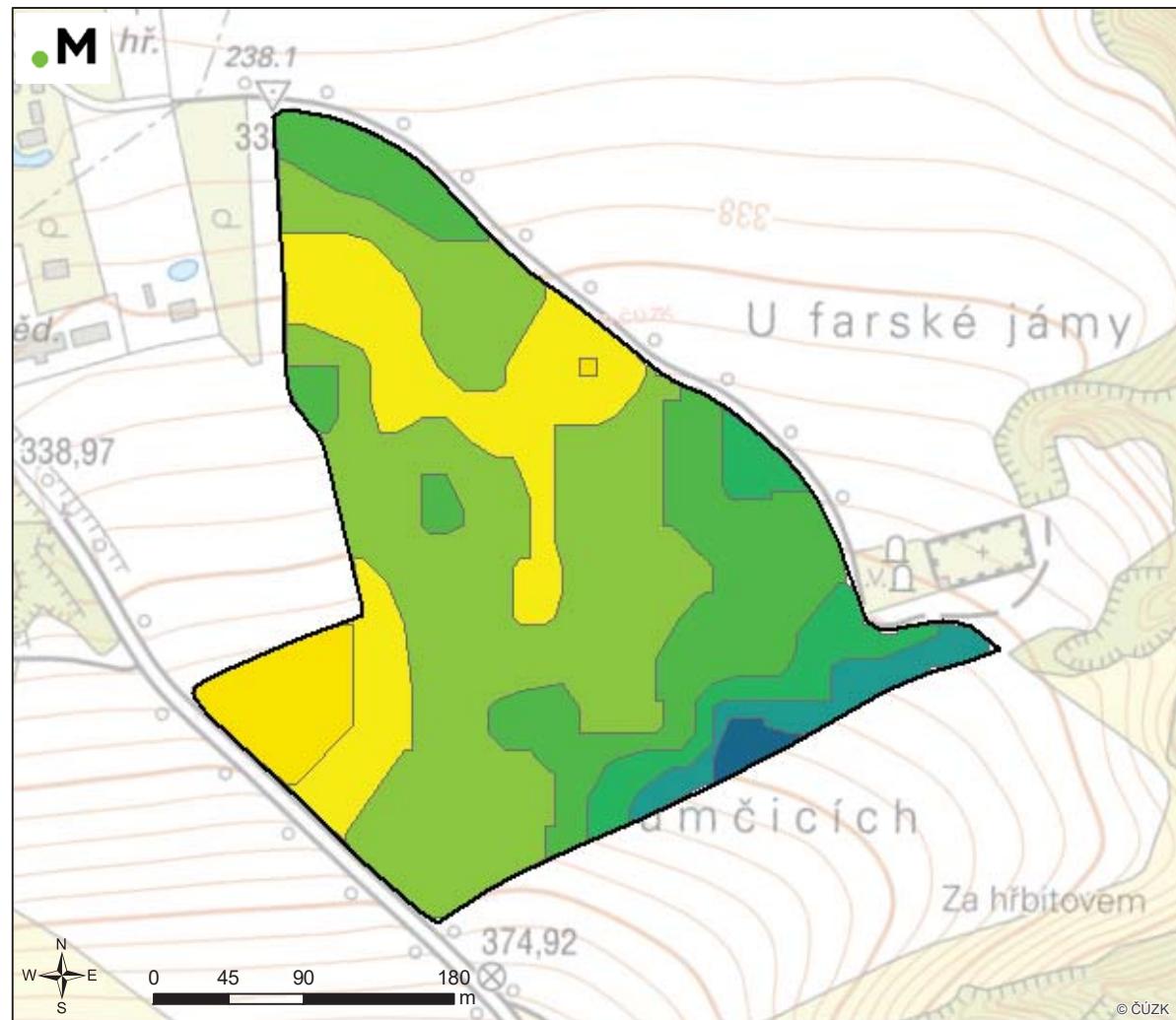
● Mendelova
● univerzita
● v Brně

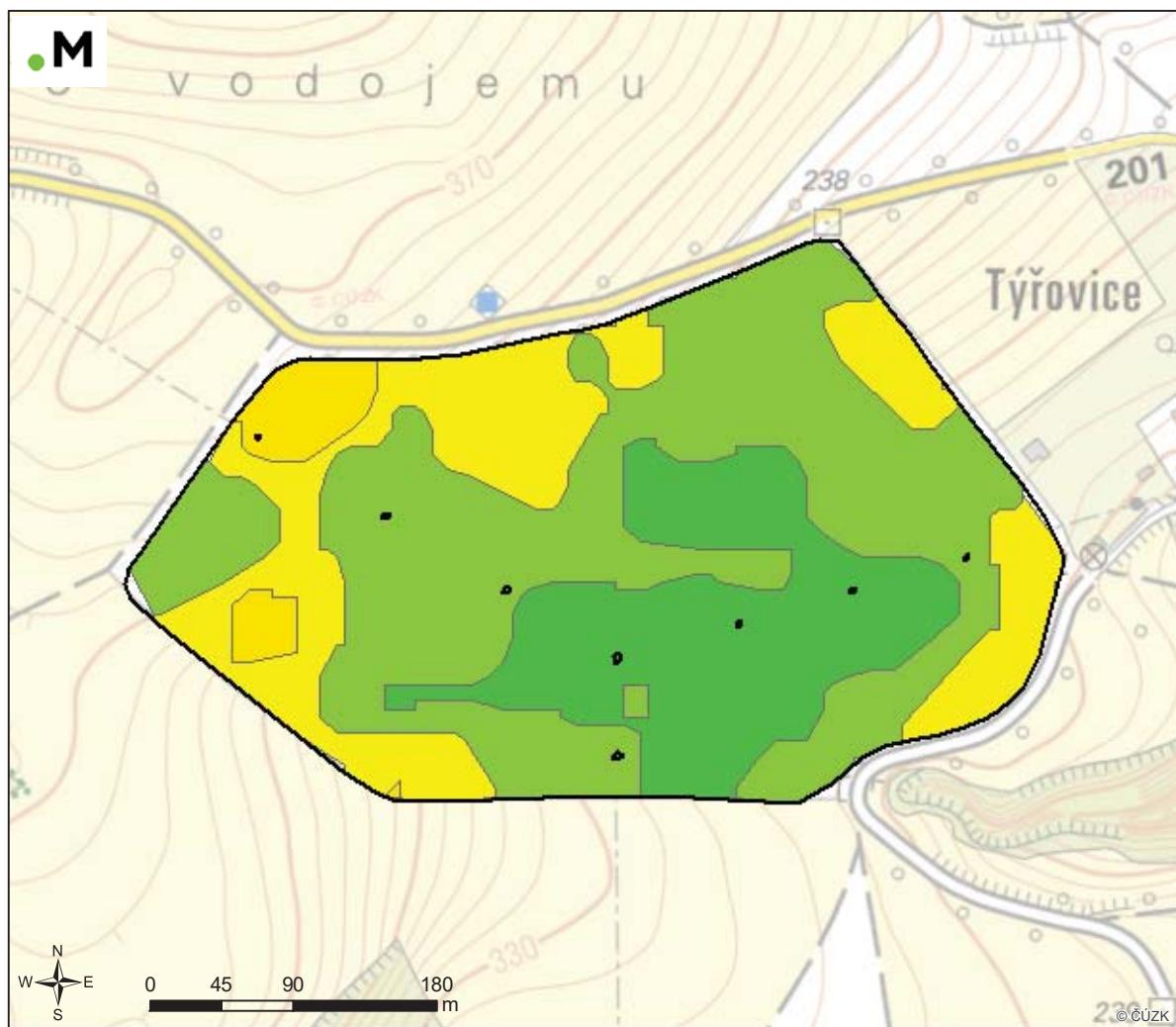
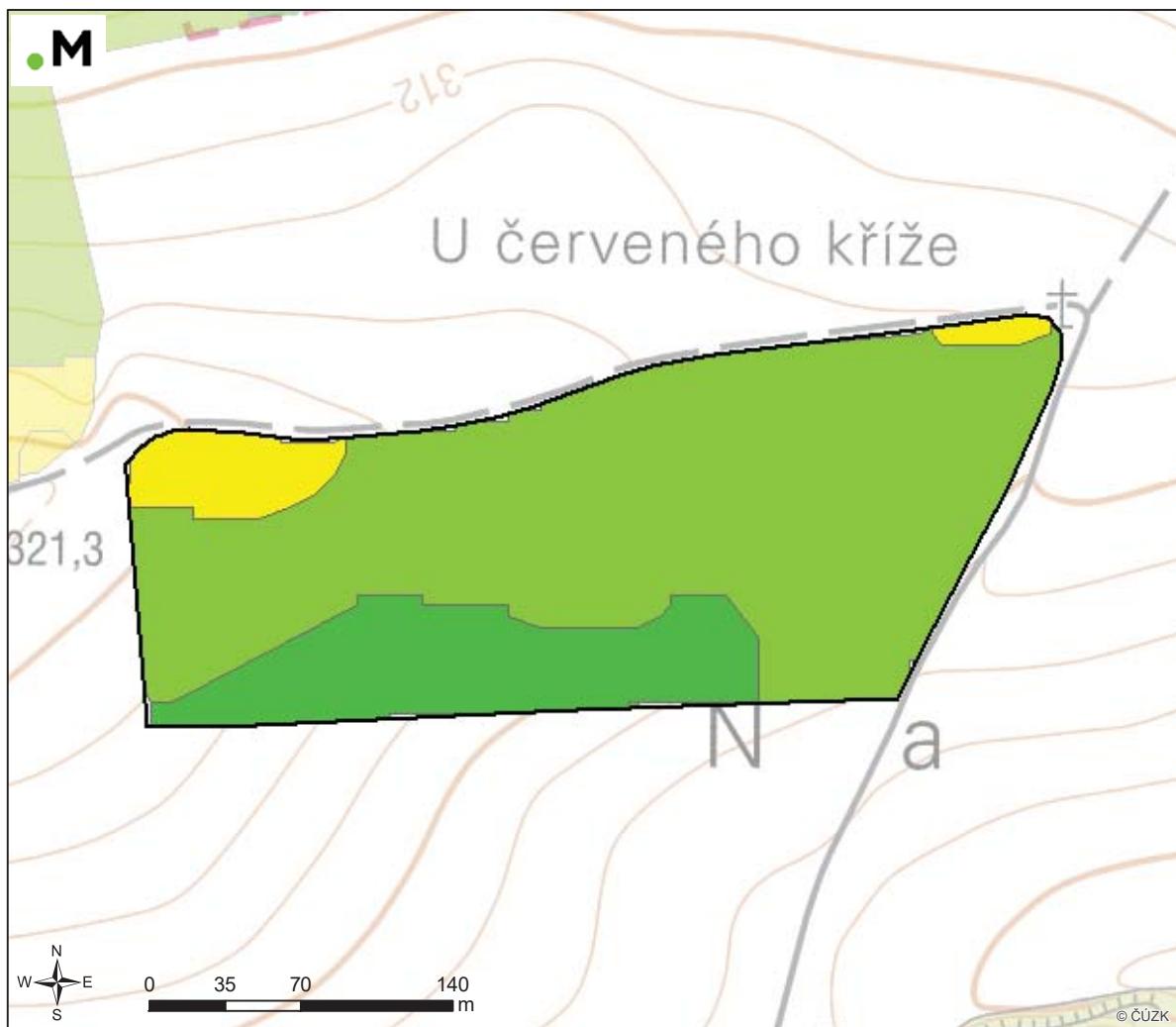


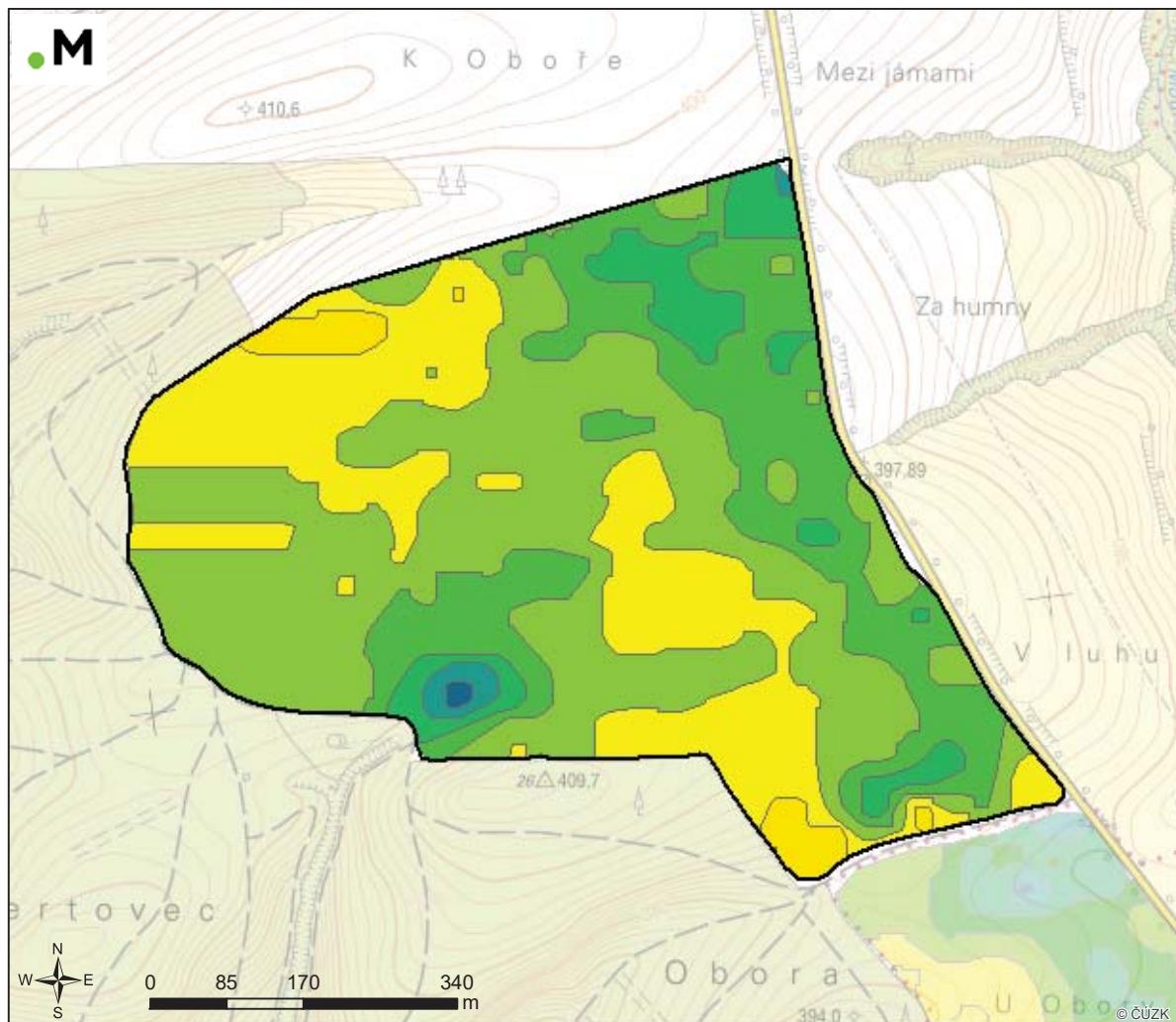
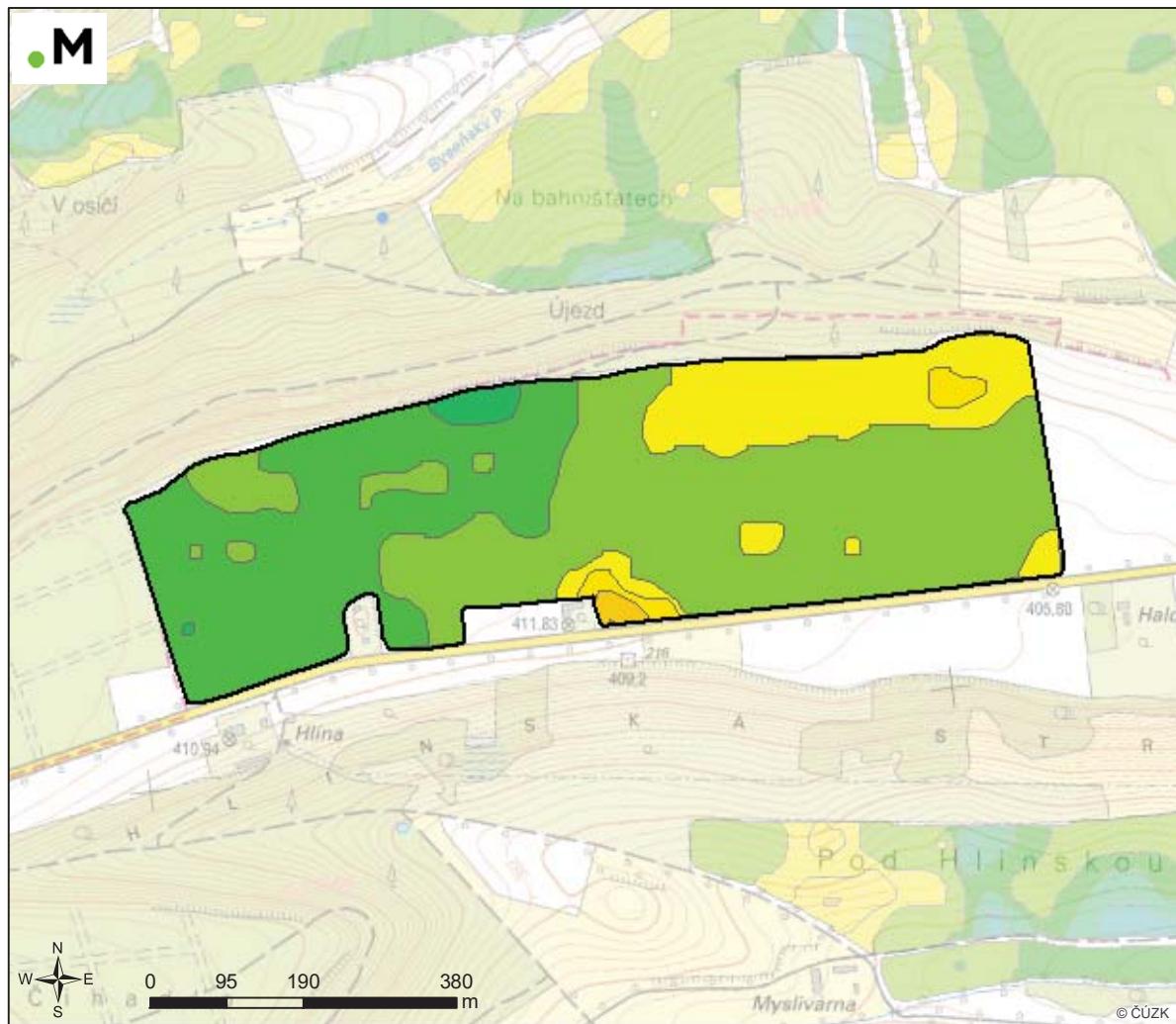


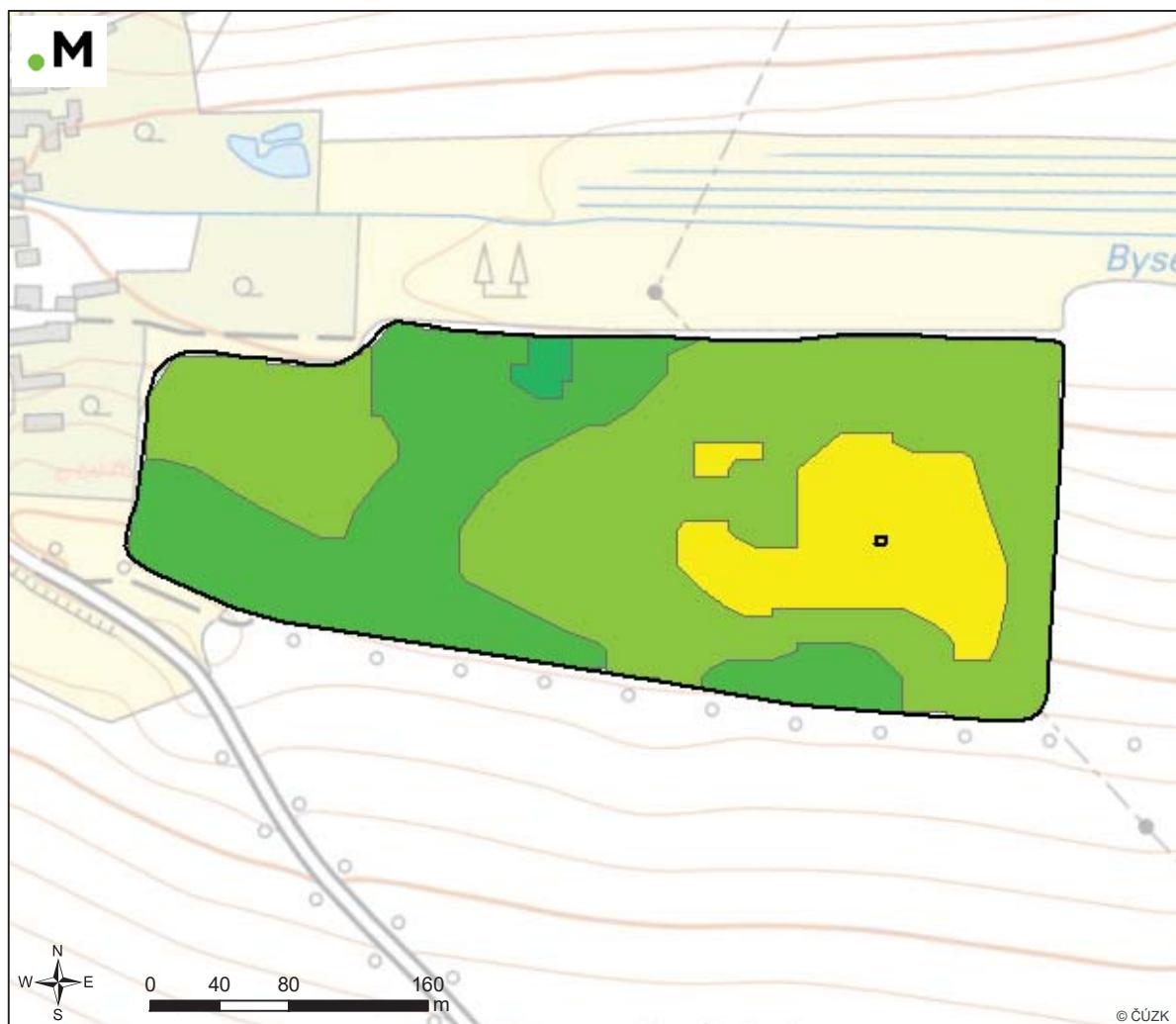
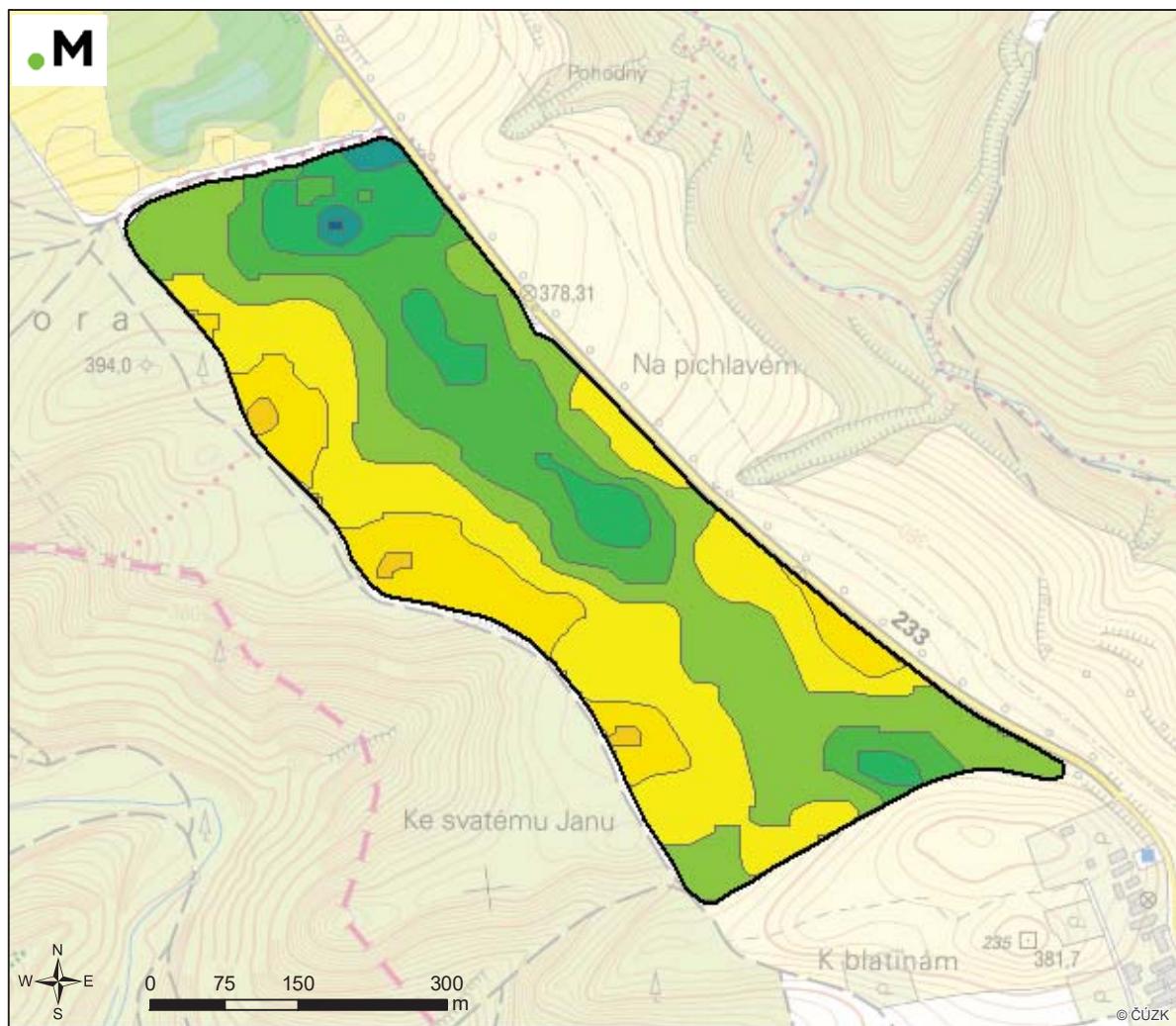


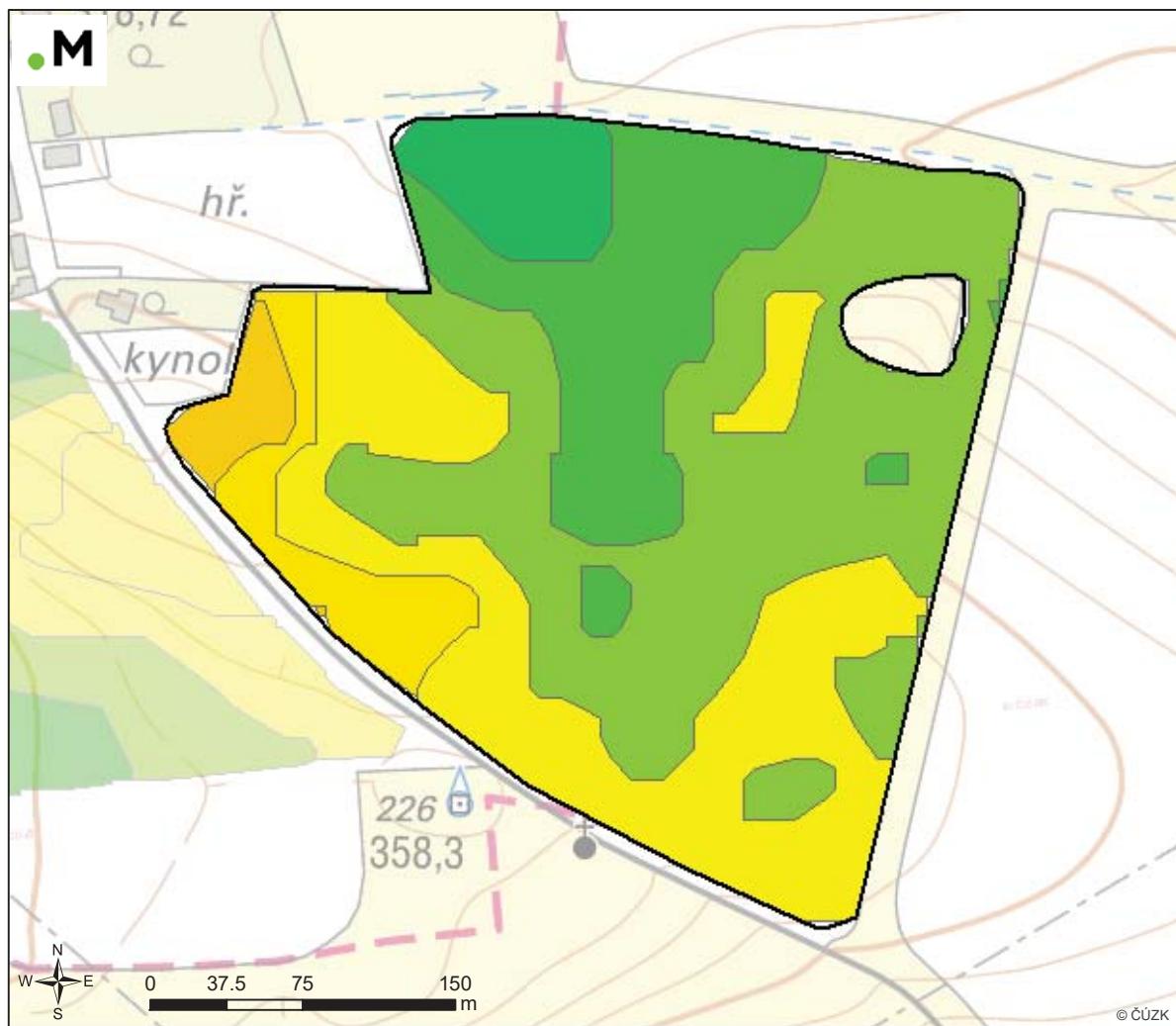












Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: U vodojemu

DPB: 7302/4

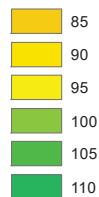
Středisko: Ledce

Čtverec: 760-1020

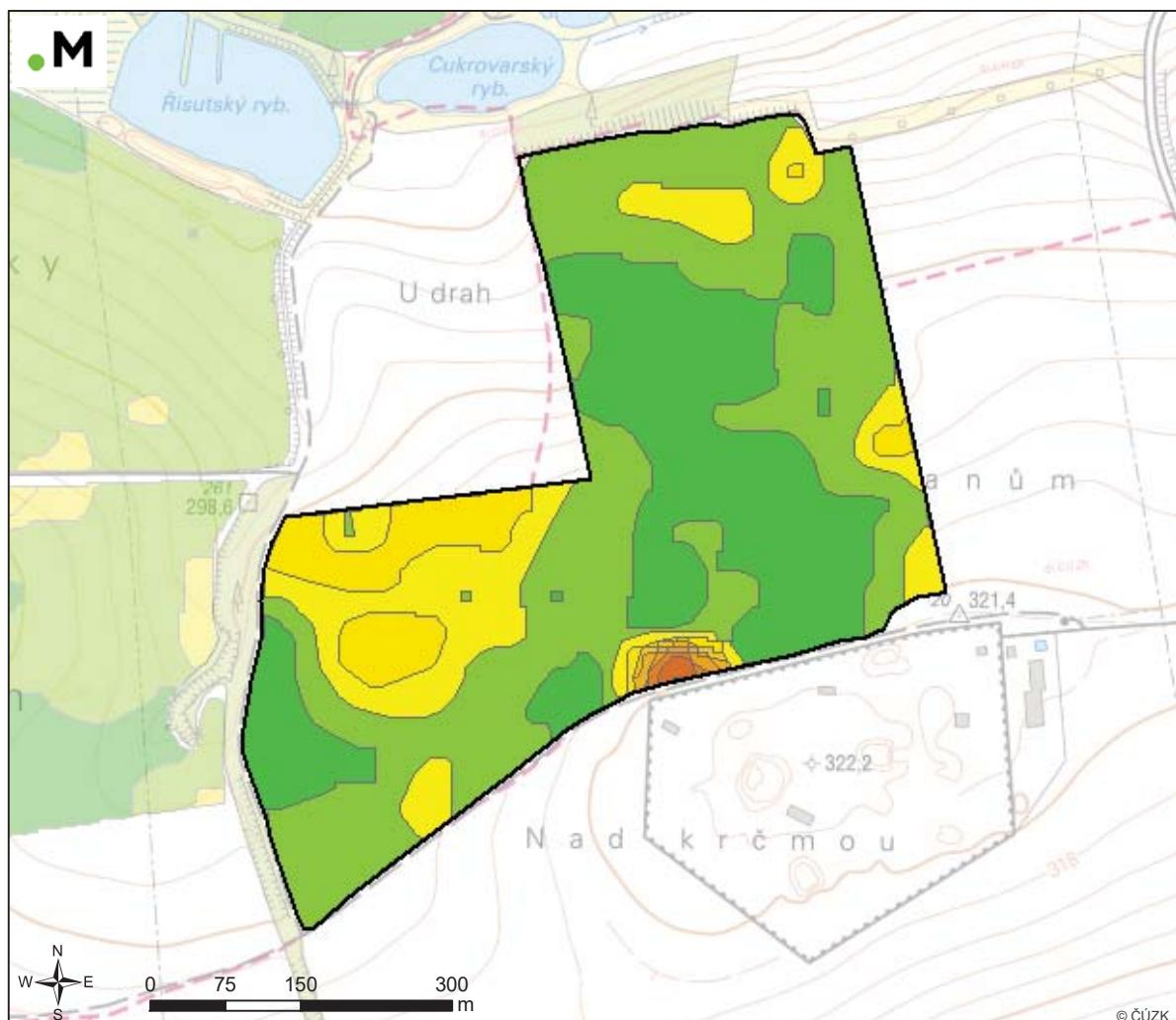
FID: 12125391

Výměra: 10.46 ha

Legenda PZ [%]



● Mendelova
● univerzita
● v Brně



Mapy produkčních zón

AGRA Řisuty s.r.o.

Hon: U vojáků

DPB: 8402/8

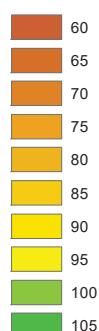
Středisko: Ledce

Čtverec: 760-1020

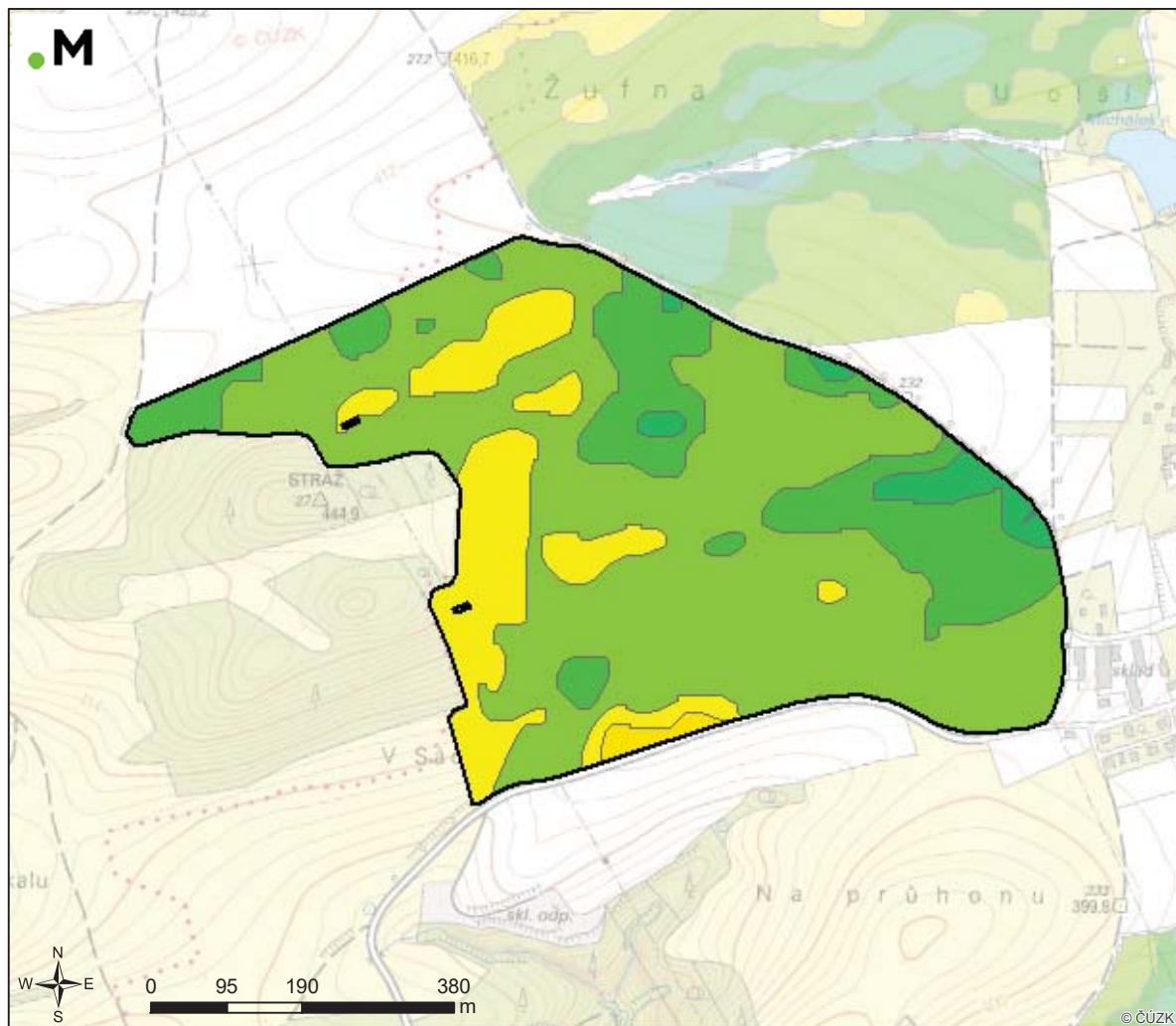
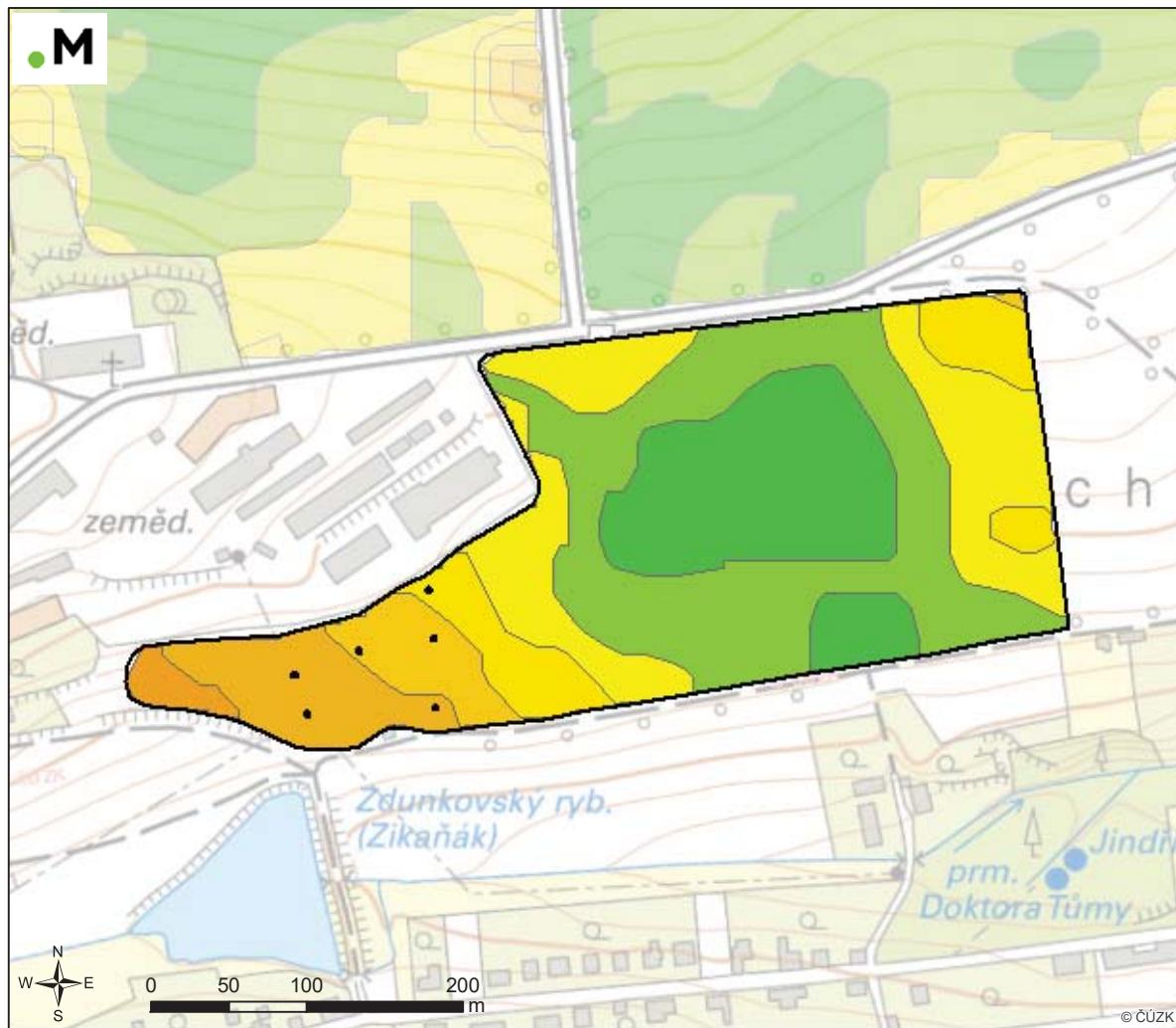
FID: 12023850

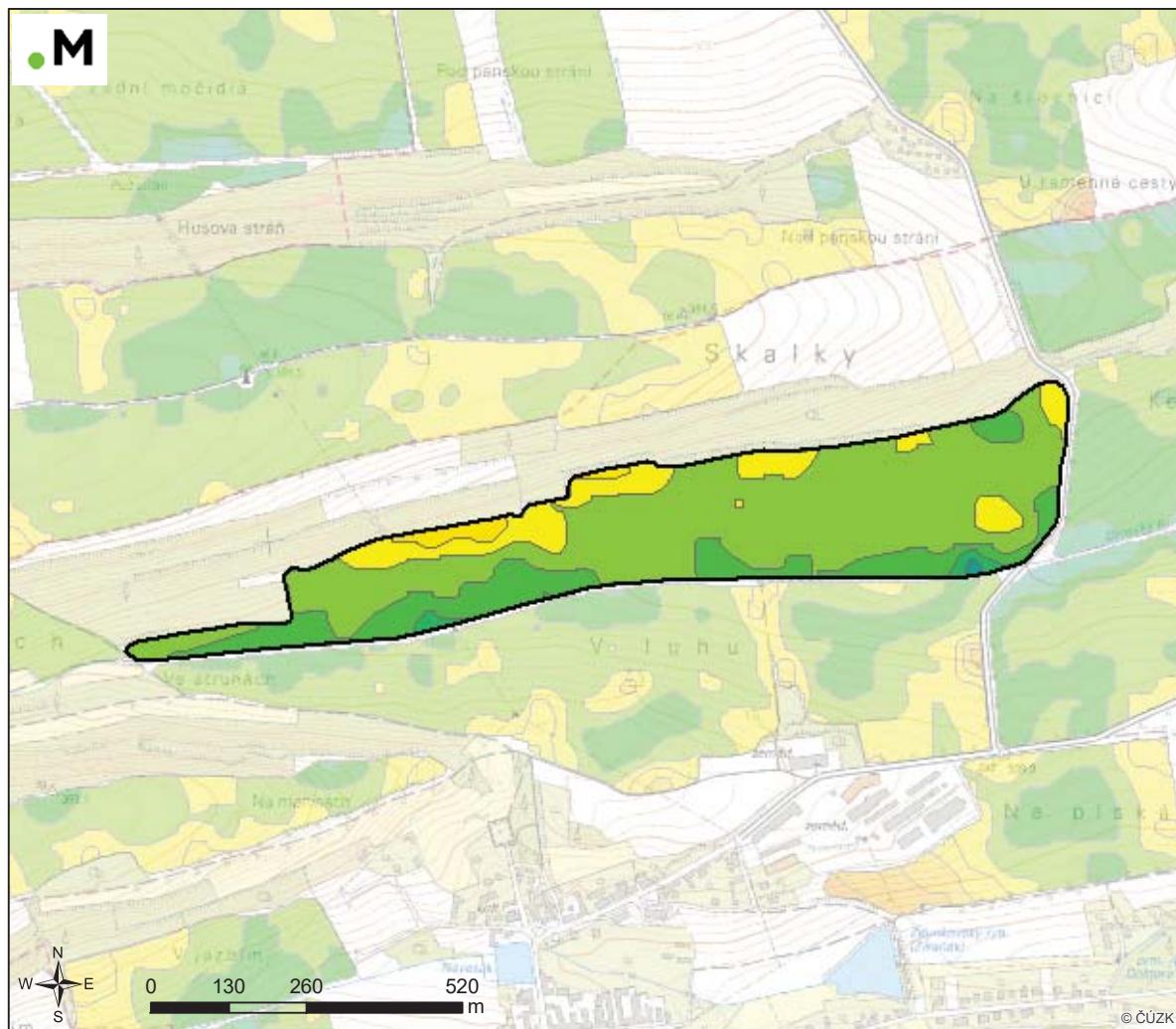
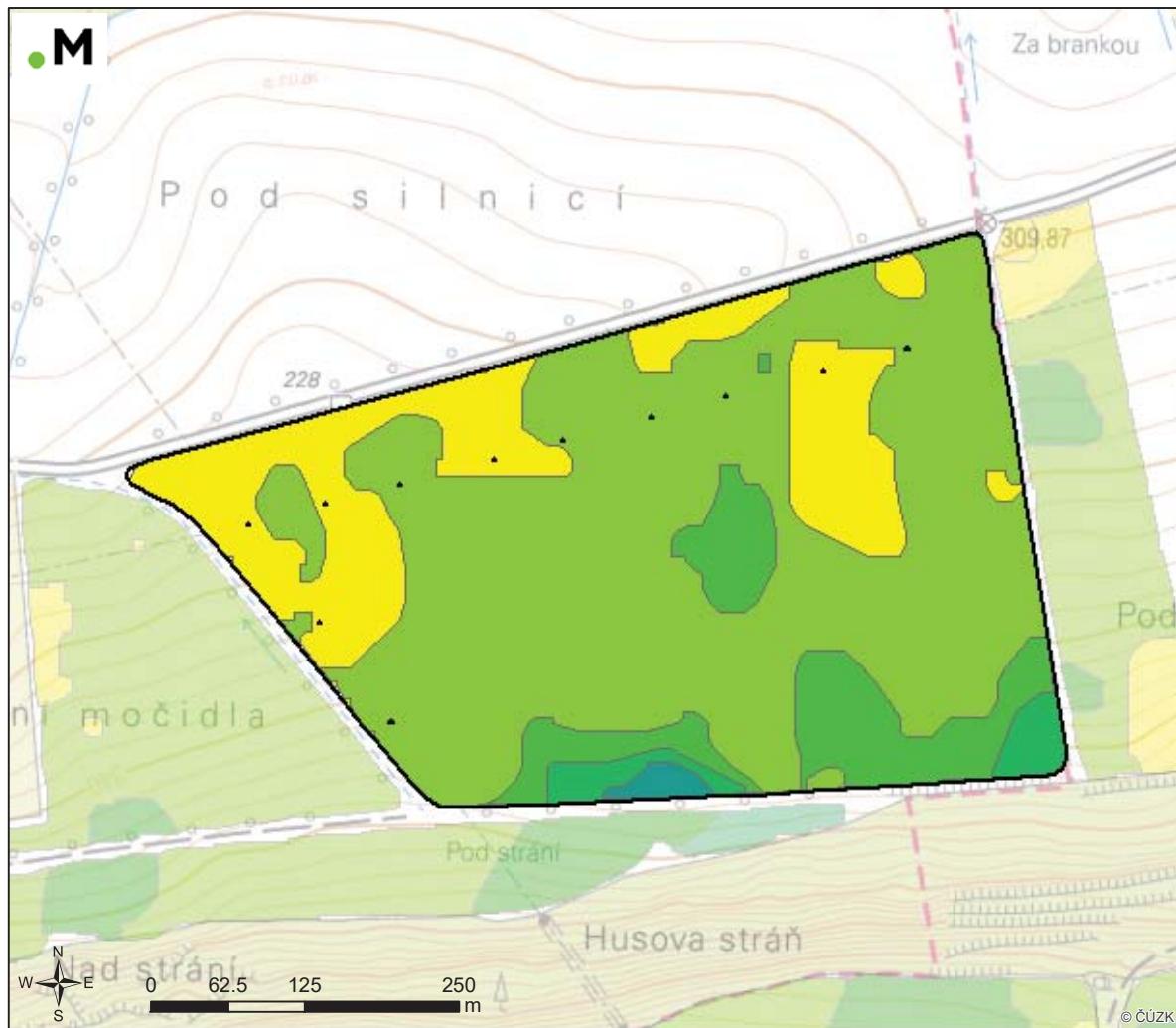
Výměra: 28.12 ha

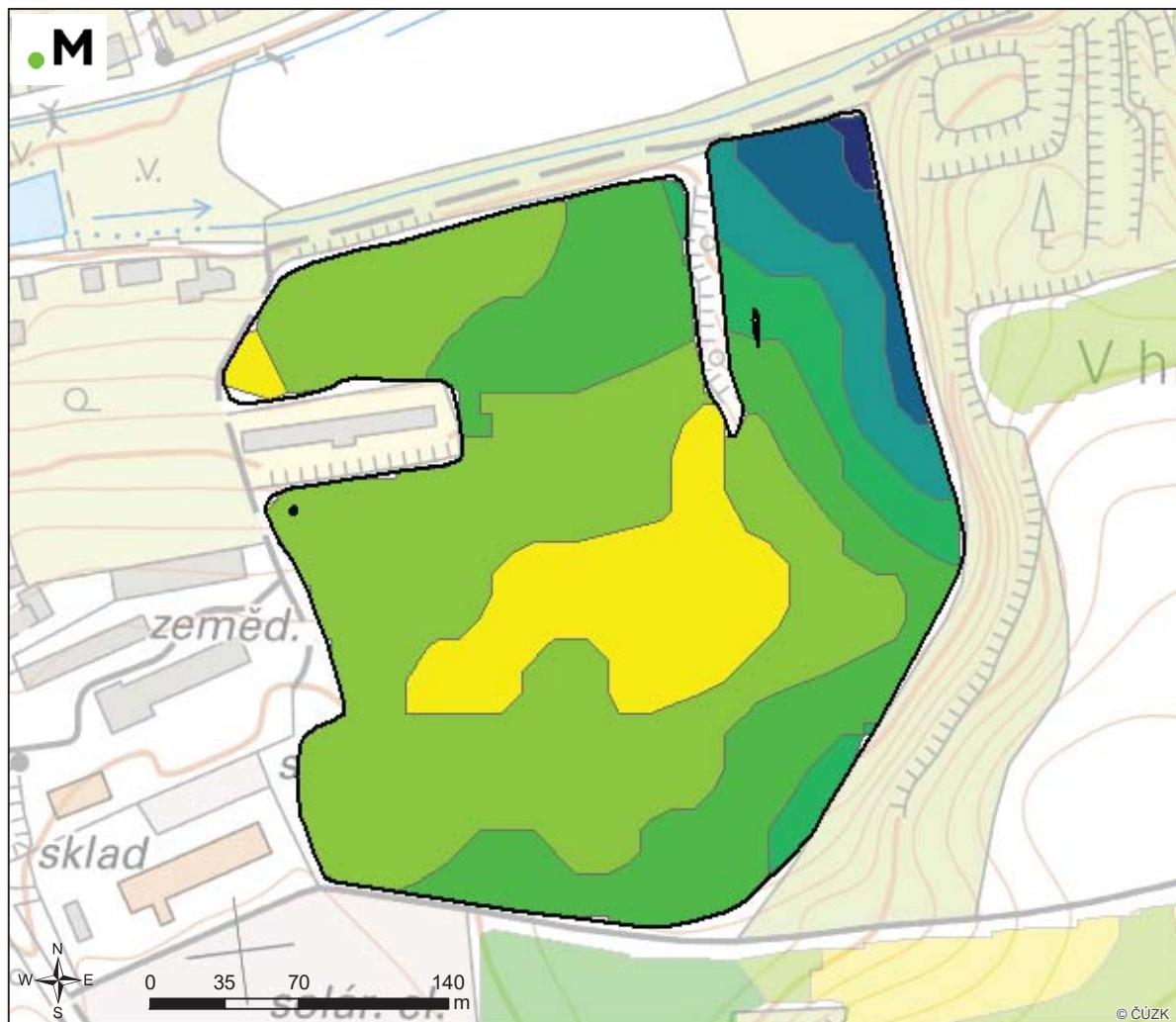
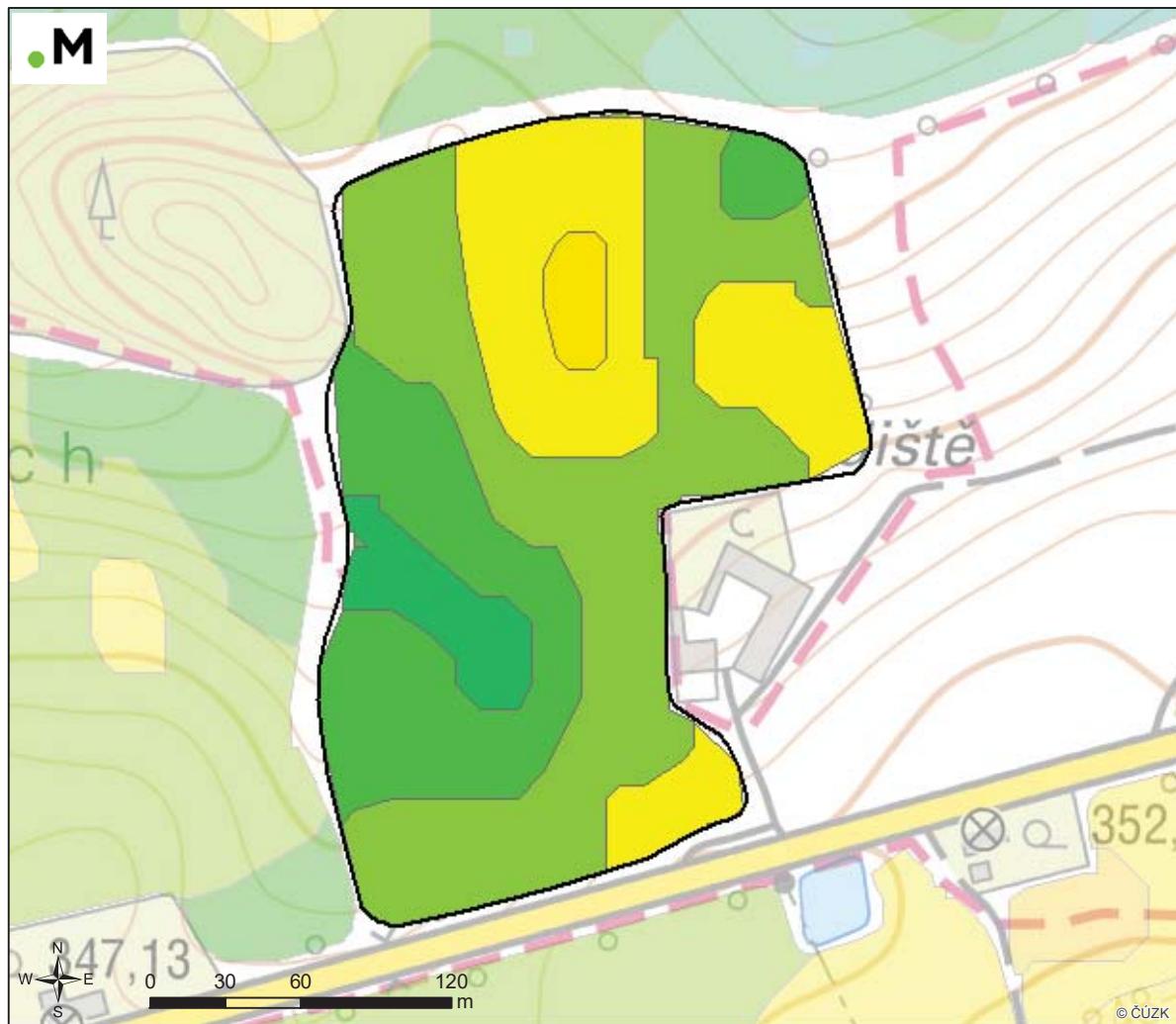
Legenda PZ [%]

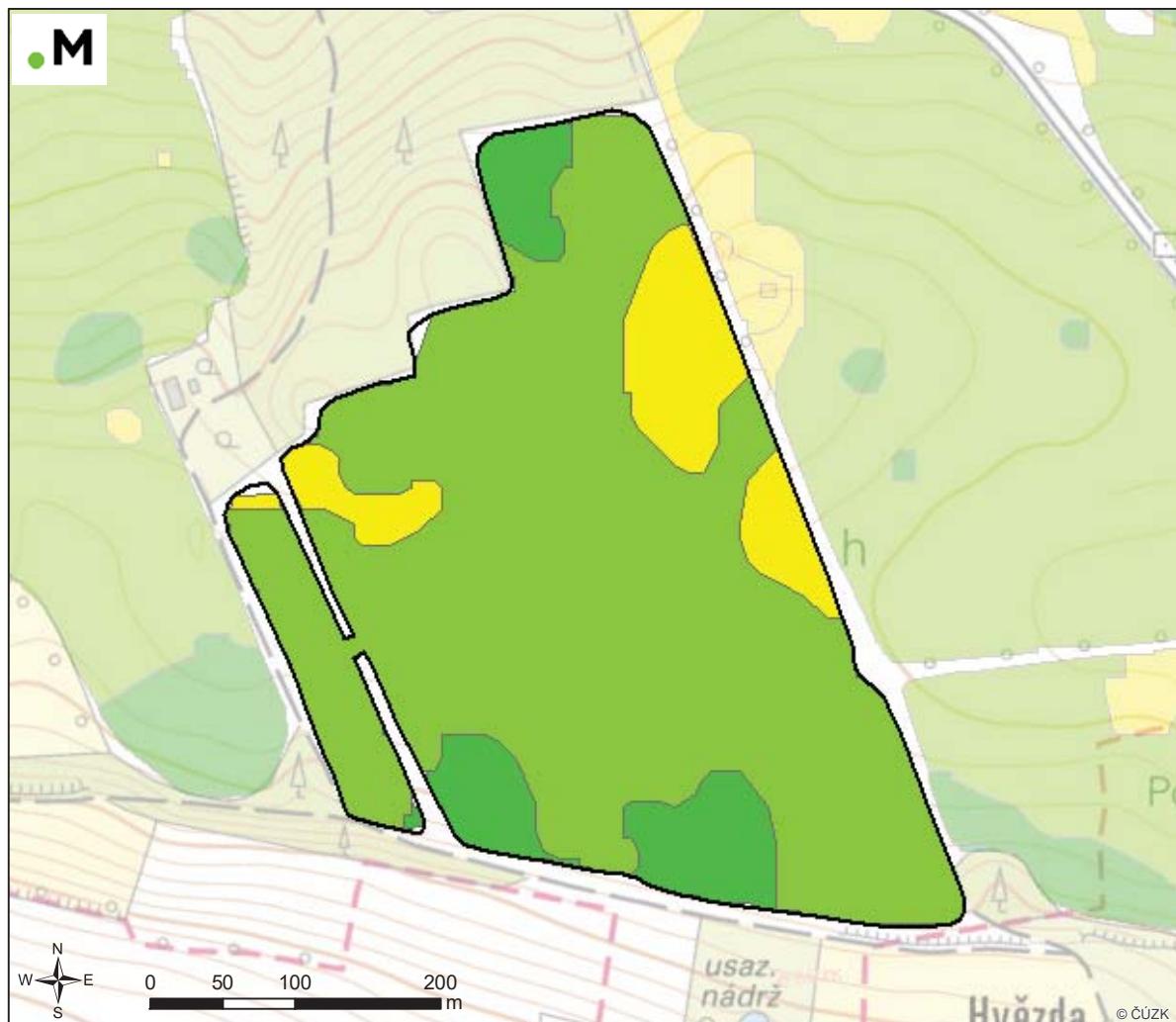
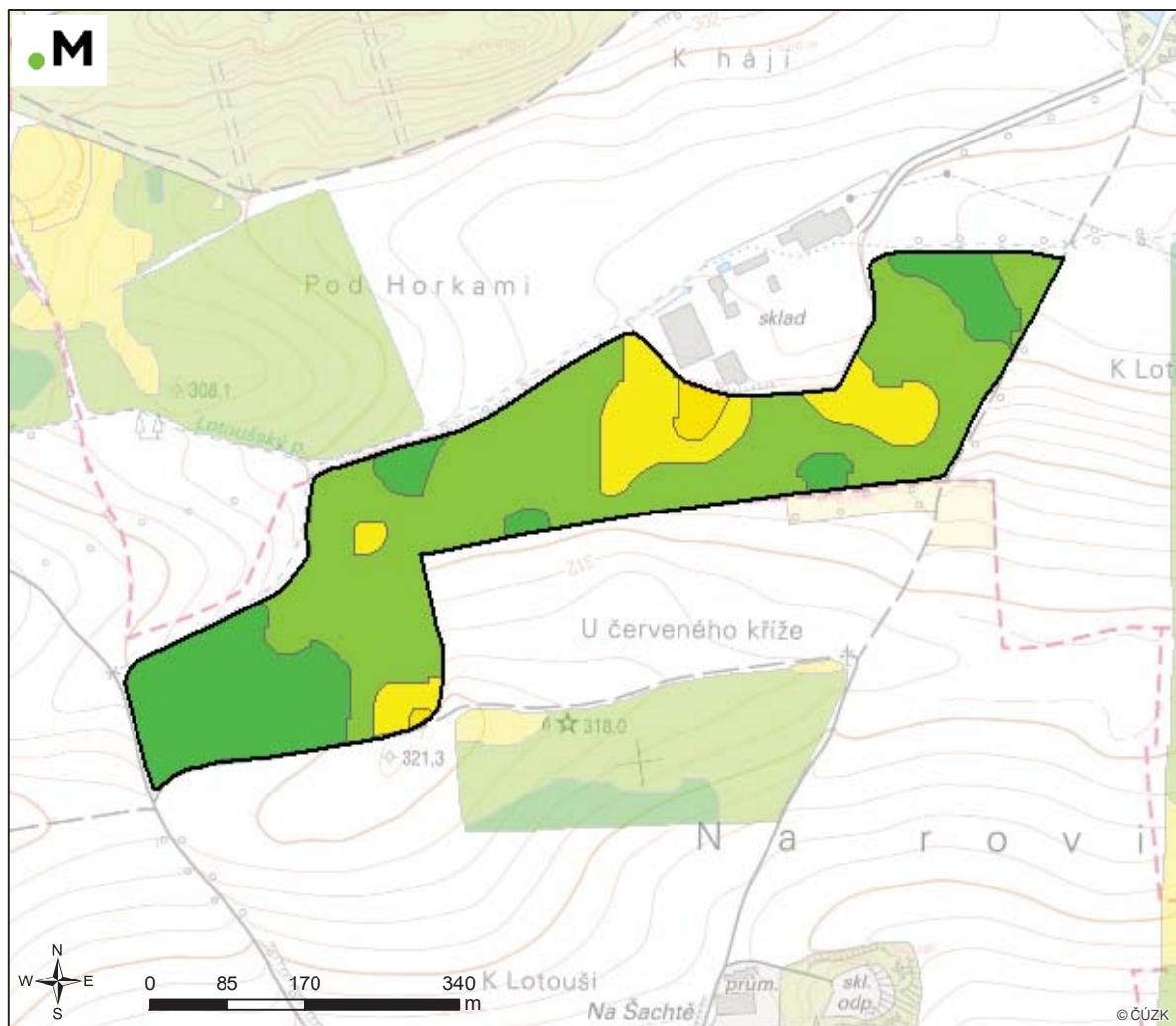


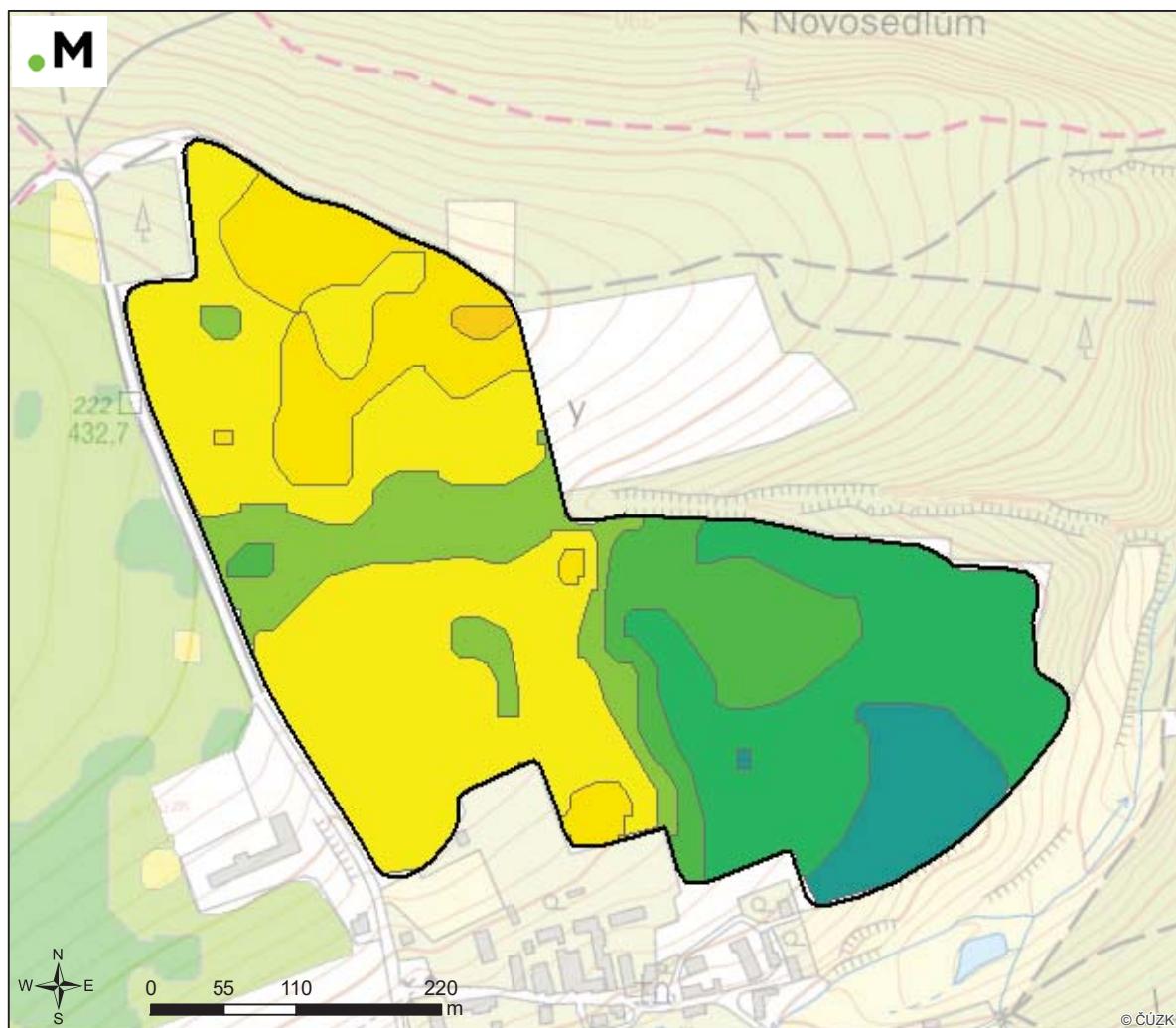
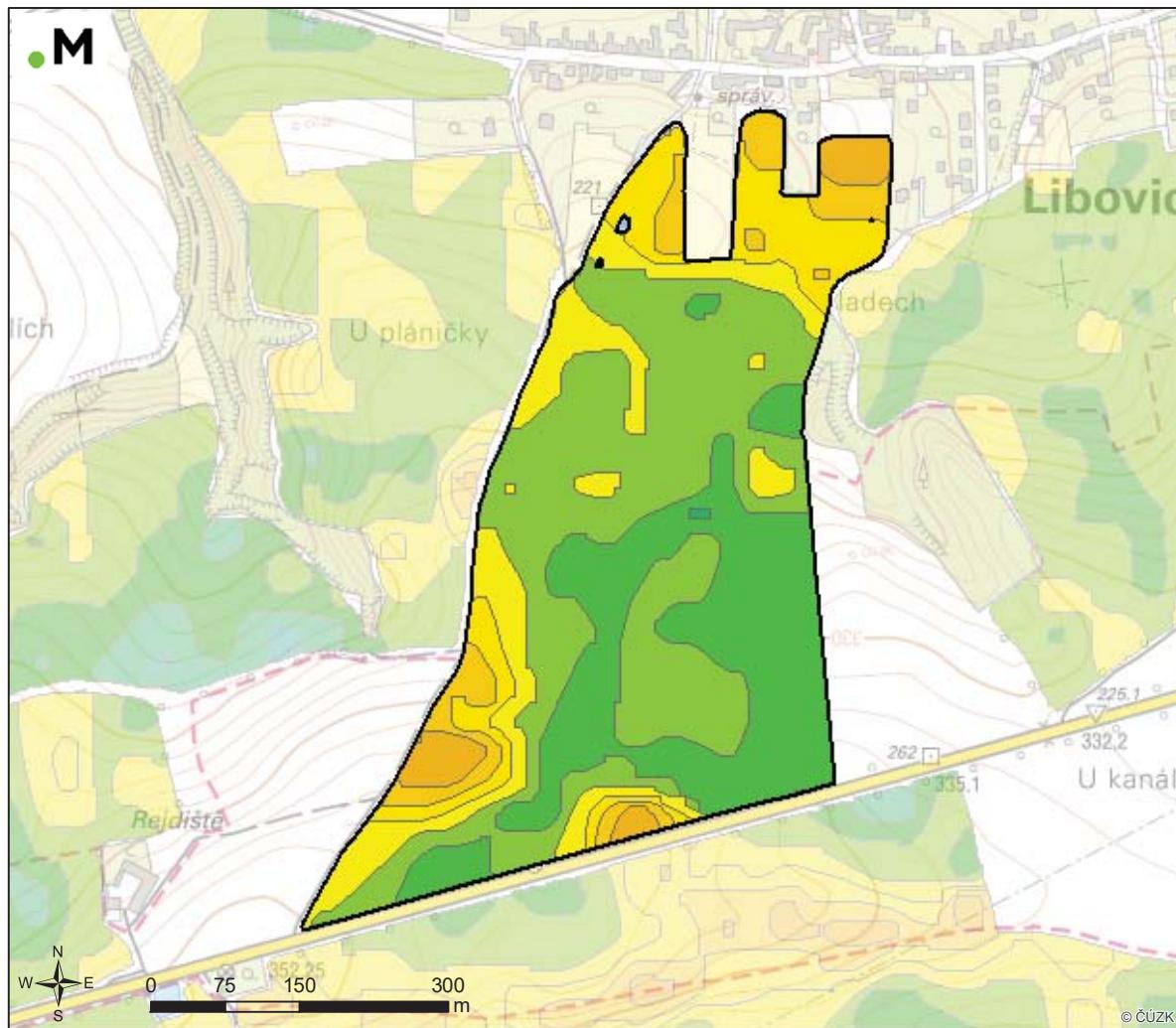
● Mendelova
● univerzita
● v Brně

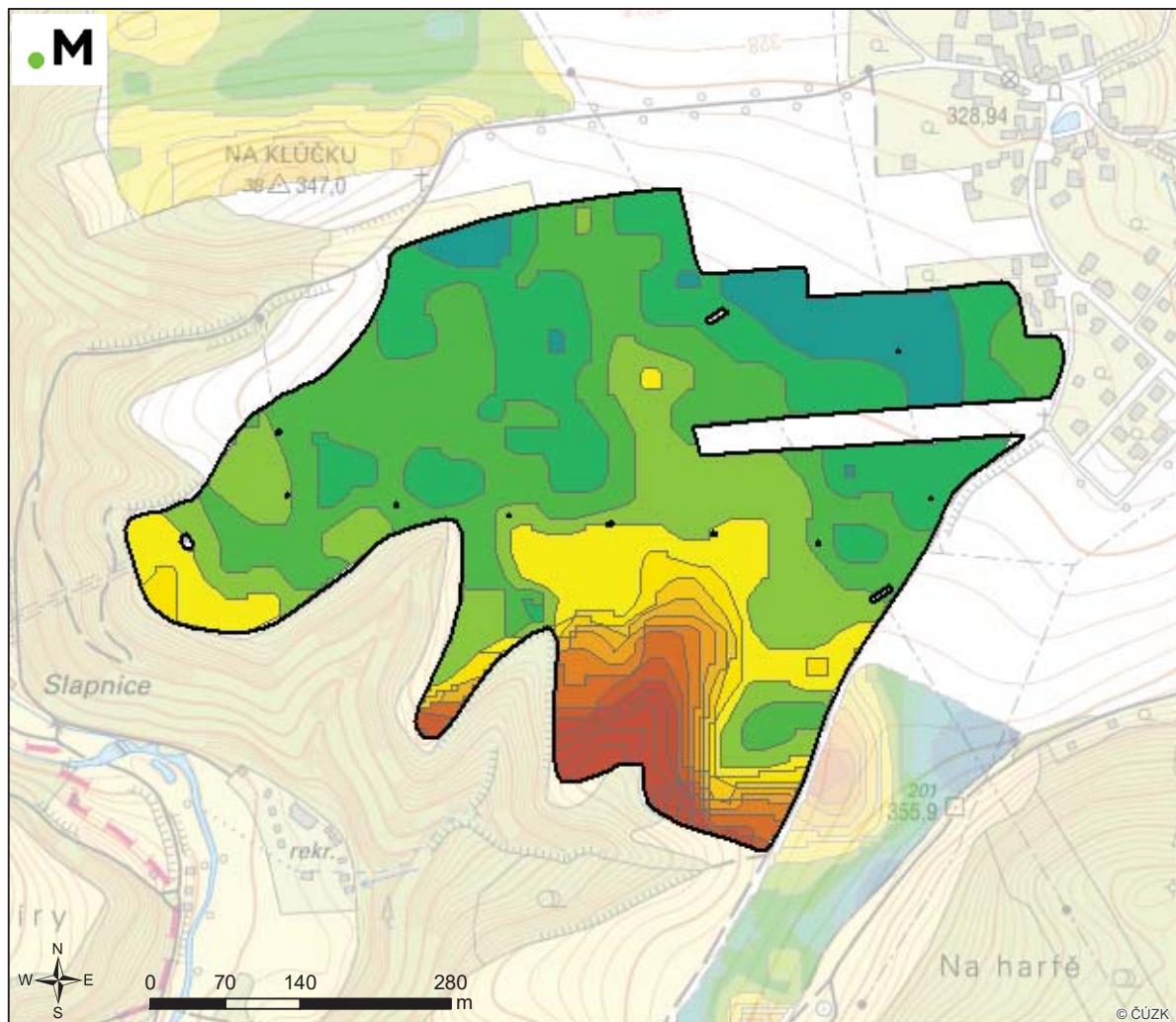
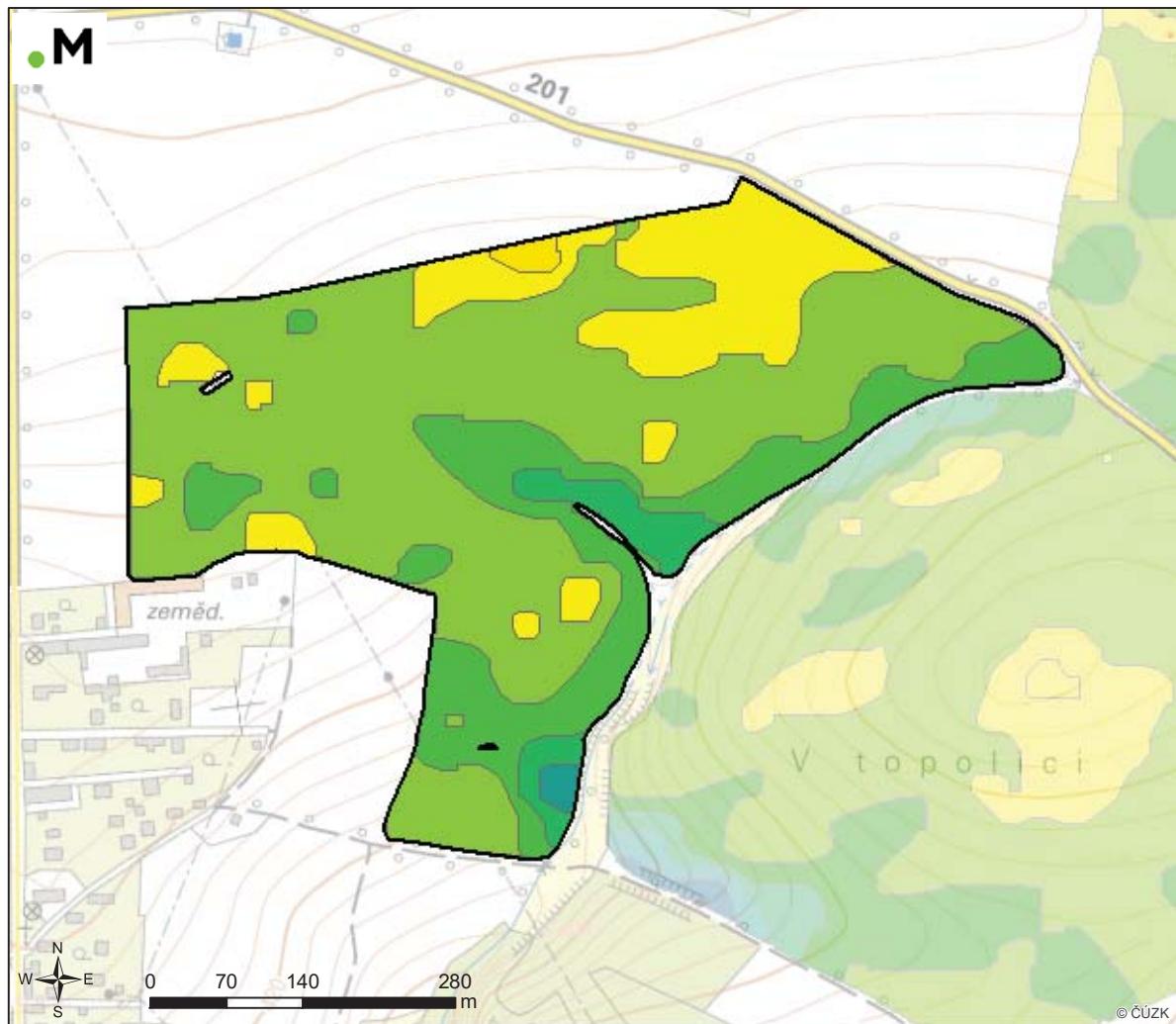


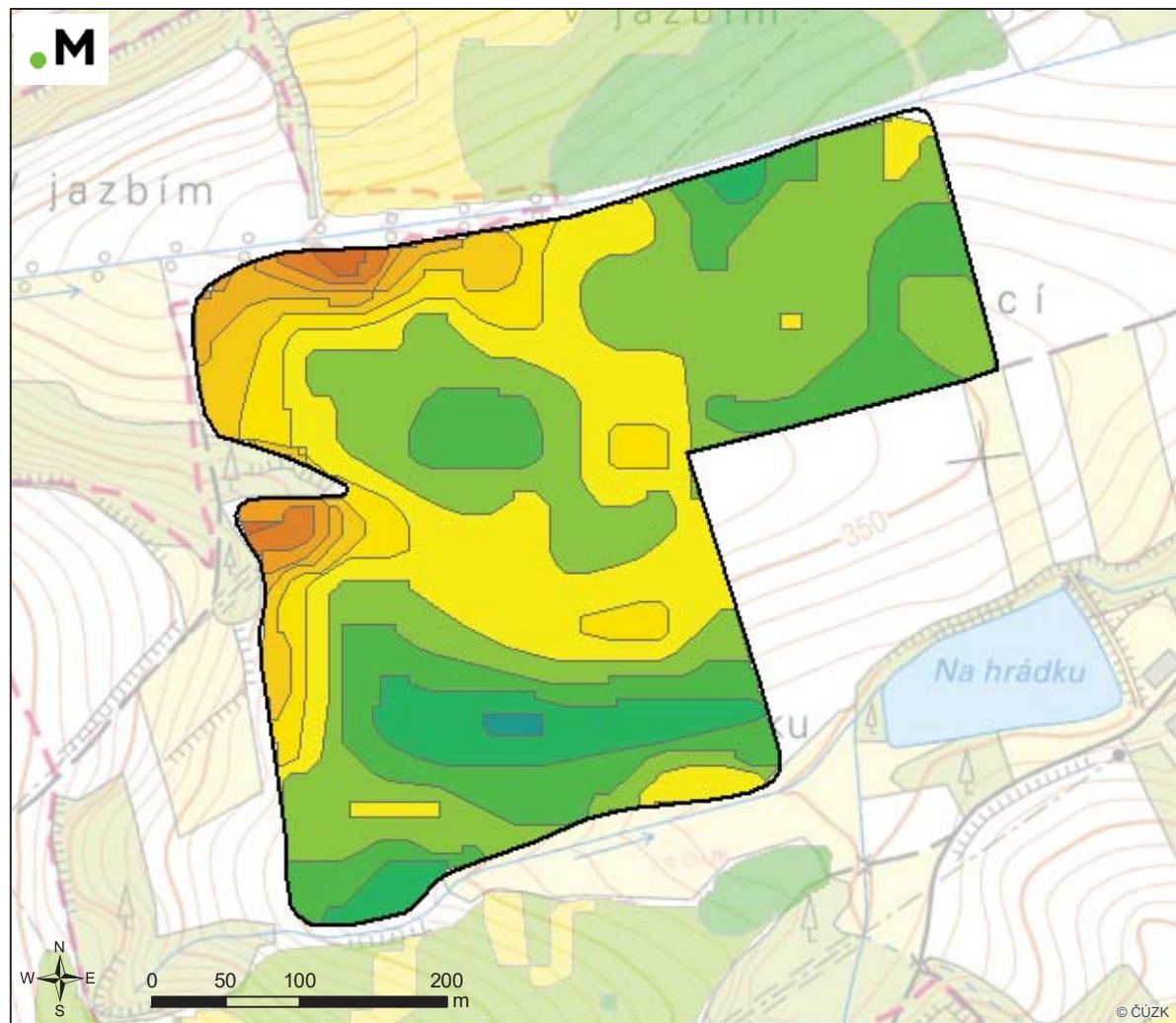
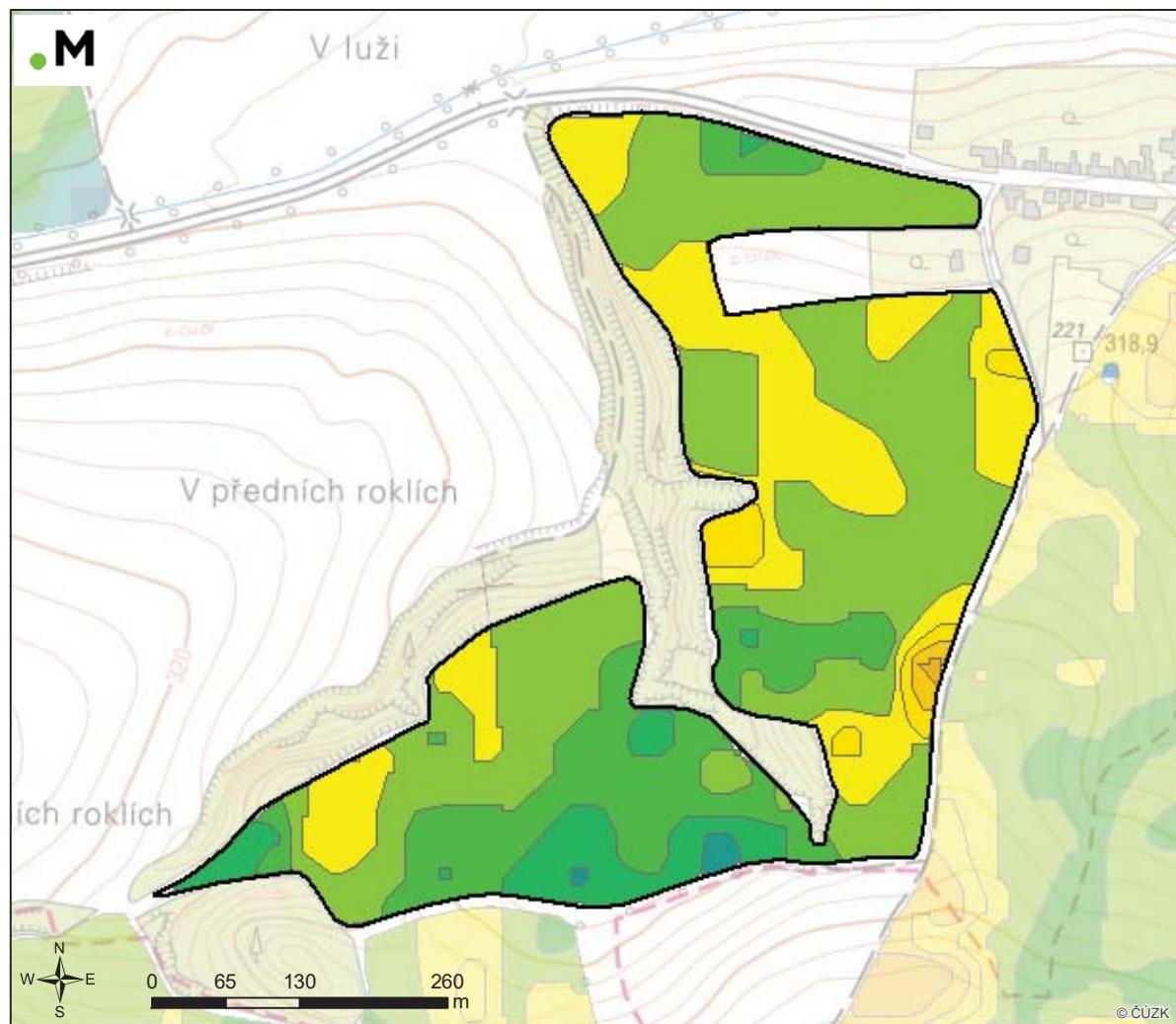


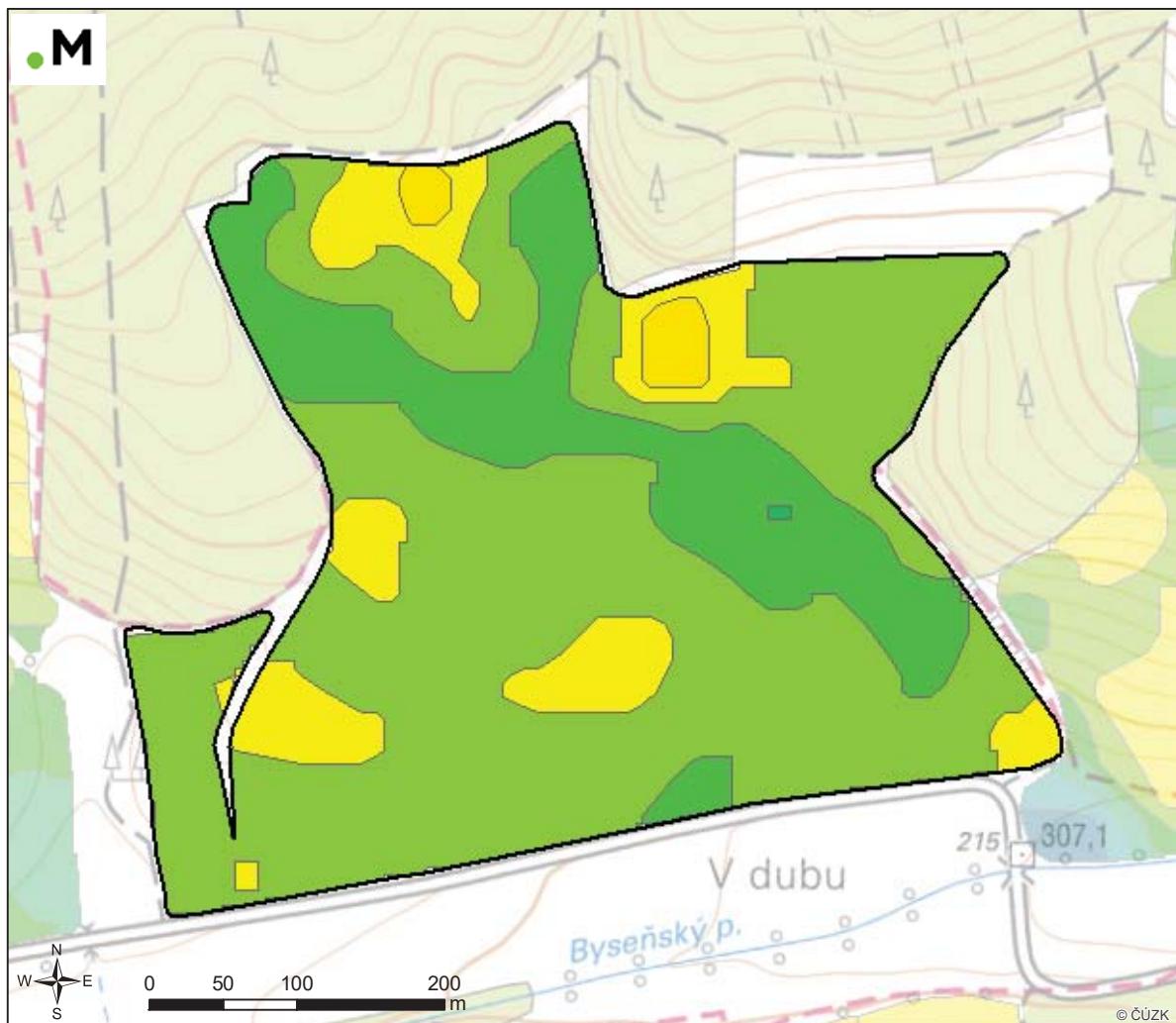
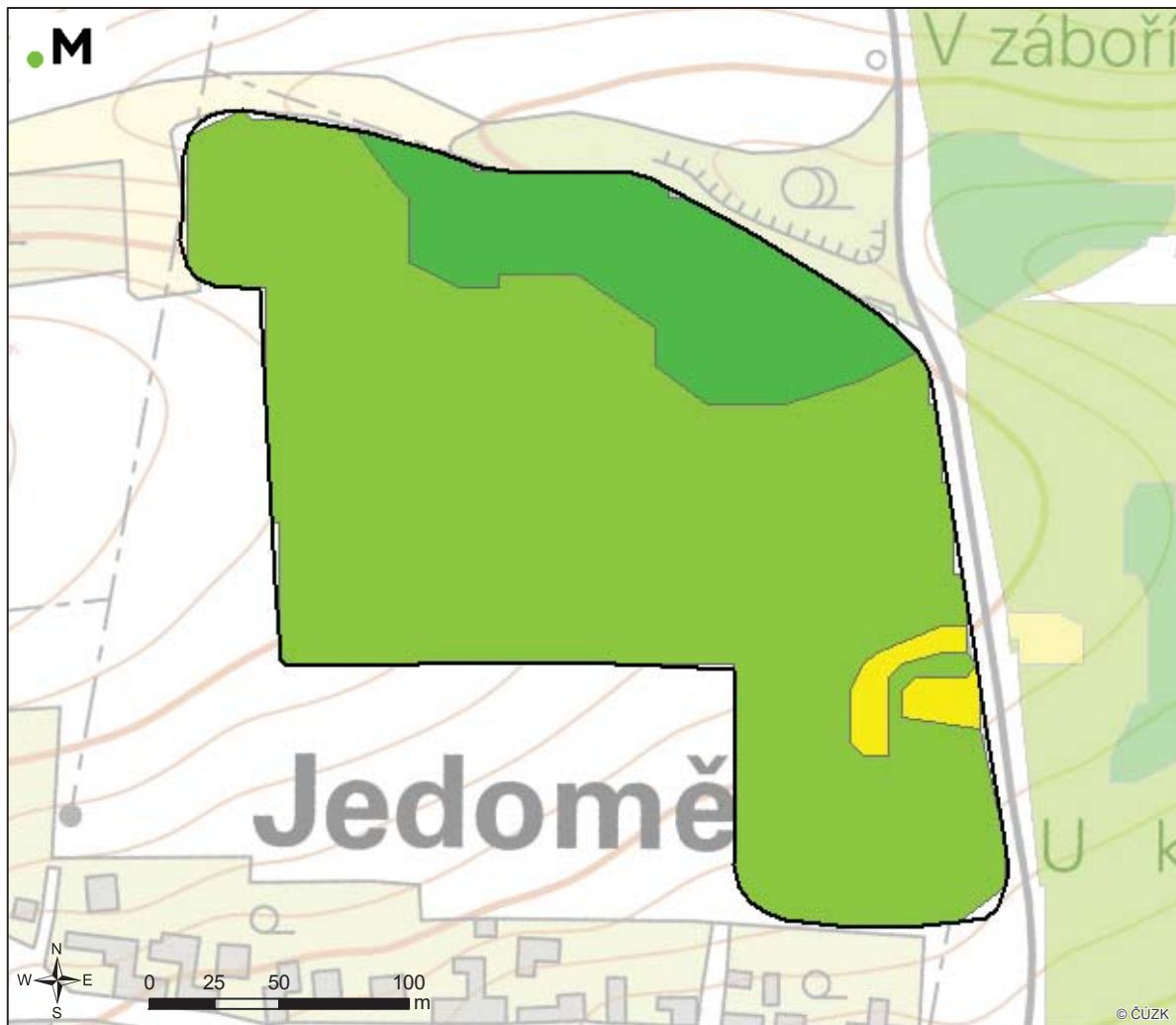


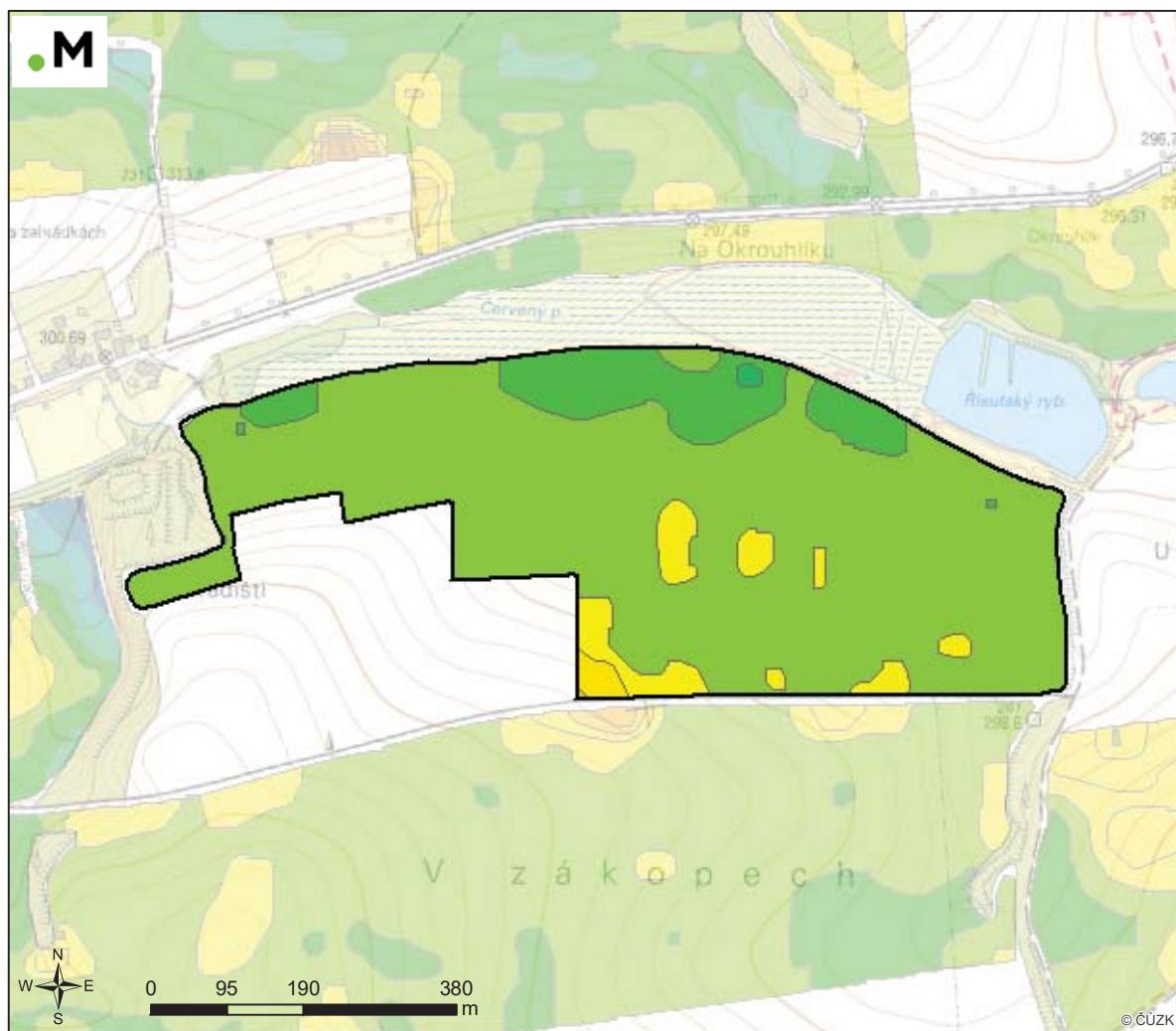
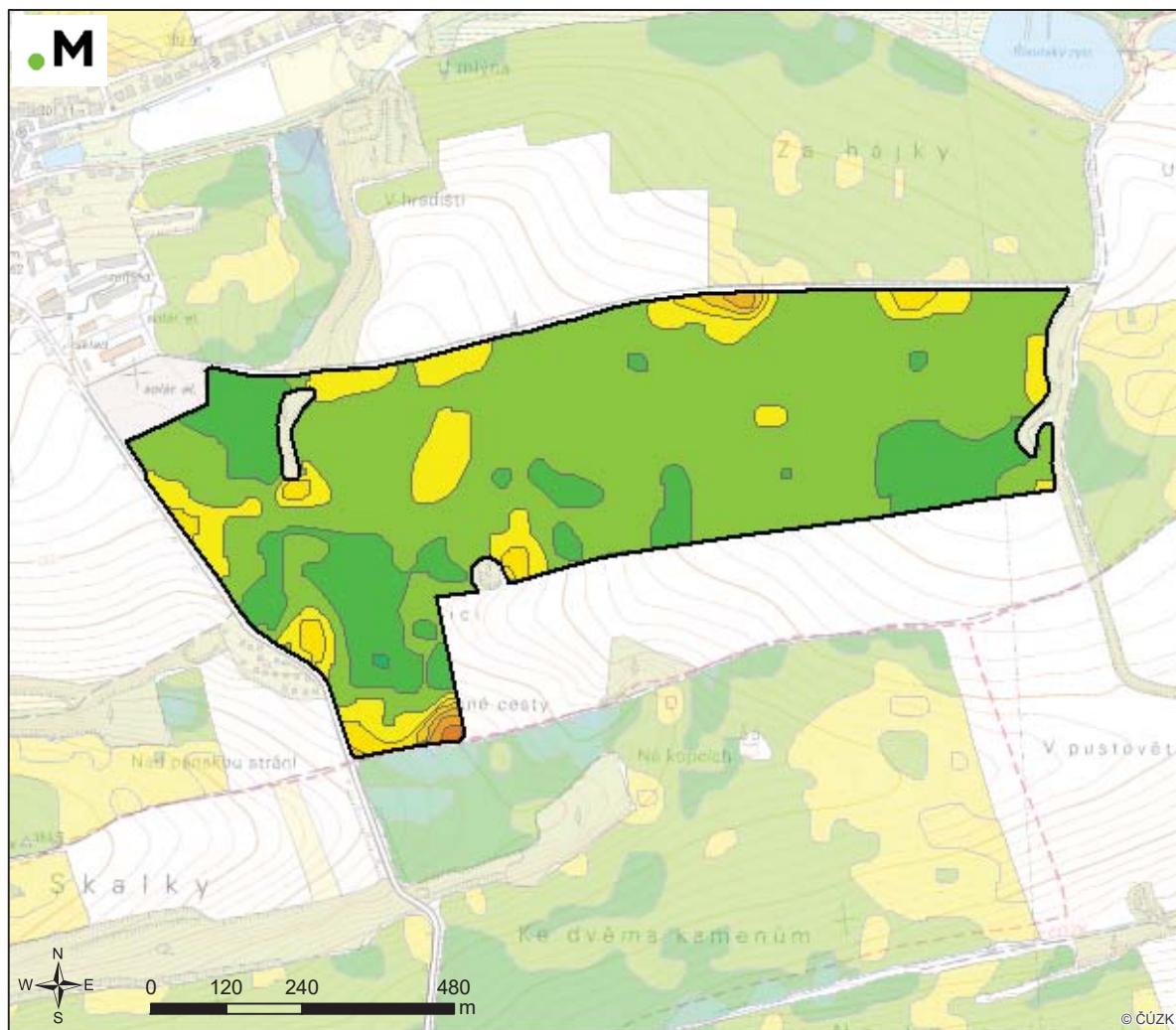












Název: Mapa relativního výnosového potenciálu pro pozemky AGRA Řisuty

Autoři: Vojtěch Lukas, Mendelova univerzita v Brně
Lubomír Neudert, Mendelova univerzita v Brně
Renata Duffková, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.
Jiří Mezera, Mendelova univerzita v Brně
Igor Horniaček, Mendelova univerzita v Brně
Petr Širůček, Mendelova univerzita v Brně
Vítězslav Krček, AGRA Řisuty s.r.o.

Vydala: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 BRNO
Sazba, tisk: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 BRNO
Vydání: první, 2020
Počet stran: 76
Náklad: 30 ks

Vydáno bez jazykové úpravy.

Publikace je poskytována bezplatně.

Kontakt na autory: vojtech.lukas@mendelu.cz



© Mendelova univerzita v Brně, 2020

ISBN 978-80-7509-746-0