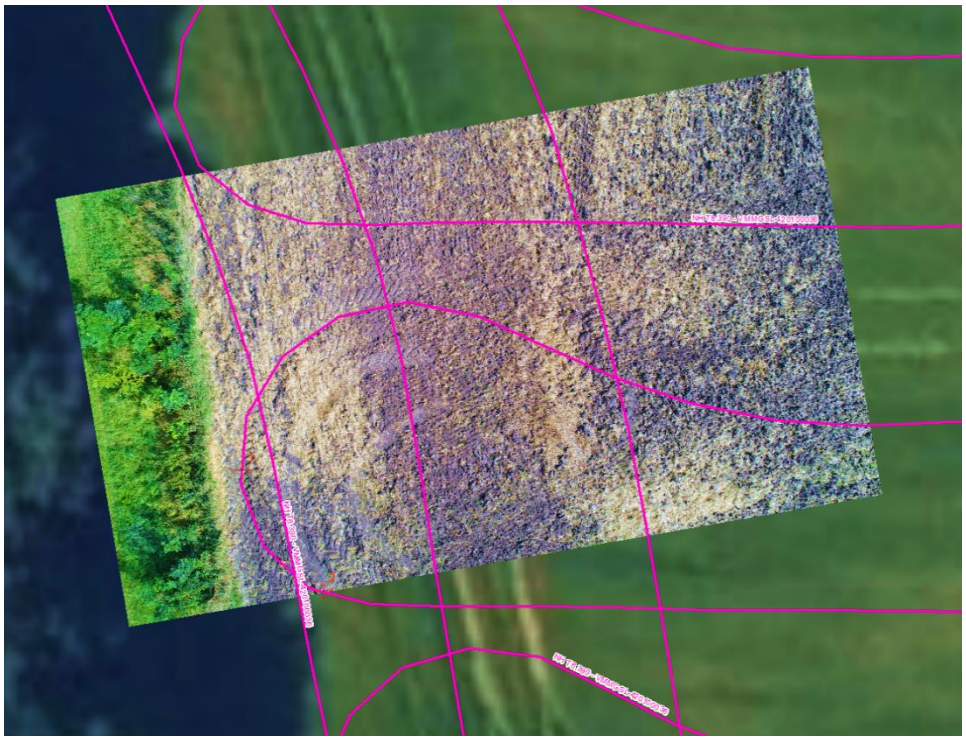
METODICKÝ POSTUP PRO OPTIMALIZACI VELIKOSTI ZEMĚDĚLSKÝCH POZEMKŮ

první vydání

Jiří Kapička, Václav Brant a kolektiv

Praha, 2017



MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Autoři metodiky:

VÚMOP, v.v.i.

Ing. Jiří Kapička

Ing. Jan Lang

Ing. David Petrus

Ing. Ivan Novotný

ČZU

doc. Ing. Václav Brant, Ph.D.

doc. Ing. Milan Kroulík, Ph.D.

Předkládaná práce vznikla na základě výstupu Funkčního úkolu Ministerstva zemědělství „*Integrace optimalizace velikosti a rozměrových parametrů půdních bloků ve vztahu k efektivní zemědělské výrobě a ochraně zemědělského půdního fondu do samostatného modulu Protierozní kalkulačky*“ s dobou řešení v letech 2016 – 2017 (MZe smlouva č.: 632-2016-10052).

Obsah

Obsah ... 4
1 Úvod ... 6
2 Hodnocení erozní ohroženosti ... 7
2.1 Technická protierozní opatření ... 8
2.2 Reálné erozní události ... 14
3 Definice požadavků na parametry pozemku ... 16
3.1 Velikost půdního bloku a jeho tvar ... 17
3.2 Délka a šířka pozemku ... 19
3.3 Svažitost půdního bloku ... 20
3.4 Dojezdová vzdálenost k půdnímu bloku ... 21
3.5 Vliv přejezdů zemědělské techniky na kvalitu půdních vlastností ... 25
3.6 Postupy optimalizace pohybu souprav po pozemku ... 34
3.6.1 Postup optimalizace zemědělských pozemků v praxi ... 45
4 Vyhodnocení prostorových analýz a návrh vhodného řešení ... 48
4.1 Multikriteriální analýza parametrů a určení vhodnosti zemědělských pozemků k optimalizaci pojezdů zemědělské techniky ... 48
4.1.1 Metodika výpočtu ... 48
4.1.2 Vstupní parametry ... 50
4.1.3 Popis kritérií ... 50
4.1.4 Výstupy multikriteriální analýzy ... 61
5 Protierozní ochrana s ohledem na vhodné prostorové rozmístění zemědělských pozemků a návrh potenciálně vhodných lokalit k dělení pozemků ... 65
5.1 Prostorové analýzy definovaných parametrů PB s potenciálními degradacemi půdy ... 65
5.1.1 Dlouhodobá průměrná ztráta půdy ... 65
5.1.2 Dobrý zemědělský a environmentální stav (DZES) ... 68
5.2 Analýza přípustných délek pozemků z pohledu protierozní ochrany ... 70
5.3 Analýza možného využití stávajících pozemků jako hranic k dělení - RUIAN ... 75
5.4 Analýza vhodných vstupů na pozemek ... 76
5.4.1 Prostorová analýza dostupnosti půdních bloků z komunikací ... 76

5.4.2 Prostorová analýza optimálních vstupů na půdní bloky ... 78
6 Modul „Optimalizace velikosti pozemků“ v Protierozní kalkulačce ... 80
6.1 Popis mapových vrstev ... 80
6.1.1 Erozně uzavřené celky ... 80
6.1.2 Expozice 8 světových stran ... 81
6.1.3 Vrstva plochy nad 6° ... 81
6.1.4 Vrstva plochy nad 11° ... 81
6.1.5 Výsledné třídy multikriteriální analýzy ... 82
6.1.6 Pozemky vhodné pro dělení ... 82
6.1.7 Bloky náchylné ke zhutnění ... 82
6.2 Návod na obsluhu modulu Optimalizace velikosti pozemku ... 83
6.2.1 Mapová část ... 83
6.2.2 Nástroj pro určení maximální přípustné délky pozemku ... 84
Seznam zkratek ... 89
Seznam obrázků ... 90
Seznam tabulek ... 92
Seznam grafů ... 93
Literatura ... 94

1 Úvod

Půda je jedním z nejcennějších přírodních bohatství každého státu a neobnovitelným přírodním zdrojem. Představuje významnou složku životního prostředí s širokým rozsahem funkcí a je základním výrobním prostředkem v zemědělství a lesnictví. Půda ovšem neplní jen produkční funkce, ale má i neméně významné funkce mimoprodukční: akumulační, filtrační, asanační, transportní, transformační apod. Vznik půdy je následek tzv. půdotvorných procesů, které probíhají stovky až tisíce let, během kterých prochází půda různými stupni vývoje. Půdní pokryv ČR vykazuje velkou šíři a rozmanitost, která vyplývá z pestrosti uplatnění faktorů a podmínek půdotvorných procesů (Vopravil, 2009).

Půda je ovšem ohrožena celou řadou procesů z části přírodních, z větší části však vyvolaných činností člověka, které vedou k omezení nebo až zničení schopnosti půdy plnit své základní produkční a mimoprodukční funkce.

Půdy v ČR jsou více než z poloviny ohroženy vodní erozí, nejrozšířenějším typem degradace půd u nás. Během jedné erozní události může být spláchnuto až několik centimetrů půdy a dojít tak k její nenávratné ztrátě. V případě eroze se k degradaci půdy přidávají ještě další negativní efekty způsobené přenosem půdního materiálu a dochází tak k ohrožování obecního a soukromého majetku, zanášení vodních toků a nádrží a zhoršování jakosti povrchových vod. Vážné projevy degradace půdy erozí jsou každoročně mapovány při aktualizacích bonitovaných půdně ekologických jednotek, což se projevuje i výrazným snížením průměrné ceny pozemků.

Podmínky pro výskyt vodní eroze jsou v ČR specifické – půdní bloky jsou v ČR největší v Evropě díky intenzifikaci zemědělské výroby v minulosti, ve velkém byly také rušeny hydrografické a krajinné prvky (rozorání mezí, zatravněných údolnic, polních cest, likvidace rozptýlené zeleně apod.), které zrychlené erozi účinně bránily. Velikost půdních bloků na druhé straně přináší větší možnosti optimalizace pojezdů zemědělské techniky a tím i možné zvýšení efektivity obdělávání zemědělských pozemků.

Předkládaná metodika na základě zpracovaných analýz přináší podklady pro dělení zemědělských pozemků z hlediska protierozní ochrany, současně však tyto požadavky konfrontuje s požadavky na parametry půdních bloků definované z pohledu optimalizace pohybu zemědělské techniky.

Metodikou popsané parametry a požadavky v sobě zahrnuje interaktivní modul „Optimalizace velikosti pozemků“ v Protierozní kalkulačce, který určuje maximální přípustné délky svahu, zároveň však uživateli poskytuje podkladové vrstvy vzniklé na základě provedených prostorových analýz zohledňující parametry pozemků z pohledu požadavků zemědělské techniky (https://kalkulacka.vumop.cz).

2 Hodnocení erozní ohroženosti

Hodnocení erozní ohroženosti je možné provádět pomocí metody USLE - Univerzální rovnice pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy erozí (Wishmeier a Smith, 1978), která se běžně doporučuje pro výpočet průměrné dlouhodobé ztráty půdy (G) jak u nás, tak v zahraničí. Výhodou je tak soulad s dosavadní praxí (ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy, metodika navrhování komplexních pozemkových úprav (KoPÚ), stanovení DZES 5 atd.) a komplexní přístup. Nevýhodou je větší odborná náročnost, případně potřeba podpůrného nástroje (např. Protierozní kalkulačka). Rovnici také nelze používat pro období kratší než jeden rok a pro zjišťování ztráty půdy erozí z jednotlivých srážek nebo z tání sněhu (k tomuto účelu jsou určeny epizodní modely, které jsou výrazně složitější např. na vstupní data). Metoda USLE vychází z principu tzv. přípustné ztráty půdy a byla definována jako „maximální hodnota eroze půdy, která dovoluje udržovat trvale a ekonomicky dostupně vysokou úroveň úrodnosti půdy“. V České republice jsou hodnoty přípustné ztráty půdy stanoveny pro půdy mělké 1 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$, pro půdy středně hluboké a hluboké 4 $t.ha^{-1}.rok^{-1}$ dle metodiky (Janeček a kol., 2012).

Rovnice USLE má tvar:

$$\boldsymbol{G = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P} \tag{1}$$

kde:

G … průměrná dlouhodobá ztráta půdy [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$],

R … faktor erozní účinnosti deště vyjádřený v závislosti na kinetické energii a intenzitě erozně nebezpečných dešťů [$MJ \cdot ha^{-1} \cdot cm \cdot h^{-1}$], resp. po úpravě [$N \cdot ha^{-1}$],

K … faktor erodovatelnosti půdy vyjádřený v závislosti na textuře a struktuře ornice, obsahu organické hmoty a propustnosti půdního profilu [$t \cdot h \cdot MJ^{-1} \cdot cm^{-1}$], resp. po úpravě [$N \cdot ha^{-1}$],

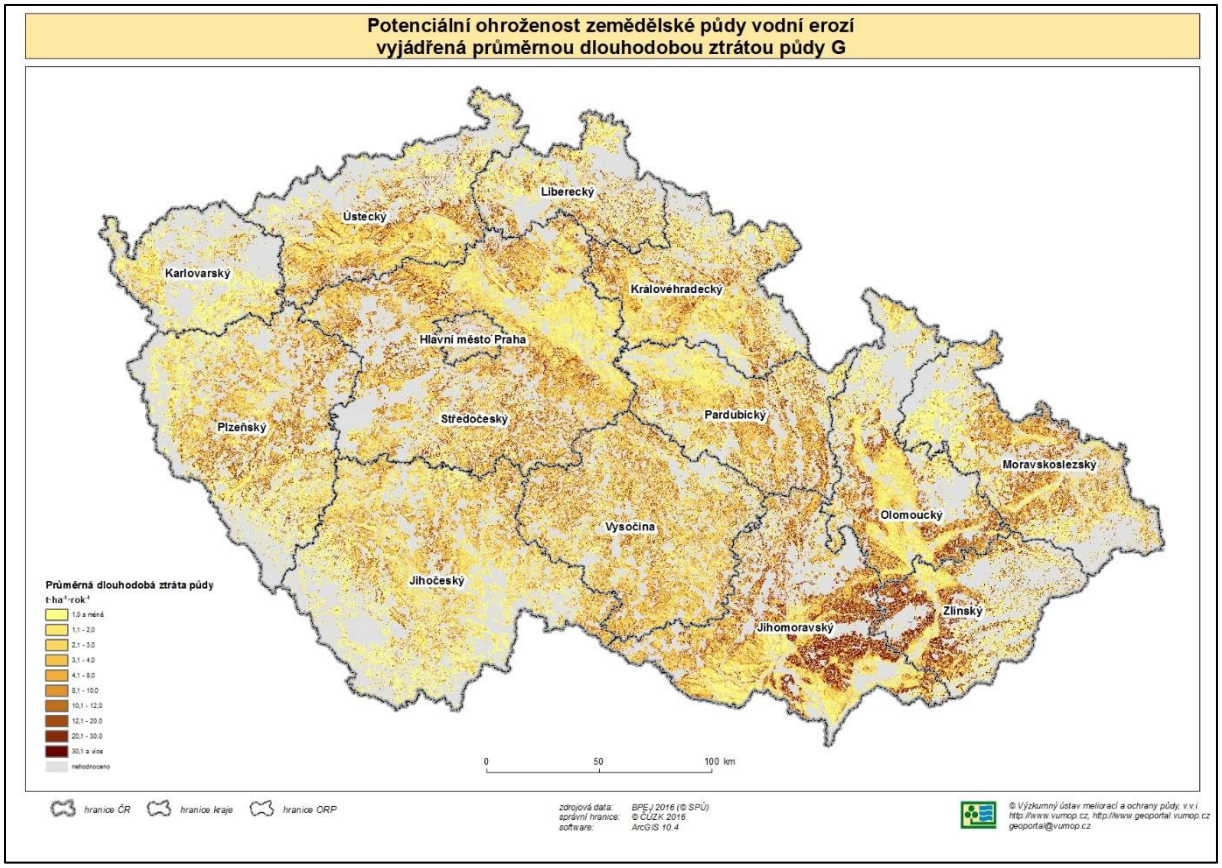
L … faktor délky svahu vyjadřující vliv nepřerušené délky svahu na velikost ztráty půdy erozí (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku délky 22,13 m),

S … faktor sklonu svahu vyjadřující vliv sklonu svahu na velikost ztráty půdy erozí (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku sklonu 9 %),

C … faktor ochranného vlivu vegetace vyjádřený v závislosti na vývoji vegetace a použité agrotechnice (bezrozměrný – poměr smyvu ke smyvu na jednotkovém pozemku s trvalým úhorem),

P … faktor účinnosti protierozních opatření (bezrozměrný – poměr smyvu na jednotkovém pozemku obdělávaném ve směru sklonu pozemku).

Dosazením odpovídajících hodnot faktorů šetřeného pozemku do Univerzální rovnice se určí dlouhodobá průměrná ztráta půdy vodní erozí v $t \cdot ha^{-1}$ za rok při uvažovaném způsobu jeho využívání.



Obrázek 2-1 Průměrná dlouhodobá ztráta půdy G [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$] zařazena do tříd erozního ohrožení půd

2.1 Technická protierozní opatření

Technická protierozní opatření (TPEO) jsou obecně nejvyšší formou protierozní ochrany, navazují na její měkčí způsoby – opatření organizační a agrotechnická. Technická opatření se navrhují zpravidla až po vyčerpání možnosti zajištění požadované ochrany pomocí opatření měkčích, nebo v případě, kdy návrh vyžaduje určitou jasně specifikovanou úroveň míry ochrany, kterou měkčí opatření není schopno poskytnout. Základním principem technických protierozních opatření je:

- změna sklonu pozemku (terénní urovnávky, terasování, historické meze),
- **přerušení volné délky pozemku** a neškodné odvedení povrchového odtoku (příkopy, průlehy, protierozní meze, údolnice),
- zachycení povrchového odtoku a splavenin, zdržení odtoku a jeho neškodné odvedení (hrázky, sedimentační, retenční a suché nádrže, vsakovací prvky).

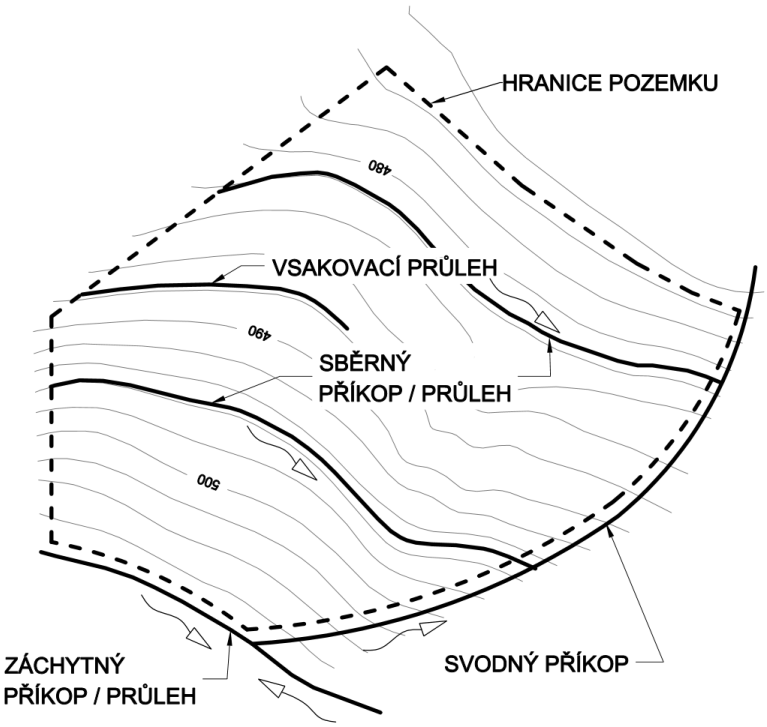
Zásadním rozdílem TPEO proti ostatním typům protierozních opatření je technický charakter prvků, který se promítá do způsobu navrhování a realizace. TPEO jsou opatření investičního charakteru, která je třeba individuálně posoudit v souladu se Stavebním zákonem 183/2006 Sb., a

podle něj rozhodnout, zda stavba vyžaduje ohlášení, stavební povolení, či je možno ji realizovat bez nich. Podrobněji je problematika legislativního rámce a podmínek realizace zmíněna v kapitole 5 metodiky „Navrhování technických protierozních opatření“ (Kadlec a kol., 2014).

Z uvedeného vyplývá, že TPEO se navrhují tak, aby zajistila protierozní ochranu pozemku, např. změnou volné délky svahu nebo sklonu svahu. Častým důvodem pro návrh prvků nebo systémů TPEO je i požadavek na ochranu přilehlých pozemků nebo struktur na nich vybudovaných před odtokem vody a transportem splavenin z výše ležících pozemků (tzv. off-site efekty). Navržená technická ochranná opatření tak musí být schopna plnit svou funkci v předem stanovených podmínkách. Jde především o to, že TPEO je třeba navrhovat a dimenzovat na určitou zcela jednoznačnou míru bezpečnosti, vyjádřenou dobou opakování. Ta by se podle typu a významnosti chráněné lokality měla pohybovat od minimálně pěti let v běžných podmínkách až po 10– 50 let při ochraně intravilánu nebo jiné významné infrastruktury. V odůvodněných výjimečných případech je možné daná opatření navrhovat na dobu opakování až 100 let. Návrhovými parametry pak jsou nejčastěji kulminační průtok, objem odtoku nebo transport splavenin, vyvolaný konkrétní příčinnou srážkovou epizodou. To vše charakterizováno dobou opakování daného jevu v daném profilu (Dostál a kol., 2014).

ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy rozeznává následující typy technických protierozních opatření:

- terénní urovnávky,
- terasy,
- příkopy,
- průlehy,
- vsakovací pásy,
- sedimentační pásy,
- zatravněné údolnice,
- ochranné hrázky,
- sanace erozních výmolů a strží,
- ochranné nádrže,
- polní cesty s protierozní funkcí.



Obrázek 2-2: Typy příkopů podle jejich prostorového uspořádání (Kadlec a kol., 2014)

Jedním z požadavků na návrh protierozních opatření na erozně ohrožených svazích je jejich umístění, tak aby nebyla překročena tzv. maximální přípustná délka svahu. Tuto délku lze určit z empirické rovnice USLE (1). Pokud z rovnice (1) stanovující dlouhodobou průměrnou ztrátu půdy vyjádříme hodnotu *l*, je možné určit tzv. *přípustnou délku pozemku*. Hodnota přípustné délky pozemku je chápána jako maximální délka svahu (v metrech), která je danými podmínkami určenými faktory USLE a přípustnou ztrátou půdy brána jako dostatečně erozně ochranná (při takové délce není půda ohrožena erozním smyvem). Překročí-li pak reálná délka svahu pozemku vypočítanou přípustnou délku svahu, lze definovat pozemek jako erozně ohrožený.

$$\boldsymbol{l = 22,13\left(\frac{Gp}{RKSPC}\right)^{\frac{\frac{1}{\frac{\frac{sinSo}{0,0896}}{3(sinSo^{0,8})+0,56}}}{\frac{sinSo}{0,0896}}+1}}$$

(2)

Druhý způsob vhodný pro návrh zejména TPEO je určení přípustné délky svahu, nebo stanovením volné délky pozemku tzv. fyzikálním přístupem (Dostál a kol., 2014). Limitní přípustnou délku svahu definuje Dýrová (1988) jako limitující rozměr části svahu, který se určuje v zájmu omezení eroze. Je to délka svahu po spádnici, při které ještě není překročena přípustná eroze – viz rovnice (3). Při organizaci povodí formou pozemkových úprav je základem ochrany tvorba a revize velikosti pozemků. Přechod z plošného odtoku v soustředěný a plošné eroze ve výmolovou nemusí být náhlý a závisí na více faktorech. Na scelených plochách pozemků dochází ke zrychlené plošné

erozi, zejména když se zvětšuje délka nepřerušeného odtoku vody. Nemusí při tom ani vznikat hlubší rýhy. Obecně je při rozboru plošného povrchového odtoku a plošné vodní eroze sledováno, kdy povrchově tekoucí voda začíná odnášet půdní částečky a dochází ke smyvu půdy.

$$\tau = \frac{100 \cdot \tau_n^{5/3}}{\gamma_v^{5/3} \cdot i \cdot n \cdot CN \cdot n_3 \cdot J^{7/6}} \tag{3}$$

kde:

τ	…	limitní šířky pásů bez projevů eroze	[m]
τ_n	…	nevymílací účinné zrno	[N · m^{-2}]
γ_v	…	měrná tíha vody	[N · m^{-3}]
i	…	intenzita náhradního přívalového deště	[m · s^{-1}]
n	…	součinitel relativní drsnost	[s · m$^{-1/3}$]
CN	…	odtokové číslo	[-]
n_3	…	faktor sklonu	[-]
J	…	sklon území	[-]

Tabulka 1: Porovnání maximálních přípustných délek svahu ve směru odtoku při různých směrech obdělávání, sklonu, půdních podmínkách a osevním postupu KZ+KS+OP+JJ (Novotný a kol, 2017)

Nepřerušená délka PB nebo jeho části ve směru sklonu svahu (m) pro C = 0,43 (KZ+KS+OP+JJ)

náchylnost půd k vodní erozi	směr obdělávání půdy	sklon (°)													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nenáchylné (K = 0,20)	vrstevnicové (P = 0,60)	17 618	2 154	719	359	188	117	82	61	48	39	33	28	25	22
	nevrstevnicové (P = 1,0)	3 877	618	236	128	71	46	33	25	20	17	14	12	11	10
slabě náchylné (K = 0,30)	vrstevnicové (P = 0,60)	5 297	799	297	158	87	56	40	30	24	20	17	15	13	11
	nevrstevnicové (P = 1,0)	1 165	229	97	56	33	22	16	12	10	8	7	6	6	5
středně náchylné (K = 0,40)	vrstevnicové (P = 0,60)	2 258	396	159	88	50	33	24	18	15	12	10	9	8	7
	nevrstevnicové (P = 1,0)	497	113	52	31	19	13	9	7	6	5	4	4	3	3
silně náchylné (K = 0,50)	vrstevnicové (P = 0,60)	1 165	229	97	56	33	22	16	12	10	8	7	6	6	5
	nevrstevnicové (P = 1,0)	256	65	32	20	12	8	6	5	4	3	3	3	2	2
nejnáchylnější (K = 0,60)	vrstevnicové (P = 0,60)	679	147	65	39	23	15	11	9	7	6	5	5	4	4
	nevrstevnicové (P = 1,0)	149	42	21	14	8	6	4	3	3	2	2	2	2	1

Tabulka 2:Porovnání maximálních přípustných délek svahu ve směru odtoku při různých směrech obdělávání, sklonu, půdních podmínkách a osevním postupu JE+OP+KS+JJ (Novotný a kol, 2017)

Nepřerušená délka PB nebo jeho části ve směru sklonu svahu (m) pro C = 0,28 (JE+OP+KS+JJ)

náchylnost půd k vodní erozi	směr obdělávání půdy	sklon (°)													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nenáchylné (K = 0,20)	vrstevnicové (P = 0,60)	62 821	6 146	1 829	851	426	257	174	128	99	80	66	56	49	43
	nevrstevnicové (P = 1,0)	13 824	1 764	601	304	161	101	71	53	42	34	29	25	22	19
slabě náchylné (K = 0,30)	vrstevnicové (P = 0,60)	18 890	2 282	756	376	197	122	85	64	50	41	34	29	26	23
	nevrstevnicové (P = 1,0)	4 157	654	248	134	74	48	34	26	21	17	15	13	11	10
středně náchylné (K = 0,40)	vrstevnicové (P = 0,60)	8 053	1 129	404	210	114	72	51	39	31	25	21	18	16	14
	nevrstevnicové (P = 1,0)	1 772	324	133	75	43	28	21	16	13	11	9	8	7	6
silně náchylné (K = 0,50)	vrstevnicové (P = 0,60)	4 157	654	248	134	74	48	34	26	21	17	15	13	11	10
	nevrstevnicové (P = 1,0)	914	187	81	48	28	19	14	11	9	7	6	5	5	4
nejnáchylnější (K = 0,60)	vrstevnicové (P = 0,60)	2 421	419	167	93	52	34	25	19	15	13	11	9	8	7
	nevrstevnicové (P = 1,0)	532	120	55	33	19	13	10	8	6	5	5	4	3	3

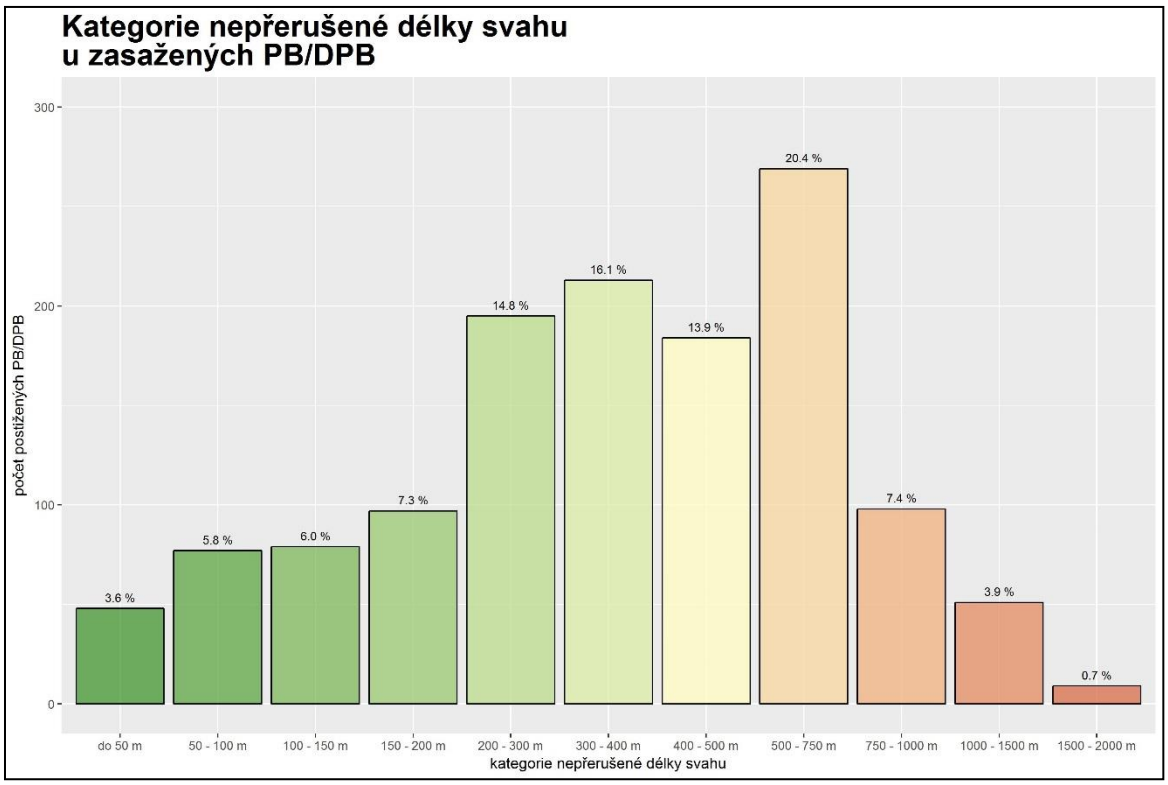
Tabulka 3:Porovnání maximálních přípustných délek svahu ve směru odtoku při různých směrech obdělávání, sklonu, půdních podmínkách a osevním postupu V+V+OP+KS+JJ (Novotný a kol, 2017)

Nepřerušená délka PB nebo jeho části ve směru sklonu svahu (m) pro C = 0,19 (V+V+OP+KS+JJ)

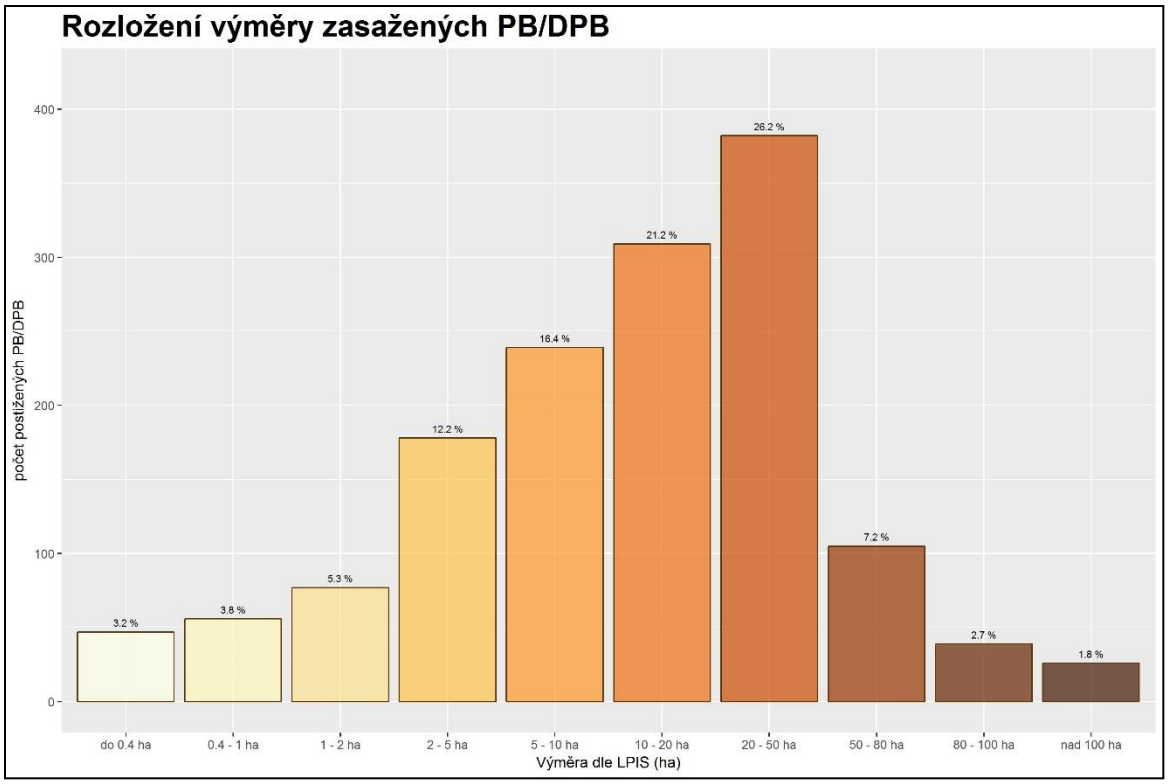
náchylnost půd k vodní erozi	směr obdělávání půdy	sklon (°)													
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
nenáchylné (K = 0,20)	vrstevnicové (P = 0,60)	198 240	15 855	4 256	1 859	892	521	345	249	190	151	124	105	90	79
	nevrstevnicové (P = 1,0)	43 623	4 550	1 399	664	337	205	140	104	81	65	54	46	40	35
slabě náchylné (K = 0,30)	vrstevnicové (P = 0,60)	59 611	5 886	1 760	822	412	249	169	124	96	78	65	55	48	42
	nevrstevnicové (P = 1,0)	13 117	1 689	579	293	156	98	69	52	41	33	28	24	21	19
středně náchylné (K = 0,40)	vrstevnicové (P = 0,60)	25 413	2 914	941	460	238	147	102	76	59	48	40	35	30	27
	nevrstevnicové (P = 1,0)	5 592	836	309	164	90	58	41	31	25	21	17	15	13	12
silně náchylné (K = 0,50)	vrstevnicové (P = 0,60)	13 117	1 689	579	293	156	98	69	52	41	33	28	24	21	19
	nevrstevnicové (P = 1,0)	2 886	484	190	105	59	38	28	21	17	14	12	10	9	8
nejnáchylnější (K = 0,60)	vrstevnicové (P = 0,60)	7 641	1 082	389	203	110	70	50	38	30	25	21	18	16	14
	nevrstevnicové (P = 1,0)	1 681	310	128	72	41	27	20	15	12	10	9	8	7	6

2.2 Reálné erozní události

Z pohledu ochrany zemědělského půdního fondu je však velikost a délka pozemku faktorem, který významně ovlivňuje vznik erozních procesů (Žížala a kol., 2015; Kapička a kol., 2017). Tyto předpoklady potvrzují i vyhodnocení reálných erozních událostí. Rozdělení nepřerušených délek svahu a rozdělení velikostí dílů půdních bloků (DPB) u reálných erozních událostí prezentuje Graf 2-1 a Graf 2-2.



Graf 2-1 Kategorie nepřerušené délky svahu u erozí zasažených DPB (Kapička a kol., 2017)



Graf 2-2 Rozložení výměry erozí zasažených DPB (Kapička a kol., 2017)

Z provedených analýz reálně nastalých erozních událostí je patrné, že jako kritická délka svahu se jeví délka větší než 200 m. V této kategorii razantně narůstá počet erozních událostí. S nepřerušenou délkou půdních bloků úzce souvisí i velikost půdních bloků. Z pohledu nastalých erozních událostí lze za erozně nebezpečné považovat půdní bloky s výměrou nad 2 ha, na kterých nastalo více jak 71 % erozních událostí. Nejohroženější půdní bloky jsou bloky s přímým svahem o nepřerušené délce 500 m a velikostí 25 ha. Na základě zjištění Monitoringu eroze lze konstatovat, že je třeba prioritně řešit nepřerušené odtokové délky půdních bloků, které se z vyhodnocení jeví jako nejproblematičtější.

3 Definice požadavků na parametry pozemku

Parametry půdního bloku vycházející z jeho prostorového umístění v krajinném prostoru jsou jedním z faktorů rozhodujících o produktivnosti zemědělských systémů a jejich ekonomické a energetické efektivitě. Kromě vlivu na produkční funkce zemědělství ovlivňují tyto parametry rovněž jeho mimoprodukční funkce, zejména z hlediska vlivu na půdu, na koloběh vody a živin a na okolní krajinné struktury.

Primárně je znalost vlastností půdního bloku a jejich následná implementace do agrotechnických postupů spojována s principy trvale udržitelného zemědělství ve vztahu k zachování produkčních a přírodních funkcí půdy (Brunotte a Fröba, 2007). Provádění pracovních operací na pozemcích zásadním způsobem ovlivňuje energetickou náročnost zemědělské výroby na základě spotřeby pohonných hmot (Boxberger a Moitzi, 2008) a tím i produkci skleníkových plynů. Kromě samotných prostorových parametrů půdních bloků hraje významnou roli, z hlediska výše uvedených skutečností, i vzdálenost půdního bloku od farmy či střediska zemědělského podniku a jejich vzájemná poloha v krajinném prostoru, která se promítá do přepravních vzdáleností, časové efektivity apod. (např. Janinhoff, 2000; Brunotte a Fröba, 2007). Způsoby pohybu zemědělských souprav po pozemcích, které jsou ovlivňovány tvarovými a velikostními parametry půdních bloků, včetně interakce s reliéfem zájmového území, mají výrazný vliv na degradační procesy půdy, především na zhutnění půdy (např. Horn a kol., 2000; Botta a kol., 2006), včetně následné dlouhodobé perzistence tohoto jevu (Berisso a kol., 2012). Vliv pohybu zemědělských souprav po pozemku spojený se zhutněním půdy se následně projevuje snížením infiltračních procesů (např. Hamza a Anderson, 2003; Silva a kol., 2008), zvýšením erozních rizik (např. Batey, 2009), negativním ovlivněním koloběhu živin a funkce mikrobních společenstev (např. Dolan a kol., 1992; Kristoffersen a Riley, 2005; Pupin a kol., 2009) a samozřejmě i poklesem produkce zemědělských plodin (např. Ishaq a kol., 2001; Saqib a kol., 2004).

Vliv tvaru a velikosti půdního bloku v interakci s pohybem pracovních souprav se následně promítá do ekonomiky pěstebních systémů a následně i do celkové ekonomické efektivity zemědělského subjektu. Seufert (1995) považuje za jednu z cest ke zvýšení produktivnosti polních plodin analýzu vlivu velikosti a tvaru pozemku z hlediska optimalizace pracovních operací. Demmel a kol. (2014) uvádějí, že zvýšení velikosti půdního bloku přispívá k nárůstu efektivity pěstování cukrové řepy především z důvodu zvýšení výkonnosti pracovních souprav, včetně sklízečů. Köhne (2001) poukazuje na skutečnost, že jednou z podmínek pro další rozvoj zemědělských subjektů ve Spolkové republice Německo je zvyšování jejich obhospodařované výměry, což je spojeno i s nárůstem velikosti půdních bloků. Podle Wagnera (2001) je zvětšování půdních bloků rovněž spojeno s pozitivním efektem snižování pracovního času na jednotku plochy v důsledku poklesu času na otáčení strojů. Zároveň dodává, že zvětšení plochy pozemku je spojeno i s nárůstem výnosů v důsledku redukce okrajového efektu, který je spojen s redukcí výnosu. K redukci výnosu přispívá i zhoršená kvalita aplikace hnojiv či pesticidů na okrajích pozemku.

Parametry půdního bloku jsou rovněž faktorem určujícím míru ekologických rizik. Zásadní roli zde hraje velikost pozemku, jeho tvar a obvod. Velikost plochy pozemku určuje například variabilitu zásoby semen plevelů v půdě na základě vlivu okrajového efektu (Hamouz, 2005). Nepravidelný

tvar pozemku může být spojen s nárůstem hodnoty jeho obvodu a tím i ploch s výskytem druhů, které se z lemových společenstev polí šíří na půdní bloky (Brant a kol., 2006 a 2008). Nárůst velikosti pozemku je spojen i s prodloužením jeho hranic, jako kontaktní plochy s okolními složkami krajiny. Zde se následně jedná o zvýšení rizik aplikace hnojiv či pesticidů mimo hranice pozemku, nebo ke zvýšení nárůstu ochranných zón na souvratích pozemku (např. DLG-Ausschuss für Pflanzenschutz, 2015).

3.1 Velikost půdního bloku a jeho tvar

Velikost půdního bloku je považována za primární faktor ovlivňující energetickou a ekonomickou náročnost prováděných agrotechnických operací. Auernhammer a kol. (2001) uvádějí, že s nárůstem velikosti půdního bloku narůstá podíl pracovního času na celkové spotřebě času na základě omezení spotřeby času na přepravu, otáčení se a na seřizování či přípravu strojů do pracovní či transportní polohy, čímž dochází ke zvyšování plošné výkonnosti. Na základě analýz provedených Degnerem (1999), které hodnotily vliv velikosti pozemku na provozní náklady, byl prokázán pozitivní vliv zvýšení velikosti pozemku přibližně na 40 ha na jejich pokles současném využití strojů s větším záběrem.

Brunotte a Fröba (2007) poukazují na skutečnost, že s nárůstem velikosti plochy půdního bloku a při současném prodlužování se střední délky pozemku dochází k poklesu spotřeby pohonných hmot na jednotku plochy. Na základě výsledků těchto autorů se však ukazuje, že s nárůstem výměry půdního bloku nad 60 ha již pokles spotřeby pohonných hmot není zásadním faktorem ovlivňujícím efektivitu spotřeby, tak jako nárůst velikosti plochy v intervalu od 2,5 ha do 60 ha.

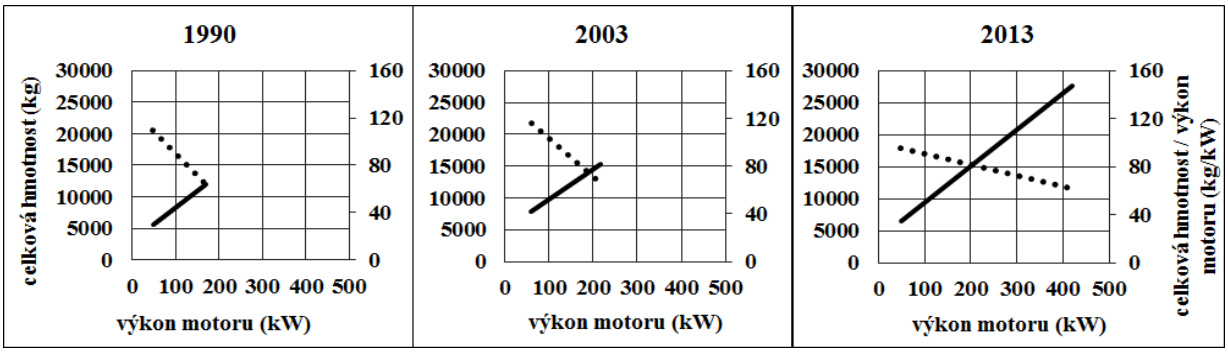
S nárůstem velikosti pozemku se však mohou zvyšovat nároky na transport sklizených produktů. Podle Demmela a kol. (2014) zvyšuje nárůst plochy půdního bloku nároky na transport cukrové řepy při sklizni. S nárůstem velikosti pozemku je tedy potřebné zvyšovat nejen kapacitu transportních prostředků, ale změnit i technologii odvozu, zejména na základě využití tzv. meziskladů sklizené cukrové řepy. Tito autoři poukazují na skutečnost (podmínky SRN), že zvýšení průměrné plochy pozemku ze 1,1 ha na 8 ha sníží sklizňové náklady a náklady na odvoz řepy o 10 %. Zvýšení velikosti pozemku na 19 ha sníží tyto náklady při vybudování meziskladu řepy o 16 %. Rovněž Streicher a kol. (2014) upozorňují na potřebu optimalizace odvozu hlavního produktu při sklizni sklízecí mlátičkou na velkých půdních blocích z hlediska zvýšení efektivity pracovních procesů.

Fechner (2014) na základě měření na skutečných půdních blocích stanovil pozitivní vliv optimalizace trajektorií pracovních jízd na úsporu času při provádění pracovních operací. K nejvýraznější úspoře času došlo na základě optimalizace trajektorií na pozemcích o výměře mezi 10 až 40 ha. Na pozemcích s větší výměrou byla úspora času pod 10 % oproti stávajícím směrům pracovních jízd. Pozitivní vliv zvětšení velikosti půdního bloku na snížení finančních nákladů na sklizeň jedné tuny dřevin pro energetické využití v podmínkách Rakouska potvrzují rovněž Handler a kol. (2014).

Zvětšení velikosti půdního bloku a obdélníkový tvar pozemku jsou předpokladem pro nárůst záběru pracovních souprav, díky čemuž dochází k následné úspoře pohonných hmot na jednotku plochy. Kovaříček (2008) na základě měření spotřeby nafty při rozmetání minerálních hnojiv na

rovném pozemku prokázal, že zvětšení pracovního záběru rozmetadla na dvojnásobek vedlo k průkaznému poklesu spotřeby nafty. Z hlediska spotřeby nafty na jednotku plochy však nelze zapomínat na vliv hmotnosti zásobníku, která se zvyšuje se zvětšováním jeho objemu. V důsledku zvýšení objemu a tím i hmotnosti při jeho naplnění narůstá valivý odpor pneumatik. Jednou z možností snížení valivého odporu je využití flotačních pneumatik. Jelikož je valivý odpor u flotačních pneumatik na kypré půdě až 5 krát nižší v porovnání s konvenčními pneumatikami, dochází k téměř polovičnímu poklesu spotřeby nafty vůči standardním pneumatikám (Kovaříček, 2008). Nárůst pracovního záběru se však promítá i do zvýšení pracovního výkonu soupravy. Zvýšení pracovního záběru postřikovače, který byl opět spojen se zvětšením zásobníku postřikové jíchy, vedlo ke zvýšení směnového výkonu postřikovače (Kovaříček, 2008). Pozitivní vliv zvýšení výměry půdního bloku na snížení spotřeby nafty na ha a zvýšení výkonnosti soupravy složené z tažného prostředku (traktor) a talířového kypřiče v podmínkách České republiky popisuje Hůla a kol. (2004).

Nárůst pracovního záběrů strojů vede ke zvyšování potřeby tahové síly, která se odvíjí od výkonu traktoru. Obrázek 3-1 dokumentuje celkovou hmotnost traktoru (kg) a poměr mezi celkovou hmotností a výkonem motoru traktoru (kgjnmzuřb iuuuunnjj·kW^{-1}) v závislosti na výkonu motoru (kW) v letech 1990, 2003 a 2013 (hodnoceny byly čtyři výrobci traktorů, min. výkon motoru byl 50 kW, max. výkon byl dán nejsilnějším sériově vyráběným traktorem v daném roce). Z obrázku Obrázek 3-1 je patrný nárůst hmotnosti tažných prostředků v čase, ale také snížení celkové hmotnosti na jednotku výkonu motoru (Brant a kol., 2015). Z důvodu nárůstu následné celkové hmotnosti pracovních souprav je proto nutné optimalizovat trajektorie pracovních jízd a eliminovat vstupy techniky na pozemek, aby nedocházelo ke zbytečnému zhutňování půdy. S nárůstem záběru strojů klesá rovněž negativní vliv přejezdů tažných prostředků na půdu, který je spojen samozřejmě s riziky vzniku zhutnění půdy (Blumenthal a kol., 2016).



Obrázek 3-1: Celková hmotnost (kg) a podíl celkové hmotnosti traktoru a výkonu motoru (kg·kW^{-1}) v závislosti na výkonu motoru (kW) u traktorů v letech 1990, 2003 a 2013 (Brant a kol., 2015)

Výkonnost pracovních souprav při shodné velikosti půdního bloku je však modifikována jeho tvarem. Obecně je za optimální tvar pozemku z hlediska jeho obhospodařování považován obdélník o poměru stran 1:2 až 1:4. Brunotte a Fröba (2007) uvádějí na modelovém příkladu tvarové odlišnosti půdního bloku o výměře 20 ha, že odchýlení se tvaru pozemku od obdélníkového k nepravidelnému obrazci je spojeno s nárůstem spotřeby času na jeho obhospodařování o více než 17 %. Optimalizace trajektorií pracovních jízd výrazně snížila potřebu času na otáčení pracovních souprav na malých a nepravidelných pozemcích (Fechner, 2014).

Nejvyšší úspory času na otáčení souprav bylo zaznamenáno při hodnotě poměru šířky a délky pozemku o hodnotě 0,2, nejméně při poměru 0,9 m. Optimalizace směru pracovních jízd snížila potřebu času na otáčení strojů v závislosti na tvaru pozemku o 27 až 89 %.

3.2 Délka a šířka pozemku

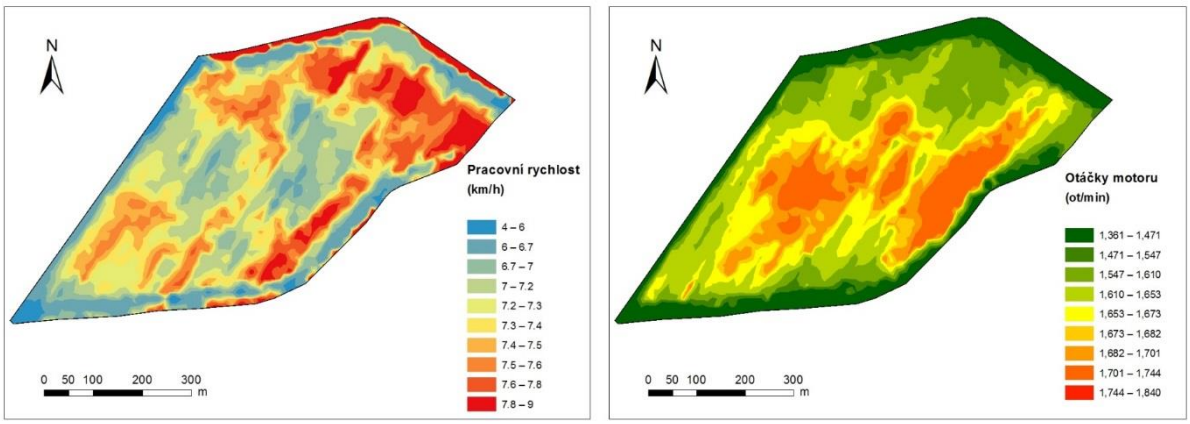
Délka pozemku má zásadní vliv na časovou a ekonomickou efektivitu pracovních procesů prováděných na půdních blocích. Z hlediska hodnocení je však potřebné rozlišovat vliv délky pozemku na pracovní a transportní operace. Brunotte a Fröba (2007) uvádějí, že s nárůstem délky pozemku při zachování jeho výměry výrazně klesá spotřeba času na zpracování půdy, nárůst délky pozemku však nemá zásadní vliv na rozdíl spotřeby času mezi použitými typy strojů. S poklesem šíře pozemku může při větším pracovním záběru strojů spotřeba času klesat pomaleji z důvodu potřeby zpracování ploch menších než je záběr stroje. Nárůst velikosti půdního bloku a zvětšení střední délky pozemku přispívá nejen ke zvýšení pracovní výkonnosti souprav při zpracování půdy, ale také ke zvýšení efektivity práce na základě využití strojů s větším pracovním záběrem, což je však spojeno s potřebou zvýšení tahové síly tažných prostředků (Estler a Knittel, 2006). Nárůst tahové síly, či výkonů motorů, tažných prostředků vede ke zvýšení jejich celkové hmotnosti a tím k nárůstu tlaku na půdu (např. Boxberger a Moitzi, 2008). Větší délka pozemku je však mnohdy spojena se vznikem kolejových stop kopírujících směr její délky. Kolejové stopy vzniklé přejezdem pracovních souprav jsou jedním z faktorů zvyšujících erozní rizika na pozemku, především v porostech kukuřice (Kistler a kol., 2013). Na rozdíl od pracovních operací spojených s aplikací minerálních hnojiv vykazují výrazně odlišnou reakci na délku pozemku aplikace organických hnojiv. Pro aplikaci minerálních hnojiv je rovněž typický pokles spotřeby času na jednotku plochy půdy s narůstající délkou půdního bloku. U aplikace kejdy je tomu z důvodu vyprázdnění zásobníku před koncem pracovní jízdy a nutnosti návratu soupravy k doplnění kejdy na okraj pozemku a zpětnému napojení se na nedokončenou jízdu naopak (Brunotte a Fröba, 2007).

Aplikace organických hnojiv se z důvodu vyšších dávek vnesených na jednotku plochy obecně vyznačuje vyšším zatížením pozemku jízdami na prázdno. Za optimální stav lze považovat situaci, kdy kapacita rozmetadla vystačí při dané dávce na cestu od souvratě pozemku na protější souvrať a zpět (Kovaříček a kol., 2005). S narůstajícím hmotností zatížení zásobníku jednoznačně narůstá délka pracovní jízdy bez potřeby doplnění hnojiva, zároveň však narůstá i hmotnost soupravy a zatížení pneumatik aplikátoru.

Na rozdíl od pracovních operací jako je zpracování půdy, setí, aplikace hnojiv a pesticidů se transportní operace vyznačují většinou nepravidelným pohybem souprav po pozemku. Z hlediska odvozových prostředků se rovněž jedná o výraznou změnu zatížení půdy v důsledku jejich jízdy po pozemku před naplněním, nárůstu hmotnosti při plnění a jízdy soupravy po pozemku po naplnění zásobníku. Na zatížení půdy opakovanými přejezdy, které se zároveň vyznačují jiným zatížením půdy, upozorňuje Brunotte (2013), na základě modelu stanoveném při odvozu řezanky při sklizni kukuřice na siláž.

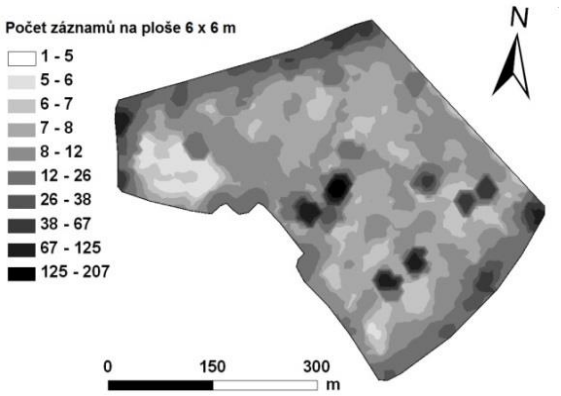
3.3 Svažitost půdního bloku

Svažitost pozemku zásadním způsobem ovlivňuje pohyb pracovních souprav po půdním bloku. Obecně je v zemědělské praxi u svažitých pozemků preferován pohyb souprav ve směru narůstající či klesající nadmořské výšky. Pohyb kolmo na směr narůstající hodnoty nadmořské výšky je volen zejména z důvodu svahové dostupnosti strojů, zejména i ve vztahu při otáčení souprav na souvratích, a udržení trajektorie pracovní jízdy. Překonávání svahu při jízdě pracovní soupravy se projevuje samozřejmě na pracovní rychlosti, jejíž udržení je spojeno se zvýšením pracovního výkonu motoru. Obrázek 3-2 dokumentuje vliv svahové členitosti pozemku na hodnoty pracovní rychlosti (km·h^{-1}, vlevo) při orbě a tomu odpovídající hodnoty otáček motoru (ot·min^{-1}) (Kroulík a kol., 2017).



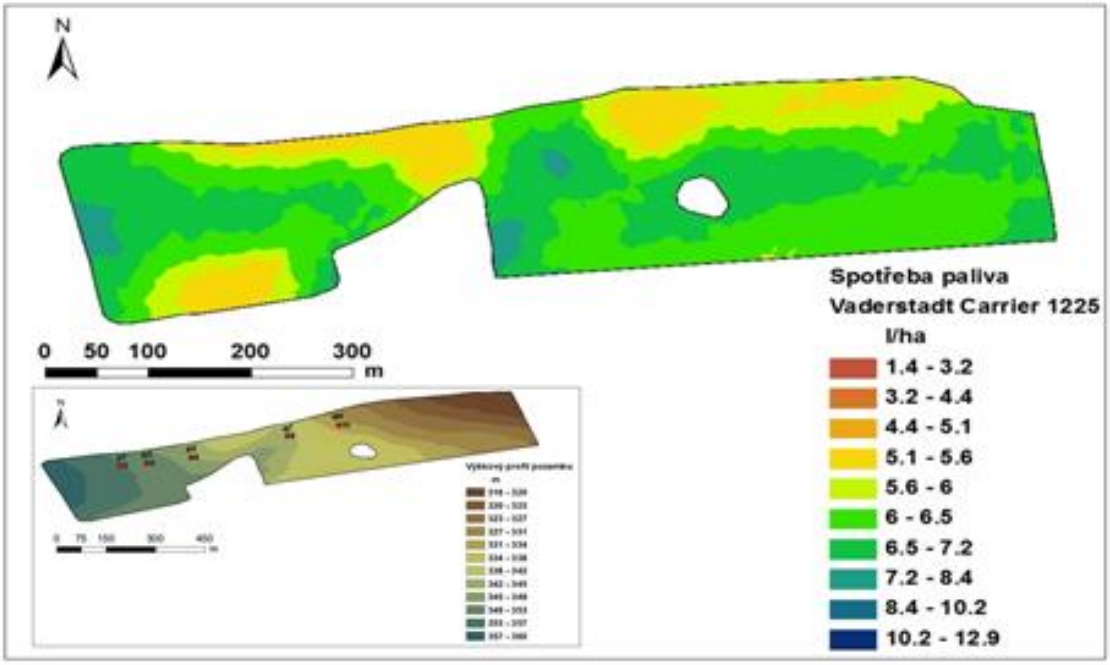
Obrázek 3-2: Záznam pracovní rychlosti soupravy při orbě (vlevo) a tomu odpovídajících otáček motoru traktoru (vlevo) – upraveno podle Kroulík a kol. (2017).

Dodržení požadované pracovní rychlosti soupravy, zejména při zpracování půdy, je samozřejmě podmínkou pro kvalitní práci strojů. Snižování pracovní rychlosti soupravy v důsledku překonávání svahu snižuje jednoznačně plošný pracovní výkon. Zhutnění půdy na pozemku je dáno nejen počtem přejezdů, ale i časovou expozicí, po kterou byla půda vystavena tlaku pojezdových mechanismů a která je spojena s pracovní rychlostí. Tuto skutečnost dokládá Obrázek 3-3 (Brant a kol., 2015). Mapa byla vytvořena jako součet počtu záznamu v čase na příslušných plochách 6 x 6 m (plocha byla rozdělena do čtvercové sítě velikostí hrany čtverců 6 m).



Obrázek 3-3: Mapa představuje součet počtu záznamu v čase na příslušných plochách 6 x 6 m (Kroulík a kol., 2011).

V neposlední míře se svažitost pozemku projeví na spotřebě pohonných hmot. Obrázek 3-4 znázorňuje plošné vyjádření spotřeby paliva ($l \cdot ha^{-1}$) při provádění kypření půdy. Nárůst spotřeby paliva souvisí se změnou nadmořské výšky porostu, kterou znázorňuje vložená mapa výškového modelu terénu, upraveno podle Kroulík a kol. (2017) a Brant a kol. (2017).



Obrázek 3-4: Plošné vyjádření spotřeby paliva (l/ha) pracovní soupravou při kypření půdy a mapové vyjádření výškového modelu terénu sledovaného půdního bloku (Kroulík a kol., 2017; Brant a kol., 2017).

3.4 Dojezdová vzdálenost k půdnímu bloku

Zajímavý pohled na velikost půdního bloku ve vztahu k jeho vzdálenosti od farmy, či střediska podniku, nabízí Janinhoff (2000), který poukazuje na skutečnost, že se zvyšující se vzdáleností pozemku od farmy narůstají náklady na nepracovní jízdy, které lze snížit zvýšením výměry půdních bloků. Nárůst obhospodařované plochy snižuje v důsledku vyšší pracovní výkonnosti náklady. Na

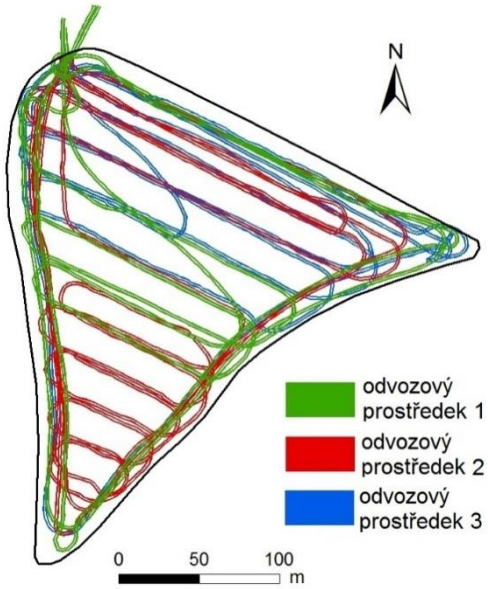
základě provedených analýz uvádí, že při vzdálenosti mezi farmou a polem 5 km, by velikost půdního bloku měla být vyšší než 10 ha, při vzdálenosti 12 km poté více než 20 ha, při vzdálenost 20 km více než 30 ha, a je-li vzdálenost mezi farmou a půdním blokem 30 km, měla by výměra být vyšší než 50 ha.

Na pozitivní vliv zvýšení pracovního záběru u postřikovačů na směnovou výkonnost ($ha \cdot h^{-1}$) upozorňuje Kovaříček (2008). Nárůst pracovního záběru však rovněž zvyšuje pracovní výkonnost i při nárůstu přepravní vzdálenosti na půdní blok. Vyšší plošná výkonnost za jednotku času při práci na pozemku zde snižuje vliv času na přepravu na pozemek, čímž se zvyšuje denní výkon soupravy. Podle Kovaříčka (2008) vyplývají z vlivů základních parametrů postřikovače na pracovní výkonnost následující tendence:

- pracovní záběr a objem nádrže postřikové jíchy ovlivňují výkonnost přibližně stejnou měrou a jejich zdvojnásobení zvýší výkonnost ve směnovém čase přibližně o 60 %,
- čím větší je přepravní vzdálenost, tím menší je výkonnost,
- čím je vyšší výkonnost stroje, tím má změna parametrů na směnovou výkonnost výraznější vliv.

Na základě hodnocení směnové výkonnosti souprav ve vybraném vzorku zemědělských subjektů v České republice u pracovních operací (podmítka, předseťová příprava a setí) se spotřeba času potřebná na přepravu pracovní soupravy na pozemek pohybovala v intervalu od 7 do 12 % (Hůla a kol., 2004).

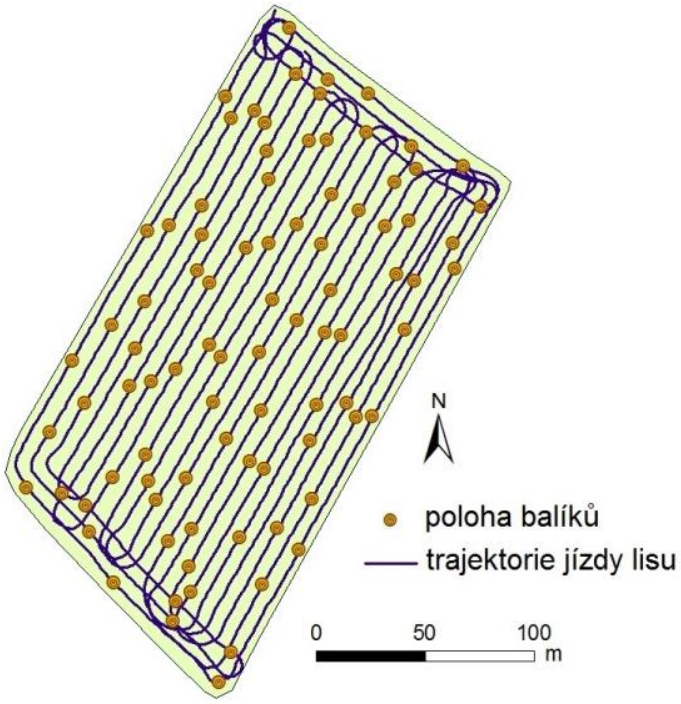
Řada polních prací je závislá na podpoře odvozových prostředků a vyžaduje součinnost při práci s těmito stroji. Jedná se o doplňování osiva, hnojiva, postřikových kapalin, nebo na druhé straně odvoz zrna od sklízecích mlátiček, řezanky od řezaček, nebo svoz balíků. Záznamy pořízené během práce strojů opět ukazují na řadu rezerv a nedostatků při těchto činnostech. Odvozové prostředky často vjíždějí na pozemek náhodně, zdržují se na pozemku či neúčelně popojíždí. Na druhou stranu se ukázalo, že by zavedení jednotných kolejových stop mohlo navýšit nepracovní přejezdy po pozemku s ohledem na dodržení stálých stop. Jak ukazuje Obrázek 3-5, v případě sklizně sklízecí řezačkou, často prázdný odvozový prostředek sleduje soupravu řezačky a druhého odvozového prostředku.



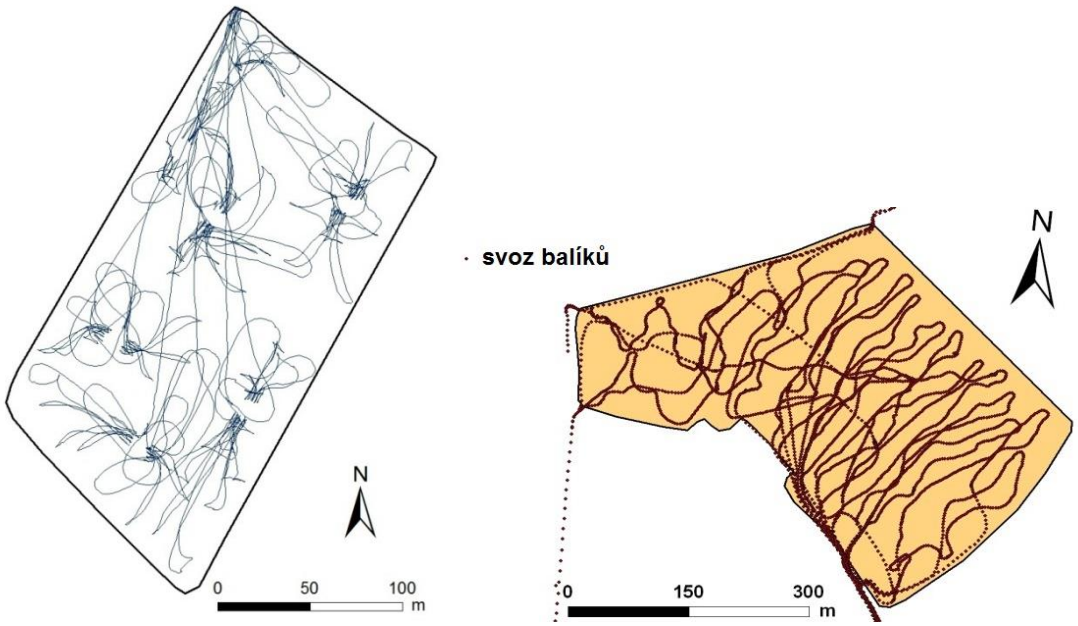
Obrázek 3-5: Záznam pohybu odvozových prostředků při sklizni píce řezačkou (Kroulík, 2014).

Na jednu stranu by pozdním přistavením vozu docházelo k prostojům, takto se však navyšuje počet opakovaných přejezdů. Pohyb souprav po mimoprodukčních plochách by omezil vstup na pozemek. Otázkou zůstává logistika přistavování souprav. U sklízecích mlátiček, kde je monitorován výnos, je možné na základě aktuálního měření načasovat zaplnění zásobníku mlátičky a vyslat signál do navigace odvozového prostředku. U sklízecích řezaček jsou známy projekty, které řeší zaplnění odvozového prostředku s ohledem na minimalizování ztrát při plnění. Shodná informace by se dala využít při optimalizaci přistavování vozů. Lepší organizace práce rovněž přispěje k omezení opakovaných přejezdů.

Jednodušší situace nastává u svozu balíků, kdy zjistíme polohu jednotlivých balíků (Obrázek 3-6). Obrázek 3-7 ukazuje současnou praxi. Se znalostí poloh balíků je možné za pomocí metod ekonomicko-matematického modelování navrhnout svoznou trasu s požadavkem na nejkratší ujetou dráhu.



Obrázek 3-6: Záznam pohybu svinovacího lisu a pozice jednotlivých balíků (Kroulík, 2014).



Obrázek 3-7: Ukázky jízd souprav při svozu balíků z pozemku (Kroulík, 2014).

Z uvedených výsledků můžeme nalézat uplatnění pro GPS navigace jako nástroje pro snižování ekonomických vstupů (spotřeba paliva, osiva, chemických látek, hnojiv, času, náročnosti) a zároveň je zde jednoznačný přínos v omezování degradačních procesů zemědělské orné půdy, díky eliminaci zhutnění a eroze, a snížení dopadu na životní prostředí omezením chemizace výroby. V řadě případů se opět ukazuje, přes existenci nápravných opatření, absence techniky určené pro detailní monitorování půdních podmínek.

3.5 Vliv přejezdů zemědělské techniky na kvalitu půdních vlastností

Soudobé systémy hospodaření v zemědělství jsou spojeny s negativními vlivy na půdu, které poškozují jak produkční, tak mimoprodukční funkci půd. Jedním z těchto vlivů je zhutňování půdy. Kromě nepříznivého vlivu zhutnění půdy na výnos plodin jsou zvlášť závažné důsledky ekologické. Projevy snížené infiltrace srážkové vody na zhutnělých půdách vedou ke zvýšenému povrchovému odtoku srážkové vody a ke snížené akumulaci vody v půdě. Z tohoto hlediska je aktuální i vliv zhutnění na poškozování půd vodní erozí. Závažným nepříznivým důsledkem zhutnění půd je nárůst energetické náročnosti jejich zpracování. Zemědělská půda je v různé míře vystavována tlakům vyvíjeným pojezdovými ústrojími traktorů, sklizňových strojů a dopravních prostředků. Přejezdy po pozemcích jsou v současném zemědělství nevyhnutelné. Primárním důsledkem náhodných přejezdů po pozemku je jednoznačně zhutnění půdy. Zásadním problémem stanovení změn zhutnění půdy je však správná interpretace výsledků, neboť se jedná o obtížně měřitelnou vlastnost, jejíž hodnoty jsou ovlivněny další řadou podmínek půdního prostředí. Nežádoucí zhutnění půdy vlivem přejezdů zemědělskými soupravami se stává celosvětovým problémem (např. Håkansson a kol., 1988; Gysi, 2001; Chamen a kol., 2003; Hamza a Anderson, 2005; Chan a kol., 2006). Nejedná se rovněž o problém sezónní, ale stopy nežádoucího zhutnění je možné pozorovat i s odstupem několika let. Půda má různou odolnost vůči stlačování – důležitými faktory jsou zrnitostní složení půdy, momentální vlhkost půdy, obsah organických látek v půdě a struktura půdy. Přejezdy těžké mechanizace se rovněž odráží ve výnosech plodin a lze je pozorovat i po více let (Radford a kol., 2007). Obrázek 3-8 dokládá, jak je půda vystavena tlaku pojezdových ústrojí strojů při sklizni cukrové řepy.

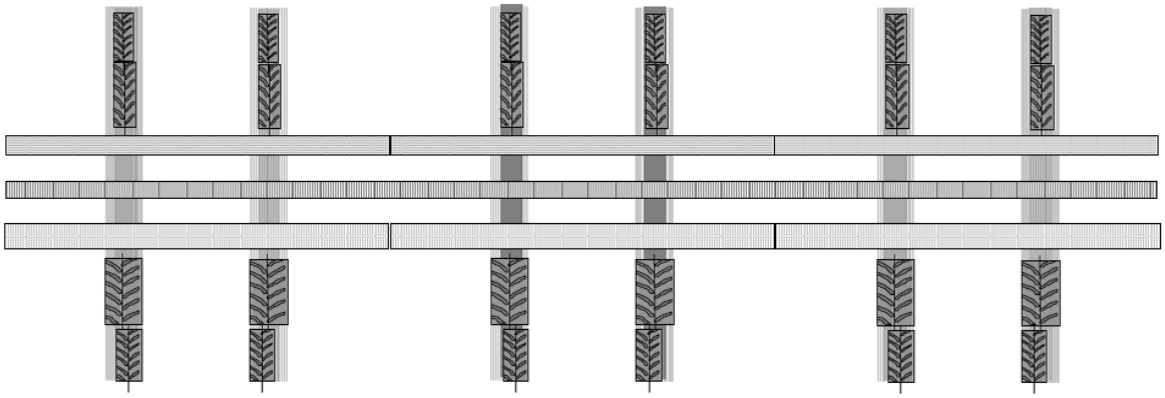
Obrázek 3-8: Intenzita přejezdů při sklizni cukrové řepy (foto: Kroulík).

Pro řadu zemědělců je dnes hledisko ochrany půdy před erozí nebo zhutněním půdy stále důležitější. Technogenním zhutněním rozumíme nežádoucí stlačení částí půdního profilu, kdy fyzikální vlastnosti půdy přesáhnou mezní kritické hodnoty působením strojů, které se v pěstitelských technologiích využívají. Škodlivé zhutnění půdy zvyšuje energetickou náročnost a kvalitu zpracování půdy, snižuje výnosy plodin a je spojeno s ekologickými riziky, která doprovázejí vodní erozi půdy. Zvýšené riziko vodní eroze zhutnělých půd souvisí se sníženou propustností těchto půd pro vodu při intenzivních dešťových srážkách, zejména přívalového charakteru při

bouřkách. Zhutnění půdy podle Newell-Price a kol. (2013) představuje závažný problém pro schopnost půdy zajišťovat ekologické funkce, kdy stav vrchní vrstvy půdy je určující pro infiltraci vody do půdy a její zadržování, produkci biomasy, biologickou rozmanitost, ukládání uhlíku a snížení emisí. Rovněž je spojeno se změnami struktury půdy projevujícími se rozpadem půdních agregátů a poklesem jejich vodostálosti. V několika posledních letech došlo, zejména v oblasti automatizace a kontroly procesů, k významnému posunu vpřed. U řady dnes představovaných technologií se nejedná o nové myšlenky a přístupy, pouze v době kdy vznikly, nebyly k dispozici prostředky k jejich zdárné realizaci. V zemědělství je také zapotřebí vyšší přesnosti v určování polohy pracovní soupravy, protože využívání autonomního signálu GPS (Global Positioning System) není dostačující. Technologie založené na respektování sklonu pozemku nebo omezování přejezdů po pozemku jsou na přesné navigaci přímo závislé. Pozemky s velkou výměrou nebo na druhou stranu vysoké procento svažitých pozemků dávají předpoklady pro rozšíření podobných postupů. Také zde se hledají další možnosti uplatnění navigačních systémů s ohledem na tyto obecné požadavky. Jednou z technologií, která bude nyní prezentována a jejíž rozšíření má potenciál snížit některé negativní dopady na půdu je technologie jednotných jízdních stop, známá spíše pod zkratkou CTF z anglického Controlled Traffic Farming. V zemích, kde je systém CTF dlouhodobě využíván, jsou výsledky více než příznivé. V podmínkách zjednodušené skladby plodin v osevním postupu, vysoké výměry pozemků a moderního strojového zázemí jsou tak naplněny předpoklady pro zavedení systému řízeného pohybu strojů po pozemcích.

Tato technologie vznikla během minulého století. Také v České republice jsme se mohli setkat s termíny jako agrotechnický most apod. V praxi to znamená soustředění, pokud možno, co největšího množství přejezdů v rámci pozemku do totožných jízdních stop. Na následujících obrázcích si představíme některé způsoby kombinací přejezdů se stroji s daným rozchodem kol. Ve všech případech je zřejmé, že celá technologie vyžaduje celkově jiný přístup farem, který je založen na vysoké technologické kázni, důsledných změnách v organizaci jízd strojních souprav a využití moderních navigačních prostředků.

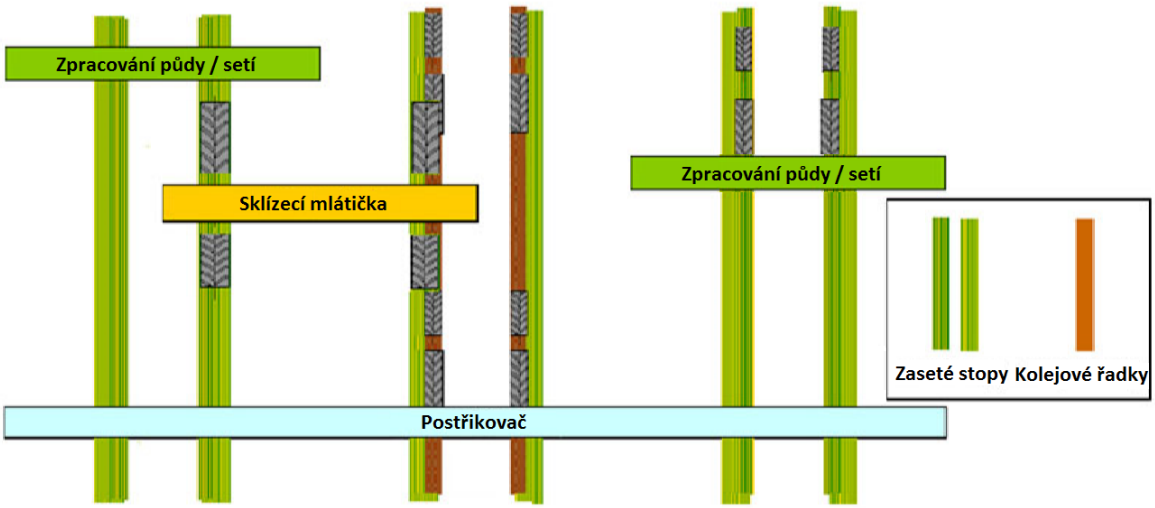
Ideální je případ, kdy máme k dispozici stroje se shodným rozchodem kol nebo pásů, tzv. systém „ComTrac“ (Obrázek 3-9). Jedná se o nejnáročnější opatření, kdy je zapotřebí provést řadu technicky i finančně náročných úprav. Zejména se jedná o sjednocení rozchodu kol traktorů a sklízecí mlátičky nebo sklízecích strojů obecně (Obrázek 3-10).



Obrázek 3-9: CTF se systémem ComTrac (Chamen, 2006).

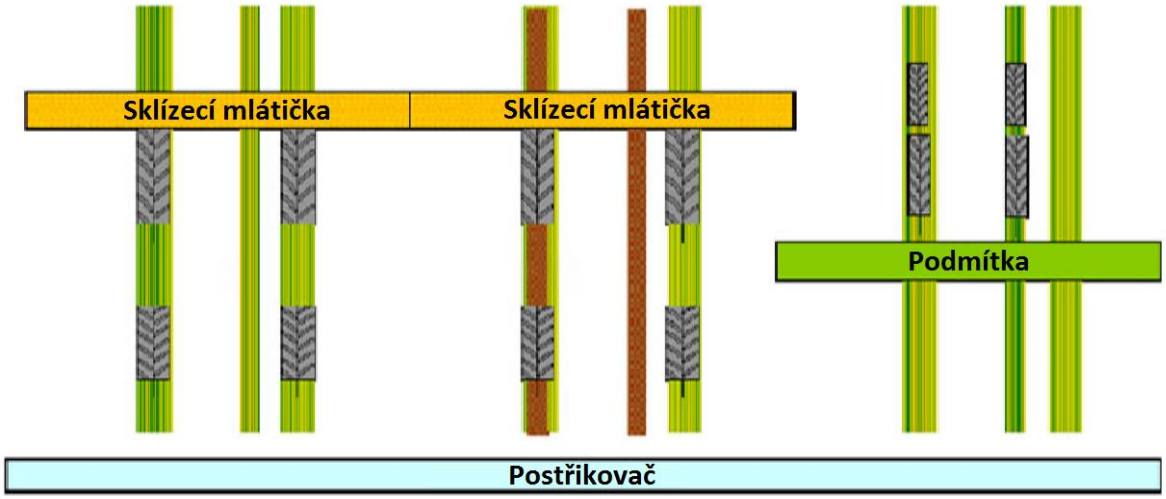
Obrázek 3-10: Rozšíření rozchodu kol s použitím speciálních náprava a koncových převodů (foto: nahoře Hans Henrik Pedersen, Austrálie, záběr stroje 18 m, kombinace záběrů 18 a 12 m, dole Jens Kjeldahl, The Kjeldahl Farm).

Jako alternativa se nabízí systém „TwinTrac“, který využívá pro stopy sklízecí mlátičky sousední stopy paralelních jízd. Z hlediska výkonnosti strojů je tento způsob jízd použitelný především v případě malých pracovních záběrů strojů (Obrázek 3-11).



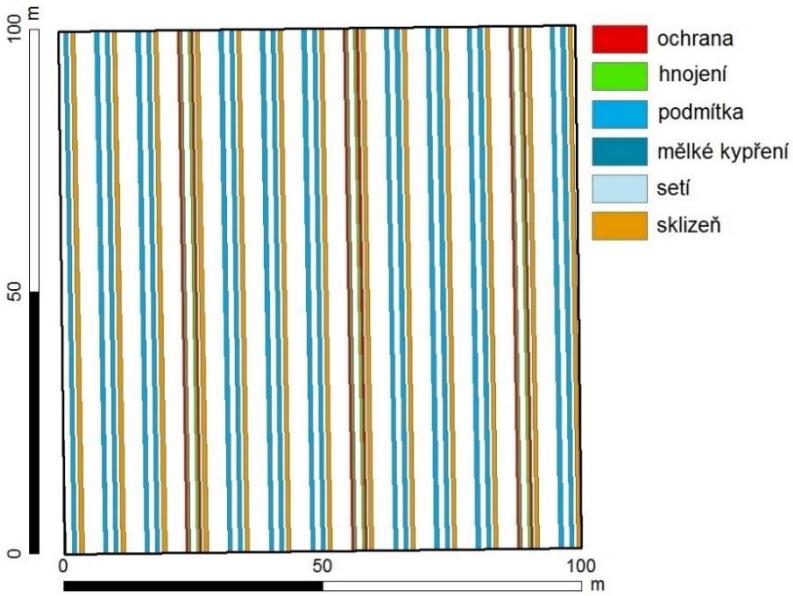
Obrázek 3-11: CTF se systémem TwinTrac (Kumhála a kol., 2013).

V případě větších modulů pracovních záběrů strojů není možné systém „TwinTrac“ využívat, ale lze využít systém „AdTrac“, který za cenu větších záběrů používá dodatečnou jízdní stopu (Obrázek 3-12).



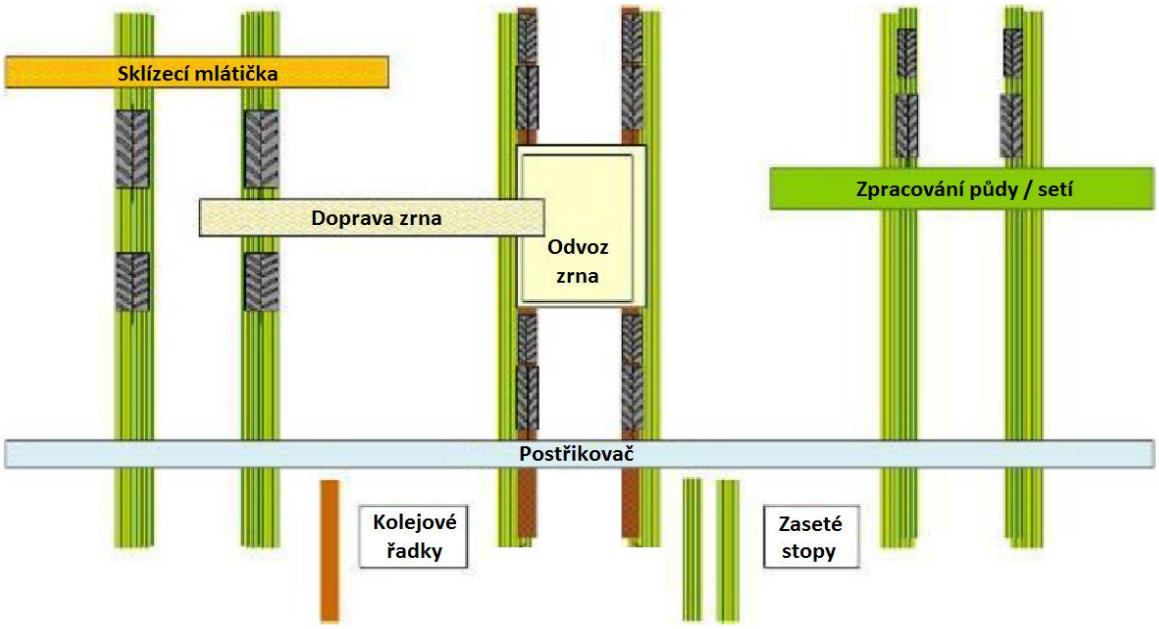
Obrázek 3-12: CTF se systémem AdTrac (Chamen, 2009, upravil Kroulík).

Uvedené způsoby pohybu souprav po pozemku a kombinace rozchodů byly uplatněny v rámci našich polních pokusů s technologií CTF. Obrázek 3-13 přináší hodnocení přejeté plochy pneumatikami u minimalizační technologie, kde byl uplatněn systém jednotných kolejových stop. Jedná se o shodnou intenzitu zpracování půdy, pro kterou byla hodnocena intenzita přejezdů s náhodnými přejezdy, kdy přejetá plocha činila okolo 63 %. V případě uplatnění systému „AdTrac“ došlo k poklesu přejeté plochy pneumatikami na hodnotu 31 % při záběru strojů 8 m. Jako významný argument pro zavedení technologie se ukázala možnost výrazně snížit četnost přejezdů bez dodatečných nákladů na úpravu strojů. Se shodným rozchodem kol by bylo snížení výraznější, ale toto snížení by se neobešlo bez úprav na traktorech. U modulu 4 m se podařilo zajistit způsob pohybu v režimu „TwinTrac“. S menšími záběry však přejetá plocha narůstá. I tak byla hodnota přejeté plochy 37 % z pohledu četnosti přejezdů příznivá.



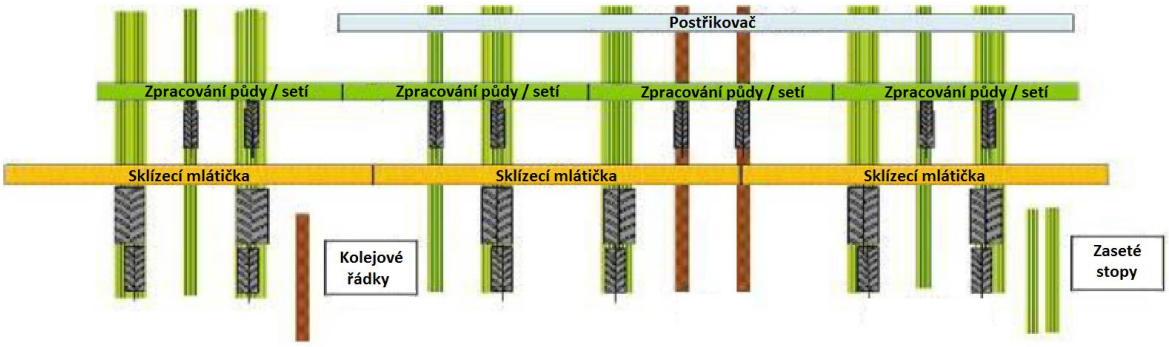
Obrázek 3-13: Plocha přejetá pneumatikami při organizovaném způsobu pohybu strojů AdTrac. Pracovní záběr stroje 8 m (Kroulík, 2014).

Samozřejmostí je, že pro každý strojový park nelze využít těchto tří jmenovaných systémů, ale je možné použít i další systémy jako jsou například „OutTrac“ (Obrázek 3-14). Systém „OutTrac“ je jednou z jednodušších aplikací systému CTF bez sjednocení rozchodů kol je využití zemědělské techniky se standardním rozchodem při větší celkové šířce trvalých stop. Pozemek je následně rozdělen na tři oblasti s rozdílným počtem přejezdů oblast s nulovým přejezdem, oblast s minimálním přejezdem a oblast s intenzivními přejezdy.



Obrázek 3-14: CTF se systémem OutTrac (Chamen, 2009, upravil Kroulík).

Další možností je systém „HalfTrac“, který využívá také dva rozchody náprav, přičemž jeden rozchod je polovinou druhého. Dále využívá tři šířky záběrů mechanizace (Obrázek 3-15).



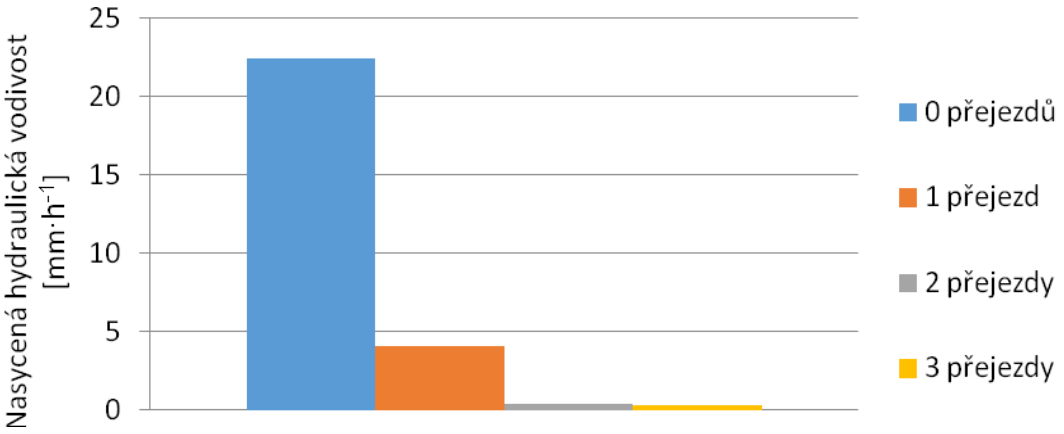
Obrázek 3-15: CTF se systémem HalfTrac (Chamen, 2006).

Výše byly představeny možnosti kombinací záběrů strojů a rozchodů kol s ohledem na minimalizování přejezdů po pozemcích. Se zavedením uvedeného systému však vyvstává také otázka tvarů a velikosti pozemků, optimalizace směru jízd po pozemku, členitosti terénu, místa vstupů na pozemek a řešení odvozu případně zásobování strojních souprav při pracích, které vyžadují součinnost více souprav. Jaký je výsledek kombinace pro ochranu půdy nepříznivých

faktorů, jako zhutněné půdy, absence pokryvu půdy rostlinnými zbytky, nízká stabilita půdních agregátů a nevhodně zvoleného směru jízd, dokládá Obrázek 3-16. Povrch půdy nedokázal zadržet vodu ze srážkové události, ta následně stékala do vyjetých stop, které už jen sloužily jako koryta pro odvod vody a splavené půdy z pozemku. Dále například Bochtisa a kol. (2010) uvádějí, že zavedením jednotných kolejových řádků došlo k výraznému navýšení počtu nepracovních jízd souprav při dopravě během aplikace kejdy.

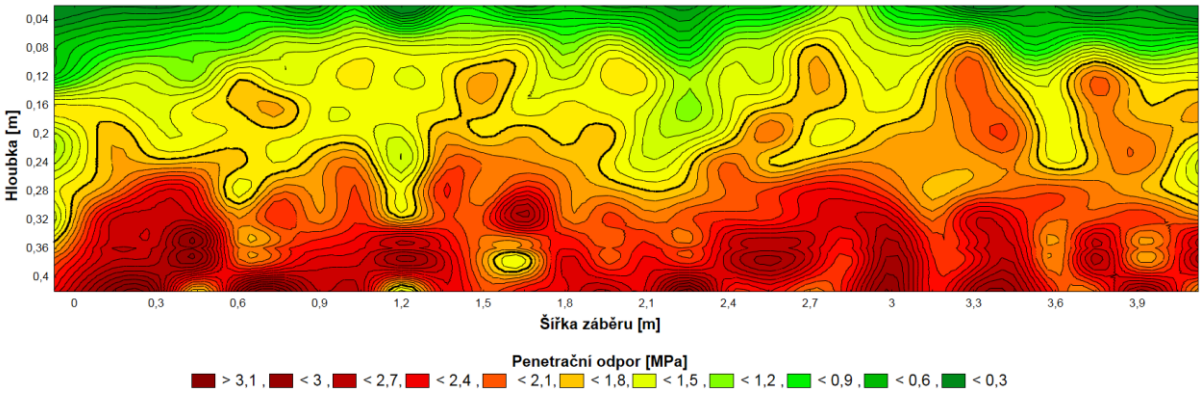
Obrázek 3-16: Erozní událost na pozemku s porostem cukrové řepy (Foto Brant).

Společně se zhutněním půdy je významným rizikovým faktorem dnešního zemědělství eroze půdy. Riziko erozní události se odvíjí od schopnosti půdy přijímat a zadržovat vodu během srážek. Na následujících výstupech je dokumentován vliv zhutnění půdy na infiltrační schopnosti půdy, jak dokládají následující obrázky. Již jeden přejezd zemědělské techniky může snížit čas k ustálení kumulativní infiltrace v porovnání s nezhutněnou půdou. Yuxia a kol. (2001) prezentovali, že zhutnění půdy má větší vliv na míru infiltrace než zpracování půdy. Hlavní zjištění v této studii bylo, že nezhutněná půda dokázala pojmout až 77 % vody z celkových srážek a zhutněná půda pouze 25 %. Na Graf 3-1 výstupy z měření, které dokumentuj významný vliv již prvního přejezdu techniky. Od druhého přejezdu již nejsou zřejmé významné rozdíly v infiltračních vlastnostech půdy.

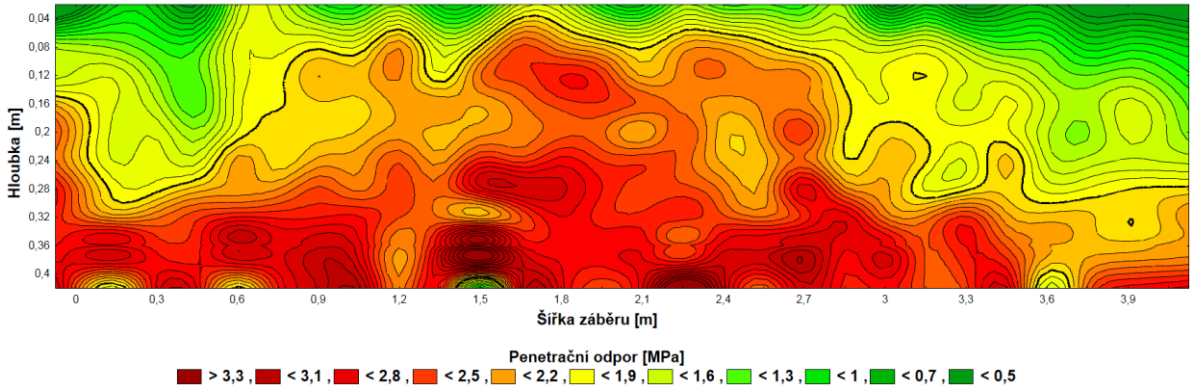


Graf 3-1 Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti po různém zatížení půdy (Chyba, 2013).

Infiltrační vlastnosti půdy jsou samozřejmě odvozeny od stavu půdy, tedy zhutněná půda má větší objemovou hmotnost, nižší pórovitost a tím také nižší hodnoty infiltračních vlastností než půda nezhutněná. Penetrometrie představuje jednu z nepřímých metod hodnocení zhutnění půdy. Na obrázcích Obrázek 3-17 a Obrázek 3-18, které prezentují příčný profil půdy v záběru stroje, kolmo na směr jízd, jsou patrné rozdíly v penetračním odporu u technologie CTF a u náhodných přejezdů. Silná čára zvýrazňuje hodnotu penetračního odporu s hodnotou 2 MPa. Tato hodnota je již považována za rizikovou z hlediska prorůstání kořenovým systémem rostlin. Z barevné škály obrázku Obrázek 3-17 je možné pozorovat, v jakých místech zemědělská technika projížděla po povrchu půdy (hodnoty šířky rozchodu 1,1 a 2,9 m). V případě varianty s náhodnými přejezdy stopy nejsou patrné. Nicméně došlo k posunu hodnot penetračního odporu nad 2 MPa směrem k povrchu půdy.

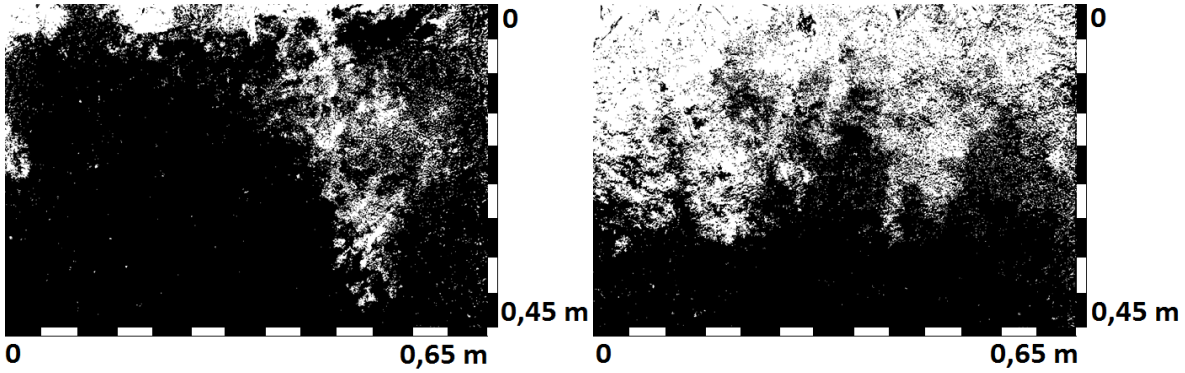


Obrázek 3-17: Hodnoty penetračního odporu v systému CTF s modulem pracovního záběru 4 m (Chyba, 2013).



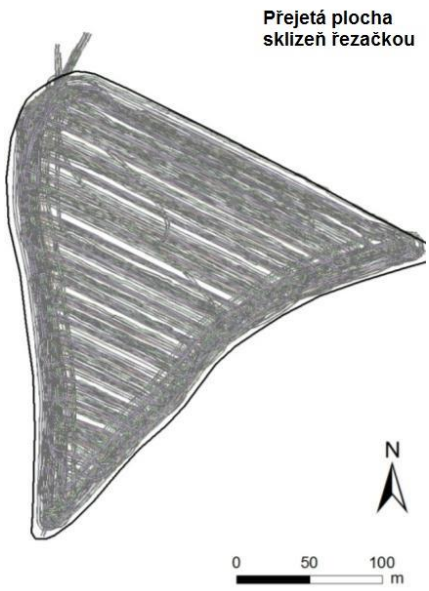
Obrázek 3-18: Hodnoty penetračního odporu u náhodných přejezdů zemědělské techniky s modulem pracovního záběru 4 m (Chyba, 2013).

Asi nejlépe v tomto případě dokumentuje vztah mezi zhutněním, vyvolaným přejezdy a infiltrační schopností půdy vizualizace zasakování vody do půdy na příčných profilech (Obrázek 3-19). Toto sledování je možné zajistit aplikací směsi vody a potravinářského barviva na povrch půdy. Následně je odkryt příčný profil v místě aplikace. Jako příklad jsou uvedeny dva obrázky, jeden při zhutněné půdě, kdy zhutnění bylo vyvoláno přejezdem, a půdou bez předchozího přejezdu. Zatímco nezhutněný profil vykazoval rovnoměrnou míru vsakování, plocha přejetá pneumatikami vykazovala velmi omezené možnosti infiltrace.

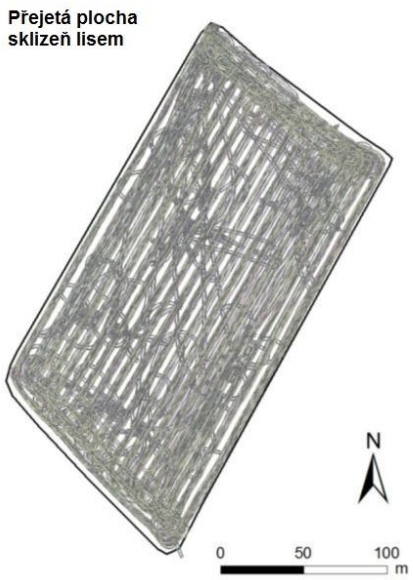


Obrázek 3-19: Preferenční tok vody půdním horizontem při zhutněné půdě (levý obrázek) a nezhutněné půdě (pravý obrázek) (černá barva znázorňuje půdu, kde obarvená voda nebyla zaznamenána; bílá barva je půda, kudy obarvená voda pronikala (foto Kroulík).

Problém intenzivních a náhodných přejezdů se dotýká také dalších plodin, jako jsou pícniny na orné půdě a víceleté travní porosty. Obrázek 3-20 a Obrázek 3-21 dokládají intenzitu přejezdů technikou během sklizně pícnin na siláž. V případě sklizně s využitím samojízdné řezačky bylo pneumatikami přejeto okolo 64 % sledované plochy. V případě nasazení svinovacího lisu bylo přejeto přibližně 63 % plochy. Nejčastěji byly zaznamenány dvakrát opakované přejezdy. Zhutnění půdy na travnatých plochách může způsobovat jak mechanizace, tak pastva. Jako hlavní příčina se ale ukazuje změna v obhospodařování luk a pastvin za několik posledních desetiletí, konkrétně nasazení těžké mechanizace, kterou disponují například podniky služeb. Byl prokázán vliv přejezdů techniky po travních porostech, kdy zhutnění půdy výrazně snižovalo výnos sušiny a ovlivňovalo využití dusíku.

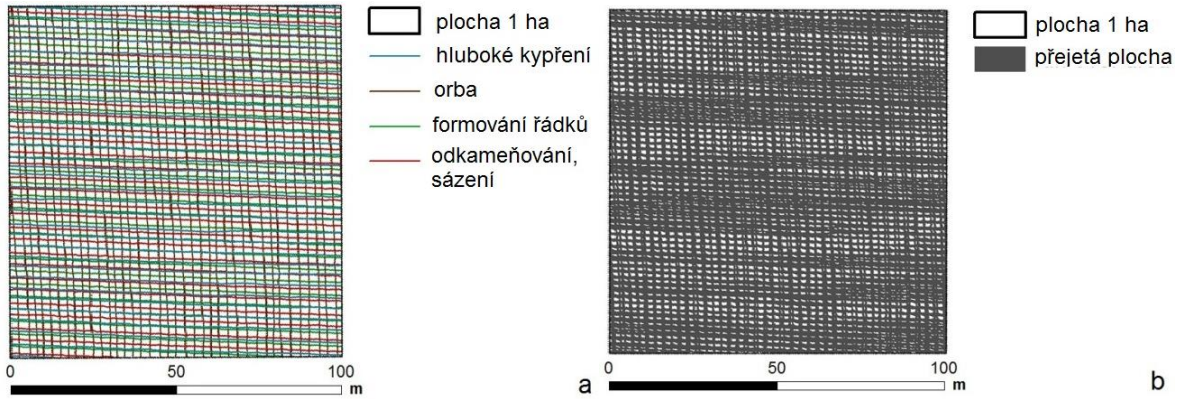


Obrázek 3-20: Grafické vyjádření přejezdů při sklizni samojízdnou řezačkou (Kroulík, 2014).



Obrázek 3-21: Grafické vyjádření přejezdů při sklizni svinovacím lisem (Kroulík, 2014).

Obrázek 3-22 zobrazuje trajektorie a přejezdy pneumatikami na výřezu 1 ha při zakládání porostu brambor. Technologie pěstování brambor patří k velmi intenzivním technologiím. Tomu odpovídá podíl přejeté plochy technikou 84,4 %. Do výčtu ještě není zařazena sklizeň.



Obrázek 3-22: Grafické vyjádření trajektorií jízd (a) a stop pneumatik (b) při zakládání porostu brambor (Kroulík, 2014).

3.6 Postupy optimalizace pohybu souprav po pozemku

Z hlediska okamžitého praktického využití je dalším významným krokem k navýšení efektivity práce modelování a volba vhodné trajektorie jízdy. Pokud jde o plánování tras pro polní operace, v řadě případů již byly představeny vyspělé metody pro návrhy optimálních tras pohybu soupravy. Dostupnost satelitních navigačních systémů pro zemědělství bezpochyby přispívá k rozvoji a praktickému nasazení v provozu.

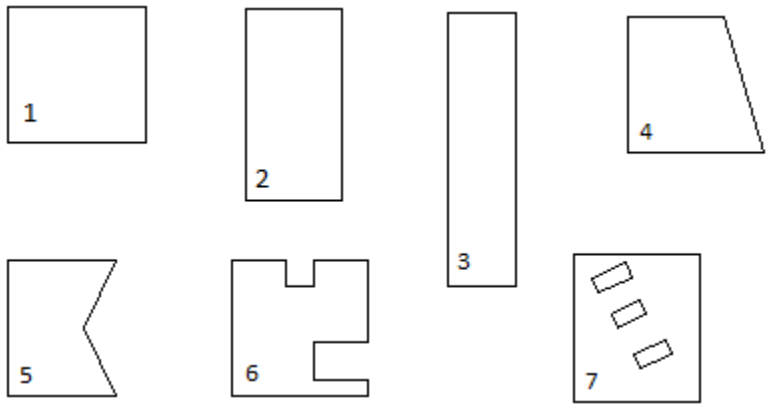
V současné době je volba směru jízd založena především na zkušenostech řidičů nebo zvycích zemědělců. Landers (2000) nebo Jílek a Podpěra (2005) dokládají, že existuje celá řada vlivů, které ovlivňují efektivitu práce strojních souprav. Tvar pozemku, jeho velikost, terén, překážky a pracovní záběry strojů hrají v tomto ohledu významnou roli. V našich podmínkách platí, že pozemky, kde nejsou dvě protilehlé strany rovnoběžné, můžeme považovat za standard. Vliv tvaru pozemku na potřebu času pro zorání pozemku různého tvaru dokládá Brunotte a Fröba (2007). Potřeba času se pohybovalo od 100 % pro obdélníkový pozemek (poměr stran 1:2) po 117,76 % pro nepravidelný tvar.

Tabulka 4 znázorňuje vliv tvaru pozemku na délku pracovního času při přípravě půdy. Modelováno bylo na 10 ha pozemku různých tvarů, tak jak jsou znázorněny na Obrázek 3-23 Obrázek 3-23: Schematické znázornění tvarů pozemků (Landers, 2000). lze předpokládat, že čas potřebný na přípravu půdy by se lišil se záběrem stroje, nicméně indexy by vypovídaly obdobně.

Tabulka 4: Vliv tvaru pozemku na dobu obdělání (Landers, 2000).

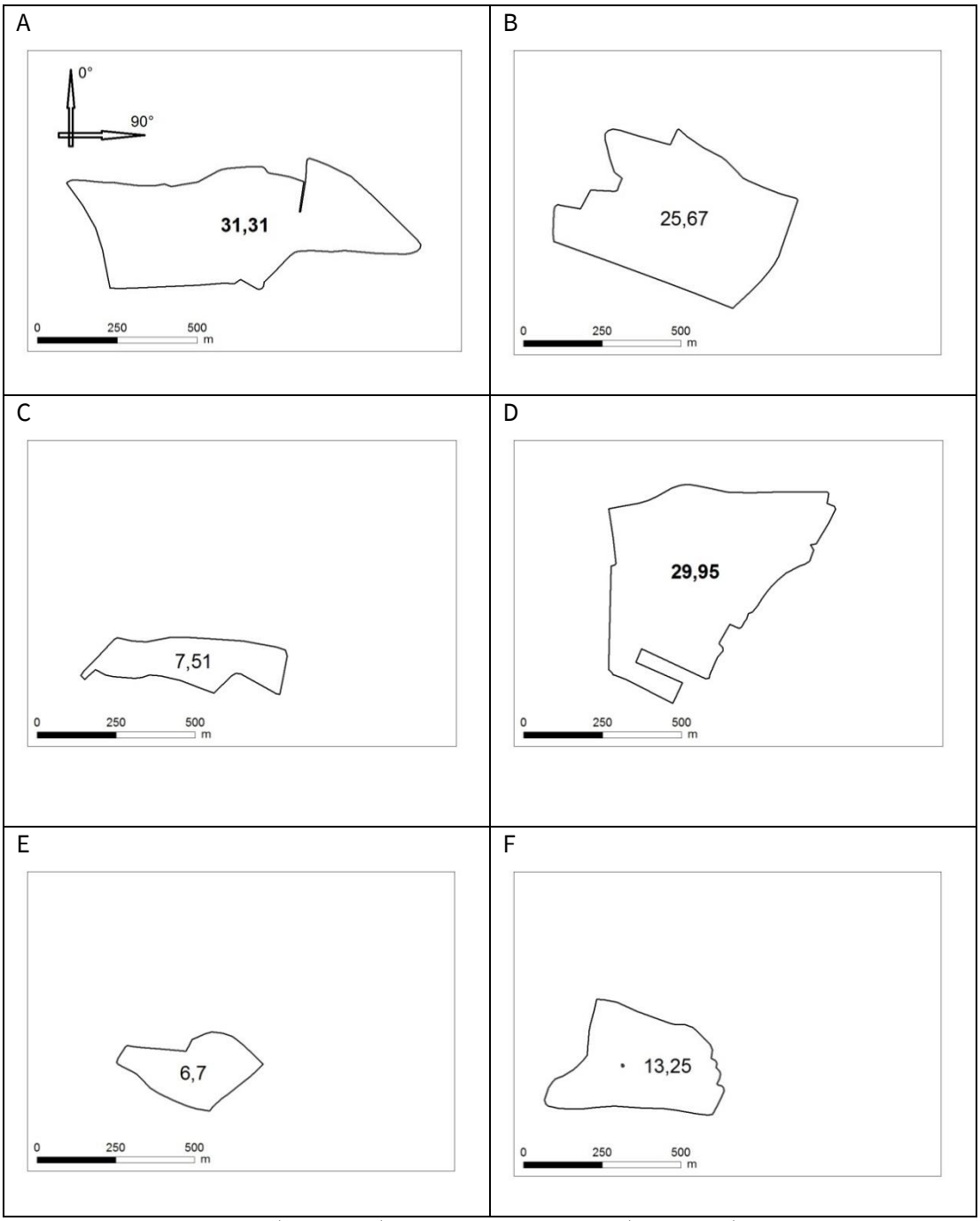
tvar pozemku	doba obdělání 1 ha (min/ha)	Index
1. čtverec	56,6	100
2. obdélník (2:1)	54,0	95
3. obdélník (4:1)	52,4	93
4. standardní tvar *	59,5	105
5. mnohoúhelník	59,1	104
6. zastavěné plochy	60,5	107
7. překážky v poli	62,0	109

* Dvě protější strany nejsou rovnoběžné, považuje se v zemědělství za standardní

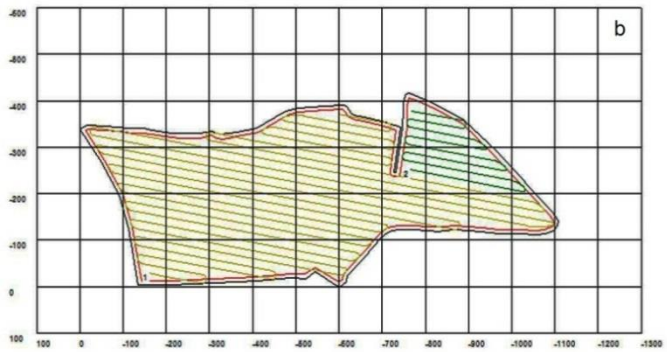


Obrázek 3-23: Schematické znázornění tvarů pozemků (Landers, 2000).

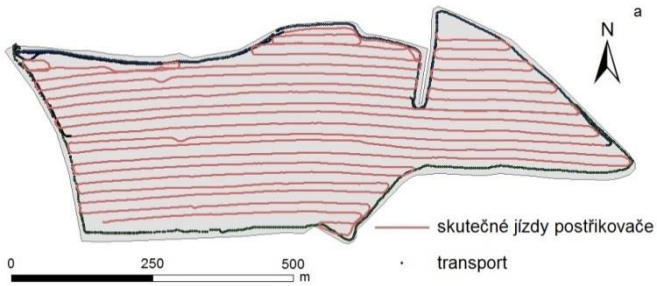
Obrázek 3-24 ukazuje příklady nepravidelných tvarů pozemků, pro které byly počítány modelové trajektorie pohybu souprav. Pro návrhy směrů naváděcích linií použit program OptiTrail, který je poskytován společností LeadingFarmers, a.s. Výstupem programu jsou údaje o tom, jak změna směru řídicí křivky a tvar hranic pozemku ovlivní poměr pracovních a nepracovních jízd a doporučené optimální trasy s ohledem na tvar pozemku. Model byl navržen pro postřikovač s pracovním záběrem 18 m. Obrázek 3-25 představuje optimální trajektorii, která respektuje tvar pozemku a nejnižší délku otoček a nepracovních jízd. K porovnání je obrázek reálného stavu pohybu soupravy po pozemku (Obrázek 3-26). Srovnání délek pracovních a nepracovních jízd pro různé směry řídící trajektorie přináší Graf 3-2. Základní krok úhlu natočení trajektorie byl 5°. Návrh optimálního směru jízd pro ostatní pozemky přináší Tabulka 5.



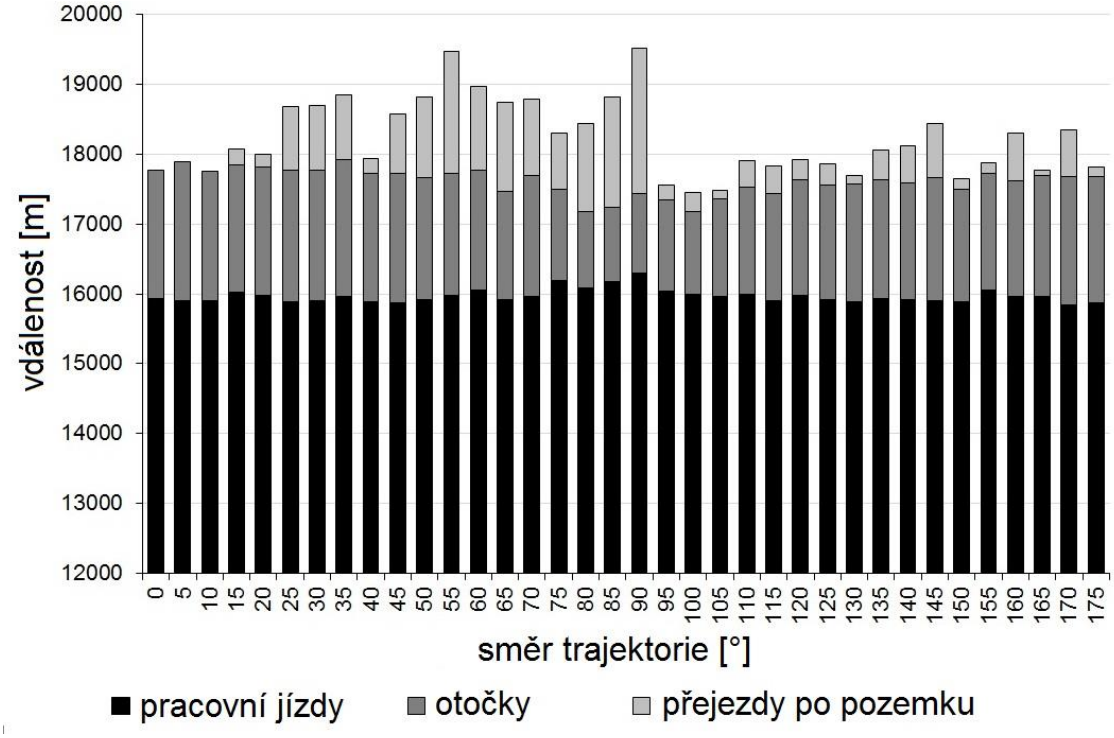
Obrázek 3-24: Příklady pozemků a jejich tvarových odlišností.



Obrázek 3-25: Příklad optimálního návrhu trajektorie jízd s ohledem na tvar pozemku (pozemek A) (Kroulík, 2015).



Obrázek 3-26: Trajektorie jízd postřikovače pořízené během práce stroje (pozemek A) (Kroulík, 2015).



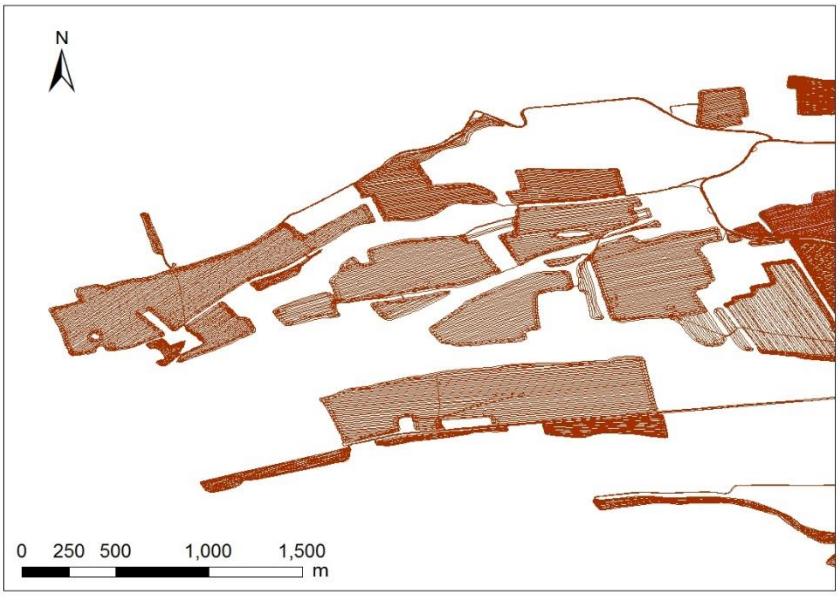
Graf 3-2 Vliv směru jízdy při známém tvaru pozemku na pracovní využití soupravy (Kroulík, 2015).

Tabulka 5: Návrhy jízd pro jednotlivé pozemky a hodnoty ukazatelů pracovního využití soupravy.

pozemek	výměra (ha)	protisměrné otočky	směr jízdy (°)	ujetá vzdálenost (m)	pracovní jízdy (%)	otočky (%)	poměr otočky/pracovní jízdy
A	31,31	ne	95	17553,21	91,36	8,64	0,09
		ano	100	18050,15	88,58	11,42	0,13
B	25,67	ne	105	15090,54	94,89	5,11	0,05
		ano	110	15526,77	92,75	7,25	0,08
C	7,51	ne	115	4802,71	87,35	12,65	0,14
		ano	105	5054,39	86,02	13,98	0,16
D	29,9	ne	110	18091,60	92,46	7,54	0,08
		ano	110	18184,66	91,99	8,01	0,09
E	6,7	ne	105	783,32	47,49	52,51	1,11
F	13,25	ne	90	8053,11	92,85	7,15	0,08
		ano	90	8116,08	92,13	7,87	0,09

Jak dokládá Obrázek 3-26, i minimální odchylka od optimální trasy může vést k významnému navýšení podílu nepracovních jízd a přejezdů. V případě pozemku A se v reálné situaci souprava pohybovala po trajektorii se směrem jízdy okolo 90°. V porovnání s navrhovanou trajektorií se jedná o odklon o 10°. Jak je patrné z Graf 3-2, rozdílný je především nárůst transportních přejezdů.

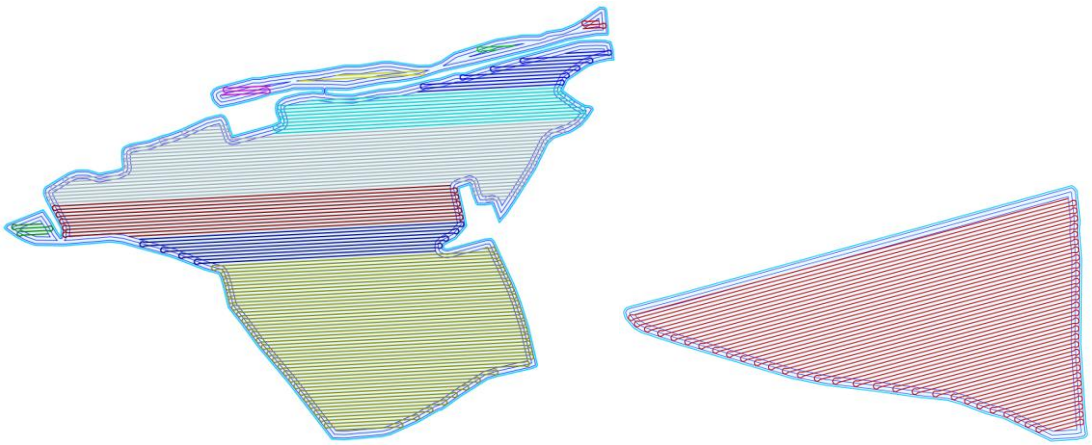
Intenzita zavádění nových technologií bude spojena právě s efektivitou, pracností a náročností sběru dat. Tažné prostředky a další zemědělské stroje dnes umožňují díky integrovaným senzorům shromažďovat velké množství dat při práci a odesílat je na vzdálené uložiště. Dokud byl sběr dat zajišťován ručně, vyvstávaly mnohé komplikace, ať už se jednalo o pracnost úkonu, časovou náročnost nebo zajištění některých dalších, dodatečných úkolů. To často vyvolávalo nevoli a nesouhlas obsluhy s uvedenými úkony a s tím spojenou chybovost záznamu. Vše odpadá se zavedením bezobslužných monitorovacích jednotek. Obrázek 3-27 přináší pohled na záznam o pohybu stroje od okamžiku otočení klíčku ve spínací skříňce traktoru. Záznam byl pořízen pomocí monitorovací jednotky ITineris. V tomto případě se jedná o přenesený záznam do prostředí GIS (Geografický informační systém).



Obrázek 3-27: Záznam pohybu stroje pořízený monitorovací jednotkou (Kroulík a kol., 2017).

Spolu s grafickým výstupem získáváme soubor v podobě tabulky, který s sebou nese údaje o poloze každého bodu záznamu. Pokud bude záznam načítán například každé dvě sekundy, už se nejedná pouze o souhrnné informace s odkazem na pracovní směnu, posouváme se na mnohem detailnější měřítko hodnocení. Praktickým příkladem využití záznamu může být opět zhodnocení stávajícího stavu pohybu po pozemku (Obrázek 3-28), především směru jízdních trajektorií s ohledem na celkovou délku pracovních jízd, počet otáček, délku otáček a nepracovních jízd a porovnání s modelovou situací. Nástrojem pro návrh optimálních trajektorií byl použit také OptiTrail. Do návrhu je možné pochopitelně ručně vstoupit s ohledem na přístupové cesty, svažitost pozemku apod. Jak ukazují modelové situace, u jednoduchých tvarů pozemků je volba celkem jednoduchá, u složitějších může odklon od stanovené optimální linie o několik stupňů znamenat značné navýšení nepracovních jízd (Obrázek 3-29).

Obrázek 3-28: Reálný záznam pohybu soupravy při setí (Kroulík a kol., 2017).



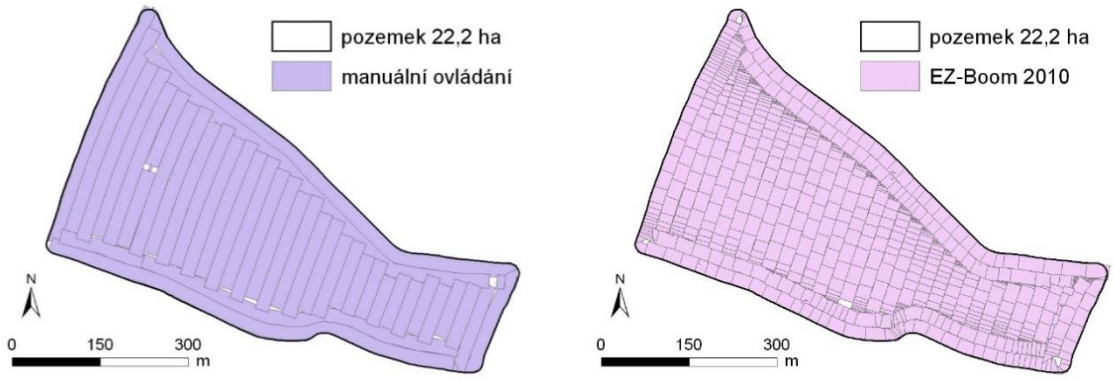
Obrázek 3-29: Modelový návrh trajektorií, který vycházel z tvaru pozemku. U složitého tvaru pozemku je patrný odklon směru jízd oproti reálnému záznamu (Kroulík a kol., 2017).

Kromě délek a poměrů pracovních a nepracovních jízd, hrají tvar pozemku, jeho velikost, sklon terénu, překážky a pracovní záběry strojů celkově významnou roli při využití tahových vlastností traktoru a zvyšování efektivity práce strojních souprav.

Modelovou trajektorii můžeme následně přenést do navigace tažného prostředku. Na druhou stranu model nerespektuje sklon pozemku. Tady vzniká významný prostor pro další návrhy, protože otázka sklonu pozemku, trakčního výkonu a návrhu jízd není dostatečně řešena. Například Yule a kol. (1999) uvádějí, že topografie má významný vliv na výkon stroje, kdy vliv svahu ovlivňuje prokluz, tahový výkon nebo brždění.

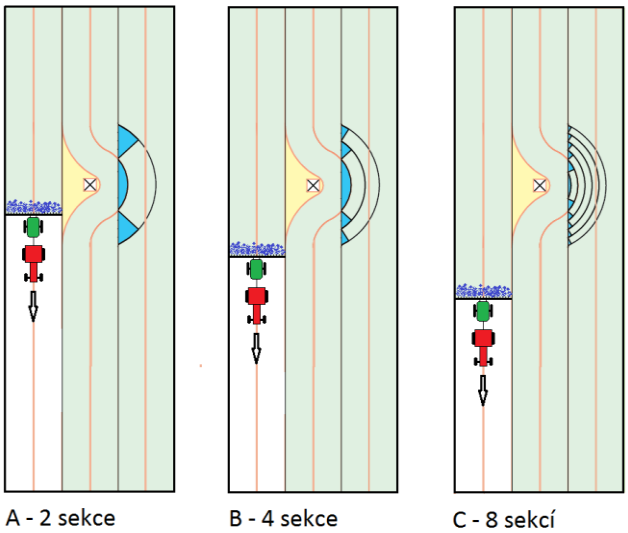
V předchozích odstavcích bylo poukázáno na tvar pozemku. S ohledem na tvar je potřeba vyzdvihnout další skutečnost. S nepravidelnými tvary pozemků nebo zakřivenými stranami pozemků narůstá počet přejezdů, otoček, překryvů, přesévání nebo vynechávek. I minimální zakřivení strany pozemku je zdrojem opakovaných přejezdů. Jak se tvar pozemku projeví na práci

postřikovače je patrné z následujícího Obrázek 3-30. Zde je vyobrazen pozemek o výměře 22,2 ha. Na obrázku je zobrazen záznam práce postřikovače a místa vypínání a zapínání sekcí ramen postřikovače. Na pozemku o výměře 22,2 ha byla podle výpočtu, v případě použití autonomního vypínání sekcí EZ-Boom, ošetřená plocha 22,5 ha. V případě manuálního ovládání se tato hodnota dostala na plochu 23,6 ha. S použitím autonomního vypínání jednotlivých trysek se dostáváme na hodnotu blízkou výměře pozemku.



Obrázek 3-30: Záznam práce postřikovače při manuálním ovládání ramen postřikovače (vlevo). Automatické vypínání sekcí ramen postřikovačů významně sníží chyby na začátku a konci jízd (vpravo) (Kroulík, 2014).

Obdobná situace nastává s objížděním překážek umístěných na pozemku, v našich podmínkách se nejčastěji jedná o sloupy elektrického vedení. Pro ukázku byl proveden teoretický výpočet přestříkané plochy při objíždění sloupu. Do výpočtu byly zahrnuty varianty s rozdělením 18 m ramene postřikovače na 2, 4 a 8 jednotlivě ovládaných sekcí. Výpočet je proveden pro ideální okamžik vypnutí. Výsledky je možno zobecnit pro aplikaci na jakémkoliv nepravidelném tvaru, ať už na výše zmíněných klínech či pouze na otáčkách na souvratích. Simulace objíždění překážky je znázorněna na Obrázek 3-1. Tmavě modré plochy znázorňují plochy přestříkané. Plochy žluté jsou nedostříkané. Číselné vyjádření přináší Tabulka 6.



Obrázek 3-31: Objíždění překážky při různém počtu vypínatelných sekcí (Král, 2011).

Tabulka 6: Výpočet překrytých ploch a porovnání jednotlivých variant (Král, 2011).

varianty	překryté plochy (m^2)	index (%)
A – 2 ovládané sekce	113,5	164,4
B – 4 ovládané sekce	69,1	100,0
C – 8 ovládaných sekcí	29,4	42,5

Varianta B je daném případě uvažovaná jako výchozí s ohledem na používaný postřikovač ve sledovaném podniku.

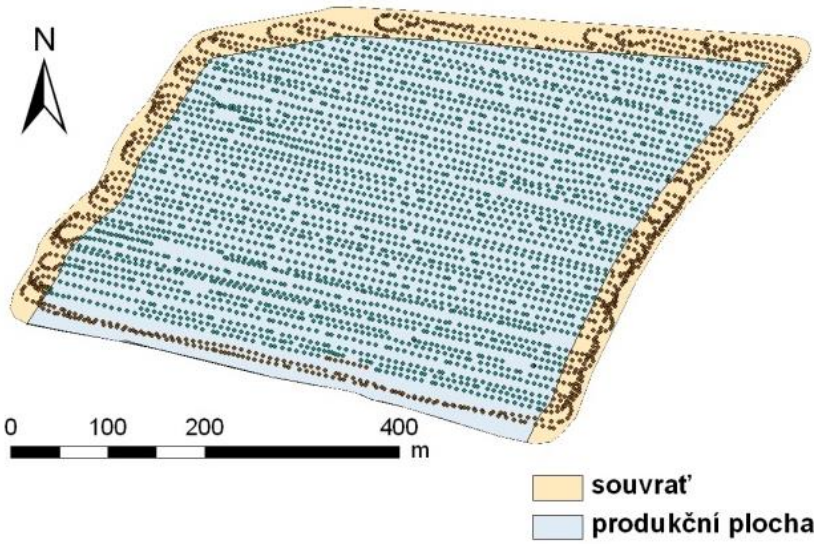
S nasazením moderní aplikační techniky je možné plánovat jednotlivé jízdy, především potom kolejové řádky, s ohledem na postavení sloupů a při optimalizaci pojezdů zohlednit možnost míjení sloupů s minimální potřebnou plochou nezbytnou na objetí sloupu.

Každý řidič mobilního prostředku je vystaven určitému psychicky stresovému zatížení. Tento jev vzniká souhrou různých faktorů, které se označují jako stresory. Ty mohou mít původ fyzický (uvnitř kabiny stroje nebo vozidla to může být hluk, vysoké teploty, nepohodlí, špatné ergonomické podmínky, a další), dále sociálně-pracovní (u profesionálních řidičů například vysoké požadavky ze strany zaměstnavatele, práce na směny, pocity izolace, přesčasy, dodržování časových termínů, zodpovědnost za převážené osoby a zboží), a konečně původ v samotné osobě řidiče (impulsivita, odolnost vůči zátěži, adaptabilita). Tento jev byl zkoumán zejména u řidičů v silniční automobilové dopravě v reálném provozu, kde je počet stresorů největší.

Podle klasifikace stresorů rozlišujeme tři hlavní formy psychické zátěže: jedná se o zátěž senzorickou, která vyplývá z nároků na činnost smyslových orgánů a jim odpovídajících struktur centrálního nervového systému, dále zátěž mentální, vyplývající z požadavků na zpracování informací kladoucích nároky na psychické procesy jako pozornost, paměť, představivost, myšlení a rozhodování, a konečně zátěž emoční. Ta vyplývá ze situací a požadavků, vyvolávajících afektivní odezvu. Posledně jmenovaná emoční zátěž se opět projevuje zejména u řidičů pohybujících se v silničním provozu.

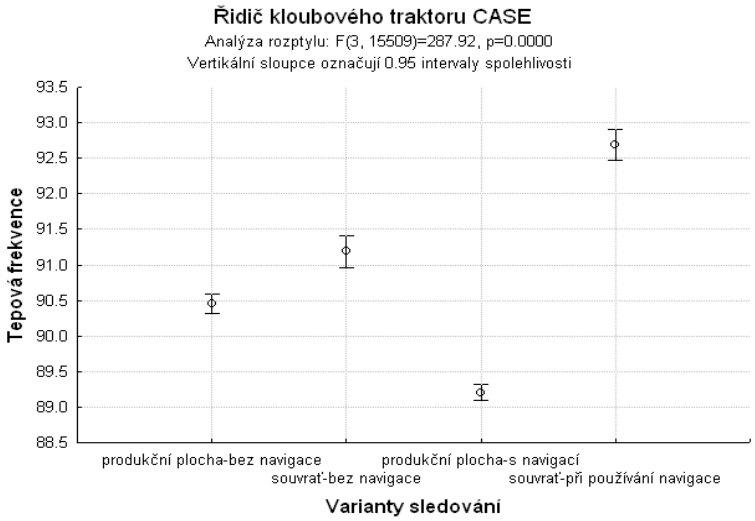
Následující ukázka přináší část výsledků měření z hodnocení zátěž obsluhy zemědělských strojů v případech, kdy byla navigace použita v porovnání se situací, kdy řidiči spoléhají na své zkušenosti. Pro měření a následné vyhodnocení zátěže obsluhy zemědělských strojů byla zvolena metoda monitorování srdeční tepové frekvence řidičů v průběhu práce stroje na pozemku. Pro vlastní měření zátěže řidičů traktorů byli vybráni náhodně řidiči rozdílného věku, kteří měli zkušenosti s využíváním navigačním systémem ve svém traktoru. Tento předpoklad byl důležitý,

jelikož používání navigace pro řidiče nenavyklého na navigační systém může působit jako stresový faktor. To se také při měření u řidičů bez zkušeností s navigací, přes pochvalné vyjádření k zařízení, ukázalo. Zkušební pozemek byl vždy rozdělen na plochu produkční a souvratě (Obrázek 3-32).

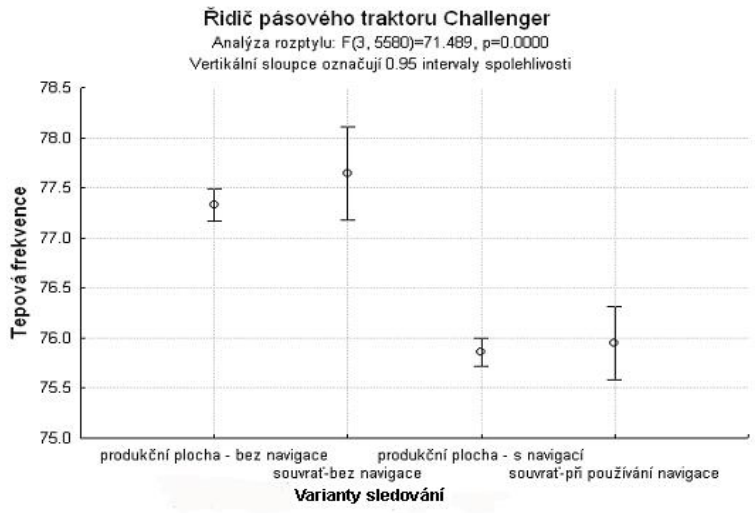


Obrázek 3-32: Záznam trajektorie pohybu soupravy a rozdělení na sledované plochy (Kroulík a kol., 2015).

Z výsledů měření jsou uvedeny dva příklady vyhodnocení. Prezentovány jsou výsledky měření získané při základním zpracování půdy. V prvním případě byl nasazen kloubový traktor Case. V druhém případě se jednalo o soupravu taženou pásovým traktorem Caterpillar. Graf 3-3 a Graf 3-4 znázorňují vynesení hodnot tepové frekvence řidiče kloubového resp. pásového traktoru. Jsou zde patrné rozdíly mezi hodnotami tepové frekvence při použití navigace a bez použití navigace. Nárůst hodnot tepové frekvence je také patrný na souvratích při otáčení soupravy.



Graf 3-3 Porovnání průměrů srdeční tepové frekvence řidiče při práci s kloubovým traktorem CASE (Kroulík a kol., 2015)..



Graf 3-4 Porovnání průměrů srdeční tepové frekvence řidiče při práci s pásovým traktorem Caterpillar (Kroulík a kol., 2015)..

Jak dále uvádějí Watson a Lowenberg-DeBoer (2004), nasazení navigace zvýšilo pracovní rychlost souprav o 13 %. S navigacemi může dojít k navýšení pracovní rychlosti až o 20 %. S použitím navigace rovněž výrazně naroste operativnost souprav.

3.6.1 Postup optimalizace zemědělských pozemků v praxi

Předkládaná metodika specifikuje vybrané vlastnosti půdního bloku na základě hodnocení jejich vybraných parametrů. Z hlediska využití výsledků metodiky zemědělskou praxí se jedná o následující aplikační výstupy:

1) Primární analýza půdních bloků z hlediska jejich vlastností, která dokládá jejich ekonomickou, energetickou a environmentální efektivnost při stávajícím způsobu využití.

2) Parametry pro následné rozhodovací procesy spojené se změnou prostorového využití pozemků z hlediska jejich ekonomického, energetického a environmentálního působení v rámci systémového pojetí zemědělských soustav.

3.6.1.1 Primární analýza půdních bloků z hlediska jejich vlastností

Cílem primární analýzy je konkretizace jednotlivých stávajících půdních bloků obhospodařovaných subjektem, které, dle výše uvedených parametrů hodnocení, poukazují na rizika spojená s jejich obhospodařováním. V rámci těchto procesů se jedná o následné analýzy:

a) Početní a plošná kvantifikace jednotlivých tříd pozemků se zohledněním jejich výměry ve vztahu k celkovému počtu obhospodařovaných půdních bloků a celkové výměře půdy obhospodařované subjektem.

b) Specifikace převažujícího faktoru u problematických půdních bloků, který určuje zařazení půdního do dané hodnotící kategorie.

c) Analýza směrů stávajících trajektorií pracovních souprav při pracovních operací zpracování půdy a setí u problematických půdních bloků a provedení návrhu jejich optimalizace z hlediska posouzení plošné, časové, energetické a ekonomické efektivnosti.

d) Specifikace plodin reálně pěstovaných na problematických půdních blocích a stanovení vhodnosti daného bloku, nebo jeho částí, z hlediska plodinové agrotechniky a logistiky.

e) Konkretizace půdních bloků, které na základě výše uvedených skutečností bude vhodné obhospodařovat jiným způsobem. Jako jiný způsob obhospodařování může být:

   - Změna struktury plodin na půdním bloku, která povede k efektivnějším postupům obhospodařování pozemku, např. z důvodu možné změny technologie zpracování půdy, předseťové přípravy a setí, sklizně, logistiky vstupů a produktů apod. a za účelem eliminace degradačních procesů půdy.

   - Změna systému zpracování půdy umožňující změnu trajektorií pracovních souprav, zvýšení či snížení pracovního záběru, hloubky zpracování půdy, spotřebu pohonných hmot apod. a za účelem eliminace degradačních procesů půdy.

   - Změna tvarových vlastností půdního bloku na základě jeho dělení, případně spojení s jiným půdním blokem nebo jeho dílem, které přispěje ke zvýšení energetické a ekonomické efektivitě pěstebních systémů a eliminuje degradační procesy půdy.

3.6.1.2 Parametry určující rozhodovací procesy spojené se změnou prostorového využití půdního bloku

Na základě dosavadních výsledků autorského kolektivu a literárních údajů je při plánování změny prostorového uspořádání půdních bloků (PB) na základě jejich dělení či slučování vycházet z následujících skutečností:

a) PB vykazující tvar čtverce nebo obdélníku se vyznačují lepšími podmínkami pro efektivní způsoby jejich obhospodařování.

b) Pro malé půdní bloky je z hlediska efektivnosti obhospodařování vhodné volit tvar obdélníků, u PB nad 40 ha vykazuje čtvercový a obdélníkový tvar obdobný vliv na efektivitu obhospodařování.

c) Nárůst střední délky pracovní jízdy zajišťuje zvýšení efektivity obhospodařování PB, zejména pak s adekvátním nárůstem pracovního záběru soupravy.

d) Nárůst střední délky pracovní jízdy vyvolává potřebu zvýšení kapacity zásobníků osiv, hnojiv a postřikových jích u pracovních strojů, včetně zásobníků sklízecích strojů, je-li preferováno jejich vyprazdňování na souvratích.

e) S narůstající vzdáleností PB od střediska subjektu klesá efektivita práce strojových souprav v důsledku nárůstu transportních časů, kterou lze eliminovat zvětšováním výměry PB, která přispěje ke zvýšení časového výkonu pracovních souprav.

f) Zvyšování efektivnosti obhospodařování PB se výrazně projevuje do výměry 40 – 50 ha, následné zvyšování výměry vyvolává menší zvyšování efektivity obhospodařování.

g) Z důvodu eliminace degradačních procesů půdy musí dělení půdních bloků, nebo jejich slučování, respektovat odtokové linie na PB.

h) Dělení nebo slučování PB musí být spojeno s maximálním začleněním stávajících krajinných prvků do hranic PB.

i) Dělení PB lze vnímat jako jeho virtuální rozčlenění na menší části, na kterých budou vybrané, nebo veškeré, pracovní operace probíhat nezávisle.

j) Virtuální dělení půdních bloků je však spojeno se vznikem tzv. vnitřních souvratí, které vykazují obdobný vliv na půdu a vývoj porostů, jako souvratě na okrajích PB.

k) Reálné či virtuální dělení půdních bloků musí být vždy spojeno se zajištěním požadovaných vstupů na nově vzniklé části PB, nebo nově vzniklé PB, které nebudou spojeny s přejezdy po sousedních půdních blocích.

l) Z hlediska dodržení půdoochranných principů lze za dělení PB považovat i tvorbu přerušovacích pásů, které přispějí i ke zvýšení efektivity obhospodařování nově vzniklých dílů PB.

Rozdělení PB může být spojeno se vznikem dílu, nebo dílů, s optimálními podmínkami pro obhospodařování a pěstování polních plodin bez ohledu na druh, ale může vést ke vzniku dílu, nebo dílů, které budou vykazovat problematičtější postupy obhospodařování vůči původnímu velkému PB a budou limitovat výběr plodin.

4 Vyhodnocení prostorových analýz a návrh vhodného řešení

4.1 Multikriteriální analýza parametrů a určení vhodnosti zemědělských pozemků k optimalizaci pojezdů zemědělské techniky

Problematika pojezdů zemědělské techniky představena v předcházejícím textu popisuje požadavky pro optimální pohyb souprav po zemědělských pozemcích. V následujících částech textu jsou uvedeny výsledky prostorových analýz půdních bloků (PB) v ČR, které teoretické předpoklady pro optimální pojezd konfrontují s reálnými tvary, morfologií PB.

Účelem multikriteriální analýzy je identifikace a klasifikace ploch zemědělského půdního fondu (ZPF) pro optimalizaci pojezdů z hlediska efektivního obdělávání a zároveň zohledňujícího ochranu půdy. Cílem je klasifikovat plochy ZPF dle jejich morfologie a prostorové distribuce s ohledem na využití půdy a dle požadavků pohybu strojů s ohledem na protierozní ochranu a to zejména využívání vrstevnicového obdělávání (VOB).

Vyčlenění výchozích ploch ZPF vyplývá z využití (přírodního) prostředí oproštěného od vlastnických a současných uživatelských vztahů. Primárně byly určeny plochy vhodné pro možnosti zemědělské výroby. Obecně jde o plochy mimo lesní porosty, zástavbu a komunikace. Výsledkem je výčet zemědělských ploch ohraničených plochami ostatními. Tento výčet je prostorově velice blízký databázi půdních bloků LPIS. Jednotlivé bloky byly následně podrobeny analýzám, které hodnotí půdní blok podle vlastností půdy, odtokových poměrů a podle možností aplikace VOB. Výsledkem je klasifikace PB dle náročnosti implementace optimalizace pojezdů zohledňující protierozní ochranu.

4.1.1 Metodika výpočtu

Výpočet multikriteriální analýzy vychází ze zhodnocení jednotlivých půdních bloků v duchu účelu analýzy. Rozhodovacím principem je zde tzv. expertní odhad, vycházející z odborné znalosti požadavků na optimalizaci pohybu zemědělské techniky s preferencí na VOB.

V prvním kroku byla vybrána skupina explicitních kritérií (viz Tabulka 7), které účelně popisují reliéf, tvar a omezující podmínky pro VOB. Kritéria byly vybrány tak, aby co nejpřesněji popisovali pozemek, a zároveň aby nedocházelo k duplikaci jednotlivých popisných výsledků. Hodnoty kritérií byly kategorizovány dle rozsahu nabývajících hodnot. Kupříkladu kritérium průměrného sklonu byl rozdělen do šesti kategorií, kde byla sklonitost řazena od nejméně sklonitého pozemku mající průměrný sklon pod 1°, až ke kategorii kde průměrná sklonitost pozemku představuje více než 11°. Za nejvhodnější pozemek je považován ten, který se nachází v první kategorii (dle příkladu s nejnižší sklonitostí).

Hodnocení informací o relativní důležitosti jednotlivých kritérií, bylo vyjádřeno pomocí vektoru vah kritérií. Přičemž platí, že čím je kritérium významnější (resp. důležitější), tím je i jeho váha větší. Při stanovování vah kritérií byl kladen důraz na dostupnost a využitelnost VOB.

Tabulka 7: Výčet a charakteristika kritérií

č.	název	Popis
1	**Průměrný sklon**	Svažitost pozemku je jedním ze základních kritérií pohybu zemědělské techniky po pozemku. Zásadně ovlivňuje směr i rychlost pohybu, potažmo i spotřebu pohonných paliv.
2	**Podíl sklonité plochy nad 6°**	Kritérium vyjadřuje podíl souvislé sklonité plochy nevhodné VOB vůči ploše celého pozemku. Překročením určitého podílu lze stanovit nevhodnost pro VOB.
3	**Podíl sklonité plochy nad 11°**	Analogický kritériu č. 2.
4	**Maximální hodnota převýšení**	Hodnota vyjadřuje reliéfní vlastnosti PB. Vysoká hodnota převýšení ovlivňuje směr i rychlost pohybu, potažmo i spotřebu pohonných paliv.
5	**Svahová variabilita**	Kritérium na základě expozice svahu definuje složitost pozemku z hlediska odtokových poměrů.
6	**Tvarová složitost**	Tvar pozemku přímo souvisí se směrem a počtem nutných pojezdů po PB. Kritérium určuje míru okrajového efektu, ovlivňujícího výnos plodin i aplikaci pesticidů.
7	**Přítomnost enkláv**	Kritérium určuje přítomnost neobdělávatelných ploch uvnitř PB. Tyto enklávy ovlivňují pojezd zemědělské techniky.
8	**Přítomnost krajinných prvků**	Analogický kritériu č. 7., s rozdílem vlastností enkláv. Zde jsou enklávy zahrnuty do výměry PB.
9	**Přístupnost komunikací**	Kritérium poukazující na vzdálenost k nejbližší komunikaci určené k provozu zemědělské techniky. Vyšší vzdálenost je spojena s horší dostupností PB.
10	**Náchylnost ke zhutnění**	Náchylnost ke zhutnění je zástupcem kritéria vlastností půdy stanovující míru možného vzniku degradačního procesu ovlivňujícího výnos plodin.

4.1.2 Vstupní parametry

Do multikriteriální analýzy vstupuje jako výchozí vrstva půdních bloků LPIS (PB LPIS) platná k 20. květnu roku 2017. Z databáze byly vyřazeny kategorie bloků, na nichž vycházeje z charakteru není možná optimalizace. Jedná se o kategorie B (rybníky) a kategorii E (krajinné prvky typu remízky, lesní pásma apod.) Do multikriteriální analýzy tedy vstupuje 291 147 PB o celkové výměře 3 647 180 ha. Průměrná výměra zahrnutých PB je 12,5 ha, největší PB má rozlohu 1 053,9 ha.

Tabulka 8: Rozložení velikosti vstupních PB (platné k 20. 5. 2017)

[ha]	počet PB	rozloha [ha]
do 1	85 186	40 393
1 - 2	40 254	57 902
2 - 5	50 792	164 906
5 - 10	34 523	247 234
10 - 20	30 985	443 443
20 - 40	25 266	715 521
40 - 60	10 592	516 327
60 - 100	8 380	639 749
100 a více	5 169	821 706
Celkový součet	291 147	3 647 180

Dalšími vstupními parametry, které se promítly do výpočtu, jsou prostorová data Českého úřadu zeměměřického a katastrálního, zejména digitální model reliéfu, datová vrstva Základní báze geografických dat (ZABAGED) z niž byly použity vrstvy pozemních komunikací, datová sada Registru územní identifikace, adres a nemovitostí (RUAIN). Dalšími využitými datovými vrstvami byly Bonitované půdně ekologické jednotky (BPEJ) poskytované Státním pozemkovým úřadem (SPÚ), dále evropsky významné lokality (EVL) a krajinné prvky poskytnuté Ministerstvem zemědělství ČR (MZe).

4.1.3 Popis kritérií

Veškeré kritéria vstupující do multikriteriální analýzy jsou blíže představeny v kapitolách 4.1.3.1 až 4.1.3.9. V kapitolách je popsán princip výpočtu a kategorizace kritérií.

4.1.3.1 Průměrný sklon PB

Sklonitost (svažitost) PB je základním kritériem hodnocení morfologie pozemku. Hodnota průměrné sklonitosti napovídá o prostorové variabilitě pozemku z hlediska odtokových poměrů, potažmo erozní ohroženosti, ale i pracovní rychlosti, výkonu motoru apod. a reálné dostupnosti strojů pro VOB.

Sklon, v podstatě změna nadmořské výšky vůči svému nejbližšímu okolí, je vypočítán na základě rastrové prostorové analýzy pro každý bod a následně je určen průměrný sklon v rámci celého bloku. Výsledná hodnota je ve stupních s rozsahem 0° až 90°. Reálně se hodnoty sklonu na zemědělsky využívaných plochách pohybují v rozmezí 0° až 44°, přičemž maximální průměrný sklon na pozemku je 36°.

Průměrný sklon byl kategorizován do šesti tříd. Nejlépe jsou hodnoceny pozemky s minimálním sklonem. Kategorie 5 a 6 jsou sklony nedostupné zemědělskou technikou s pojezdem po vrstevnicích, čili vylučují aplikaci VOB.

Tabulka 9: Kritérium 1. – Průměrný sklon

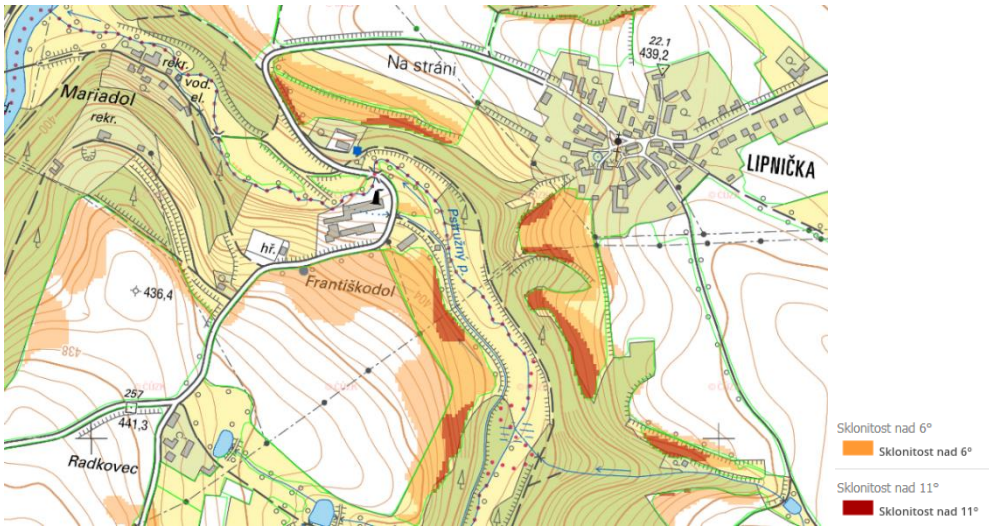
Průměrný sklon PB [°]

Rozdělení hodnot		kat.	[°]	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
		1	< 1	22 082	8%	323 344	9%
Min	0.11	2	1 - 2	42 106	14%	646 268	18%
Max	36.08	3	2 - 4	83 267	29%	1 393 308	38%
Průměr	4.76	4	4 -6	61 047	21%	795 401	22%
		5	6 - 11	64 971	22%	445 113	12%
		6	11 >	17 674	6%	43 746	1%
				291 147	100%	3 647 180	100%

4.1.3.2 Podíl sklonité plochy nad 6° a 11°

Z kritéria průměrného sklonu samotného nelze relevantně vyhodnotit jeho vhodnost či nevhodnost pro VOB, z důvodu průměrování sklonů k celé ploše PB. Vzhledem k variabilitě reliéfu samotného PB je účelné určit plochu, jenž nevyhovuje standardům pro VOB. Kritérium vyjadřuje jakou část plochy PB je vhodné vyčlenit pro alternativní způsoby obdělávání, či zda není vhodné vyčlenit celý blok.

Výpočet vycházel ze shlazeného modelu reliéfu, na němž byly selektovány plochy přesahující danou hodnotu sklonu. Výsledkem je poměr svažité plochy (sklon nad 6°, resp. 11°) k ploše vyhovující (sklon pod 6°, resp. 11°).



Obrázek 4-1 Souvislé sklonité plochy

Tabulka 10: Kritérium 2. – Podíl sklonité plochy ≥ 6°

Podíl sklonité plochy PB (6°≥) [%]

Rozdělení hodnot		kat.	[%]	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
		1	0	91755	32%	842 141	23%
Min	0 %	2	0 - 10	55012	19%	1 373 810	38%
Max	100 %	3	10 - 35	46620	16%	769 462	21%
Průměr	30 %	4	35 -70	36558	13%	417 307	11%
		5	70 >	61202	21%	244 459	7%
				291 147	100%	3 647 180	100%

Tabulka 11: Kritérium 3. – Podíl sklonité plochy ≥ 11°

Podíl sklonité plochy PB (11°≥) [%]

Rozdělení hodnot		kat.	[%]	počet PB	podíl kat.	podíl rozlohy	podíl rozlohy
		1	0	186149	64%	2 048 708	56%
Min	0 %	2	0 - 10	58992	20%	1 358 319	37%
Max	100 %	3	10 - 35	21487	7%	167 869	5%
Průměr	8 %	4	35 -70	11993	4%	48 982	1%
		5	70 >	12526	4%	23 301	1%
				291 147	100%	3 647 180	100%

4.1.3.3 Maximální hodnota převýšení PB

Kritérium převýšení vyjadřuje rozdíl nadmořské výšky nejvyššího a nejnižšího bodu na PB. Hodnota v obecné míře představuje maximální délku odtokové linie. Vysoký rozdíl nevyššího a nejnižšího místa na PB indikuje možné dělení pozemku, jak z pohledu protierozní ochrany, tak přejezdů techniky členitým terénem.

Hodnota je výsledkem rozsahu zonální statistiky nadmořských výšek z digitálního modelu reliéfu.

Tabulka 12: Kritérium 4. – Maximální hodnota převýšení

Maximální hodnota převýšení PB [m]

Rozdělení hodnot		kat.	[m]	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
		1	< 5	66320	23%	230 220	6%
Min	0.01	2	5 - 10	52245	18%	220 632	6%
Max	283.72	3	10 - 20	66750	23%	498 504	14%
Průměr	20.41	4	20 - 50	79950	27%	1 545 750	42%
		5	50 - 100	22921	8%	949 669	26%
		6	100 >	2961	1%	202 405	6%
				291 147	100%	3 647 180	100%

4.1.3.4 Svahová variabilita PB

Kritérium svahové variability PB vyjadřuje složitost z hlediska odtokových poměrů na pozemku. Pozemek je zde chápán jako soustava plošek s definovanou orientací vůči osmi světovým stranám (nezahrnují se plochy se sklonem menším než 2°). Jednotlivé oblasti s homogenní orientací svahu jsou odděleny pomyslnými hranami (s určitou výrazností - ostré hranice x přechody), jež vymezují odtokové celky. Pokud se na PB nacházejí soustavné plochy s protilehlou orientací, lze na pozemku určit ostrou hranu mezi povodími a předpokládat přítomnost více než jednoho lokálního povodí.

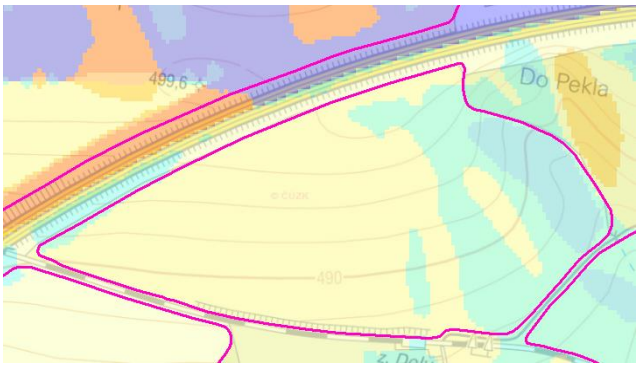
Výpočet je založen na rozsahu a míře zastoupení expozice světových stran. Každému pixelu na PB je z vyhlazeného modelu reliéfu přirazena hodnota orientace ke světové straně. Následně jsou hledány protilehlé plochy. Pokud se svah orientuje do 180° (Obrázek 4-2) je považován za jednoduchý. Čím větší rozsah expozice, tím je pozemek složitější. Se zvyšujícím podílem protilehlých plošek se zvyšuje pravděpodobnost resp. výraznost (ostrost) rozvodnice na PB.

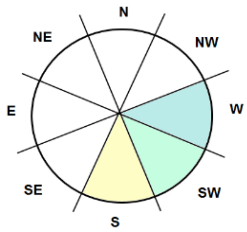
Míra podílu určuje kategorie kritéria. Kategorie 1 značí pozemek s rozsahem expozice do 180°. Kategorie 2 určuje pozemky obdobné kategorii 1, s poměrně nízkým obsahem protilehlých ploch (Obrázek 4-3). Kategorie 3 – 5 určují pozemky, na nichž se nacházejí rozvodnice výrazné, a to k poměrnému obsahu protilehlých ploch (Obrázek 4-4).

Tabulka 13: Kritérium 5. – Svahová variabilita

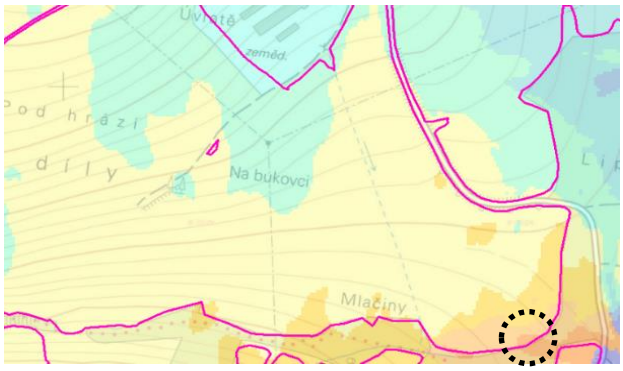
Svahová variabilita PB expozice

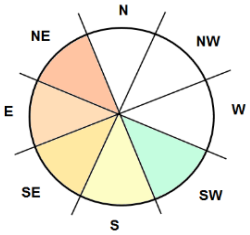
Rozložení hodnot		kat.	poměr	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
		1	1,0000	153216	53%	455 309	12%
Min	0.015	2	1,0000 - 0,9997	211	≈ 0%	7 636	≈ 0%
Max	1.000	3	0,9997 - 0,8000	79011	27%	1 383 718	38%
Průměr	0.894	4	0,8000 - 0,6000	29818	10%	830 747	23%
		5	0,6000 a méně	28891	10%	969 770	27%
				291 147	100%	3 647 180	100%



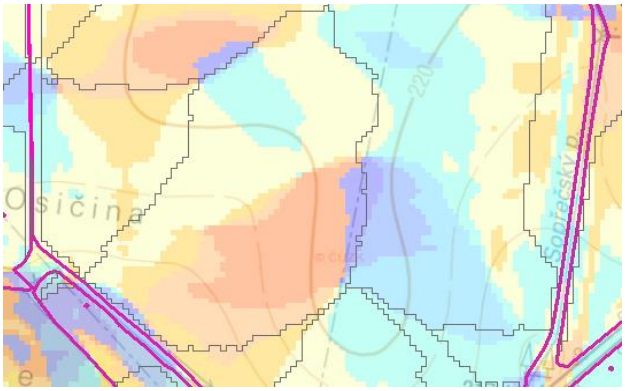


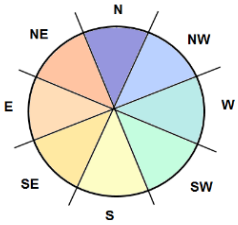
Obrázek 4-2 Svahová variabilita bloku – kat. 1





Obrázek 4-3 Svahová variabilita bloku – kat. 2





Obrázek 4-4 Svahová variabilita bloku - kat. 5

4.1.3.5 Tvarová složitost PB

Vliv tvaru PB se výrazně promítá do efektivity zemědělských subjektů plánováním přejezdů pracovních souprav, což souvisí jednak s náklady spojenými s pracovními operacemi, tak i s počtem přejezdů po PB (viz 4.1.3.9 Náchylnost ke zhutnění). Nepravidelný tvar je dále spojován s nárůstem hodnoty obvodu, nárůstem vlivu okrajového efektu, který zvyšuje rizika zaplevelení, rozvoje chorob a škůdců a následně ovlivňuje i množství aplikovaných pesticidů na PB. Okrajové části pozemku většinou vykazují nižší hodnoty výnosu ve srovnání s vnitřními části PB.

Kritérium bylo určeno jako tzv. Landscape Shape Index (*LSI*), jenž vyjadřuje vztah mezi obvodem bloku a jeho obsahem na základě rovnice (2):

$$LSI = \frac{\frac{1}{4} \times o}{S^{\frac{1}{2}}} \qquad (4)$$

Kde:

o	…	obvod PB	[m]
S	…	výměra PB	[m^2]

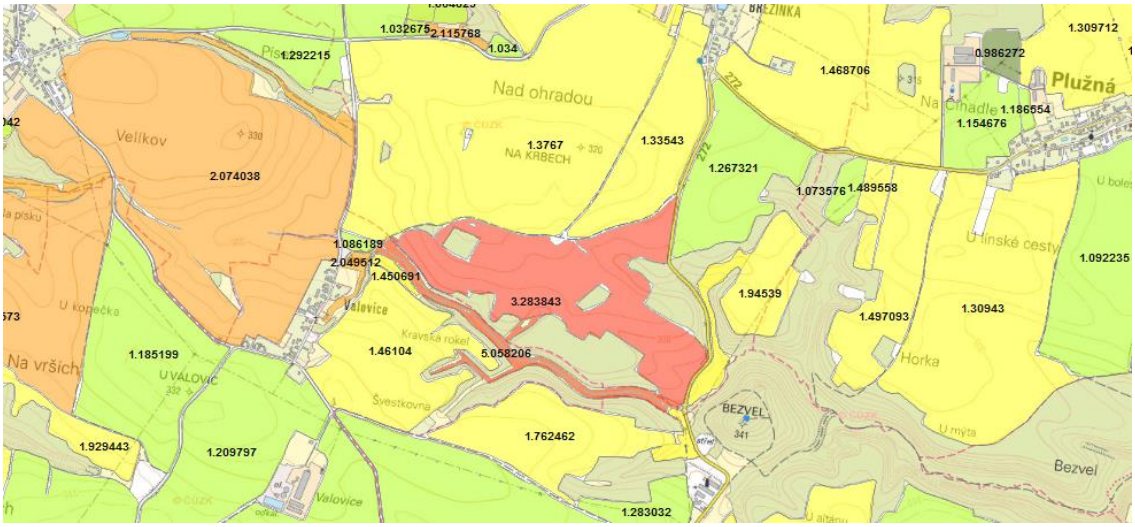
Výsledkem rovnice je hodnota porovnávající tvar PB se tvarem čtverce. Hodnoty blížící se 1 jsou srovnatelné s tvarem čtverce. Je-li hodnota nižší než 1 (kat. 1) tvar se blíží kruhu. Naopak čím je hodnota od 1 větší, tím je tvar složitější (viz Obrázek 4-5 a Obrázek 4-7).

V praxi se setkáváme s PB mající vysokou hodnotu LSI (viz Obrázek 4-7 a Obrázek 4-6), a přitom nadprůměrnou výměru (50 ha a více). Takové PB lze rozčlenit na menší pozemky, nebo virtuální části PB s rozdílným systémem obhospodařování, vyznačující se výhodnějším tvarem. Primární ambicí stanoveného kritéria je především na problematické PB upozornit. Ve výsledku je však vhodné vzít v potaz i velikost PB.

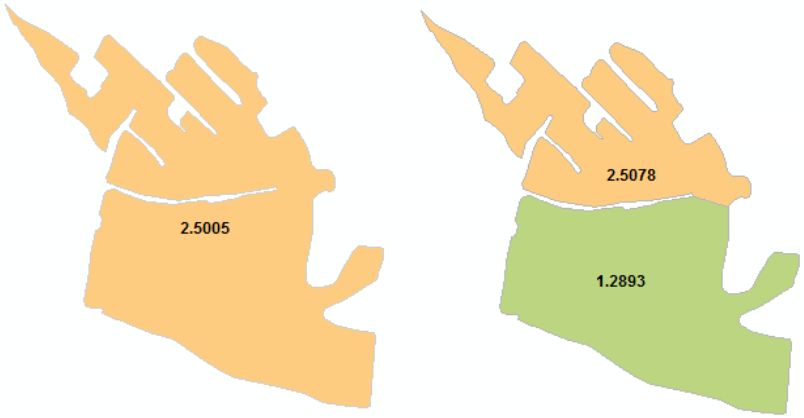
Tabulka 14: Kritérium 6. – Tvarová složitost

Tvarová složitost PB

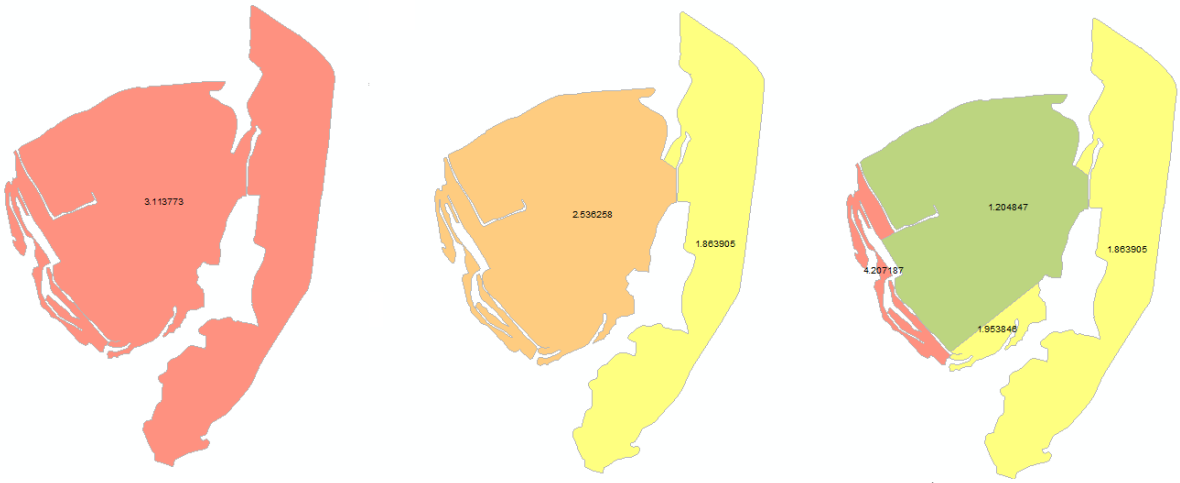
Rozdělení hodnot		kat.	poměr	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
		1	< 1,0	11907	4%	42 078	1%
Min	0.890	2	1,0 - 1,3	128653	44%	1 053 133	29%
Max	9.571	3	1,3 - 2,0	117932	41%	1 569 426	43%
Průměr	1.459	4	2,0 - 3,0	28118	10%	738 887	20%
		5	3,0 >	4537	2%	243 655	7%
				291 147	100%	3 647 180	100%



Obrázek 4-5: Hodnoty a kategorie LSI



Obrázek 4-7: Změna kategorie a hodnoty LSI po dělení bloku. Vlevo před dělením, vpravo po dělení bloku.



Obrázek 4-6: Změna hodnoty LSI po racionalizaci bloku (změna barvy, vyjadřuje změnu kategorie na základě hodnoty LSI; červená – kat. 5, oranžová – kat. 4, žlutá – kat. 3, zelená kat. 2)

4.1.3.6 Přítomnost enkláv uvnitř PB

Z hlediska analýzy se enklávami rozumí plochy uvnitř PB, jenž nejsou produkčně využitelné. Obvykle se jedná o plochy mezí, zarostlých snosů kamení, remízků apod. S těmito enklávami se pojí problematika nutnosti změny trasy pracovních jízd (Obrázek 4-10). Jedná-li se však o enklávy obsahem v řádech jednotek metrů čtverečních, zejména o plochy vyčleněné stožáry elektrického vedení, není nutné explicitně měnit směr pojezdu. Tyto enklávy se řadí do kategorie 2 (Obrázek 4-8).

Tabulka 15: Kritérium 7. – Přítomnost enkláv

Přítomnost enkláv

kat.	stav	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
1	neobsahuje	230 412	79%	1 729 274	47%
2	součet enkláv do 40 m^2	12 404	4%	185 965	5%
3	nad 40 m^2	48 331	17%	1 731 941	47%
		291 147	100%	3 647 180	100%

Obrázek 4-8: Enklávy uvnitř půdního bloku – kat. 2

4.1.3.7 Krajinné prvky

Kritérium obsahu krajinných prvků na pozemku, vychází obdobně jako kritérium enkláv z problematiky nutnosti změny směru jízdy pracovních souprav z důvodu vyhnutí se těmto prvkům. V předchozím kritériu byly enklávy vyjmuty z PB, v kritériu krajinných prvků jsou však enklávy identifikovány v rámci PB LPIS (Obrázek 4-9). Jedná se o tzv. ekologicky významné prvky, definované nařízením vlády *č. 307/2014 Sb., o stanovení podrobností evidence využití půdy podle uživatelských vztahů, § 5.* Tyto prvky jsou zpravidla zahrnuty do PB, nicméně z hlediska pojezdů mají obdobný charakter. Z důvodu běžné velikosti krajinných prvků byly oproti předchozímu kritériu ustanoveny jen kategorie v binárním smyslu.

Obrázek 4-10: Enklávy uvnitř půdního bloku – kat. 3

Tabulka 16: Kritérium 8. – Krajinné prvky

Krajinné prvky

kat.	stav	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
1	žádné	254 710	86%	2 604 685	71%
2	jen KP	40	0%	1 331	0%
3	jen EVP	4805	2%	79 173	2%
4	obě	31 592	11%	961 990	26%
		291 147	99%	3 647 180	100%

4.1.3.8 Přístupnost PB

Pro zohlednění přístupnosti bylo do multikriteriální analýzy zařazeno kritérium nejbližší komunikace. Kritérium vyjadřuje, zda PB sousedí s komunikací, čímž lze předpokládat i možnost vjezdu na pozemek. Není již ověřeno, zdali je mezi cestou a pozemkem zajištěn optimální přejezd, či je vhodný z hlediska ideálního rozčlenění pojezdů. Tyto ohledy vstupů na pozemek jsou řešeny v kapitole 5.4.1. Mezi komunikace byly zahrnuty silnice a cesty přístupné pro zemědělskou techniku. Jedná se o silnice II. a III. třídy, místní komunikace a polní a účelové cesty. Vzdálenostní vztah PB k dostupným komunikacím je dán nejbližší eukleidovskou (planimetrickou) kolmou vzdáleností mezi oběma prvky.

Z kategorizace je patrné, že 98% rozlohy pozemků je dostupné přímo, či do desíti metrů od komunikace. Kategorie 2 tj. do desíti metrů od vozovky značí, že PB je již nyní napojen na cestu, či k cestě může být relativně snadno napojen.

Tabulka 17: Kritérium 9. – Přístupnost

Přístupnost PB

Rozdělení hodnot	kat.	vzdálenost [m]	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
	1	přímý dotek	84 440	29%	2 188 608	60%
	2	0 - 10	167 687	57%	1 389 599	38%
	3	10 - 30	16 679	7%	37 346	1%
	4	30 - 50	6 694	2%	10 137	0%
	5	> 50	15 647	6%	21 489	1%
			291 147	100%	3 647 180	100%

4.1.3.9 Náchylnost ke zhutnění

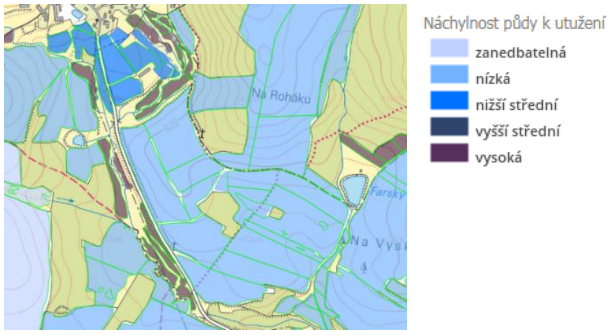
Degradační procesy půdy přímo spojené s přejezdy zemědělské techniky byly v multikriteriální analýze zastoupeny kritériem náchylnosti půdy ke zhutnění. Náchylnost ke zhutnění půdy zde představuje jednu z možných degradací půdy, jež lze eliminovat optimalizací přejezdů zemědělské techniky. Hlavní příčinou zhutnění jsou právě pojezdy těžké techniky za vlhkého počasí. Zhutnění půdy je ovlivněno počtem přejezdů, ale i dobou po kterou je půda vystavena tlaku. Zhutnění půdy se projevuje snížením infiltračních procesů, zvýšením erozních rizik, negativním ovlivnění koloběhu živin i poklesem produkce plodin.

Náchylnost půdy je stanovena na základě půdních vlastností z dat BPEJ a je rozdělena do pěti kategorií. Pro každý blok byla určena míra náchylnosti na základě většinového zastoupení kategorie náchylnosti ke zhutnění. Z hlediska multikriteriální analýzy se zvyšující se míra náchylnosti rovná zvýšenému zájmu pro optimalizaci pojezdů.

Tabulka 18: Kritérium 10. – Náchylnost k zhutnění

Náchylnost ke zhutnění

kat.	ohrožení	počet PB	podíl kat.	rozloha [ha]	podíl rozlohy
1	zanedbatelná	60 730	21%	824 398	23%
2	nízká	85 448	29%	855 336	23%
3	nižší střední	59 680	20%	748 647	21%
4	vyšší střední	42 799	15%	624 618	17%
5	vysoká	42 490	15%	594 181	16%
		291 147	100%	3 647 180	100%



Obrázek 4-11: Třídy náchylnosti ke zhutnění

4.1.4 Výstupy multikriteriální analýzy

Cílem multikriteriální analýzy (MKA) bylo klasifikovat PB dle náročnosti implementace optimalizace tvarů a velikostí PB s ohledem na požadavky pohybu strojů a na zavedení protierozní ochrany a to zejména při využívání vrstevnicového obdělávání (VOB). Výsledkem provedené analýzy je pro každý PB bodově vyjádřené hodnocení výše uvedených kritérií. Dle tohoto bodového hodnocení byly PB rozřazeny do čtyř tříd. Třídy vyjadřují potenciál PB k optimalizaci managementu, tedy k dělení, zavedení VOB, řešení přejezdů zemědělské techniky. Současně indikují náročnost zavádění těchto nových opatření.

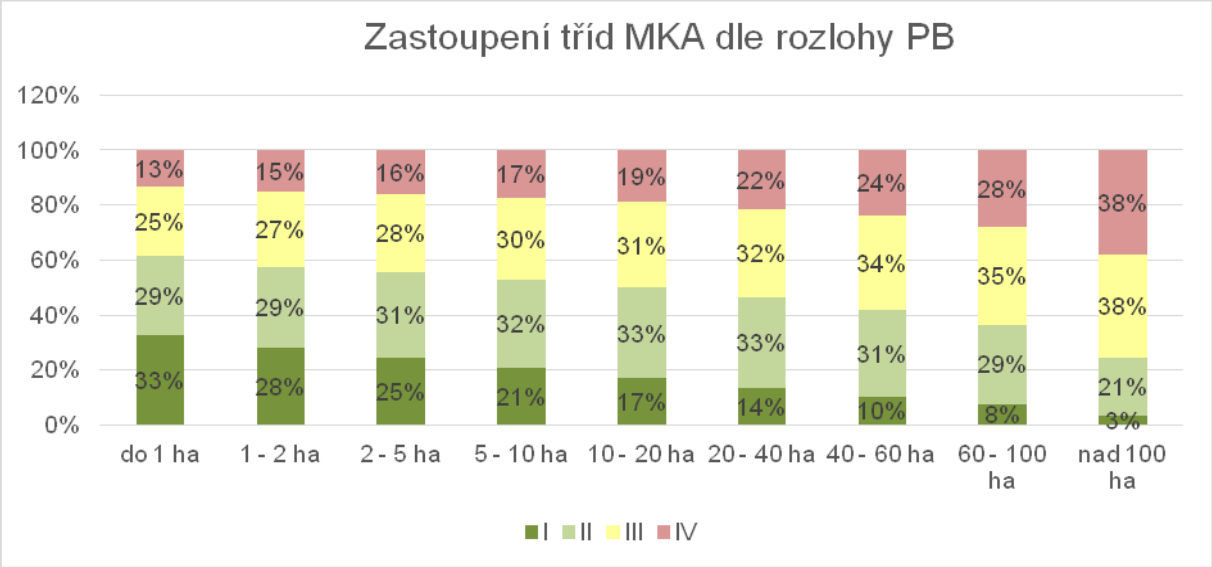
Tabulka 19: Třídy multikriteriální analýzy

Třída	Charakteristika třídy	Příklad
I	Bloky vhodné pro VOB s jednoduše implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky (tzn. možno využít dostupné softwarové nástroje pro návrh trajektorií apod.).	
II	Bloky vhodné pro VOB s implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky.	

Třída	Charakteristika třídy	Příklad
III	Bloky vhodné pro dělení dle požadavků VOB a optimalizace pojezdů zemědělské techniky.	
IV	Bloky nutné pro rozdělení dle požadavků optimalizace pojezdů zemědělské techniky a možným vyčleněním pozemků vhodných pro VOB.	

Tabulka 20: Počet a rozloha výsledných tříd multikriteriální analýzy

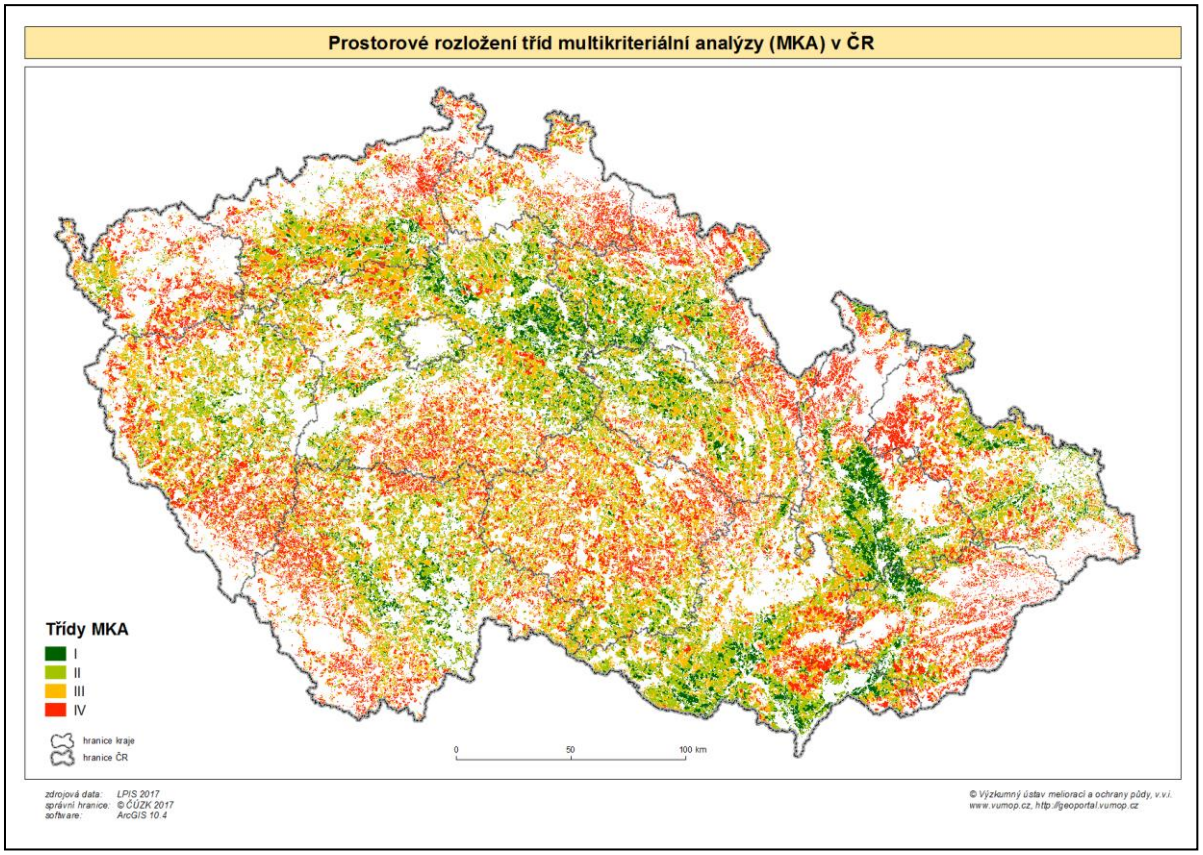
třída	počet PB	rozloha [ha]
I	71 281	423 061
II	88 598	1 063 100
III	82 510	1 223 511
IV	48 758	937 508
	291 147	3 647 180



Graf 4-1 Zastoupení tříd MKA dle rozlohy PB

Výsledné třídy MKA byly rozděleny dle velikostí PB (prezentuje Graf 4-1). Z provedené analýzy je patrný výrazný pokles zastoupení třídy I u velikostí PB větších jak 10 ha. Dle provedené MKA a nastavených kritérií lze uvést, že od výměry PB 10 ha je třeba, pro úspěšnou optimalizaci pojezdů zemědělské techniky a implementaci VOB, dělit virtuálně či reálně, případně upravovat tvary pozemků. Jednoznačně z výsledků vyplývá zahrnutí těchto kritérií do procesu pozemkových úprav.

Obrázek 4-12 prezentuje prostorové rozdělení tříd v rámci České republiky



Obrázek 4-12 Prostorové rozložení tříd multikriteriální analýzy

Třídy MKA I a II – zastoupení tříd je dominantní v rovinatějších oblastech ČR, vyznačující se zároveň nižší nadmořskou výškou. Jedná se tedy o oblasti většinou s vyšším produkčním potenciálem půdy a s možností pěstování teplomilných plodin, včetně širokořádkových. Tuto skutečnost lze považovat za pozitivní z hlediska možností optimalizace systémů pohybu zemědělských souprav po PB při pěstování širokořádkových plodin: kukuřice na zrno a na siláž, cukrovka, případně rané brambory. Jednoznačně poskytují tyto oblasti vhodné podmínky pro rychlý rozvoj systémů precizního zemědělství bez výrazných limitních omezení prostorovými parametry půdního bloku. Je potřebné si uvědomit, že právě optimalizace systémů pohybu zemědělských souprav, včetně systémů evidence trajektorií, není základem jen pro omezení degradačních procesů půdy (zhutnění, větrná a vodní eroze, podpora infiltrace apod.), ale především pro uplatnění technologií šetrného hospodaření s půdní vodou a eliminace rizik vodního stresu.

Třídy MKA III a IV – v souladu s předpoklady je zastoupení problematičtěji obhospodařovatelných půdních bloků typické pro vyšší polohy ČR. Tato skutečnost jednoznačně poukazuje na potřebu detailního pohledu na vlivnost hodnocených kritérií, která řadí PB do těchto tříd. Tato analýza je nutná pro návrh reálných postupů optimalizace prostorového uspořádání PB, jako základu preventivních a kurativních opatření ochrany půdy. V potaz je totiž nutné vzít nejen vyšší prostorovou variabilitu krajinné matrice, velikost PB, jejich dostupnost apod., ale zejména ji nižší ekonomickou efektivitu pěstebních systémů a křehkost sociálních podmínek těchto regionů. Z hlediska výsledků klasifikace (třída MKA III a IV) se totiž problematika optimalizace PB dotýká všech pěstovaných plodin v těchto oblastech bez ohledu na strukturu porostu.

5 Protierozní ochrana s ohledem na vhodné prostorové rozmístění zemědělských pozemků a návrh potenciálně vhodných lokalit k dělení pozemků

Jedním z cílů této metodiky je nalézt možný konsenzus, a prezentovat podklady pro rozhodování, mezi požadavky protierozní ochrany na optimalizaci dělení pozemků a mezi požadavky vyplývající z pohybu zemědělské techniky. Pro tyto účely byly na PB provedeny analýzy erozních ohroženosti a jejich tříd z MKA. V dalších částech jsou pak prezentovány analýzy přípustných délek pozemku a možnosti optimalizace velikosti pozemků z pohledu protierozní ochrany.

5.1 Prostorové analýzy definovaných parametrů PB s potenciálními degradacemi půdy

5.1.1 Dlouhodobá průměrná ztráta půdy

Na základě celorepublikových rastrů erozní ohroženosti určené z rovnice USLE (1) byly vymezeny třídy erozního ohrožení (TEO), které vstoupil do následné analýzy PB. Tabulka 21 definuje rozdělení do tříd erozního ohrožení vycházejícího z kategorizace podle Dýrové (1988).

Tabulka 21: Kategorizace tříd erozního ohrožení (Dýrová, 1988)

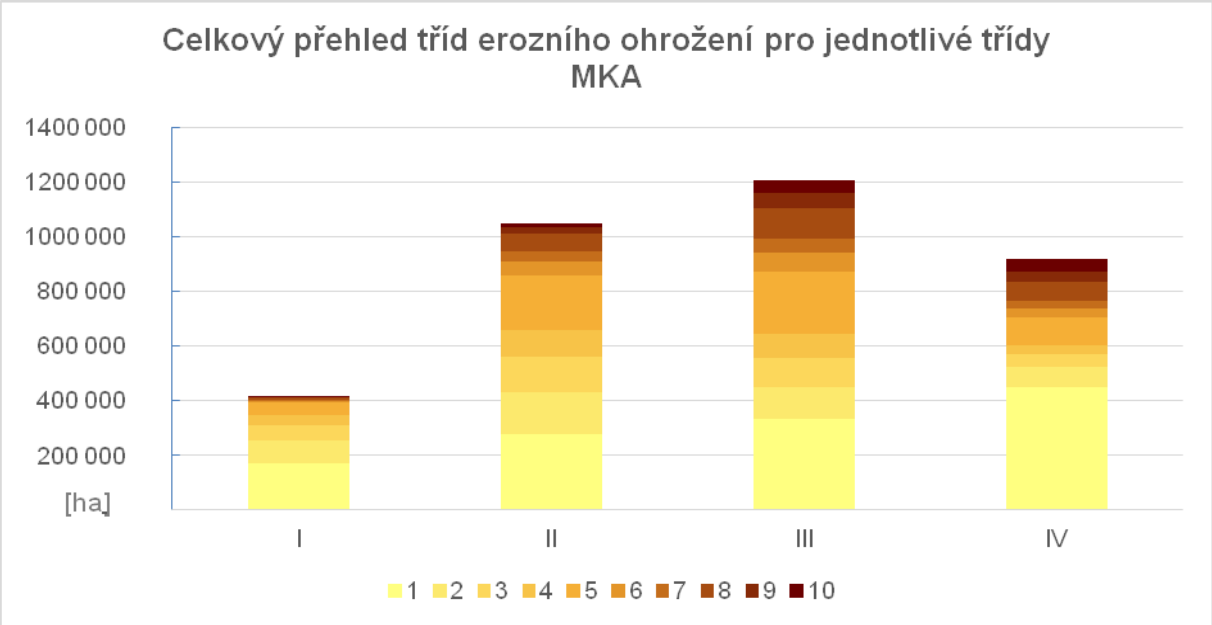
Třída erozního ohrožení	Rozsah erozního smyvu [$t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$]
1	1.0 a méně
2	1.1 - 2.0
3	2.1 - 3.0
4	3.1 - 4.0
5	4.1 - 8.0
6	8.1 - 10.0
7	10.1 - 12.0
8	12.1 - 20.0
9	20.1 - 30.0
10	30.1 a více

Následně bylo určeno zastoupení tříd MKA z pohledu potenciálních degradací půdy vyjádřených pomocí TEO.

Tabulka 22: Statistika tříd erozní ohroženosti na jednotlivé třídy

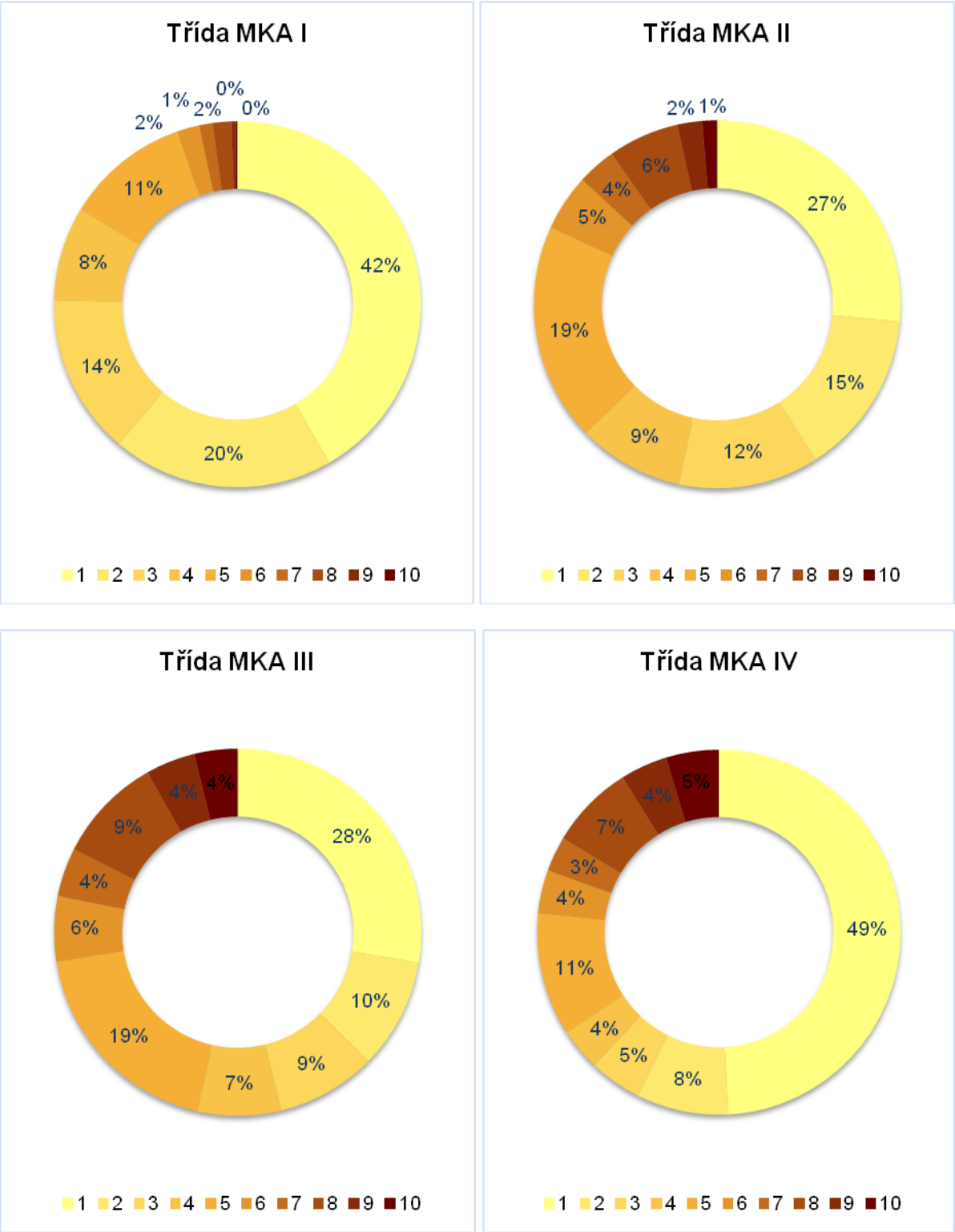
Třídy MKA	0 - 1 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	1 - 2 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	2 - 3 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	3 - 4 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	4 - 8 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]
1	172 379	80 912	58 626	34 458	45 453
2	277 443	151 898	129 028	97 264	201 326
3	333 114	117 142	105 841	88 307	227 241
4	450 703	74 744	42 535	34 390	100 361

Třídy MKA	8 - 10 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	10 - 12 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	12 - 20 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	20 - 30 $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]	30 > $t \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ [ha]
1	8 268	4 854	6 841	1 548	608
2	51 937	35 598	65 357	22 921	13 691
3	69 344	51 796	112 408	52 610	45 877
4	35 270	28 335	68 959	38 181	42 970



Graf 5-1 Součtové zobrazení celkového zastoupení kategorií tříd erozního ohrožení pro jednotlivé třídy MKA[1]

[1] I Bloky vhodné pro VOB s jednoduše implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky
II Bloky vhodné pro VOB s implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky
III Bloky vhodné pro dělení dle požadavků VOB a optimalizace pojezdů zemědělské techniky.
IV Bloky nutné pro rozdělení dle požadavků optimalizace pojezdů zemědělské techniky.



Graf 5-2 Zastoupení kategorií tříd erozní ohroženosti na půdních blocích pro třídy MKA[2]

[2] I Bloky vhodné pro VOB s jednoduše implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky
II Bloky vhodné pro VOB s implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky
III Bloky vhodné pro dělení dle požadavků VOB a optimalizace pojezdů zemědělské techniky.
IV Bloky nutné pro rozdělení dle požadavků optimalizace pojezdů zemědělské techniky.

5.1.2 Dobrý zemědělský a environmentální stav (DZES)

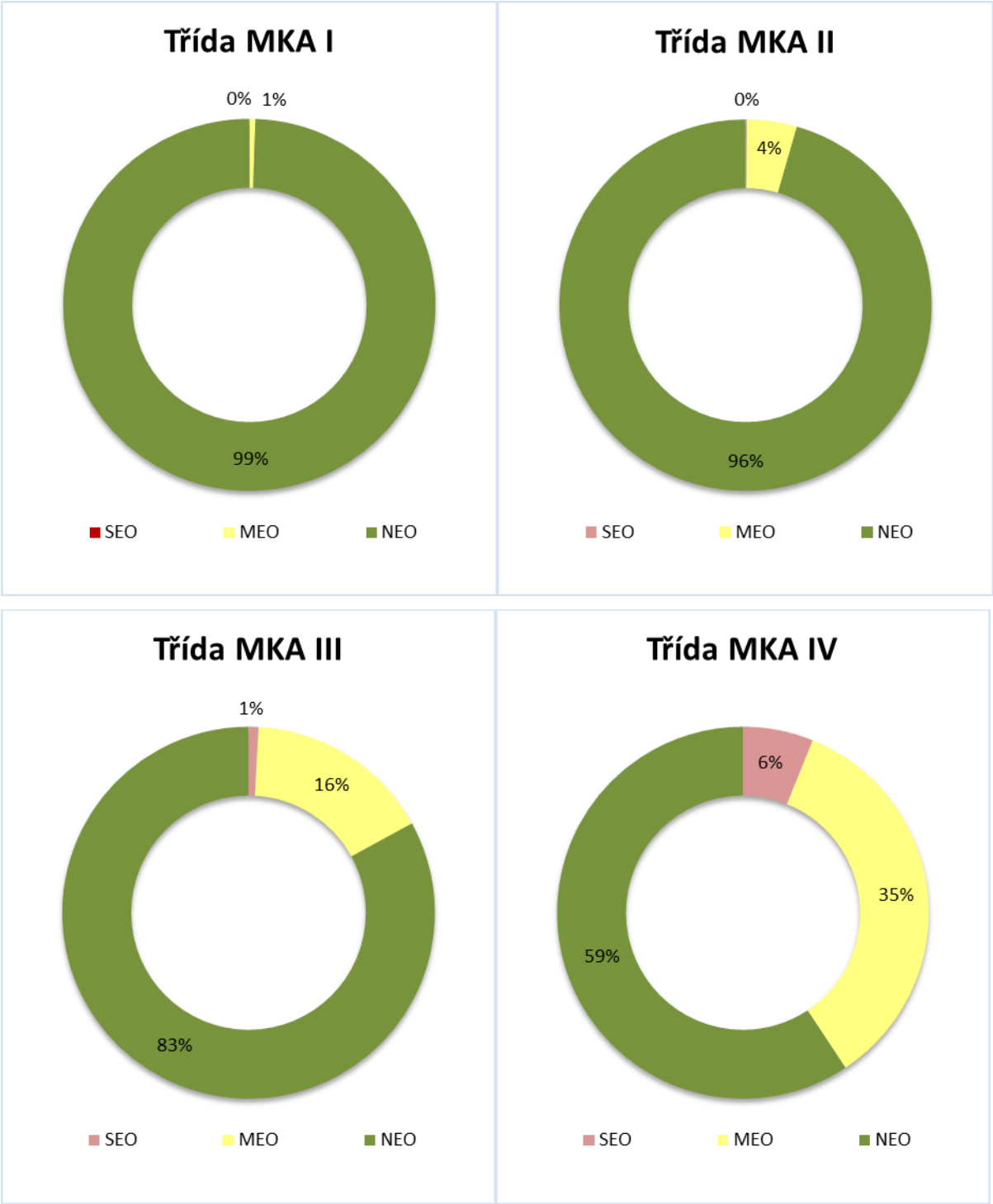
Základním podkladem pro hodnocení erozního ohrožení půdy v rámci DZES 5 je vrstva vyjadřující maximálně přípustné hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření (Cp.Pp). Výpočet vrstvy vychází z Univerzální rovnice ztráty půdy USLE, kdy výsledná hodnota Cp .Pp vyjadřuje požadovaný ochranný vliv vegetace a protierozních opatření vzhledem k přípustné průměrné roční ztrátě půdy (vyjadřuje tedy součin maximálně přípustné hodnoty faktoru ochranného vlivu vegetace a faktoru protierozních opatření, při jejichž překročení dojde k překročení přípustné průměrné roční ztráty půdy). Pro využití v rámci LPIS byla kromě ochrany půdy před erozí velmi výrazně Ministerstvem zemědělství (MZe) zohledněna i ekonomická náročnost realizace protierozních opatření, zjednodušen byl obsah vrstvy vyjádřením pouze ve 3 kategoriích (silně erozně ohrožené půdy – SEO, mírně erozně ohrožené půdy – MEO a neohrožené půdy – NEO), kdy původní vrstva má spojité hodnoty a výrazně vyšší interpretační potenciál.

Pro zhodnocení výsledků MKA byly vypočítány statistiky pro jednotlivé PB spadající do dané třídy MKA. Statistiky byly vypočítány pro erozní ohrožení z pohledu standartu DZES 5 na celé ploše ZPF.

Tabulka 23: Statistika erozní ohroženosti dle standartu DZES 5[3]

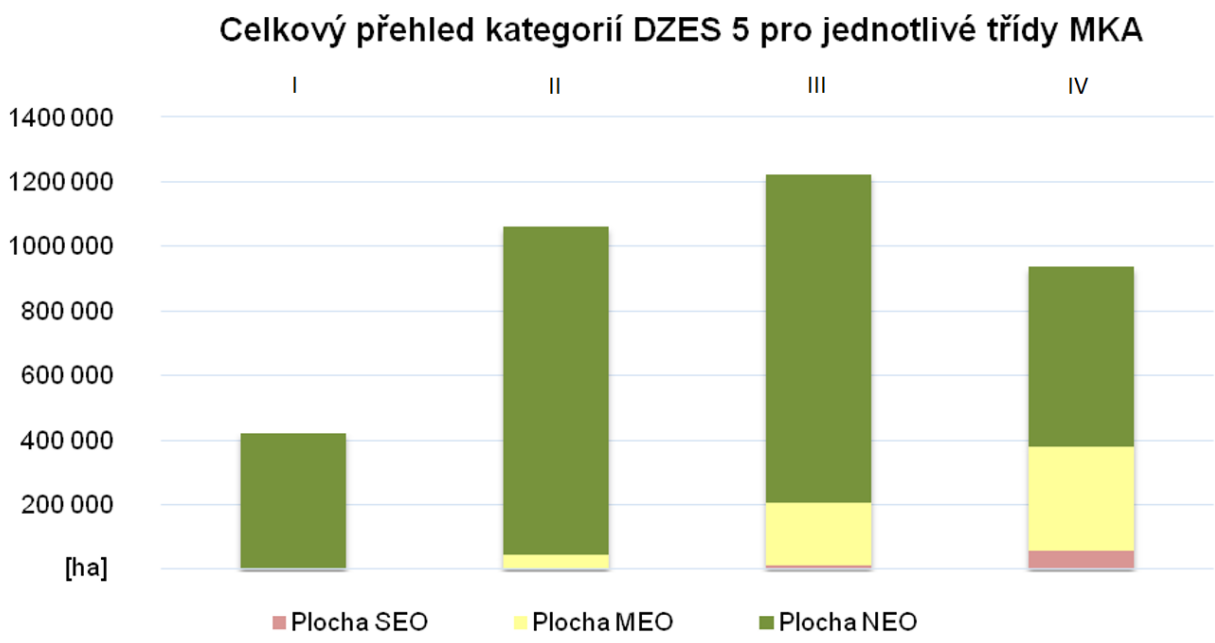
Třídy MKA	Plocha SEO [ha]	Plocha MEO [ha]	Plocha NEO [ha]	Poměr SEO [%]	Poměr MEO [%]	Poměr NEO [%]
I	50	2 131	420 507	0.001	0.058	11.535
II	1 251	46 099	1 015 291	0.034	1.265	27.850
III	10 522	197 863	1 014 619	0.289	5.428	27.832
IV	57 386	324 076	555 727	1.574	8.890	15.244

[3] Vyhodnocení bylo prováděno na celém ZPF



Graf 5-3 Zastoupení kategorií DZES 5 na půdních blocích pro třídy MKA[4]

[4] I Bloky vhodné pro VOB s jednoduše implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky
II Bloky vhodné pro VOB s implementovatelnou optimalizací pojezdů zemědělské techniky
III Bloky vhodné pro dělení dle požadavků VOB a optimalizace pojezdů zemědělské techniky.
IV Bloky nutné pro rozdělení dle požadavků optimalizace pojezdů zemědělské techniky.



Graf 5-4 Součtové zobrazení celkového zastoupení kategorií standartu DZES 5 pro jednotlivé třídy MKA

Česká republika a její zemědělská krajina je z pohledu morfologie velice pestrá. Morfologie terénu je jedním z faktorů, které ovlivňují hydrologické a erozní procesy na zemědělské půdě. Aby tyto procesy byly v rozsahu s trvale udržitelným rozvojem, je třeba jim přizpůsobit tvar a velikost zemědělských pozemků. Tyto vlastnosti by měli být reflektovány v dělení půdních bloků, na kterých lze evidentně vymezit souvislé pozemky, na kterých je třeba aplikovat různý management z pohledu ochrany půdy. Dělení pozemků musí zohledňovat fyzikální zákony dávající vzniku vodní eroze. Jeden ze základních způsobů vymezení míst pro dělení pozemků je určení nepřerušené odtokové délky svahu. Této problematice jsou věnovány následující kapitoly.

5.2 Analýza přípustných délek pozemků z pohledu protierozní ochrany

Snížení erozní ohroženosti pozemků je možné provést aplikací protierozních opatření. Aby však bylo dosaženo požadovaného efektu, je nutné tyto opatření správně dimenzovat. Správné umístění technického protierozního opatření je mimo jiné voleno i dle tzv. přípustné délky pozemku. Umístěním technického prvku do vhodně voleného místa svahu dojde k přerušení povrchového odtoku a zároveň k rozdělení pozemku. Toto rozdělení však může být navrženo jako přejezdné pro zemědělskou techniku (např. průleh). Výpočet maximální přípustné délky pozemku se pro technická protierozní opatření provádí na základě maximální tečného napětí. Tuto metodu popisu je např. Dýrová (1988). Výsledná délka závisí na několika faktorech, jsou to intenzita deště, hydrologické vlastnosti půd, pěstované plodiny apod. Při rozhodování o optimalizaci velikosti pozemků je možné orientačně vycházet z níže uvedených tabulek. Tabulky udávají maximální přípustnou délku pozemku pro jejich různé sklony, hydrologické vlastnosti půd a způsob hospodaření. Uvažovaná intenzita deště byla 24 mm.hod^{-1}.

Kde:

HSP – hydrologická skupina půd

- **Skupina A**: Půdy s vysokou rychlostí infiltrace (> 0,20 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky a štěrky.
- **Skupina B**: Půdy se střední rychlostí infiltrace (0,10 – 0,20 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité.
- **Skupina C**: Půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,05 – 0,10 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité.
- **Skupina D**: Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (< 0,05 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím.

Tabulka 24: Příklady maximálních přípustných délek svahu podle Dýrové (1988) pro hydrologické skupiny půd A a B

HSP A	NOF		VOF	
Sklon	pr	vr	pr	vr
[%]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	7700	7920	8529	8800
2	2417	2487	2678	2763
3	1297	1334	1437	1482
4	833	856	922	952
5	587	604	651	671
6	440	452	487	503
7	343	353	380	392
8	276	284	306	316
9	228	234	252	260
10	191	197	212	219
11	163	168	181	187
12	141	145	156	161
13	123	127	137	141
14	109	112	121	125
15	97	100	108	111
16	87	90	96	100
17	79	81	87	90
18	71	73	79	82
19	65	67	72	75
20	60	62	66	68
21	55	57	61	63
22	51	52	56	58
23	47	49	52	54
24	44	45	49	50
25	41	42	45	47
26	38	39	42	44
27	36	37	40	41
28	34	35	37	39
29	32	33	35	36
30	30	31	33	34

HSP B	NOF		VOF	
Sklon	pr	vr	pr	vr
[%]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	6 844	7 018	7 295	7 492
2	2 149	2 203	2 290	2 352
3	1 153	1 182	1 229	1 262
4	740	759	789	810
5	522	535	556	571
6	391	401	417	428
7	305	313	325	334
8	245	252	262	269
9	202	207	216	221
10	170	174	181	186
11	145	149	155	159
12	125	129	134	137
13	110	113	117	120
14	97	99	103	106
15	86	89	92	94
16	77	79	83	85
17	70	72	75	77
18	64	65	68	70
19	58	59	62	63
20	53	55	57	58
21	49	50	52	54
22	45	46	48	50
23	42	43	45	46
24	39	40	42	43
25	36	37	39	40
26	34	35	36	37
27	32	33	34	35
28	30	31	32	33
29	28	29	30	31
30	27	27	28	29

Legenda:

NOF - plodina s nízkou ochrannou funkcí (kukuřice, brambory, řepa, sója, slunečnice, čirok, bob setý, lupina a mák)

VOF - plodina s vysokou ochrannou funkcí (ostatní pícniny jednoleté, ostatní pícniny víceleté a travní porost)

pr – řádky vedeny bez ohledu na vrstevnice

vr – řádky vedeny podél vrstevnic

Tabulka 25: Příklady maximálních přípustných délek svahu podle Dýrové (1988) pro hydrologické skupiny půd C a D

HSP C	NOF		VOF	
Sklon	pr	vr	pr	vr
[%]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	6 300	6 600	6 600	6 761
2	1 978	2 072	2 072	2 123
3	1 061	1 112	1 112	1 139
4	681	714	714	731
5	481	503	503	516
6	360	377	377	386
7	281	294	294	301
8	226	237	237	242
9	186	195	195	200
10	156	164	164	168
11	134	140	140	143
12	116	121	121	124
13	101	106	106	108
14	89	93	93	96
15	79	83	83	85
16	71	75	75	76
17	64	67	67	69
18	58	61	61	63
19	53	56	56	57
20	49	51	51	53
21	45	47	47	48
22	42	44	44	45
23	39	40	40	41
24	36	38	38	39
25	34	35	35	36
26	31	33	33	34
27	29	31	31	32
28	28	29	29	30
29	26	27	27	28
30	24	26	26	26

HSP D	NOF		VOF	
Sklon	pr	vr	pr	vr
[%]	[m]	[m]	[m]	[m]
1	6 092	6 300	6 300	6 522
2	1 913	1 978	1 978	2 048
3	1 026	1 061	1 061	1 099
4	659	681	681	705
5	465	481	481	498
6	348	360	360	372
7	272	281	281	291
8	219	226	226	234
9	180	186	186	193
10	151	156	156	162
11	129	134	134	138
12	112	116	116	120
13	98	101	101	105
14	86	89	89	92
15	77	79	79	82
16	69	71	71	74
17	62	64	64	67
18	57	58	58	61
19	52	53	53	55
20	47	49	49	51
21	44	45	45	47
22	40	42	42	43
23	37	39	39	40
24	35	36	36	37
25	32	34	34	35
26	30	31	31	32
27	28	29	29	30
28	27	28	28	29
29	25	26	26	27
30	24	24	24	25

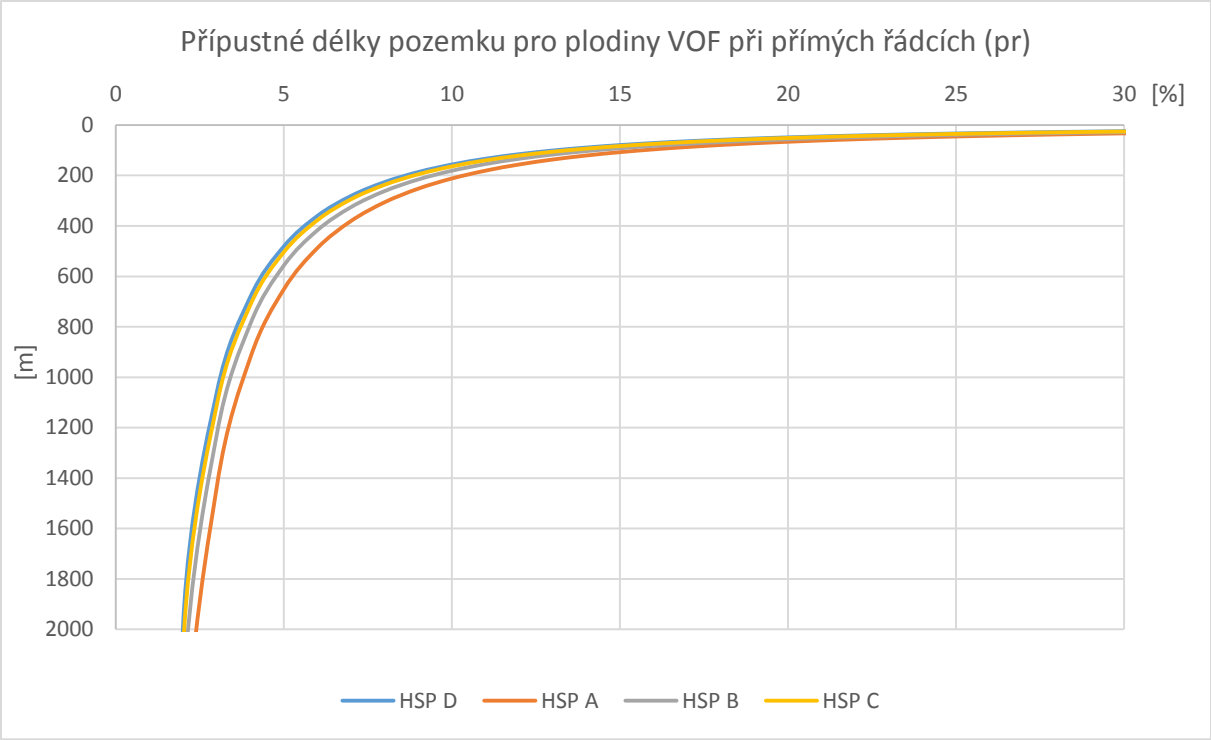
Legenda:

NOF - plodina s nízkou ochrannou funkcí (kukuřice, brambory, řepa, sója, slunečnice, čirok, bob setý, lupina a mák)

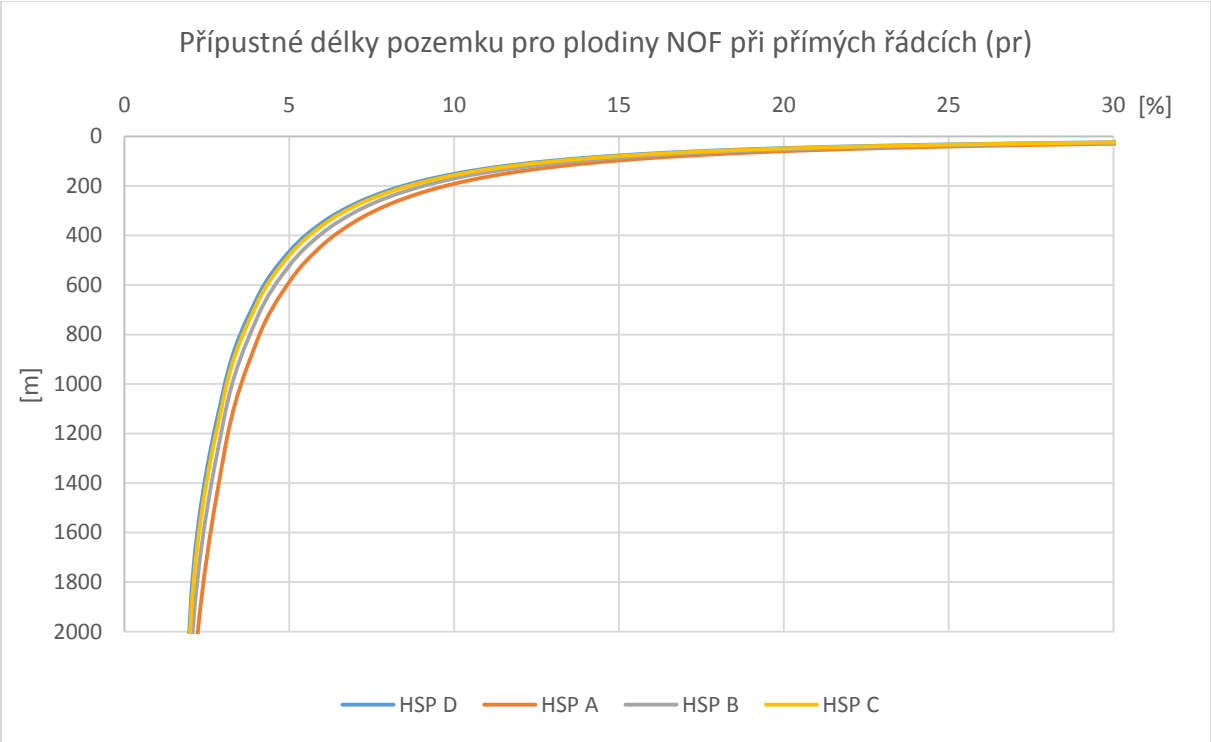
VOF - plodina s vysokou ochrannou funkcí (ostatní pícniny jednoleté, ostatní pícniny víceleté a travní porost)

pr – řádky vedeny bez ohledu na vrstevnice

vr – řádky vedeny podél vrstevnic



Graf 5-5 Přípustné délky pozemku pro plodiny VOF při příčném obdělávání



Graf 5-6: Přípustné délky pozemku pro plodiny NOF při příčném obdělávání

Legenda:

NOF - plodina s nízkou ochrannou funkcí (kukuřice, brambory, řepa, sója, slunečnice, čirok, bob setý, lupina a mák)

VOF - plodina s vysokou ochrannou funkcí (ostatní pícniny jednoleté, ostatní pícniny víceleté a travní porost)

pr – řádky vedeny bez ohledu na vrstevnice

vr – řádky vedeny podél vrstevnic

5.3 Analýza možného využití stávajících pozemků jako hranic k dělení - RUIAN

V polovině roku 2012 byl spuštěn provoz systému základních registrů veřejné správy ČR. Jeden ze čtyř základních registrů je i registr územní identifikace, adres a nemovitostí (RÚIAN). V rámci RUIAN bylo k 30. 9. 2016 vedeno 20 765 544 parcel s popisnými atributy a geometrií. Hlavní motivací zahrnutí analýzy dat KN (RUIAN) bylo poukázání na parcely evidované v KN jako na možné využití stávajících evidovaných prvků k realizaci prvků přerušujících odtok. Pro možné přerušení odtoku jsou vhodné parcely s druhem pozemku *ostatní plocha* a způsobem využití *ostatní komunikace, zeleň, jiná*. U těchto parcel je předpoklad vlastnictví obce a tyto parcely mohou být vhodné pro dotváření krajinné mosaiky zajišťující ekologickou stabilitu krajiny s výrazným protierozním efektem.

Na základě tohoto předpokladu byly výše uvedené parcely identifikovány a byla vyhodnocena jejich vhodnost pro rozdělení PB. Výpočet byl proveden v několika krocích, spočívajících ve vyhodnocení schopnosti parcely rozdělit PB ve směru kolmém na odtokové linie, čím by přerušily povrchový odtok a redukovaly tak možnosti vzniku degradačních procesů půdy.

Princip výpočtu byl založen na přístupu rovnoběžnosti parcely s vrstevnicemi. Do výpočtu byly započteny parcely větší než 100 m^2. Koeficient vhodnosti pro dělení byl určen ze vztahu (5).

$$kr = \frac{\frac{o}{2}}{\frac{Dv}{Pv}} \tag{5}$$

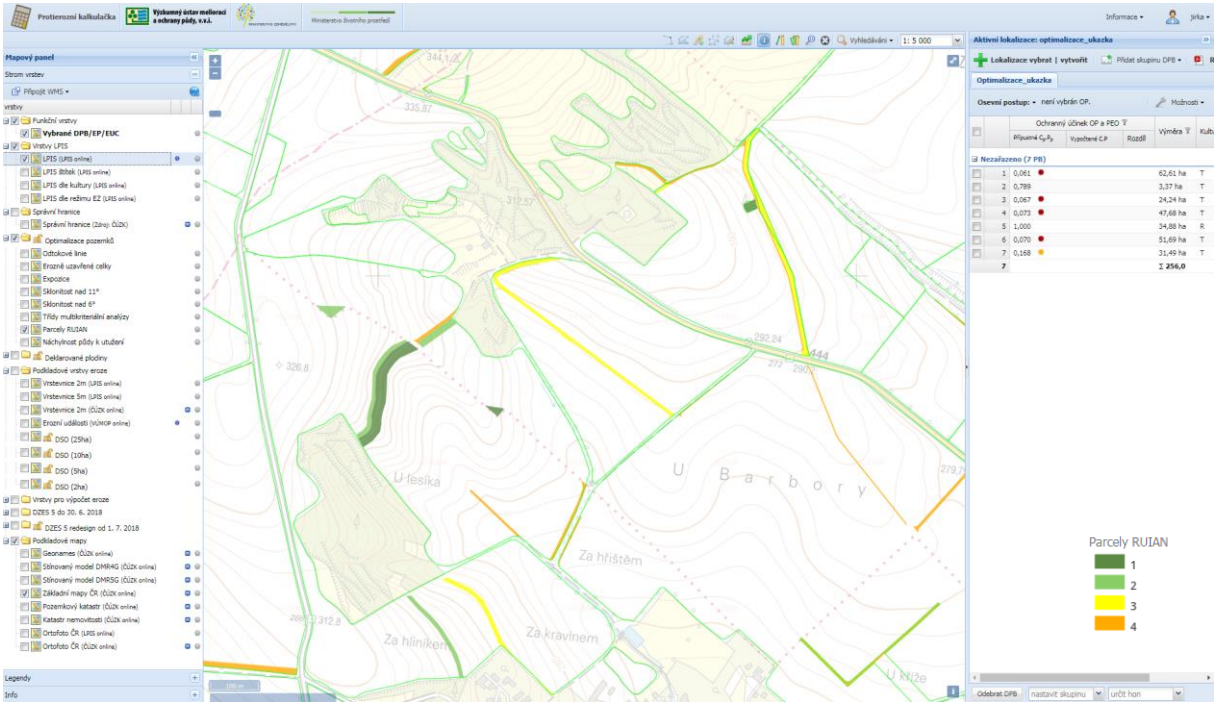
Kde:

kr	…	koeficient vhodnosti pro dělení	[-]
o	…	obvod parcely	[m]
Dv	…	délka protnuté vrstevnice	[m]
Pv	…	počet protnutých vrstevnic	[-]

Tabulka 26: Kategorie vhodnosti parcel RUAIN z hlediska přerušení odtoku

Vhodnost parcely RUAIN k dělení PB

kat.	Popis	poměr	počet parcel	podíl kat.
0	Neurčeno	0	96 014	34%
1	velice vhodné	< 5	30 749	11%
2	Vhodné	5 - 8	19 548	7%
3	méně vhodné	8 - 15	36 521	13%
4	bez významného vlivu	15 - 50	101 442	36%
			284 274	100%



Obrázek 5-1: Vhodnost parcel RUIAN z hlediska přerušení odtoku (1- 4 kategorie vhodnosti)

5.4 Analýza vhodných vstupů na pozemek

5.4.1 Prostorová analýza dostupnosti půdních bloků z komunikací

Přístupnost na zemědělské pozemky výrazně ovlivňuje možnosti další optimalizace pojezdů a velikostí pozemků. U pozemků s dobrou přístupností je možné významně snížit počet nepracovních přejezdů po pozemku a tím i snížit riziko utužování půdy. Jako další podklad pro rozhodování o individuálních změnách v obhospodařování pozemků byla provedena analýza popisující dostupnost PB z komunikací.

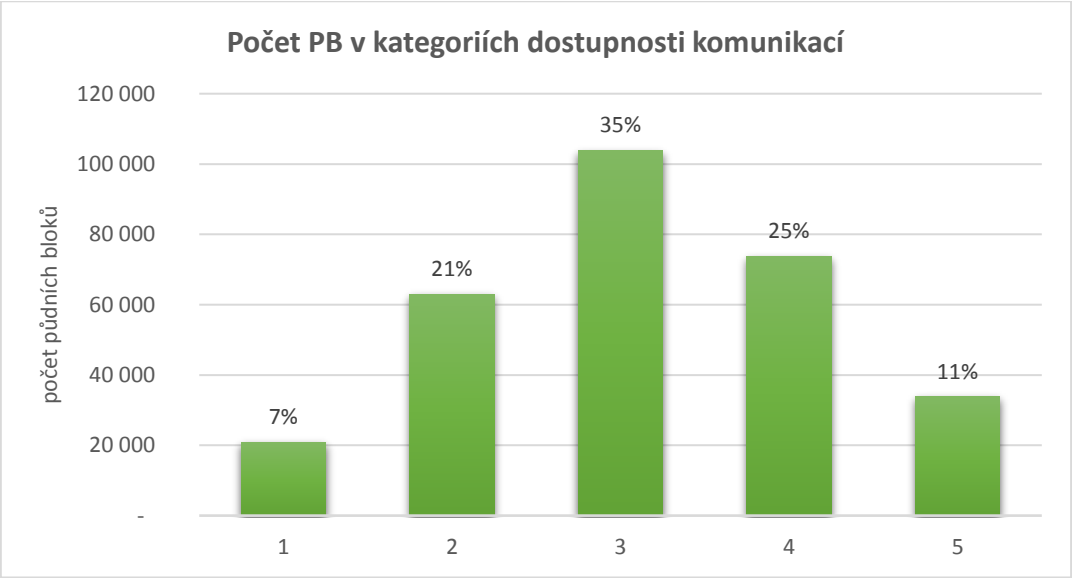
Analyzovány byly prvky ZABAGED, zahrnující silnice II. a III. třídy z databáze silnic a dálnic a evidované polní cesty. Analýza měla za cíl zjistit, kolik procent hranice půdního bloku kopíruje silnici nebo cestu v maximální vzdálenosti 15 metrů od hranice půdního bloku. Následně byly půdní bloky rozděleny do 5 kategorií.

Tabulka 27: Kategorizace dostupnosti půdních bloků

Kategorie	Dostupnost hranice PB po komunikaci [%]
1	100 - 75
2	75 - 50
3	50 - 25
4	25 - 0
5	bez komunikace

Tabulka 28: Vyhodnocení analýzy dostupnosti podle jednotlivých kategorií

Kategorie	Počet PB	Počet PB [%]	Celková výměra PB [ha]	Průměrná výměra PB [ha]
1	20 861	7%	274 551	13
2	62 909	21%	854 792	14
3	103 735	35%	1 623 102	16
4	73 709	25%	846 108	11
5	33 746	11%	49 983	1



Graf 5-7 Grafické znázornění výsledků prostorové analýzy dostupnosti půdních bloků po komunikacích – počet PB v závislosti na jejich kategorii

Z výsledků analýzy dostupnosti vyplívá, že většina půdních bloků (35%) má podél komunikace 25 – 50% svojí hranici. Jelikož průměrná výměra těchto půdních bloků je 16 hektarů, jedná se především o půdní bloky s větší výměrou. Naopak jen 7% půdních bloků má celou svoji hranici podél komunikace. Dále je z výsledků patrné, že 11% všech půdních bloků nemá ve svém okolí evidovanou komunikaci. Především se bude jednat o půdní bloky s menší výměrou, jelikož průměrná výměra těchto půdních bloků činí jen 1 hektar. Tento parametr vychází ze stávajícího stavu rozmístění PB v krajinném prostoru. Z hlediska případných změn tvaru a velikosti pozemku z hlediska optimalizace předchozích parametrů PB se může, zejména u větších a členitějších pozemků stávat limitující.

5.4.2 Prostorová analýza optimálních vstupů na půdní bloky

Jako další byla provedena prostorová analýza možnosti optimálního vjezdu na půdní blok. Optimálním vjezdem se rozumí místo, kde je možné na půdní blok vjet kolmo ke směru odtoku, a tudíž je nejsnazší na takovém půdním bloku hospodařit pomocí vrstevnicového obdělávání. Orbou po vrstevnicích nebo s malým odklonem od vrstevnic otočnými pluhy, které překlápějí půdu proti svahu, je možné významným způsobem přispět k ochraně půdy před erozí. Překlápěním půdy proti svahu je navíc možno výrazně omezit tzv. „erozi orbou“, která je u nás zatím podceňována.

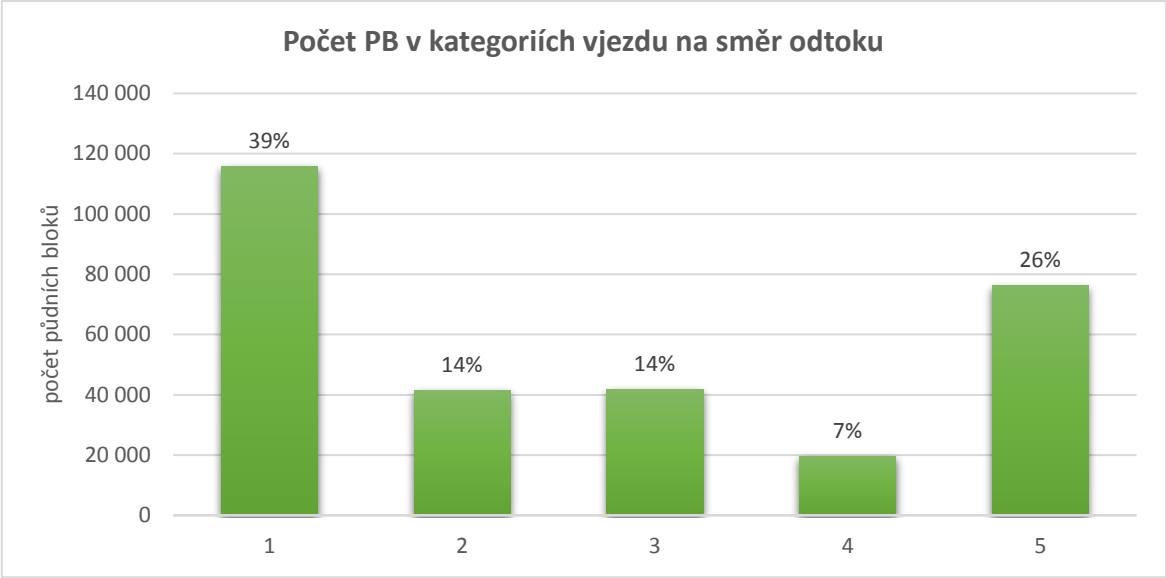
Kategorie jsou rozčleněny podle směru vjezdu na směr odtoku – odtokové linie (OL). Sledoval se nejvhodnější možný úhel, který svírá komunikace a odtokové linie. Kategorie 1 (kolmý vstup na OL) je kategorizovaný odklon od kolmosti +/- 23°, kategorie 2 (vstup v ostrém úhlu) má odklon od kolmosti +/- 45° (vyjma kategorii 1), odklon kategorie 3 (vstup v tupém úhlu) je +/- 68° (vyjma kat. 1 a 2) a kategorie 4 (vstup souběžný s OL) je v odklonu 63° - 90°. V kategorii 5 je půdní blok, který nemá OL, nebo přístup po evidované komunikaci.

Tabulka 29: Kategorizace optimálního vjezdu na půdní bloky

Kategorie	Odklon vstupu na PB od kolmosti na odtok
1	kolmý vstup na OL
2	vstup v ostrém úhlu
3	vstup v tupém úhlu
4	vstup souběžný s OL
5	bez komunikace nebo bez odtokové linie

Tabulka 30: Vyhodnocení prostorové analýzy pro optimální vjezd na půdní bloky

Kategorie	Počet PB	Celková výměra PB [ha]	Průměrná výměra PB [ha]
1	115 821	2 664 981	23
2	41 550	433 748	10
3	41 763	310 106	7
4	19 683	61 271	3
5	76 143	178 430	2



Graf 5-8 Grafické znázornění výsledků prostorové analýzy optimálního vjezdu na půdní bloky kolmo ke směru odtoku – počet PB v závislosti na jejich kategorii

Z provedených analýz je patrné, že vjezd na půdní blok a zahájení pracovních operací ve směru kolmém na odtokové linie, čili VOB je z pohledu nájezdu možný u většiny PB.

Výše prezentované výsledky provedených analýz dávají jednak přehled o reálných možnostech optimalizace tvaru pozemku a implementace vrstevnicového obdělávání. Zároveň slouží jako podklad pro rozhodování při řešení této problematiky v praxi. Vzhledem k širokému rozsahu výměr PB, i vysokému zastoupení velmi tvarově složitých PB je nutné provádět optimalizaci tvaru pozemku individuálně. Jako podpůrný nástroj při řešení této problematiky vznikl modul Optimalizace velikosti pozemku v interaktivním nástroji Protierozní kalkulačka, který jednak prezentuje výsledky vybraných analýz formou mapových podkladů s rozlišením na jednotlivé půdní bloky. Zároveň ve své analytické části umožňuje uživateli určit místa vhodná k dělení PB z pohledu protierozní ochrany. Tento modul je popsán v následující kapitole.

6 Modul „Optimalizace velikosti pozemků“ v Protierozní kalkulačce

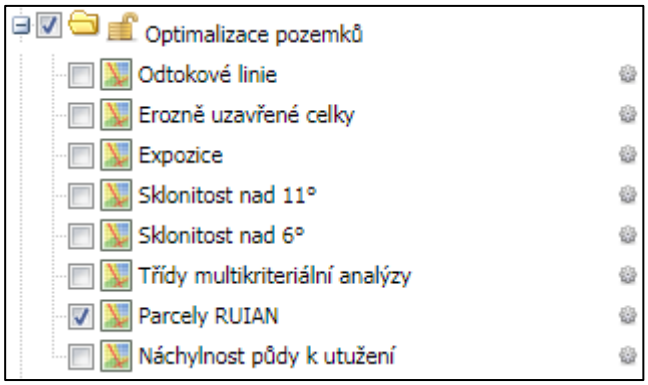
Protierozní kalkulačka je internetová aplikace pro podporu rozhodování v oblasti protierozní ochrany půdy. Aplikace poskytuje uživatelům informace o míře erozní ohroženosti hodnocených lokalit (DPB v rámci LPIS, erozní parcely či libovolné EUC), poskytuje informace o ochranném účinku modelových osevních postupů s možností vytvářet a hodnotit vlastní osevní postupy, po aplikaci osevního postupu na lokalitu vyhodnocuje potřebu přijmout konkrétní doplňující protierozní opatření a vyhodnocuje jeho účinnost, vyhodnocuje dopad bilance organické hmoty na erodovatelnost půdy.

Do tohoto nástroje byl implementován modul „Optimalizace velikosti pozemku“, který uživateli zpřístupňuje výsledky výše popsaných analýz a metod. Modul „Optimalizace velikosti pozemku“ je rozdělen do dvou částí. První z nich je nástroj pro určení maximální délky pozemku z pohledu protierozní ochrany. Druhou částí modulu je mapová část zobrazující vrstvy sloužících jako podpůrné podklady pro individuální řešení optimalizace velikostí pozemků z pohledu pohybu zemědělské techniky. Modul tak dává uživateli veškeré relevantní podklady k rozhodování o optimalizaci velikostí pozemků.

6.1 Popis mapových vrstev

Do Protierozní kalkulačky byly v rámci modulu „Optimalizace velikosti pozemku“ implementovány podkladové mapové vrstvy, vycházející z provedených prostorových analýz, umožňující uživateli identifikovat problematické dispozice pozemku a napovídají o možnostech optimalizace pozemku.

V protierozní kalkulačce je ve stromu vrstev vyčleněna třída „Optimalizace velikosti pozemku“, jenž tyto vrstvy shrnuje.



Obrázek 6-1: Výčet vrstev modulu Protierozní kalkulačky

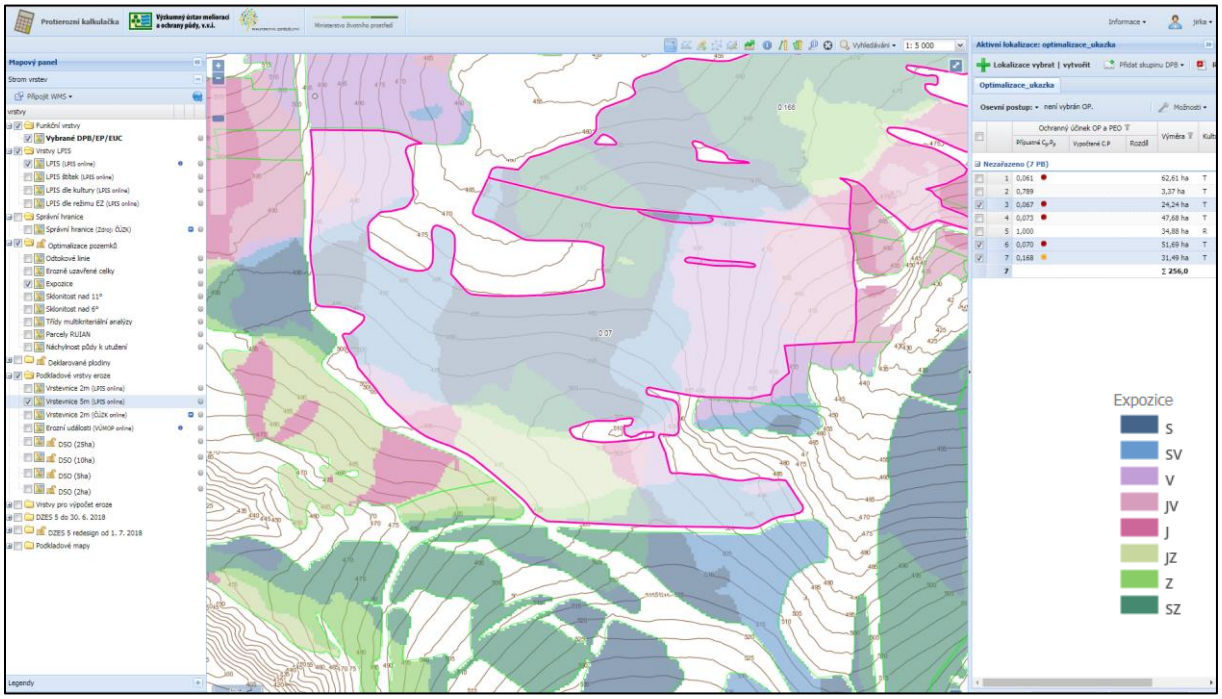
6.1.1 Erozně uzavřené celky

Vrstva erozně uzavřených celků (EUC) slouží jako orientační podkladová vrstva vyjadřující základní hydrologické členění na PB. EUC byly vymezeny na souvislých plochách ZPF a uživateli tak vymezují hydrologicky uzavřené celky, v kterých je třeba řešit problematiku odtoku vody a erozních procesů.

K vrstvám s hydrologickou tématikou patří, v modulu Optimalizace velikosti pozemku i vrstva odtokových linií, která je totožná s vrstvou odtokových linií dostupných v LPIS. Vzhledem k různým algoritmům (a logice výpočtů) určení uvedených vrstev, dochází k tomu, že se v okrajových případech tyto vrstvy spolu rozcházejí. Oba přístupy popisu hydrologických celků mají své výhody a nevýhody, proto jsou uživateli k dispozici oba, tak aby se při individuálním řešení dal odborníky na danou problematiku využít nejvhodnější podklad. Pro obě vrstvy je třeba podotknout, že jejich měřítko zpracování je v rozsahu celé ČR a obě vrstvy je třeba brát jako indikační a pro dimenzování protierozních nebo hydrologických opatření vždy terénním šetřením zpřesnit odtokové poměry v území.

6.1.2 Expozice 8 světových stran

Vrstva expozice představuje svahové dispozice PB. Jednotlivé barvy představují sklon k určité světové straně. Variabilita barev, resp. rozdílných směrů svahu, napovídá o složitosti pozemku z hlediska odtokových poměrů. Pokud se na PB nacházejí soustavné plochy s protilehlou orientací, lze na pozemku určit ostrou hranu mezi povodími, lze rovněž předpokládat přítomnost více než jednoho lokálního povodí.



Obrázek 6-2: Vrstva expozice

6.1.3 Vrstva plochy nad 6°

Vrstva zobrazuje souvislé plochy mající sklonitost terénu na shlazeném digitálním modelu reliéfu vyšší než 6°. Takový svah je limitní z hlediska dostupnosti zemědělské techniky pro vrstevnicové obdělávání. Tyto plochy je možné vyčlenit pro alternativní způsoby obdělávání. Při vysokém podílu, či nevýhodné distribuce sklonité plochy na pozemku je možné blok vyčlenit celý.

6.1.4 Vrstva plochy nad 11°

Vrstva plochy nad 11° je analogická předchozí vrstvě.

6.1.5 Výsledné třídy multikriteriální analýzy

Výstupem multikriteriální analýzy je vrstva PB klasifikovaná do čtyř tříd dle vhodnosti k vrstevnicovému obdělávání a optimalizaci velikosti a tvarů pozemků.

Obrázek 6-3: Výsledné třídy multikriteriální analýzy

6.1.6 Pozemky vhodné pro dělení

Vrstva zobrazuje pozemky z databáze RUIAN zastoupené kategoriemi využití *ostatní komunikace, zeleň, jiná*. U těchto parcel je předpoklad vlastnictví obce a tyto parcely mohou být vhodné pro dotváření krajinné mosaiky zajišťující ekologickou stabilitu krajiny s výrazným protierozním efektem. Vrstva je klasifikována do 4 tříd dle vhodnosti parcely k přerušení povrchového odtoku. Blíže je metodika klasifikace popsána v kapitole 5.3.

6.1.7 Bloky náchylné ke zhutnění

Vrstva představuje PB databáze LPIS, klasifikované dle náchylnosti k zhutnění. Náchylnost k zhutnění, je degradace půdy, jež lze ovlivnit pojezdem zemědělské techniky. Zhutnění náchylné půdy je zapříčiněno zejména pojezdy těžké zemědělské techniky za vlhkého počasí.

Třída ohroženosti bloku je dána převládající hodnotou ohrožení vycházející z databáze BPEJ. Cílem vrstvy je zobrazit náchylné pozemky, aby mohl uživatel zvážit a posoudit možnosti pojezdů.

6.2 Návod na obsluhu modulu Optimalizace velikosti pozemku

Protierozní kalkulačka je nástroj umožňující navrhovat účinná protierozní opatření s ohledem na místní podmínky a jejich specifické potřeby. Pro využití všech funkcí a možnosti ukládat výpočty je doporučeno se zaregistrovat.

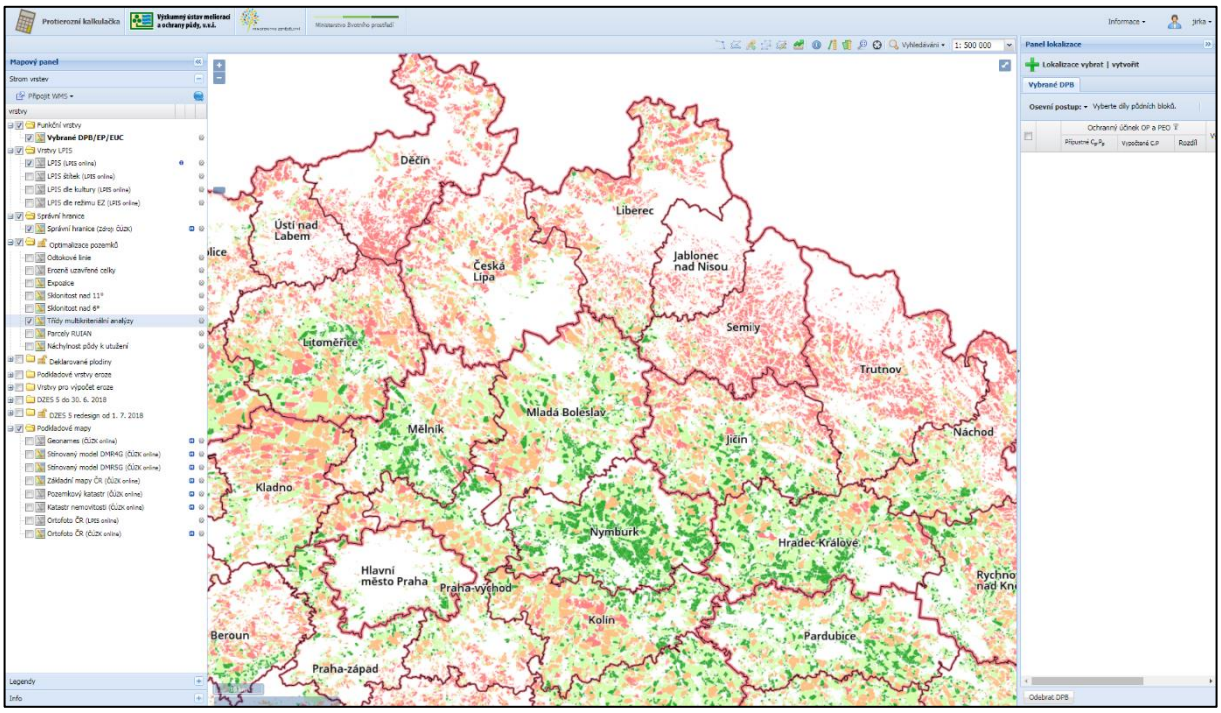
Po přihlášení je uživatel vyzván k lokalizaci bloků. Bloky lze vybrat kliknutím na jednotlivé bloky, vybráním polygonem či je lze přidat vepsáním identifikačního čísla dílčího půdního bloku (DPB). Po uspěšném vytvoření lokalizace je zpřístupněn modul Optimalizace velikosti pozemku.

Modul Optimalizace velikosti pozemku je rozdělen do dvou částí. První je zobrazení vrstev sloužících jako podpůrné podklady pro individuální řešení optimalizace velikostí pozemků. Druhou částí modulu je nástroj pro určení maximální délky pozemku.

6.2.1 Mapová část

Mapová část modulu Optimalizace velikosti pozemku je přístupná již po přihlášení uživatele. Datové vrstvy jsou k zobrazení pro celou Českou republiku, a mohou tak posloužit i pro samotnou lokalizaci pozemků.

Vrstvy modulu se zapínají ve stromu vrstev v záložce Optimalizace velikosti pozemku. Nachází se zde vrstvy popsané v kap. 6.1.



Obrázek 6-4: Mapová část modulu Optimalizace velikosti pozemku ve stromu vrstev. Výřez Protierozní kalkulačky po přihlášení.

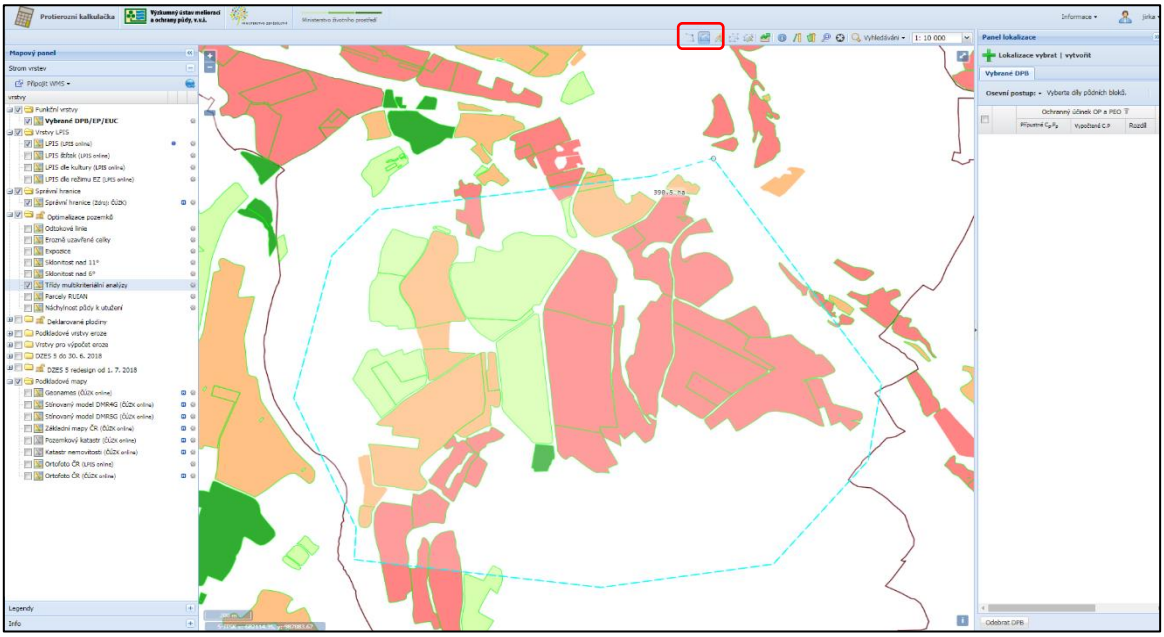
6.2.2 Nástroj pro určení maximální přípustné délky pozemku

Tento nástroj na základě maximálního tečného napětí určeného dle Dýrové (1988) určí maximální přípustnou délku pozemku. Maximální délka pozemku se určuje na uživatelem vybrané odtokové linie, nebo na uživatelem nakreslené linie, nebo na všechny linie patřící do všech EUC zasahujících do vybraného dílu půdního bloku (DPB). Výsledkem výpočtu je bod na linii identifikující místo přerušení. Pokud je na linii nutno provést více přerušení, nástroj je automaticky vypočte a zobrazí. Uživatel má možnost si zvolit parametry výpočtu a to návrhovou srážku a pěstované plodiny.

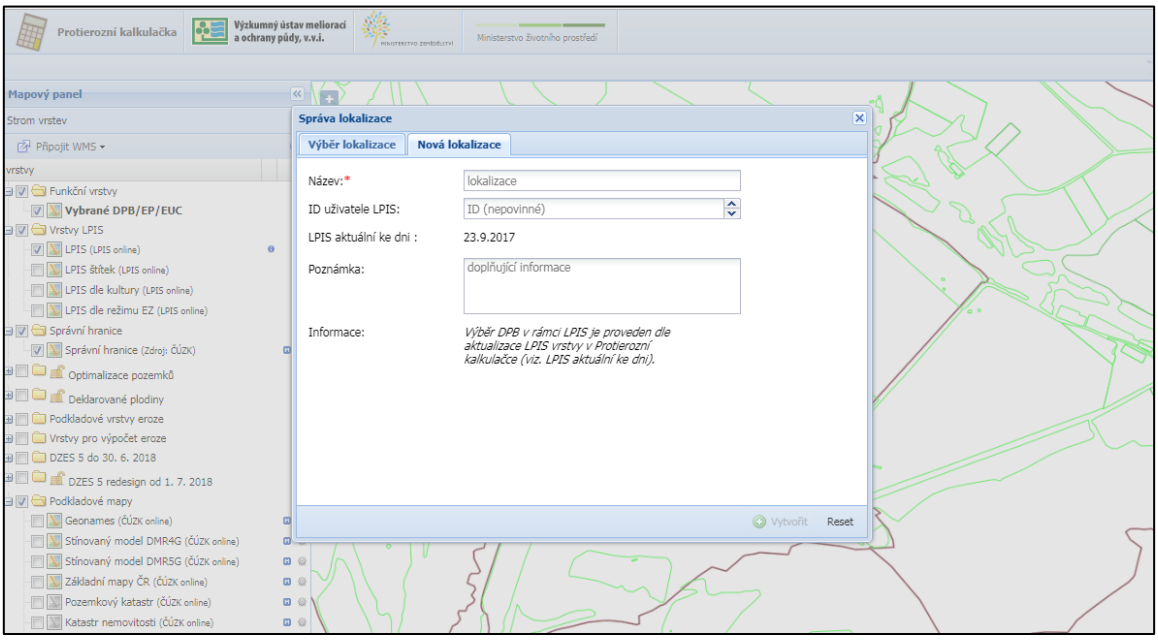
Postup výpočtu je rozdělen do 4 základních kroků. Jedná se o lokalizaci bloků, spuštění nástroje, následuje výpočet a zobrazení výsledků.

1) Lokalizace bloků

Vybrání půdních bloků je možné několika způsoby. Základním je vybrání pomocí bodu nebo polygonu. Dále je možné vybrat DPB podle ID uživatele LPIS. Vybrané DPB lze uložit do skupiny, s níž lze následně dlouhodobě pracovat.



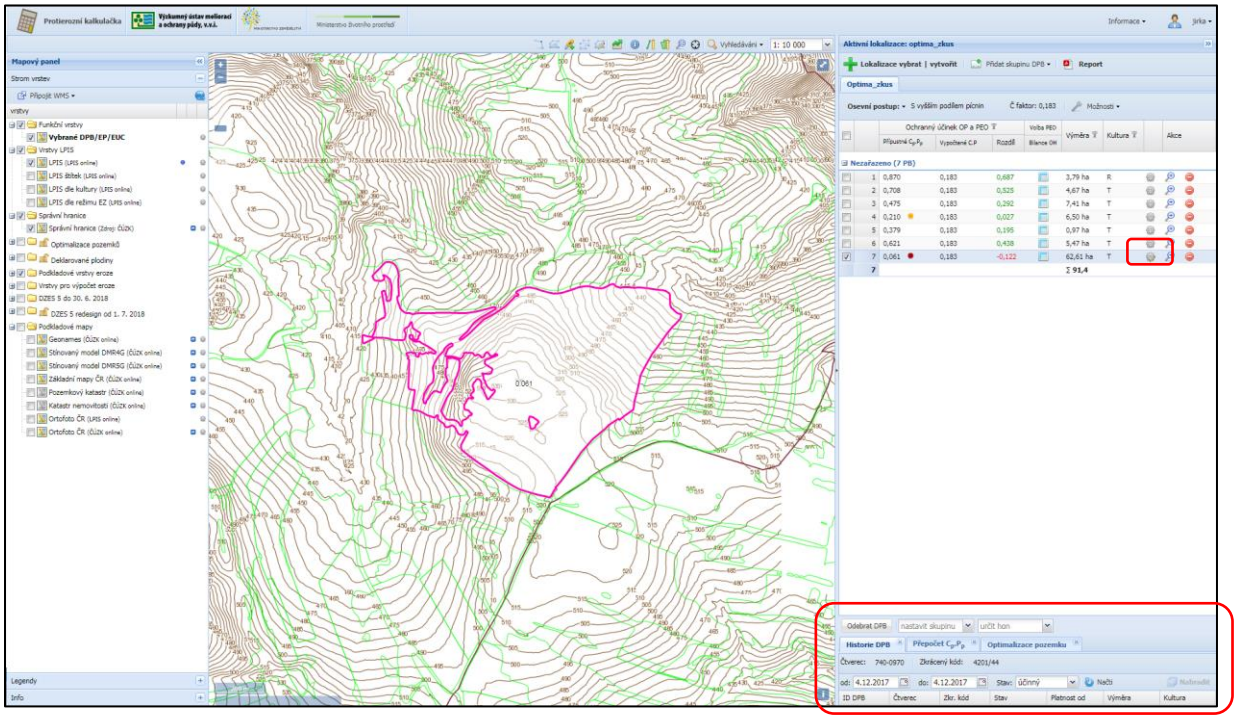
Obrázek 6-5: Lokalizace bloků pomocí lišty nástrojů



Obrázek 6-6: Lokalizace pomocí ID uživatele

2) Spuštění nástroje

Nástroj se spouští pro jednotlivé DPB. U vybraného DPB se pak modul spouští kliknutím na ikonu nástroje, čímž se otevře panel ve spodní části okna. Po otevření panelu proběhne předběžný výpočet na daném DPB.



Obrázek 6-7: Spuštění modulu Optimalizace velikosti pozemku

3) Výpočet

U každého výpočtu je možné nastavit návrhovou srážku a pěstované plodiny. Výpočet určení maximální přípustné délky pozemku je možný třemi způsoby.

a) Výpočet na vybraných odtokových liniích

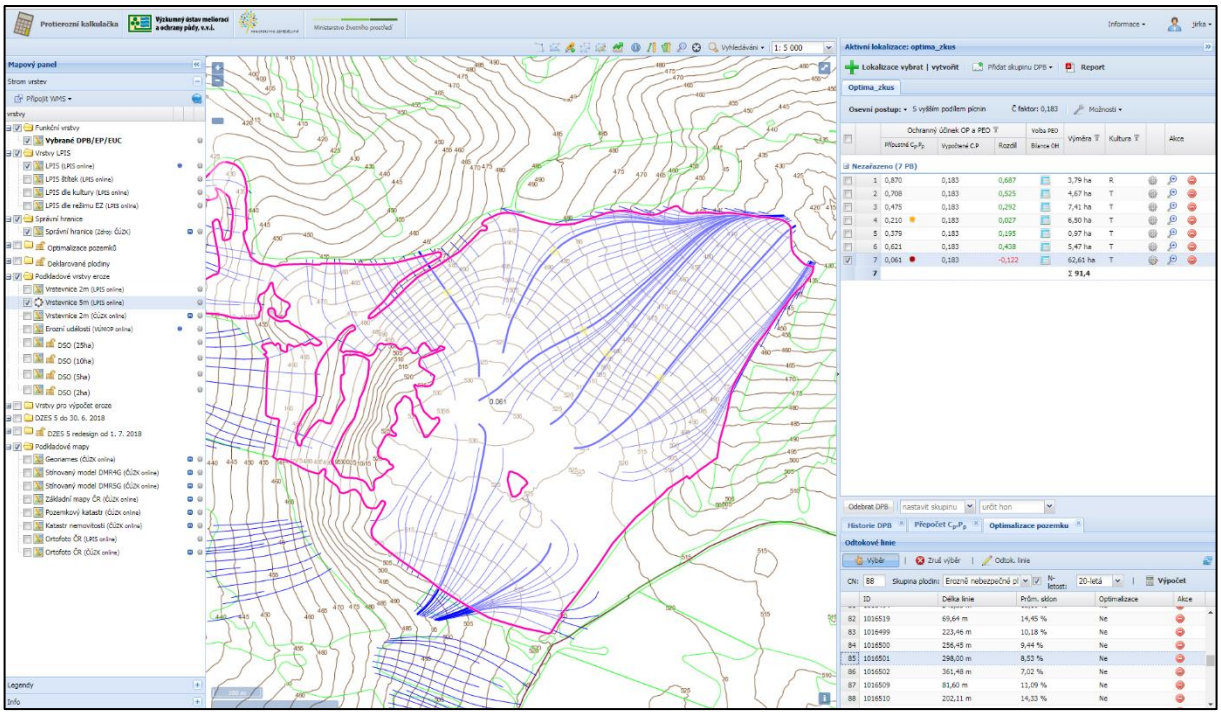
Na pozemku se zobrazí odtokové linie, ze kterých uživatel vybere požadované množství odtokových linií, na kterých následně spustí výpočet. V tabulce je určena délka linie, průměrný sklon, zdali byla překročena přípustná délka pozemku a v jaké vzdálenosti od počátku linie. Místo překročení přípustné délky je v mapě zobrazeno žlutým bodem.

b) Nakreslením vlastních odtokových linií

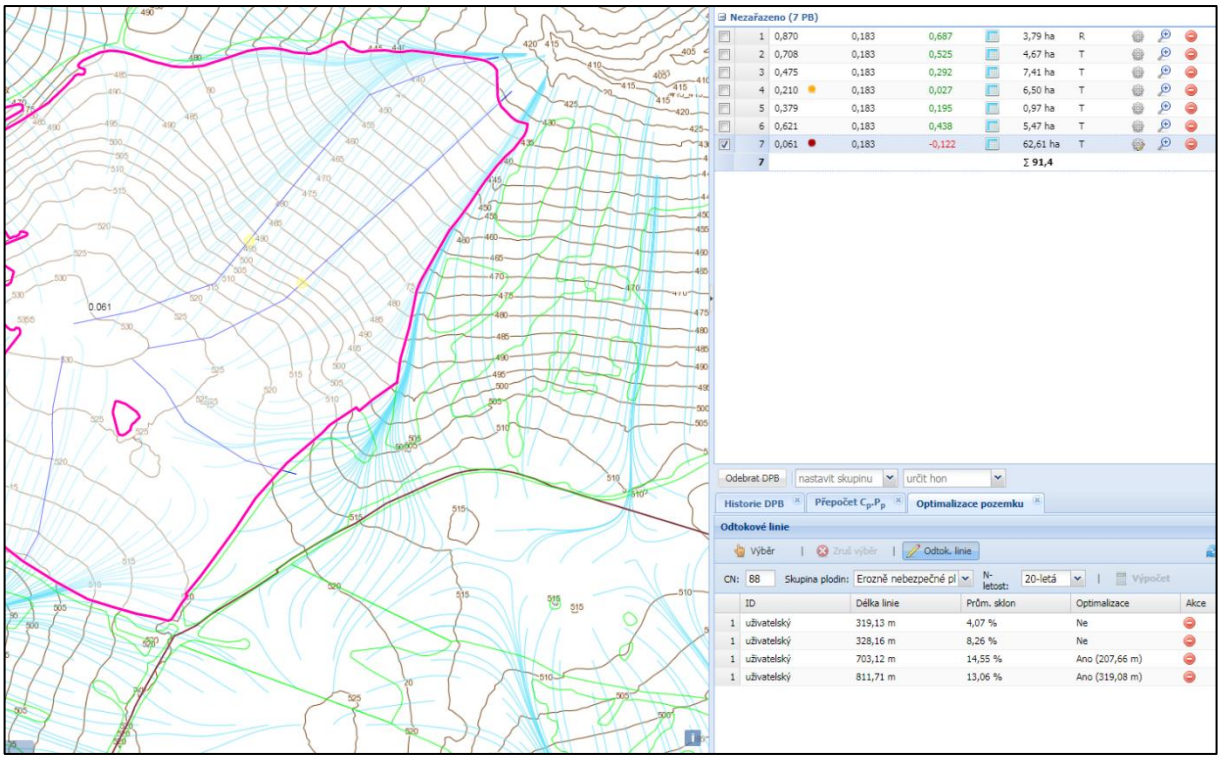
Dalším možným způsobem výpočtu je nakreslení vlastní linie pro výpočet. Linii je nutné nakreslit ve směru po svahu dolu (od nevyššího do nejnižšího bodu).

c) Výpočet na všech odtokových liniích na DPB

Pro komplexní výpočet lze použít všech odtokových linií na pozemku.



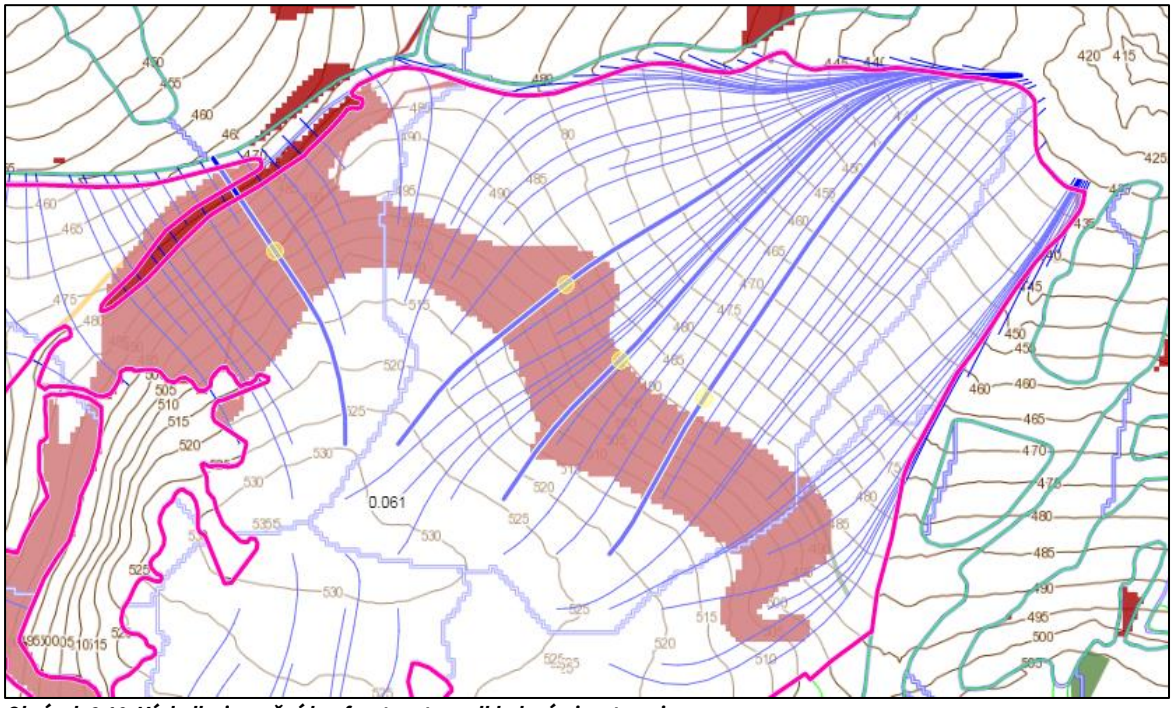
Obrázek 6-9: Výpočet na vybraných liniích



Obrázek 6-8: Výpočet na nakreslené linii

4) Výsledky

Výsledkem výpočtu je tabulka popisující rozdělné linie a zobrazení míst k přerušení v mapě. Tyto výsledky je možné přepočíst z obměnou současných podmínek, a tím nastínit i následné scénáře, například pro jinou skupinu plodin, či návrhovou srážku. Výsledky je možné konfrontovat s podkladovými mapami a určit tak reálné možnosti přerušení.



Obrázek 6-10: Výsledky je možné konfrontovat s podkladovými vrstvami

Seznam zkratek

BPEJ	Bonitovaná půdně ekologická jednotka
$C_p \cdot P_p$	Maximální přípustná hodnota faktoru ochranného vlivu vegetace a protierozních opatření
č. j.	Číslo jednací
ČR	Česká republika
CTF	Controlled Traffic Farming
DMT	Datový model terénu
DPB	Díl půdního bloku
DZES	Dobrý zemědělský a environmentální stav
EUC	Erozně uzavřený celek
EVL	Evropsky významná lokalita
GIS	Geografický informační systém
KN	Katastr nemovitostí
KoPÚ	Komplexní pozemková úprava
LPIS	Evidence využití půdy podle uživatelských vztahů
LSI	Landscape Shape Index
OL	Odtoková linie
ORP	Obce s rozšířenou působností
NOF	Plodina s nízkou ochranou funkcí
MEO	Mírně erozně ohrožená půda
MZe	Ministerstvo zemědělství
PB	Půdní bloky
RUAIN	Registr územní identifikace, adres a nemovitostí
SEO	Silně erozně ohrožená půda
SOWAC GIS	Geoportál zaměřený na ochranu půdy, vody a krajiny (Soil and water conservation geographic information systém)
SPÚ	Státní pozemkový úřad
SZIF	Státní zemědělský intervenční fond
TEO	Třídy erozní ohroženosti
TPEO	Technická protierozní opatření
VOB	Vrstevnicové obdělávání
VOF	Plodina s vysokou ochranou funkcí
v.v.i.	Veřejná výzkumná instituce
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
ZPF	Zemědělský půdní fond

Seznam obrázků

Obrázek 2-1 Průměrná dlouhodobá ztráta půdy G [t·ha^{-1}·rok^{-1}] zařazena do tříd erozního ohrožení půd 8
Obrázek 2-2: Typy příkopů podle jejich prostorového uspořádání (Kadlec a kol., 2014) 10
Obrázek 3-1: Celková hmotnost (kg) a podíl celkové hmotnosti traktoru a výkonu motoru (kg·kW^{-1}) v závislosti na výkonu motoru (kW) u traktorů v letech 1990, 2003 a 2013 (Brant a kol., 2015) 18
Obrázek 3-2: Záznam pracovní rychlosti soupravy při orbě (vlevo) a tomu odpovídajících otáček motoru traktoru (vlevo) – upraveno podle Kroulík a kol. (2017). 20
Obrázek 3-3: Mapa představuje součet počtu záznamu v čase na příslušných plochách 6 x 6 m (Kroulík a kol., 2011). 21
Obrázek 3-4: Plošné vyjádření spotřeby paliva (l/ha) pracovní soupravou při kypření půdy a mapové vyjádření výškového modelu terénu sledovaného půdního bloku (Kroulík a kol., 2017; Brant a kol., 2017) 21
Obrázek 3-5: Záznam pohybu odvozových prostředků při sklizni píce řezačkou (Kroulík, 2014) 23
Obrázek 3-6: Záznam pohybu svinovacího lisu a pozice jednotlivých balíků (Kroulík, 2014). 24
Obrázek 3-7: Ukázky jízd souprav při svozu balíků z pozemku (Kroulík, 2014). 24
Obrázek 3-8: Intenzita přejezdů při sklizni cukrové řepy (foto: Kroulík). 25
Obrázek 3-9: CTF se systémem ComTrac (Chamen, 2006). 26
Obrázek 3-10: Rozšíření rozchodu kol s použitím speciálních náprava a koncových převodů (foto: nahoře Hans Henrik Pedersen, Austrálie, záběr stroje 18 m, kombinace záběrů 18 a 12 m, dole Jens Kjeldahl, The Kjeldahl Farm). 27
Obrázek 3-11: CTF se systémem TwinTrac (Kumhála a kol., 2013). 27
Obrázek 3-12: CTF se systémem AdTrac (Chamen, 2009, upravil Kroulík). 28
Obrázek 3-13: Plocha přejetá pneumatikami při organizovaném způsobu pohybu strojů AdTrac. Pracovní záběr stroje 8 m (Kroulík, 2014). 28
Obrázek 3-14: CTF se systémem OutTrac (Chamen, 2009, upravil Kroulík). 29
Obrázek 3-15: CTF se systémem HalfTrac (Chamen, 2006). 29
Obrázek 3-16: Erozní událost na pozemku s porostem cukrové řepy (Foto Brant). 30
Obrázek 3-17: Hodnoty penetračního odporu v systému CTF s modulem pracovního záběru 4 m (Chyba, 2013). 31
Obrázek 3-18: Hodnoty penetračního odporu u náhodných přejezdů zemědělské techniky s modulem pracovního záběru 4 m (Chyba, 2013). 32
Obrázek 3-19: Preferenční tok vody půdním horizontem při zhutněné půdě (levý obrázek) a nezhutněné půdě (pravý obrázek) (černá barva znázorňuje půdu, kde obarvená voda nebyla zaznamenána; bílá barva je půda, kudy obarvená voda pronikala (foto Kroulík). 32
Obrázek 3-20: Grafické vyjádření přejezdů při sklizni samojízdnou řezačkou (Kroulík, 2014). 33
Obrázek 3-21: Grafické vyjádření přejezdů při sklizni svinovacím lisem (Kroulík, 2014). 33
Obrázek 3-22: Grafické vyjádření trajektorií jízd (a) a stop pneumatik (b) při zakládání porostu brambor (Kroulík, 2014). 34
Obrázek 3-23: Schematické znázornění tvarů pozemků (Landers, 2000). 35
Obrázek 3-24: Příklady pozemků a jejich tvarových odlišností. 36
Obrázek 3-25: Příklad optimálního návrhu trajektorie jízd s ohledem na tvar pozemku (pozemek A) (Kroulík, 2015). 37

Obrázek 3-26: Trajektorie jízd postřikovače pořízené během práce stroje (pozemek A) (Kroulík, 2015)..... 37
Obrázek 3-27: Záznam pohybu stroje pořízený monitorovací jednotkou (Kroulík a kol., 2017). 39
Obrázek 3-28: Reálný záznam pohybu soupravy při setí (Kroulík a kol., 2017). 40
Obrázek 3-29: Modelový návrh trajektorií, který vycházel z tvaru pozemku. U složitého tvaru pozemku je patrný odklon směru jízd oproti reálnému záznamu (Kroulík a kol., 2017). 40
Obrázek 3-30: Záznam práce postřikovače při manuálním ovládání ramen postřikovače (vlevo). Automatické vypínání sekcí ramen postřikovačů významně sníží chyby na začátku a konci jízd (vpravo) (Kroulík, 2014). 41
Obrázek 3-31: Objíždění překážky při různém počtu vypínatelných sekcí (Král, 2011). 41
Obrázek 3-32: Záznam trajektorie pohybu soupravy a rozdělení na sledované plochy (Kroulík a kol., 2015)..... 43
Obrázek 4-1 Souvislé sklonité plochy 52
Obrázek 4-2 Svahová variabilita bloku – kat. 1 54
Obrázek 4-3 Svahová variabilita bloku – kat. 2 54
Obrázek 4-4 Svahová variabilita bloku - kat. 5 54
Obrázek 4-5: Hodnoty a kategorie LSI 56
Obrázek 4-6: Změna hodnoty LSI po racionalizaci bloku (změna barvy, vyjadřuje změnu kategorie na základě hodnoty LSI; červená – kat. 5, oranžová – kat. 4, žlutá – kat. 3, zelená kat. 2) 57
Obrázek 4-7: Změna kategorie a hodnoty LSI po dělení bloku. Vlevo před dělením, vpravo po dělení bloku. 57
Obrázek 4-8: Enklávy uvnitř půdního bloku – kat. 2 57
Obrázek 4-9: Ekologicky významné a krajinné prvky 58
Obrázek 4-10: Enklávy uvnitř půdního bloku – kat. 3 58
Obrázek 4-11: Třídy náchylnosti ke zhutnění 60
Obrázek 4-12 Prostorové rozložení tříd multikriteriální analýzy 63
Obrázek 5-1: Vhodnost parcel RUIAN z hlediska přerušení odtoku (1- 4 kategorie vhodnosti)..... 76
Obrázek 6-1: Výčet vrstev modulu Protierozní kalkulačky 80
Obrázek 6-2: Vrstva expozice 81
Obrázek 6-3: Výsledné třídy multikriteriální analýzy 82
Obrázek 6-4: Mapová část modulu Optimalizace velikosti pozemku ve stromu vrstev. Výřez Protierozní kalkulačky po přihlášení. 83
Obrázek 6-5: Lokalizace bloků pomocí lišty nástrojů 84
Obrázek 6-6: Lokalizace pomocí ID uživatele 85
Obrázek 6-7: Spuštění modulu Optimalizace velikosti pozemku 85
Obrázek 6-8: Výpočet na nakreslené linii 87
Obrázek 6-9: Výpočet na vybraných liniích 87
Obrázek 6-10: Výsledky je možné konfrontovat s podkladovými vrstvami 88

Seznam tabulek

Tabulka 1: Porovnání maximálních přípustných délek svahu ve směru odtoku při různých směrech obdělávání, sklonu, půdních podmínkách a osevním postupu KZ+KS+OP+JJ (Novotný a kol, 2017) 12
Tabulka 2:Porovnání maximálních přípustných délek svahu ve směru odtoku při různých směrech obdělávání, sklonu, půdních podmínkách a osevním postupu JE+OP+KS+JJ (Novotný a kol, 2017). 12
Tabulka 3:Porovnání maximálních přípustných délek svahu ve směru odtoku při různých směrech obdělávání, sklonu, půdních podmínkách a osevním postupu V+V+OP+KS+JJ (Novotný a kol, 2017) 13
Tabulka 4: Vliv tvaru pozemku na dobu obdělání (Landers, 2000). 35
Tabulka 5: Návrhy jízd pro jednotlivé pozemky a hodnoty ukazatelů pracovního využití soupravy. .. 38
Tabulka 6: Výpočet překrytých ploch a porovnání jednotlivých variant (Král, 2011)..... 42
Tabulka 7: Výčet a charakteristika kritérií 49
Tabulka 8: Rozložení velikosti vstupních PB (platné k 20. 5. 2017) 50
Tabulka 9: Kritérium 1. – Průměrný sklon..... 51
Tabulka 10: Kritérium 2. – Podíl sklonité plochy ≥ 6°..... 52
Tabulka 11: Kritérium 3. – Podíl sklonité plochy ≥ 11°..... 52
Tabulka 12: Kritérium 4. – Maximální hodnota převýšení 53
Tabulka 13: Kritérium 5. – Svahová variabilita 54
Tabulka 14: Kritérium 6. – Tvarová složitost 55
Tabulka 15: Kritérium 7. – Přítomnost enkláv..... 57
Tabulka 16: Kritérium 8. – Krajinné prvky..... 58
Tabulka 17: Kritérium 9. – Přístupnost 59
Tabulka 18: Kritérium 10. – Náchylnost k zhutnění 59
Tabulka 19: Třídy multikriteriální analýzy 61
Tabulka 20: Počet a rozloha výsledných tříd multikriteriální analýzy 62
Tabulka 21: Kategorizace tříd erozního ohrožení (Dýrová, 1988)..... 65
Tabulka 22: Statistika tříd erozní ohroženosti na jednotlivé třídy..... 66
Tabulka 23: Statistika erozní ohroženosti dle standartu DZES 5 68
Tabulka 24: Příklady maximálních přípustných délek svahu podle Dýrové (1988) pro hydrologické skupiny půd A a B 72
Tabulka 25: Příklady maximálních přípustných délek svahu podle Dýrové (1988) pro hydrologické skupiny půd C a D 73
Tabulka 26: Kategorie vhodnosti parcel RUAIN z hlediska přerušení odtoku 75
Tabulka 27: Kategorizace dostupnosti půdních bloků 76
Tabulka 28: Vyhodnocení analýzy dostupnosti podle jednotlivých kategorií..... 77
Tabulka 29: Kategorizace optimálního vjezdu na půdní bloky 78
Tabulka 30: Vyhodnocení prostorové analýzy pro optimální vjezd na půdní bloky..... 78

Seznam grafů

Graf 2-1 Kategorie nepřerušené délky svahu u erozí zasažených DPB (Kapička a kol., 2017)..... 14
Graf 2-2 Rozložení výměry erozí zasažených DPB (Kapička a kol., 2017) 15
Graf 3-1 Hodnoty nasycené hydraulické vodivosti po různém zatížení půdy (Chyba, 2013)..... 31
Graf 3-2 Vliv směru jízdy při známém tvaru pozemku na pracovní využití soupravy (Kroulík, 2015). 37
Graf 3-3 Porovnání průměrů srdeční tepové frekvence řidiče při práci s kloubovým traktorem CASE (Kroulík a kol., 2015).. 44
Graf 3-4 Porovnání průměrů srdeční tepové frekvence řidiče při práci s pásovým traktorem Caterpillar (Kroulík a kol., 2015).. 44
Graf 4-1 Zastoupení tříd MKA dle rozlohy PB 63
Graf 5-1 Součtové zobrazení celkového zastoupení kategorií tříd erozního ohrožení pro jednotlivé třídy MKA 66
Graf 5-2 Zastoupení kategorií tříd erozní ohroženosti na půdních blocích pro třídy MKA 67
Graf 5-3 Zastoupení kategorií DZES 5 na půdních blocích pro třídy MKA 69
Graf 5-4 Součtové zobrazení celkového zastoupení kategorií standartu DZES 5 pro jednotlivé třídy MKA..... 70
Graf 5-5 Přípustné délky pozemku pro plodiny VOF při příčném obdělávání 74
Graf 5-6: Přípustné délky pozemku pro plodiny NOF při příčném obdělávání 74
Graf 5-7 Grafické znázornění výsledků prostorové analýzy dostupnosti půdních bloků po komunikacích – počet PB v závislosti na jejich kategorii 77
Graf 5-8 Grafické znázornění výsledků prostorové analýzy optimálního vjezdu na půdní bloky kolmo ke směru odtoku – počet PB v závislosti na jejich kategorii 79

Literatura

Auernhammer, H., Demmel, M., Rothmund, M. 2001: Gewannebewirtschaftung im Projekt Zeilitzheim. In: Landtechnik. 56: 136 – 137.

Batey, T. 2009: Soil compaction and soil management – a review. Soil Use and Management. 25: 335 – 345.

Berisso, F. E., Schjønning, P., Keller, T., Lamandé, M., Etana, L., de Jonge, W., Iversen, B. V., Arvidsson, J., Forkman, J. 2012: Persistent effects of subsoil compaction on pore size distribution and gas transport in a loamy soil. Soil and Tillage Research. 122: 42 – 51.

Blumenthal, B., Kirchmeier, H., Marx, M., Brandhuber, R., Demmel, M. 2016: Regelspurverfahren im Ackerbau. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising-Weihenstephan. 53 s.

Bochtisa, D. D., Sørensena, C. G., Greena, O., Moshoub, D., Olesena, J. 2010: Effect of controlled traffic on field efficiency. Biosystems Engineering. 106: 14–25.

Botta, G. F., Jorajuria, D., Balbuena, R., Ressia, M., Ferrero, C., Rosatto, H., Tourn, M. 2006: Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annus* L.) yields. Soil and Tillage Research. 91: 164 – 172.

Boxberger, J., Moitzi, G. 2008: Energieeinsatz in der Landwirtschaft im Wandel, 7 – 16. In: Energieeffiziente Landwirtschaft. KTBL - Vortragstagung vom 8. bis 9. April 2008 in Fulda. KTBL. Darmstadt. 248 s.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P., Škeříková, M., Krček, V., Nýč, M., Job, Z. 2017: Prostorová variabilita infiltračních procesů na půdním bloku ve vztahu ke zpracování půdy. Úroda. 65: 54 -57.

Brant, V., Kroulík, M., Zábranský, P. Škeříková, M. 2015: Půdní úrodnost a současné systémy zpracování půdy. In: Sborník z 21. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv, ČZU v Praze 26. 11. 2015. s. 33 – 42.

Brant, V., Neckář, K., Venclová, V., Krump, M. 2008: Vorkommen von Conium maculatum L. (Gefleckter Schierling) im Inneren und am Rand von Ackerflächen in der Tschechischen Republik. *Journal of Plant Diseases and Protection*. Special Issue *XXI:* 383 – 386.

Brant, V., Žamboch, M., Neckář, K., Venclová, V. 2006: Einfluss der Ackerrandgesellschaften auf die Verunkrautung der Agrophytozönosen durch *Arctium tomentosum* Mill. (Filzige Klette). *Journal of Plant Diseases and Protection*. Special Issue XX*:* 605 – 609.

Brunotte, J. 2013: Bodenschonendes Befahren bei der Silomaisernte. 49 – 73. In: Logistik rund um die Biogasanlage. KTBL – Schrift 498. Darmstadt. 132 s.

Brunotte, J., Fröba, N. 2007: *Schlaggestaltung* – kostensenkend und bodenschonend. KTBL-Schrift 460. Darmstadt. 178 s.

ČSN 75 4500 Protierozní ochrana zemědělské půdy

Degner, J. 1999: Einfluss der Schlaggröße auf die Verfahrenskosten. In: Landwirtschaft und Landschaftspflege in Thüringen Heft – Jahrestagung Landwirtschaft 1999. Hrsg. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Jena. 10: 66 – 71.

Demmel, M., Rothmund, M., Auernhammer, H., Feldmann, J., Rademacher, T. 2014: Infrastrukturplanung zur Optimierung des Zuckerrübenanbaues in einer Gewanneflur. Landtechnik. 59: 36 – 37.

DLG - Ausschuss für Pflanzenschutz, von Kröcher, C., Ahlers, D. 2015: Ordnungsgemäßer Pflanzenschutz: erst checken, dann los. DLG-Merkblatt 409. DLG. Frankfurt am Main. 14 s.

Dolan, M., Dowdy, R., Voorhees, W., Johnson, J., Bidwell - Schrader, A. 1992: Corn phosphorus and potassium uptake in response to soil compaction. Agronomy Journal. 84: 639 – 642.

Dostál, T. 2014: Využití dat a nástrojů GIS a simulačních modelů k navrhování TPEO: metodika. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2014.

Dýrová, E. 1988: Ochrana a organizace povodí – Návody ke komplexnímu projektu, výběrovému předmětu a diplomnímu semináři, učební text, Ediční středisko VUT Brno, Brno, 5. vyd. přepracované, 190 s.

Estler, M. C., Knittel, H. 2006: Praktische Bodenbearbeitung. Ulmer, Stuttgart. 264 s.

Fechner, W. 2014: Einfluss der Hauptbearbeitung auf die Arbeitszeit im Feldbau am Beispiel eines mitteldeutschen Großbetriebes. 19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau. Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 83. Potsdam-Bornim. Dresden. s. 22 – 34.

Gysi, M. 2001: Compaction of a Eutric Cambisol under heavy wheel traffic in Switzerland: field data and a critical state soil mechanics model approach. Soil & Tillage Research, 61: 133–142.

Hague, T., Marchant, J. A., Tillett, N. D. 2000: Ground based sensing systems for autonomous agricultural vehicles. Computers and Electronics in Agriculture. 25: 11–28.

Håkansson, I., Voorhees, W. B., Riley, H. 1988: Vehicle and wheel factors influencing soil compaction and crop response in different traffic regimes. Soil & Tillage Research. 11: 239–282.

Hamouz, P. 2005: Optimalizace ochrany proti plevelům v závislosti na nerovnoměrnosti jejich výskytu na pozemku. Disertační práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. 146 s.

Hamza, M. A., Anderson, W. K. 2005: Soil compaction in cropping systems. A review of the nature, causes and possible solutions. Soil & Tillage Research. 82: 121– 145.

Hamza, M., Anderson, W. 2003: Responses of soil properties and grain yields to deep ripping and gypsum application in a compacted loamy sand soil contrasted with a sandy clay loam soil in Western Australia. Australian Journal Agricultural Research. 54: 273 – 282.

Handler, F. Blumauer, E. Pezzolla, D., Josephinum I. F. 2014: Einfluss der Umtriebszeit auf Arbeitszeitbedarf und Kosten der Ernte von Kurzumtriebsflächen. 19. Arbeitswissenschaftliches

Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau. Bornimer Agrartechnische Berichte. Heft 83. Potsdam-Bornim. Dresden. S. 158 – 169.

Horn, R., van den Akker, J. J. H., Arvidsson, J. 2000: Subsoil Compaction: Distribution, Processes and Consequences. Reiskirchen. Germany. Catena Verlag. 462 s.

Hůla, J., Procházková, B., Kovaříček, P., Dovrtěl, J., Abraham, Z., Neudert, L., Hartman, I., Mayer, V., Vlášková, M. 2004: Minimalizační a půdoochranné technologie. VÚZT, v.v.i. Praha. Praha. 58 s.

Chamen, W. C. T. 2009: Controlled Traffic Farming – an essential part of reducing in-field variability. In: GPS autopilots in agriculture. Praha: ČZU v Praze, s. 9-17.

Chamen, W. C. T., Alakukku, L., Pires, S., Sommer, C., Spoor, G., Tijink, F. A., Weisskopf, P. 2003: Prevention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: a review: Part 2. Equipment and field practices, Soil & Tillage Research. 73: 161-174.

Chan, K. Y., Oates, A., Swan, A.D., Hayes, R. C., Dear, B. S., Peoples, M. B. 2006: Agronomic consequences of tractor wheel compaction on a clay soil. Soil & Tillage Research. 89: 13-21.

Chanen, W. C. T. 2006: Controlled traffic farming on a field scale in the UK. In: Horn, R., Fleige, H., Peth, S., Peng, X. H., (Eds.), Soil Management for Sustainability, Advances in Geoecology. 38, 251–260.

Chyba, J. 2013: Vliv technologie řízeného pohybu strojů po pozemcích na fyzikální vlastnosti půdy a výnosy plodin. Disertační práce, ČZU Praha 128 s.

Ishaq, M., Hassan, A., Saeed, M., Ibrahim, M., Lal, R. 2001: Subsoil compaction effects on crops in Punjab. Pakistan I. Soil physical properties and crop yield. Soil Tillage Research. 59: 57 – 65.

Janeček, M., Dostál, T., Kozlovský-Dufková, J., Dumbrovský, M., Hůla, J., Kadlec, V., Konečná, J., Kovář, P., Krása, J., Kubátová, E., Kobzová, D., Kudrnáčová, M., Novotný, I., Podhrázská, J., Pražan, J., Procházková, E., Středová, H., Toman, F., Vopravil, J., Vlasák, J. 2012: Ochrana zemědělské půdy před erozí. ČZU FŽP Praha. 113 s.

Janinhoff, A. 2000: Einbußen durch Vorgewende und Randstreifen minimieren. In: Landwirtschaftliches Wochenblatt 38. s. 12 – 15.

Jílek, L., Ppodpěra, V. 2005: The effect of the land shape on the energy intensity of operation steps. Research in Agricultural Engineering. 51: 134–139.

Kadlec, V., Dostál, T., Vrána, K., Kavka, P., Krása, J., Devátý, J., Podhrázská, J., Pochop, M., Kulířová, P., Heřmanovská, D., Novotný, I., Papaj, V. 2014: Navrhování technických protierozních opatření. Certifikovaná metodika, ČVÚT, VÚMOP, v.v.i., Praha, 100 s.

Kapička, J., Žížala, D., a kol. Monitoring eroze zemědělské půdy: Závěrečná zpráva za rok 2017 [online]. Praha: VÚMOP, SPÚ, 2017. 147 s. [cit. 2017-05-12]. Dostupné z: http://me.vumop.cz/mapserv/monitor/docs/ZZ_monitoring_2017.pdf

Kistler, M., Brandhuber, R., Maier, H. 2013: Wirksamkeit von Erosionsschutzmaßnahmen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising - Weihenstephan. 113 s.

Köhne, M. 2001: Leitlinien für Betriebsentwicklungen. Neue Landwirtschaft. 1: 16 – 18.

Kovářiček, P. 2008: Hnojení a ochrana rostlin. In: Ed: Syrový, O. 2008: Úspory energie v technologiích rostlinné výroby. VÚZT, v.v.i., Praha. s. 64 – 77.

Kovařiček, P., Abraham, Z., Hůla, J., Vlášková, M. 2005: Strojní linky pro hnojení. VÚZT, v.v.i. Praha. 86 s.

Král, V. 2011: Modelová studie úspor aplikovaných chemických přípravků na základě optimalizace práce a pohybu postřikovačů. Diplomová práce, ČZU Praha. 52 s.

Kristoffersen, A., Riley, H. 2005: Effects of soil compaction and moisture regime on the root and shoot growth and phosphorus uptake of barley plants growing on soils with varying phosphorus status. Nutrient Cycling in Agroecosystems. 72: 135 – 146.

Kroulík, M., Brant, V., Zábranský, P., Škeříková, M. 2017: Využití provozních dat strojů pro efektivní plánování, Sborník z konference SPZO. Hluk. s. 158 - 162.

Kroulík, M., Brant, V., Chyba, J. 2015: Význam GPS navigací v půdoochranných opatřeních. Mechanizace zemědělství. 65: 77-82.

Kroulík, M., Chyba, J., Brant, V. 2015: CTF a omezení nežádoucího zhutňování půdy. Mechanizace zemědělství. 65: 66 - 68.

Kroulík, M. 2014: Soil protection and sustainable utilisation of soil through modern technologies. International Soil Conference Soil management in sustainable farming systems, 7th International Soil Conference ISTRO Czech Branch, Křtiny, 25. 6. 2014 - 27. 6.

Kroulík, M., Kvíz, Z., Kumhála, F. 2011: Evaluation of traffic intensity in fields and technical possibilities for machinery passes reduction. VDI-MEG Tagung Landtechnik 11. - 12. 11. 2011 Hannover. VDI-Berichte 2124, s. 451-457.

Kumhála, F., Gutu, D., Hůla, J., Chyba, J., Kovařiček, P., Kroulík, M., Kvíz, Z., Mašek, J., Vlášková, M. 2013: Technologie řízených přejezdů po pozemcích., Uplatněná certifikovaná metodika, 40 s.

Landers, A. 2000: Farm machinery, selection, investment and management. Farming press, United Kingdom, 152 s.

Newell-Price, J. P., Whittingham, M. J., Chambers, B. J., Peel, S. 2013: Visual soil evaluation in relation to measured soil physical properties in a survey of grassland soil compaction in England and Wales. Soil & Tillage Research. 127: 65–73.

Novotný a kol. (2017): Příručka ochrany proti vodní erozi, Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., Praha, 78 s.

Pupin, B., Freddi, O., Nahas, E. 2009: Microbial alterations of the soil influenced by induced compaction. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 33: 1207 – 1213.

Radford, B. J., Yule, D. F., McGarry, D., Playford, C. 2007: Amelioration of soil compaction can take 5 years on a Vertisol under no till in the semi-arid subtropics. Soil & Tillage Research. 97: 249-255.

Saqib, M., Akhtar, J., Qureshi, R. 2004: Pot study on wheat growth in saline and waterlogged compacted soil I. Grain yield and yield components. Soil Tillage Research. 77: 169 – 177.

Seufert, H. 1995: Kostensparende Lösungen für Stallanlagen. In: Ergebnisse landwirtschaftlicher Forschung. Justus-Liebig-Universität Gießen. 22: 69 – 94.

Silva, S., Barros, N., Costa, L., Leite, F. 2008: Soil compaction and eucalyptus growth in response to forwarder traffic intensity and load. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 32: 921 – 932.

Streicher, G., Heizinger, V., Bernhardt, H. 2014: Optimierungsansätze der Infield-Logistik im Mähdruschprozess. 19. Arbeitswissenschaftliches Kolloquium des VDI-MEG Arbeitskreises Arbeitswissenschaften im Landbau. Dresden. Bornimer Agrartechnische Berichte. 83: 146 – 157.

Vopravil, J., Khle, T., Vrabcová, T., Novák, P., Novotný, I., Hladík, J., Vašků, Z., Jacko, K., Rožnovskýá, J., Janeček, M., Vácha, R., Pivcová, J., Kvítek, T., Fučík, P., Čermák, P., Janků, J., Pírková, I., Papaj, V., Banýrová, J. 2009: Půda a její hodnocení v České republice – Díl. I, VÚMOP, 2009.

Wagner, P. 2001: Gewannebewirtschaftung – Kosten und Nutzen. In: KTBL Sonderveröffentlichung 034 – Gewannebewirtschaftung, KTBL. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft. Darmstadt. s. 30 – 41.

Watson, M., Lowenberg-DeBoer, J. 2004: Who will benefit from GPS auto guidancein the Corn belt. Purdue Agricultural Economics Report, Department of Agricultural Economics, Purdue University, West Lafayette, IN

Wischmeier, W. H., Smith, D. D. 1978: Predicting Raindall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning, Agr. Handbook, 537, US Dept. of Agriculture, Washington. [Online]. Dostupné z: <http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/ad_hoc/3602I500USLEDatabase/AH_537.pdf>

Yule, I. J., Kohnen, G., Nowak, M. 1999: A tractor performance monitor with DGPS capability. Computers and Electronics in Agriculture. 23: 155–174.

Yuxia, L., Tullberg, J. N. A., Freebairn, N. D. M. 2001: Traffic and residue cover effects on infiltration, Australian Journal of Soil Research. 39: 239-247.

Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon). Sbírka zákonů 1. 1. 2007.

Žížala, D., Kapička, J., Novotný, I. (2015): Monitoring Soil Erosion of Agricultural Land in Czech Republic and Data Assessment of Erosion Events from Spatial Database. In: Proceedings from

International Conference Soil - the non-renewable environmental resource. Brno, Czech Republic: Mendel University in Brno, s. 354–370.