

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Botanika

Studijní obor: Geobotanika



Bc. Eliška Strušková

Obnova xerothermního trávníku na výsypce vápencového lomu pomocí výsevu různých
hustot semen

Dry grassland restoration on a limestone quarry landfill using different sowing densities

Diplomová práce

Školitel: Mgr. Eliška Kuřáková, Ph.D.

Konzultant: prof. RNDr. Zuzana Münzbergová, Ph.D.

Praha, 2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci na téma Obnova xerothermního trávníku na výsypce vápencového lomu pomocí výsevu různých hustot semen zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne

Eliška Strušková

Poděkování

Chtěla bych poděkovat své školitelce Elišce Kuťákové za trpělivé vedení mé práce, cenné rady a podporu. Taktéž děkuji Zuzce Münzbergové za konzultace, rady a podporu. Ráda bych poděkovala také Anně Kladivové a Tomášovi Müllerovi za poskytnutí dat z vegetačních snímkování z dřívějších let. Děkuji také své rodině za podporu při psaní práce i sběru dat v terénu.

Abstrakt

Rekultivace travních porostů pomocí výsevů původních druhů semen je jednou z nejčastěji používaných možností obnovy zejména v případech, kdy podmínky na lokalitě nejsou příliš příznivé pro spontánní sukcesi, například kvůli absenci zdrojové populace v okolí. Přestože se výsevová rekultivace běžně používá, nepadá dosud shoda na tom, jaké hustoty výsevu jsou dostatečné pro obnovu cílového společenstva. Cílem této práce je posoudit vliv hustoty výsevu na druhové složení obnovovaného společenstva xerothermních trávníků na dvou různých substrátech na výsypce vápencového lomu Čerínka v Českém Krase v průběhu osmi let od samotného začátku rekultivace. Zároveň posuzuje i vliv následného managementu lokality, konkrétně pastvu. Výsledky mé práce ukazují, že hustota výsevu má vliv na složení společenstva i na celkovou pokryvnost vegetace pouze v prvních pěti až šesti letech vývoje a pouze na vytěženém materiálu z lomu, zatímco na ornici už od počátku společenstvo signifikantně neovlivňuje a sukcese na tomto typu substrátu zatím nesměřuje ke společenstvu suchých trávníků. Pastva podporuje vývoj vegetace směrem ke společenstvu suchých trávníků a potlačuje nežádoucí ruderalní druhy. Tyto poznatky mohou posloužit při obnově podobných lokalit.

Klíčová slova: rekultivace, vápencový lom, ekologická obnova, výsev semen, xerothermní trávník, sukcese

Abstract

Grassland restoration by sowing seeds of native species is one of the most commonly used methods of community restoration, especially in cases when conditions are not favourable for spontaneous succession, for example due to absence of a suitable seed source in the vicinity or introduction of unsuitable substrate. Although seeding is commonly used, there is still no consensus on what seeding densities are sufficient to restore the target community. The aim of this thesis is to assess the influence of seeding density on species composition of the restored xerotherm grassland on two different substrates in a limestone quarry in the Czech Karst during eight years from the beginning of the restoration. It also assesses the influence of the subsequent management of the site, specifically grazing. The results of this thesis show that the sowing density influences plant community composition and vegetation cover only in the first five to six years of the community development and only on the quarry substrate. On the ex-arable soil seeding density does not significantly affect the community composition. Plant community on this substrate is dominated by ruderal species. Grazing promotes vegetation development towards a community of dry grassland and suppresses non-target ruderal species. These findings can be applicable in restoration of similar sites.

Keywords: restoration, limestone quarry, ecological restoration, seeding, dry grassland, succession

Obsah

1	Úvod	1
2	Metodika.....	6
2.1	Lokalita	6
2.2	Sběr dat.....	6
2.2.1	Vegetační snímkování.....	10
2.2.2	Měření produkce biomasy	10
2.2.3	Práce s databázemi.....	11
2.2.4	Půdní analýzy.....	11
2.3	Analýza dat.....	12
2.3.1	Rozdíl mezi typy půd.....	12
2.3.2	Vývoj vegetace v čase.....	12
2.3.3	Vliv typu půdy na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách	13
2.3.4	Vliv různých hustot výsevu semen na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách	13
2.3.5	Vliv pastvy na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách	14
2.3.6	Vliv hustoty výsevu, typu půdy a přítomnosti pastvy na relativní produkci biomasy a celkovou pokryvnost	14
3	Výsledky.....	16
3.1	Rozdíly mezi typy půd	16
3.2	Vývoj počtu druhů.....	16
3.3	Vývoj vegetace v čase	17
3.4	Vliv typu půdy na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách	18
3.5	Vliv různých hustot výsevu semen na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách	21

3.6	Vliv pastvy na pokryvnost druhů a funkční vlastnosti rostlin na plochách.....	27
3.7	Vliv hustoty výsevu, typu půdy a přítomnosti pastvy na relativní produkci biomasy a celkovou pokryvnost	32
4	Diskuse.....	36
4.1	Vývoj vegetace v čase	36
4.2	Typ půdy.....	37
4.3	Hustota výsevu	40
4.4	Vliv pastvy.....	43
4.5	Vliv hustoty výsevu, typu půdy a přítomnosti pastvy na produkci biomasy a celkovou pokryvnost vegetace na plochách	44
5	Závěr	47
6	Použitá literatura	49
7	Přílohy.....	59
7.1	Seznam použitých zkratk druhů.....	59

1 Úvod

Lomy a těžba jsou nedílnou součástí naší krajiny a zásadním způsobem ovlivňují její vzhled a strukturu. Rekultivace výsypek opuštěných lomů proto bývá předmětem mnoha diskusí provozovatelů lomů, ochranářů i vědců. Ta je důležitá například kvůli opatření proti erozi, nebo také z ochranářského hlediska. Potěžební plochy mají velký potenciál pro vytvoření stanovišť s ochranářsky zajímavými druhy, protože poskytují podmínky v současné krajině vzácné díky nízké úživnosti a přítomnosti svahů. Na opuštěných výsypkách bývají často obnovována také společenstva suchých trávníků. Ač jsou trávníky typicky důsledkem lidské činnosti, jejich historie sahá do dávné minulosti, kdy se na nich častěji páslo a byly více rozšířené (Pärtel et al., 2005). Poslední dobou ubývají a v důsledku toho jsou méně rozšířené i rostliny otevřených stanovišť (Pärtel et al., 2005).

Způsobů obnovy původních travních porostů na místech narušených těžbou je několik. Dva nejvýznamnější, které podporují výskyt ochranářsky významných společenstev xerothermních trávníků a zachování dostatečné biodiverzity, jsou spontánní sukcese a obnova pomocí výsevu semen původních druhů rostlin. Spontánní sukcese spočívá v ponechání lokality bez lidského zásahu, kdy se na lokalitu přirozeně rozšíří druhy z přilehlého okolí. Bývá často brána jako první volba při obnově vegetace (Prach & Hobbs, 2008; Tropek et al., 2010) a za běžných podmínek dokáže úspěšně obnovit travní společenstva (Prach & Pyšek, 2001). Na druhou stranu má tento způsob také jistá omezení a hrozí zde určitá rizika, zejména za extrémnějších podmínek (Prach & Hobbs, 2008). Těmi může být například nepřítomnost zdrojových populací v blízkém okolí (Baasch et al., 2012), v případě ploch větších rozměrů trvá obnova velmi dlouho (Prach & Hobbs, 2008) a také bývá větší riziko, že se na lokalitu rozšíří invazní a nežádoucí druhy (Jongepierová et al., 2007; Lepš et al., 2007; Stevenson et al., 1995).

Proto se v některých případech zvažuje také využití výsevu semen místo spontánní sukcese, nebo v kombinaci s ní, díky čemuž je možné snížit výše zmíněná rizika. Velkou výhodou představuje zejména v tom, že je možné ovlivnit vývoj vegetace zejména v prvních letech vývoje (Burton et al., 2006; Scotton, 2018). První roky vývoje mají velký vliv na výsledné společenstvo a zejména v případech, kdy hrozí prvotní kolonizace nežádoucími druhy, může výsev cílových druhů nasměrovat sukcesi žádoucím směrem. Také na místech, kde je velké riziko eroze, je možné pomocí výsevu

semen zrychlit proces kolonizace (Stevenson et al., 1995) a tím toto riziko snížit. Na druhou stranu je tento přístup nejen dražší, ale i časově náročnější než spontánní sukcese.

V případech, kdy se v okolí nachází zdroj semen nežádoucích druhů, je možné pomocí výsevové rekultivace úspěšně obnovit cílové společenstvo, zatímco při ponechání sukcesí mohou i po devíti letech vývoje na lokalitě dominovat nežádoucí a ruderalní druhy (Baasch et al., 2012). Stejným případem může být i například výsypka, která byla zavezena nevhodným substrátem jako je ornice z pole. Tento typ půdy obsahuje bohatou semennou banku polních plevelů a ruderalních druhů, které mohou napomáhat k zarůstání lokality nežádoucími druhy, stejně jako by se v okolí nacházelo nevhodné společenstvo. Zároveň vyšší obsah živin může způsobit, že na lokalitě se po delší dobu udržují ruderalní druhy a zpomalují tak šíření cílových druhů (Rebele, 2013). Jak je vidět, v některých případech je použití výsevové rekultivace pro obnovu požadovaného společenstva prakticky nezbytné.

Přestože se rekultivace pomocí výsevů semen na mnoha místech používá, dosud nepanuje shoda na tom, jaká hustota semen je optimální pro obnovu vegetace opuštěných lomů, ani obecně travních porostů. Jakou hustotu výsevu zvolit, je záležitostí nejen úspěšnosti rekultivace, ale i doby trvání rekultivace a také ekonomická. Studie se většinou shodují, že vliv hustoty výsevu je největší v prvních 1–2 letech od vysetí v počátečních stádiích vývoje společenstva, kdy vyšší hustota způsobuje vyšší celkovou pokryvnost vegetace (Burton et al., 2006; Scotton, 2018). Vyšší vysetá hustota může také bránit v usídlení nežádoucích druhů na lokalitě (Scotton, 2016; Yannelli et al., 2018), jiná studie však ukazuje, že i při nízkých hustotách výsevů, v kombinaci s kontrolou náletových rostlin, je možné úspěšně zamezit rozvoji těchto druhů (Stevenson et al., 1995). Naopak použití vyšší hustoty může vést k vyšší mortalitě vysetých rostlin z důvodu limitace zdroji (Burton et al., 2006). Při nízké hustotě se některé druhy nemusí ve výsledné vegetaci vůbec objevit (Scotton, 2016), ovšem v jiných případech se i málo početné druhy obnovily bez problémů (Hölzel & Otte, 2003). Na diverzitu (Scotton, 2016) nebo produktivitu (Münzbergová, 2012; von Gillhaussen et al., 2014) se vliv hustoty semen zatím neprokázal, nebo jen velmi slabě.

Hustota výsevu také interaguje s dalšími podmínkami prostředí. Například na půdách s různým složením se může efekt hustoty výsevu lišit, jak bylo prokázáno na pokusu

v květináčích (Münzbergová, 2012). Zatímco na živinově bohaté půdě nemusí mít hustota významný vliv, na živinově chudé může být nejvýhodnější střední hustota, díky vyrovnanosti kombinace kompetice o živiny a dostatku semen na osídlení. Při použití nižších hustot výsevů může přítomnost větších kamenů v půdě poskytovat lepší mikroklima pro klíčení semen, na druhou stranu při použití vyšších hustot mohou představovat fyzickou překážku pro nadzemní vývoj vegetace (Scotton, 2019). Dalším faktorem, který je mnohem více limitující při vyšších výsevových hustotách, je také vysychání půdy, které u hrubších substrátů probíhá rychleji, než u těch jemnějších (Rummel & Holscher, 1955; Scotton, 2019).

Samotný typ půdy má velký vliv na úspěšnost obnovy cílových společenstev. Jílovité půdy a půdy s vyšším obsahem živin podporují více tzv. prioritní efekt, kdy se na lokalitu ihned na začátku sukcese našití druhy se schopností rychlé kolonizace (obvykle nežádoucí) a znemožní tak rozvoj cílovým druhům (Fry et al., 2017). Také bylo prokázáno, že obsah živin v půdě ovlivňuje mikrobiální mikroflóru: zatímco v půdách s nižším obsahem živin je větší množství mykorhizních hub, v půdách s vyšším obsahem živin jejich množství klesá a zvyšuje se podíl bakteriální biomasy (Smith et al., 2003). Přitom mykorhizní houby podporují zvýšení druhové diverzity, potlačují výskyt rudérálních druhů a vysokých kompetičně silnějších trav ve prospěch kompetičně slabších druhů (Francis & Read, 1995; Hartnett & Wilson, 1999). V půdách z bývalých polí se navíc nachází bohatá semenná banka polních plevelů a rudérálních druhů (Halassy, 2001; Karlík & Poschlo, 2014; Török et al., 2011), a některé z nich mohou přetrvat v semenné bance i několik desítek let (Darlington, 1931; Halassy, 2001). Zároveň také jednoleté polní plevely mají obvykle semena se schopností dlouhé dormance (Baskin & Baskin, 1985). Tato semenná banka proto může ztížit rekultivaci a nasměrovat sukcesi nežádoucím směrem. I přes všechna tato negativa se však v některých případech podařilo pomocí výsevové rekultivace úspěšně obnovit travní společenstvo i na bývalých zemědělských půdách (Prach et al., 2013; Török et al., 2011).

Management prováděný na lokalitě může také ovlivňovat úspěšnost obnovy cílového společenstva i směr sukcese. Nejčastějším managementem travních porostů je pastva a sečení. Obě metody dokážou efektivně udržet biodiverzitu, nicméně pastva má na travních porostech silnější pozitivní efekt z hlediska ochranné hodnoty (Tälle et al., 2016). Použití pravidelné pastvy může zvýšit druhovou diverzitu a zvýšit podíl vyšetých

druhů, druhů travních společenstev, i vzácných druhů (Mayerová, 2009; Pavlů et al., 2007; Pykälä, 2003). Důležité je však i správné použití pastvy. Zatímco mírná nebo střední intenzita pomáhá zvyšovat druhovou diverzitu, vyšší intenzity pastvy naopak diverzitu snižují a podporují dominanci několika málo druhů, a to nejen u rostlin, ale i u dalších skupin organismů, například bezobratlých (Rakosy et al., 2022; Wang & Tang, 2019). Proto je vhodnější používat spíše extenzivní, nežli intenzivní pastvu. Důležitá je i správná volba druhu zvířat. Například ovce oproti skotu spásají více netravní druhy a tím mohou lépe potlačovat nežádoucí plevely (Grant et al., 1985; Tóth et al., 2018). Naopak pastva skotu napomáhá k vyšší druhové bohatosti travních porostů (Tóth et al., 2018), volba správného typu zvířat by tedy měla záviset také na cílech rekultivace.

Kromě druhového složení mohou výše zmíněné faktory ovlivňovat i funkční vlastnosti rostlin vyskytujících se na lokalitách. Tyto vlastnosti nám mohou pomoci dozvědět se například o dalších podmínkách nebo vztazích převládajících na lokalitě a sledovat jejich změny. Některými funkčními vlastnostmi mohou rostliny reagovat na klima (Bucher et al., 2021; Díaz et al., 1998), půdní podmínky (Bucher et al., 2021), nebo také souvisí s kompetiční schopností rostlin (Goldberg & Landa, 1991) a jejich reakcí na disturbance (Westoby, 1998). Ve své práci jsem si vybrala 3 konkrétní funkční znaky, výšku rostliny, velikost semen a specifickou listovou plochu (SLA), které podle Westoby (1998) nejsou vzájemně korelované a tvoří základní trade-off v ekologických strategiích rostlin. Různé faktory působící na lokalitě mohou tyto funkční vlastnosti ovlivňovat. Například vyšší hustoty výsevu mohou způsobit větší nadzemní kompetici (Bergelson & Perry, 1989). Rostliny s většími semeny tvoří semenáčky, které mají větší schopnost přežít v prostředí s vyššími kompetičními tlaky (Turnbull et al., 1999) a vyšší kompetice o světlo souvisí se zvyšující se SLA (Knops & Reinhart, 2000). Stejně tak vyšší dostupnost dusíku v půdě preferují druhy s vyšší SLA (Knops & Reinhart, 2000), zároveň na živinově bohatších půdách jsou rostliny vyšší výškou (Elberse & Berendse, 1993). Pastva naopak podporuje více druhů s nižší výškou (Mayerová, 2009; Pavlů et al., 2007).

Jak je vidět, obnova travních společenstev může být ovlivněna řadou faktorů, z nichž mnohé nejsou ještě zcela prozkoumané. Zejména v bývalých lomech, které se od ostatních degradovaných lokalit odlišují například přítomností živinově chudého substrátu bez semenné banky (pokud je použit vytěžený materiál z lomu), bylo takovýchto pokusů provedeno jen poskrovnu (Novák & Prach, 2010; Scotton, 2018,

2019). Protože vliv hustoty výsevu může záviset na mnoha dalších faktorech (jako například zmiňovaný typ půdy nebo způsob dalšího managementu lokality), je vhodné tyto interakce studovat na lokalitě, kde tyto faktory působí přirozeně.

Ve své diplomové práci se zaměřuji právě na obnovu vegetace pomocí různých hustot výsevů na výsypce lomu Čeřinka v Českém Krase. Cílem této práce je zjistit, zda a jakým způsobem hustota výsevu ovlivňuje výslednou vegetaci a jak se liší vývoj tohoto společenstva v závislosti na substrátu a přítomnosti pastvy. Na tyto otázky se zaměřuji z pohledu druhového složení, funkčních vlastností druhů ve společenstvech, nebo produktivity společenstva. Práce se snaží vyhodnotit, která hustota výsevu je pro obnovu vápencového lomu nejvhodnější a zda stačí použít nižší hustoty výsevů, či jsou třeba hustoty vyšší, s ohledem na složení vznikajícího společenstva.

Ve své práci se zabývám zejména těmito otázkami:

1. Jak hustota výsevu ovlivňuje podobu společenstev? (druhové složení a funkční vlastnosti rostlin, produkce biomasy a celková pokryvnost vegetace)
2. Jak typ půdy (konkrétně vytěžený materiál z lomu a ornice) ovlivňuje podobu společenstev? (druhové složení a funkční vlastnosti rostlin, produkce biomasy a celková pokryvnost vegetace)
3. Jak se vyvíjí vegetace v čase?
4. Jaký vliv má na vývoj společenstva pastva?
5. Jaké hustoty výsevu jsou nejvhodnější z hlediska druhového složení pro cíle ekologické obnovy xerothermního trávníku na výsypce lomu?
 - Cíli obnovy jsou dostatečná druhová bohatost, přítomnost co nejvíce druhů přirozeně se vyskytujících ve společenstvech suchých trávníků a ohrožených druhů a co nejméně nepůvodních a invazních druhů.

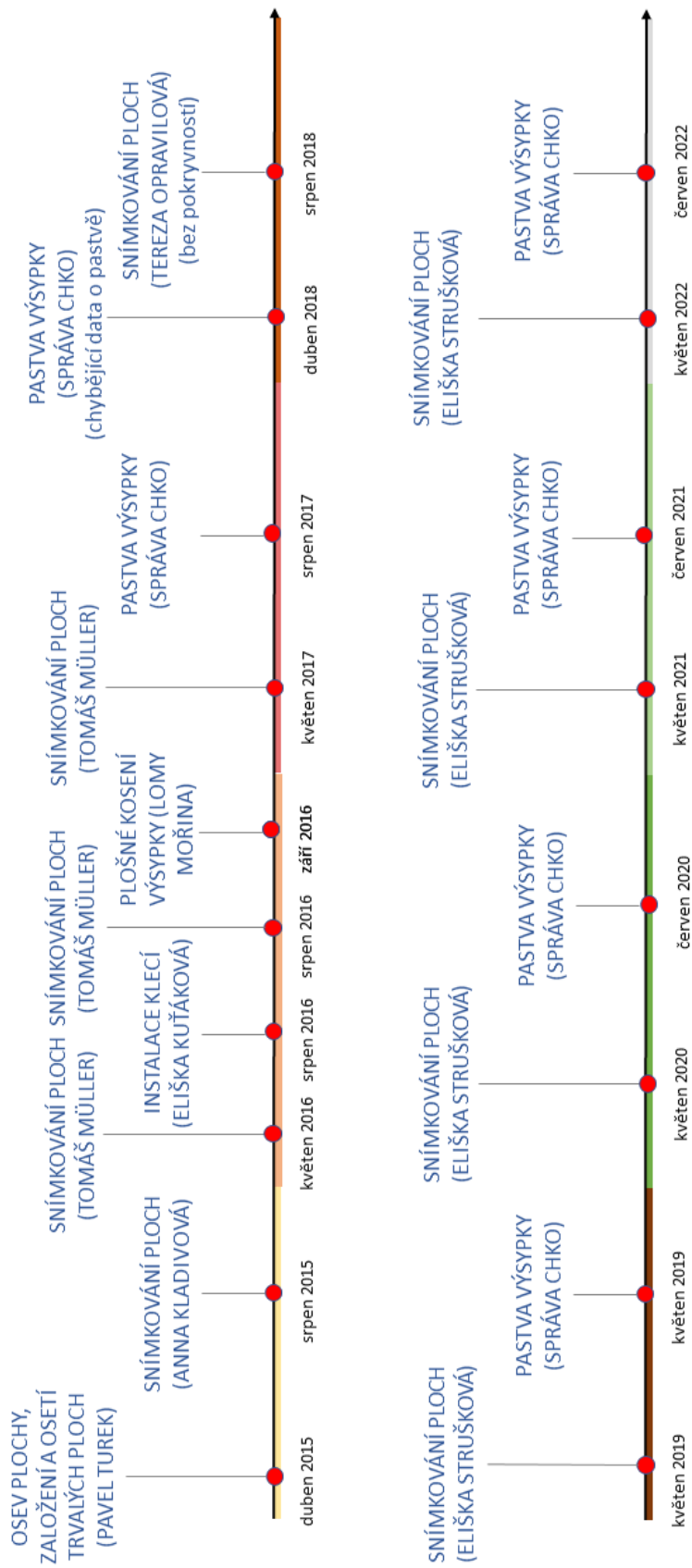
2 Metodika

2.1 Lokalita

Práce byla prováděna na již opuštěné části vápencového lomu Čeřinka, který se nachází jihovýchodně od Bubovic v CHKO Český kras (49.9623 N, 14.1663 E). V tomto lomu probíhá těžba chemického vápence i vápence vhodného jako stavební kamenivo (Lomy Mořina). Západní část tohoto lomu již není aktivní a byla zavezena vytěženým jílem a ponechána spontánní sukcesi. Zde a také na sousední stepi v předchozích letech probíhal výzkum týkající se spontánní sukcese a vlivu pastvy (Kuřáková, 2013; Mayerová, 2009). Kromě toho byla v roce 2014 v rozporu s rekultivačním plánem na část lokality navezena ornice z okolních polí. V blízkém okolí výsypky se nachází Pání hora s mozaikovitou vegetací stepi a křovin, na přilehlých svazích se vyskytuje habrový porost s hájovou květenou.

2.2 Sběr dat

Pokus byl původně zakládán pro jinou diplomovou práci, která nakonec nebyla zpracována, ale data byla sbírána. V roce 2015, kdy jsem ještě nebyla přítomna u pokusu, byla část výsypky (konkrétně na ornici a na přilehlé části výsypky na vytěženém jílu) oseta směsí semen stepních druhů (Tab. 1) v hustotě 2 g/m². Zároveň ve stejném roce byly na výsypce vyznačeny plochy o velikosti 2x2 m, na kterých byly vysety různé hustoty této směsi, konkrétně 1, 2, 4 a 8 g/m² a kontrola bez výsevu (Obr. 3). V centru každé plochy byla vytyčena plocha o velikosti 1x1 m, která sloužila ke snímkování. Okolní zbytek plochy sloužil jako buffer zóna. Navíc byly vytvořeny další plochy s výsevem 2 g/m², které jsou opatřeny klecí proti spasení a slouží jako kontrola pro stanovení vlivu pastvy na vývoj společenstva. Trvalé plochy jsou uspořádány do deseti bloků (tedy deset opakování na typ výsevu) na obou substrátech: na jílu z těžební jámy a na navezené ornici (Obr. 2). Místo bylo nejprve koseno (září 2016), poté paseno stádem koz a ovcí (srpen 2017, květen 2018, květen 2019, květen 2020) a krav (červen 2021). Všechna zmíněná data jsou také přehledně vyznačena na Obr. 1.



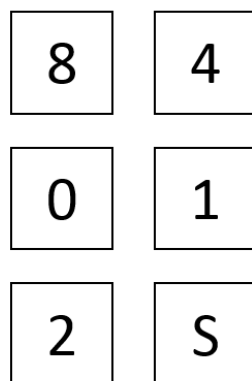
Obr. 1: Časová osa všech aktivit, které se udály na výsypce od jejího začátku.

Tab. 1: Druhy vyšetě na plochách a jejich poměrná hmotnost ve směsi. Uvedená čísla jsou výsledkem uvážení přirozené density druhů na okolní stepi, ale také dostupností semen u poskytovatele směsi semen.

druh	poměrná hmotnost ve směsi	druh	poměrná hmotnost ve směsi
<i>Acinos arvensis</i>	2,5	<i>Knautia arvensis</i>	1200
<i>Arabis hirsuta</i>	5	<i>Koeleria pyramidata</i>	25
<i>Asperula cynanchica</i>	2,35	<i>Leontodon hispidus</i>	11
<i>Avenula pubescens</i>	1200	<i>Lotus corniculatus</i>	1200
<i>Bupleurum falcatum</i>	2,5	<i>Medicago falcata</i>	25
<i>Carlina vulgaris</i>	25	<i>Phleum phleoides</i>	25
<i>Centaurea jacea</i>	1200	<i>Pilosella officinalis</i>	2,5
<i>Centaurea stoebe</i>	1200	<i>Pimpinella saxifraga</i>	5
<i>Cerastium arvense</i>	2,25	<i>Plantago lanceolata</i>	1200
<i>Cirsium acaule</i>	10	<i>Salvia pratensis</i>	1200
<i>Dianthus carthusianorum</i>	1200	<i>Salvia verticillata</i>	1200
<i>Echium vulgare</i>	1200	<i>Sanquisorba minor</i>	1200
<i>Eryngium campestre</i>	12,5	<i>Scabiosa ochroleuca</i>	25
<i>Erysimum crepidifolium</i>	12,5	<i>Securigera varia</i>	1200
<i>Euphorbia cyparissias</i>	25	<i>Teucrium chamaedrys</i>	1
<i>Falcaria vulgaris</i>	11,5	<i>Thymus pulegioides</i>	1200
<i>Festuca pallens</i>	125	<i>Tragopogon dubius</i>	25
<i>Festuca rupicola</i>	125	<i>Trifolium campestre</i>	2
<i>Galium verum</i>	1200	<i>Verbascum lychnitis</i>	5
<i>Helianthemum grandiflorum</i>	250	<i>Viola colina</i>	5
<i>Inula conyzae</i>	4,85		



Obr. 2: Umístění experimentálních ploch na novější části výsypky lomu. Plochy jsou vyznačeny červeně, šedě je zvýrazněn vytěžený materiál z lomu, hnědě ornice. (zdroj podkladové mapy: Mapy.cz)



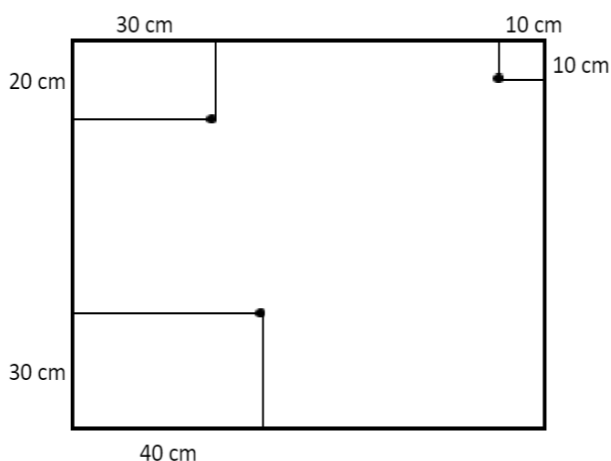
Obr. 3: Rozmístění ploch v rámci jednoho bloku. Číslo udává hustotu výsevu v g/m^2 , písmeno S označuje plochy s kletí hustotou výsevu 2 g/m^2 . Plochy mají velikost 1 m^2 a jsou v bloku umístěny s rozestupy 1 m .

2.2.1 Vegetační snímkování

Na plochách bylo v letech 2015–2022 (kromě roku 2018) prováděno vegetační snímkování zahrnující soupis druhů na každé ploše a odhad jejich pokryvnosti, od roku 2016 také celkovou pokryvnost a od roku 2019 navíc i pokryvnost mechů. Do roku 2017 bylo snímkování prováděno jinými studenty a pro odhad pokryvností byla použita Braun-Blanquetova stupnice (Braun-Blanquet & et al., 1932). V roce 2019 jsem pokus převzala od svých předchůdců a od té doby byla pokryvnost zaznamenávána v procentech. Toto snímkování bylo provedeno vždy na jaře (v roce 2015 v srpnu, zbylé roky v květnu). Pro druhy cévnatých rostlin byla použita nomenklatura dle Kaplan et al. (2019).

2.2.2 Měření produkce biomasy

V roce 2020 byla na jednotlivých plochách změřena relativní produkce biomasy, která sloužila pro porovnávání funkčních vlastností společenstev. Biomasa byla měřena pomocí metody „drop disc“ (Holmes, 1974; Stewart et al., 2001), pomocí CD, tyčky a metru. Na třech předem stanovených pozicích v rámci každé trvalé plochy (Obr. 4) byla do země zapíchnuta tyčka, seshora na ní bylo navléknuto CD a bylo spuštěno po tyčce dolů. Ve chvíli, kdy se CD zastavilo, byla změřena výška jeho středu od země a tato hodnota zaznamenána. Toto měření bylo provedeno na každé ploše.



Obr. 4: Předem vybrané body na ploše pro měření biomasy. Každá plocha má velikost 1x1 m.

2.2.3 Práce s databázemi

Pro porovnání funkčních vlastností rostlin na jednotlivých plochách byla použita data z databáze LEDA (Kleyer et al., 2008). Z této databáze byla využita data pro specifickou plochu listů (SLA), velikost semen a výšku rostliny. Pro každou plochu v každém roce byl vypočítán vážený průměr dané funkční vlastnosti. Jako váha byla použita pokryvnost druhů na ploše. Pokud v databázi chyběl údaj pro některý druh, byl tento druh z výpočtu vynechán. Předem však bylo zkontrolováno, že žádný druh s chybějícím údajem neměl na plochách vysokou pokryvnost. Stejně tak byly vynechány dřeviny, které by svými vlastnostmi, zejména výškou, mohly výrazně zkreslit výsledky.

2.2.4 Půdní analýzy

V listopadu 2021 byly z těsného okolí všech ploch osetých hustotou 2 g/m² a neopatřených klecí odebrány vzorky půdy. Pro každou plochu byl odběr proveden ve vzdálenosti 10 cm vně dvou protilehlých stran trvalé plochy. Nejprve vždy byla odstraněna nadzemní vegetace a opad, poté bylo odebráno svrchních 10 cm půdy o celkovém objemu přibližně 200 ml po odstranění největších kamenů. Dva vzorky patřící ke stejné ploše se poté smíchaly, aby se předešlo vlivu lokálních odchylek v půdě na daném místě.

Z každého odebraného vzorku bylo posléze odebráno 50 ml, které byly zmrazeny na teplotu -20° C a odeslány na analýzu do Botanického ústavu AV ČR, v. v. i., kde byla stanovena aktuální sušina, aktuální a výměnné pH a množství dusičnanových, a amonných iontů a fosforečnanů, konkrétně NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄³⁻ a u poloviny vzorků také NO₂⁻. Obsah jednotlivých iontů byl následně přepočten na hmotnost sušiny vzorku.

Ze zbylého půdního materiálu byl zjištěn obsah organické hmoty ve vzorcích pomocí metody Loss on ignition (Hoogsteen et al., 2018). Materiál byl nejprve vysušen při teplotě 100 ° po dobu 10 hodin a poté byl ponechán až do vychladnutí v exsikátoru. Do keramické misky bylo poté vždy odváženo přibližně 20 g materiálu a přesná hmotnost byla zaznamenána na 4 desetinná místa. Poté byla v peci vystavena teplotě 550 °C po dobu 5 hodin, následně byla ponechána vychladnout v exsikátoru. Po úplném vychladnutí v exsikátoru byla hmotnost půdy opět zvážena.

2.3 Analýza dat

Do analýz bylo zahrnuto celkem celkově 142 druhů (či skupin druhů, které byly v analýzách sloučeny). Vzhledem k tomu, že hustota výsevu byla manipulována pouze na plochách vystavených pastvě, kdežto na plochách bez vlivu pastvy byla provedena jenom jedna hustota výsevu (2 g/m^2), analyzovala jsem pro snazší porovnání vlivu obou proměnných (hustota výsevu nebo pastva) zvlášť dva podsoubory dat. První podsoubor obsahoval všechny pasené plochy s různými hustotami výsevu na obou substrátech. Druhý podsoubor obsahoval všechny plochy oseté hustotou 2 g/m^2 , které se lišily přítomností pastvy (s klecí a bez klece), opět na obou substrátech.

2.3.1 Rozdíl mezi typy půd

Vliv typu půdy na přítomnost vybraných iontů a obsah organické hmoty byl testován v programu R verze 4.2.0, stejně jako všechny další následující analýzy, využitím balíčku `vegan` pro mnohorozměrné metody (Oksanen et al., 2020). Data byla standardizována po proměnných a testována pomocí RDA analýzy. Model byl následně testován analýzou variance s definovanými permutacemi, kdy byly jednotlivé vzorky půdy náhodně prohazovány.

2.3.2 Vývoj vegetace v čase

Analýza vlivu času na druhové složení byla pouze na podsouboru obsahujícím všechny pasené plochy pro sledování vývoje společenstva za obvyklého managementu. Vývoj společenstva byl vyhodnocován pomocí CCA analýzy. Ta byla vybrána kvůli dlouhému gradientu (délka 4,97), který vyšel v DCA analýze. Data byla odmocněna a také standardizována po objektech. Pro analýzu byly použity druhy, které měly minimální četnost 5, tedy nacházely se minimálně v 5 vegetačních snímcích. Toto nižší číslo bylo zvoleno proto, aby bylo možné sledovat podrobnější dynamiku i vzácnějších druhů v čase. Jako kovariáty byly použity typ půdy, hustota výsevu a identita bloku. Model byl následně testován analýzou variance s definovanými permutacemi, kdy byly sériově prohazovány snímky z různých let v rámci každé plochy. Z modelu byly také pro všechny druhy vyjádřeny jejich skóre na první ose a tyto hodnoty byly poté vyneseny do sloupcového grafu zpracovaném v programu Microsoft Excel. Do grafu bylo vždy zahrnuto 15 druhů s nejvyšším skóre a 15 druhů s nejnižším.

Analýza vlivu času na funkční vlastnosti byla prováděna opět pouze na prvním podsouboru. Do analýzy byly zahrnuty jako závislé proměnné 3 funkční vlastnosti rostlin (konkrétně jejich vážené průměry pro každou plochu): výška rostliny, velikost semen a specifická listová plocha (SLA). Data byla zpracována tentokrát pomocí RDA analýzy, která byla také vybrána kvůli krátkému gradientu. Protože tyto vlastnosti jsou definované v různých jednotkách, byla data standardizována po proměnných. Data byla analyzována stejným postupem, jako při předchozí analýze.

2.3.3 Vliv typu půdy na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách

Tentokrát byla analýza prováděna zvlášť na obou podsouborech. Taktéž byla použita CCA analýza pro analýzu druhového složení a RDA analýza pro analýzu funkčních vlastností. Při analýze pokryvnosti druhů byla data odmocněna a standardizována po objektech, použity byly druhy s minimální četností 20. Tato vyšší hodnota byla zvolena proto, aby nebyly analýzy tažené druhy, které se na plochách objevily jen na velmi krátkou dobu a z důvodu velké dynamiky v prvních letech opět z lokality zmizely. Při analýze funkčních vlastností byla pouze standardizována po proměnných. Při testu vlivu typu půdy byly jako kovariáty použity v prvním podsouboru rok snímkování a hustota výsevu, ve druhém podsouboru rok snímkování a přítomnost klece. Při analýze variance byly náhodně prohazovány plochy se stejnou hustotou v rámci jednoho roku. Z modelu byly také vyneseny skóry druhů na první ose (15 druhů s nejvyšším skóre a 15 s nejnižším). Analýza druhového složení byla provedena také pro každý rok zvlášť, aby bylo možné porovnat sílu vlivu v průběhu času. Vliv typu půdy byl také stejnou analýzou ještě testován v interakci s rokem snímkování. Analýza byla provedena na prvním datovém souboru (použity byly druhy s minimální četností 5, opět pro sledování jemnějších změn i vzácnějších během času). Jako kovariáty byly zvoleny hustota výsevu, typ půdy a rok snímkování.

2.3.4 Vliv různých hustot výsevu semen na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách

Analýza vlivu hustoty výsevu na druhové složení byla prováděna pouze na prvním podsouboru. Vývoj společenstva byl vyhodnocován pomocí CCA analýzy, opět kvůli dlouhému gradientu. Při analýze druhového složení byla data odmocněna a standardizována po objektech a byla použita CCA analýza. Použity byly druhy opět

s minimální četností 20, pro sledování obecnějších trendů. Jako kovariáty byly použity typ půdy, rok snímkování a identita bloku. Model byl následně testován analýzou variance s definovanými permutacemi, kdy byly plochy náhodně prohazovány v rámci každého bloku ploch a každého roku. Z modelu byly také pro všechny druhy vypočítány a vyneseny jejich skóre na první ose (15 druhů s nejvyšším skóre a 15 s nejnižším). Při analýze funkčních vlastností byla data standardizována po proměnných a testována pomocí RDA analýzy.

Tato analýza byla stejným způsobem provedena také pro každý typ půdy zvlášť (s použitím druhů s minimální četností 10, z důvodu poloviční velikosti souboru dat), aby bylo možné detekovat, jak silný vliv hustoty výsevu je na jednotlivých typech půdy. Stejně tak byla analýza provedena pro každý rok zvlášť. Také byl vyneseno do grafu počet druhů na plochách s různými hustotami výsevu a tento vztah byl otestován lineárním modelem. Vliv hustoty výsevu na druhové složení byl testován také v interakci s typem půdy (použity druhy s minimální četností 20, jako kovariáty byly použity hustota výsevu, typ půdy a čas) a s vlivem času (použity druhy s minimální četností 5, jako kovariáty použity hustota výsevu, čas, typ půdy a identita bloku).

2.3.5 Vliv pastvy na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách

Tato analýza byla prováděna pouze na druhém podsouboru (tedy na všech plochách s hustotou 2 g/m²). Taktéž byla použita CCA analýza. Při analýze pokryvnosti druhů byla data odmocněna a standardizována po objektech, při analýze funkčních vlastností byla pouze standardizována po proměnných. Pro test pastvy byly jako kovariáty použity typ půdy, rok snímkování a identita bloku. Při analýze variance byly plochy náhodně prohazovány v rámci každého bloku a roku. Vliv pastvy byl také stejnou analýzou ještě testován v interakci s typem půdy. Jako kovariáty zvoleny přítomnost klece, typ půdy a rok snímkování. Při analýze variance byly náhodně prohazovány plochy v rámci bloku. Funkční vlastnosti byly testovány pomocí RDA analýzy.

2.3.6 Vliv hustoty výsevu, typu půdy a přítomnosti pastvy na relativní produkci biomasy a celkovou pokryvnost

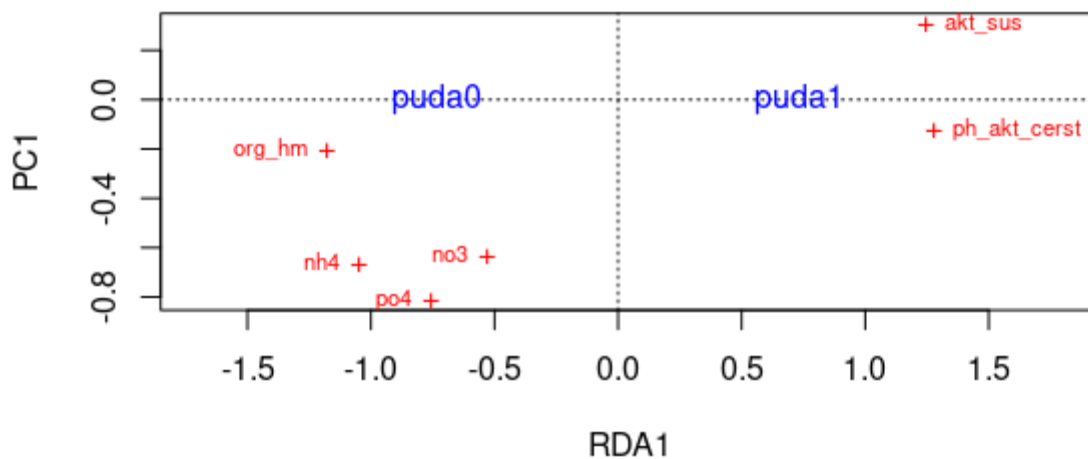
Data byla opět výše popsaným způsobem rozdělena na dva podsoubory a analyzována zvlášť. Tentokrát však nebyla použita mnohorozměrná analýza, ale analýza byla provedena pomocí lineárního modelu. Na prvním podsouboru obsahujícím všechny

pasené plochy byl testován vliv hustoty výsevu, typu půdy a vlivu času. Kovariáty byly použity stejné, jako v analýzách výše. Na druhém podsouboru obsahujícím všechny plochy s hustotou 2 g/m² byl testován vliv pastvy, typu půdy a jejich společná interakce opět pomocí lineárního modelu. Při prohlížení struktury dat u celkové pokrývnosti bylo zjištěno beta rozdělení, tato data proto byla testována pomocí beta regrese s použitím balíčku betareg (Cribari-Neto & Zeileis, 2010). U produkce biomasy bylo zjištěno normální rozdělení a byla testována pomocí lineární regrese.

3 Výsledky

3.1 Rozdíly mezi typy půd

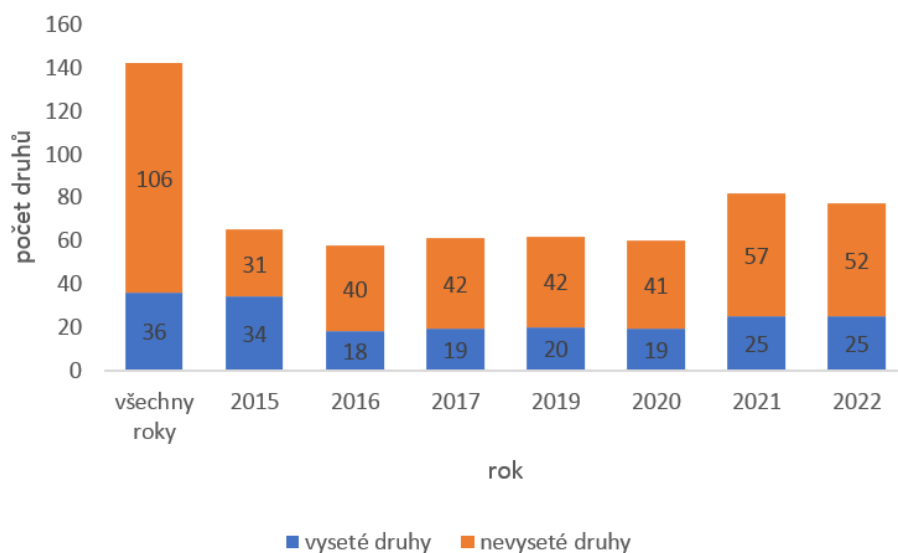
Oba typy půd se významně liší svými vlastnostmi ($p = 0,002$; adj. $R^2 = 0,5902$) (Obr. 5). Ornice obsahuje více organické hmoty a větší množství živin v podobě iontů dusíku a fosforu (PO_4^- , NO_3^- a NH_4^+). Oproti tomu vytěžený materiál z lomu (též dále zmiňovaný také jako štěrk) je více zásaditý a v době odběru vzorků byl charakterizován vyšší hodnotou aktuální sušiny, tedy obsahoval méně aktuální vlhkosti než ornice.



Obr. 5: Rozdíl mezi typy půd, RDA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 15,4 % variability, druhou osou 14,8 %). Označení puda0 znamená ornice z pole puda1 je vytěžený materiál z lomu.

3.2 Vývoj počtu druhů

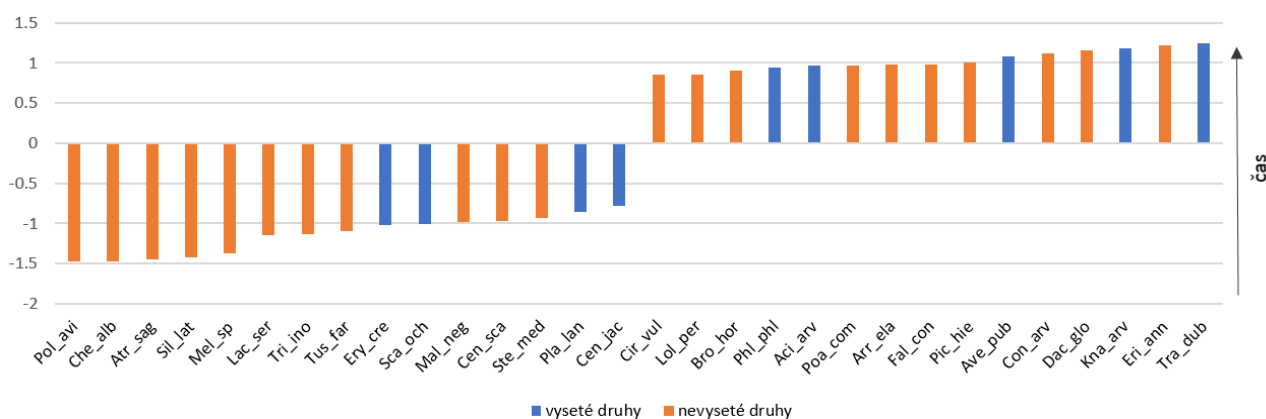
Na plochách se vyskytovalo celkově 142 druhů (či skupin druhů, které byly v analýzách sloučeny). Ze 41 vyšetřovaných druhů se jich v průběhu času na lokalitě objevilo 36. V roce 2015 byl počet vyšetřovaných druhů nejvyšší, v následujících letech se výrazně snížil a v posledních 2 letech se opět mírně zvýšil (Obr. 6).



Obr. 6: Vývoj počtu druhů v čase.

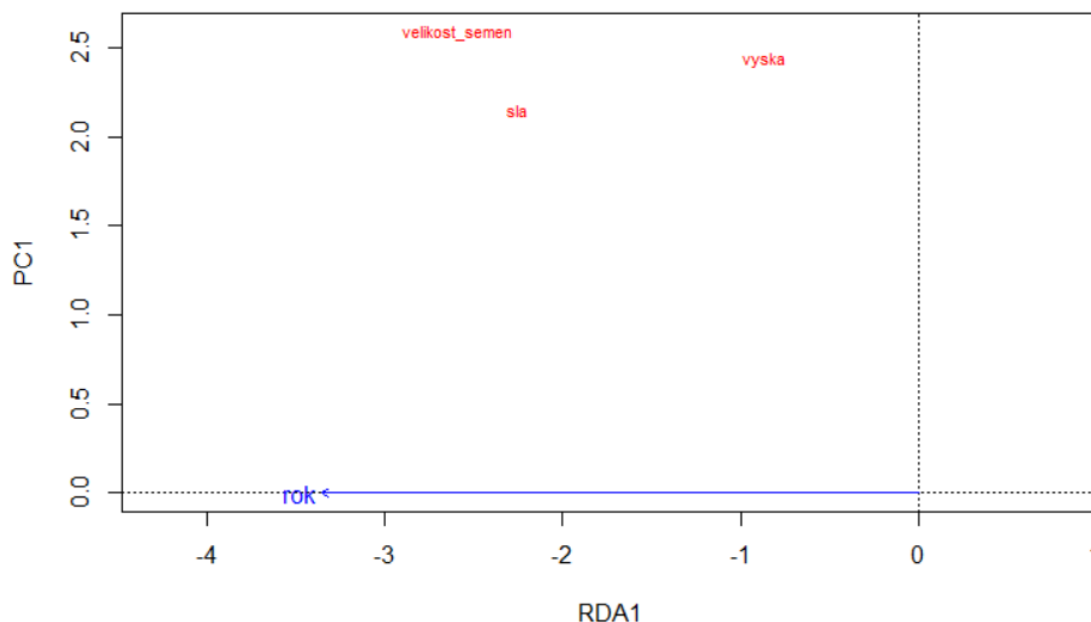
3.3 Vývoj vegetace v čase

Složení vegetace se v průběhu času průkazně mění ($p = 0,002$; adj. Rsquared = 0,0306, viz Tab. 4) (Obr. 7). S postupujícím časem přibývají některé vyšetřené druhy, jako například *Tragopogon dubius*, *Knautia arvensis*, *Avenula pubescens*, *Acinos arvensis* nebo *Phleum phleoides*. Naopak některé vyšetřené druhy ubývají, těmi jsou *Erysimum crepidifolium*, *Scabiosa ochroleuca*, *Plantago lanceolata* a *Centaurea jacea*. V čase přibývají i některé nevyšetřené druhy, těmi jsou například *Erigeron annuus*, *Dactylis glomerata*, *Convolvulus arvensis* nebo *Arrhenaterum elatius*. Některé nevyšetřené druhy v průběhu času mizí, třeba *Polygonum aviculare*, *Chenopodium album*, *Atriplex sagittata* nebo *Lactuca serriola*. Druhové složení se v čase průkazně liší na ornici i na šterku ($p = 0,002$ v obou analýzách; adj. Rsq = 0,0999, resp. 0,0890; viz Tab. 4).



Obr. 7: Vývoj druhového složení v čase, CCA analýza, zobrazeny jsou skóry druhů na 1. kanonické ose ($p = 0,002$, 1. osou vysvětleno 7 % variability).

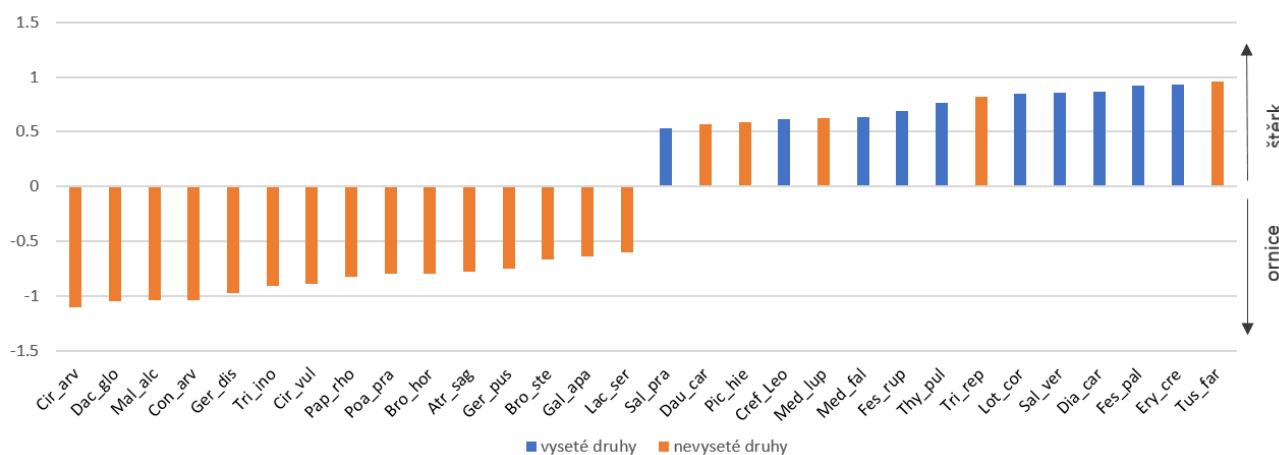
V průběhu času se také mění funkční vlastnosti rostlin na plochách ($p = 0,002$, adj. $R^2 = 0,27$; viz Tab. 4). Velikost semen, SLA i výška se postupem času zvyšuje (Obr. 8).



Obr. 8: Vývoj funkčních vlastností rostlin na plochách v čase, RDA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 27,4 % variability, druhou osou 37,8 %).

3.4 Vliv typu půdy na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách

Oba typy půd se z hlediska druhového složení průkazně liší ($p = 0,002$; adj. $R^2 = 0,0555$; viz Tab. 4) (Obr. 9). Na štěrku se vyskytují více druhy jako *Erysimum crepidifolium*, *Festuca pallens*, *Dianthus carthusianorum* nebo *Salvia vericillata*, zatímco na ornici je



Obr. 9: Vliv typu půdy na vegetační složení, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 6,1 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

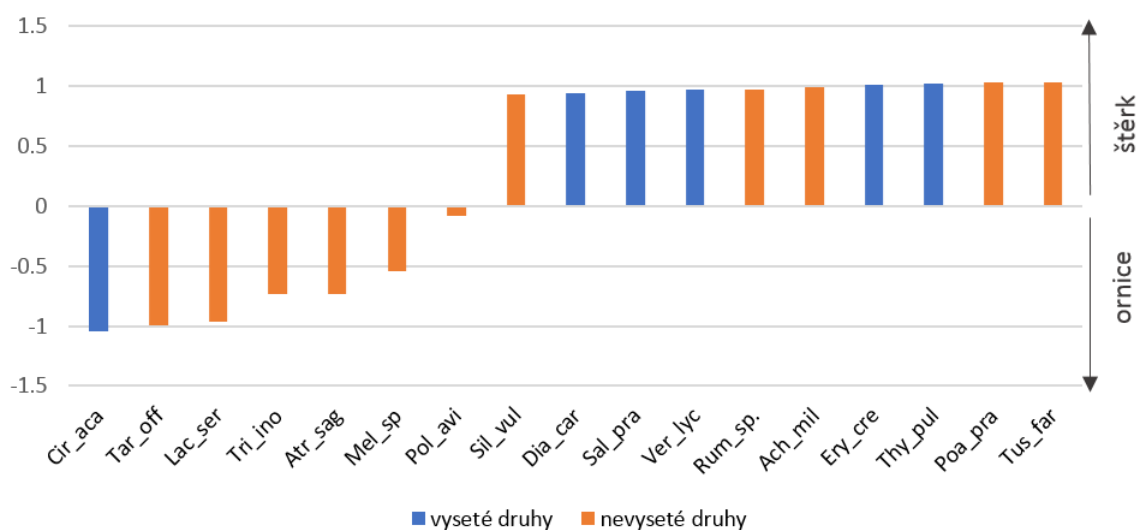
více například *Cirsium arvense*, *Dactylis glomerata*, *Malva alcea* nebo *Tripleurospermum inodorum*. Na ornici převládají druhy nevyseté, naopak na štěrku dominují druhy vyseté.

Vliv typu půdy na vegetační složení se v průběhu let výrazně nemění (testováno pomocí lineárního modelu, $p = 0,55$) (Tab. 2).

Tab. 2: testové hodnoty analýzy vlivu typu půdy na druhové složení v jednotlivých letech.

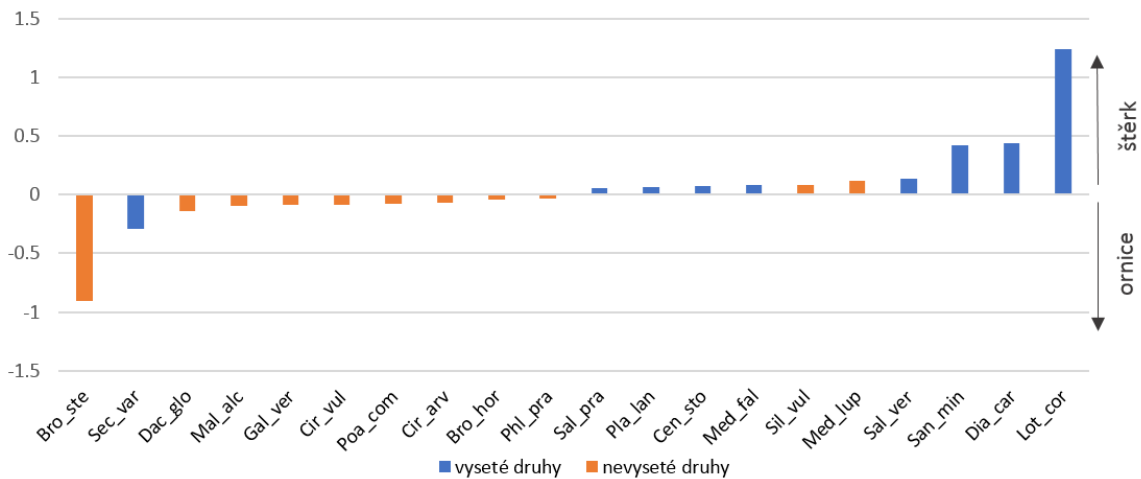
rok	adj rsq	F	p
2015	0,1425	17,523	0,002
2016	0,1352	16,477	0,002
2017	0,1153	13,869	0,002
2019	0,1475	1,976	0,002
2020	0,1376	16,686	0,002
2021	0,1308	15,762	0,002
2022	0,1196	14,311	0,002

Již v prvním roce se vegetace na různých typech půdy výrazně lišila ($p = 0,002$, adj. Rsquared = 0,1425, $F = 17,52$) (Obr. 10). Zatímco na ornici kromě *Cirsium acaule* převažovaly hlavně nevyseté druhy, na vytěženém materiálu z lomu bylo přítomno výrazně větší množství druhů vysetých, jako například *Thymus pulegioides*, *Erysimum crepidifolium*, *Salvia pratensis* nebo *Dianthus carthusianorum*.



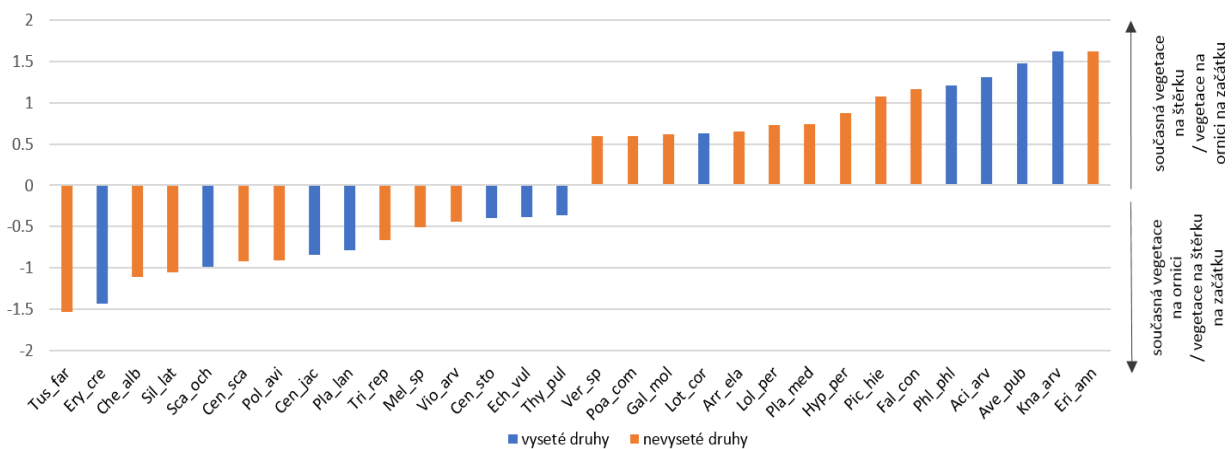
Obr. 10: Vliv typu půdy na vegetační složení v roce 2015, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 15,3 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

V současné době se vegetace na obou typech půdy také výrazně liší ($p = 0,002$, adj. $R_{\text{squared}} = 0,452$) (Obr. 11), nicméně oproti prvnímu roku je zde méně druhů, které jsou silně vázané pouze na jeden typ půdy. Na ornici převažují stále druhy nevyseté jako např. *Bromus sterilis*, *Dactylis glomerata* nebo *Malva alecea*, na šterku naopak převažují druhy vyseté jako *Lotus corniculatus*, *Dianthus carthusianorum* nebo *Sanguisorba minor*.



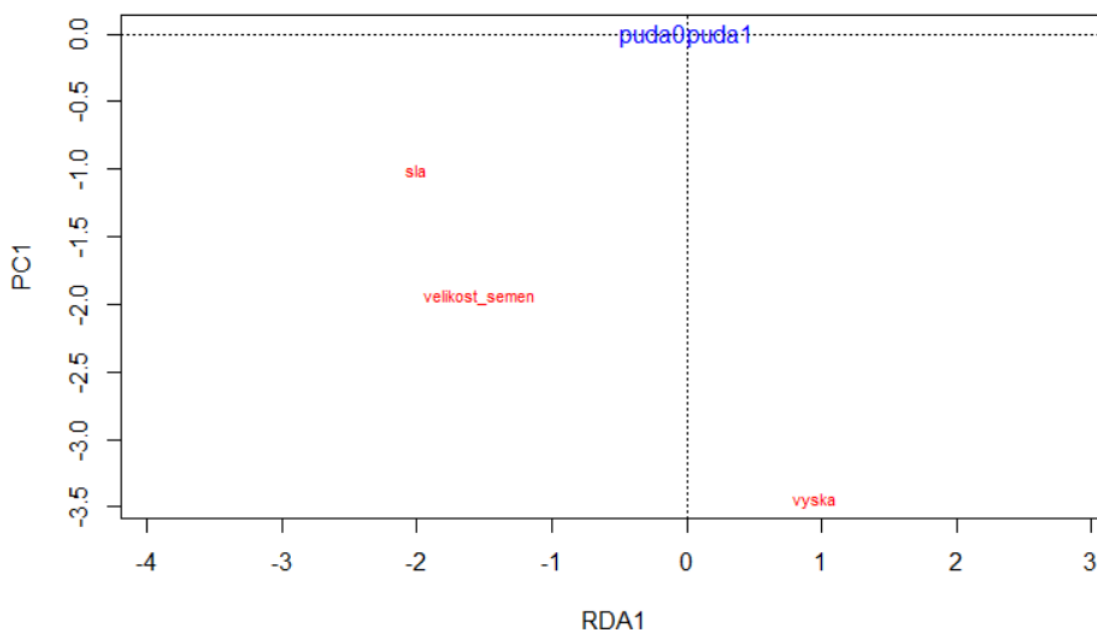
Obr. 11: Vliv typu půdy na vegetační složení v roce 2022, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 12,9 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

Vliv interakce typu půdy a času na druhové složení je také průkazný ($p = 0,002$; adj. $R_{\text{squared}} = 0,03597$; viz Tab. 4) (Obr. 12) a vztah více odráží změny v čase na vytěženém materiálu z lomu. Například *Tussilago farfara* nebo *Erysimum crepidifolium* se na tomto substrátu vyskytovaly v prvních letech, zatímco *Picris hieracioides* nebo *Erigeron annuus* se zde vyskytují více v současnosti.



Obr. 12: Vliv závislosti druhového složení na typu půdy a čase v interakci, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 3,9 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

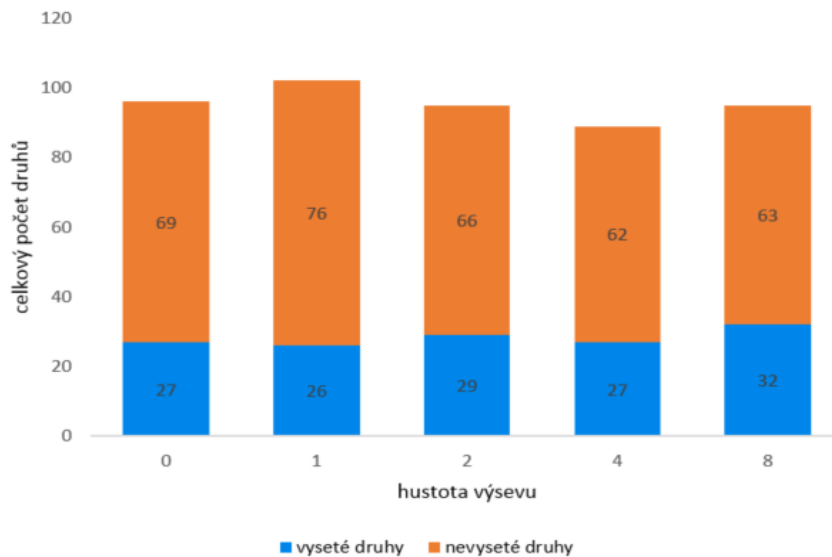
Plochy na různých typech půd se také liší z hlediska funkčních vlastností druhů ($p = 0,002$, adj. $R_{\text{squared}} = 0,16$; viz Tab. 4) (Obr. 13). Na ornici jsou více druhy s vyšší SLA a velikostí semen, naopak na vytěženém materiálu z lomu jsou druhy s větší výškou.



Obr. 13: Vliv typu půdy na funkční vlastnosti rostlin na plochách v čase, RDA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 21,9 % variability, druhou osou 49,9 %).

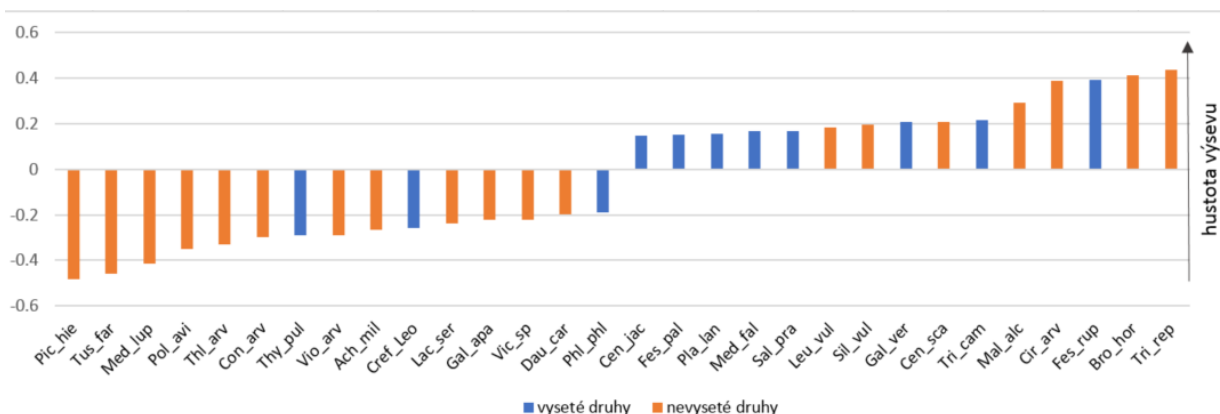
3.5 Vliv různých hustot výsevu semen na vegetační složení a funkční vlastnosti rostlin na plochách

Celkový počet druhů se mezi jednotlivými hustotami výsevu neliší (testováno pomocí lineárního modelu, $p = 0,52$) (Obr. 14). Stejně tak se neliší celkový počet nalezených vysetých druhů mezi jednotlivými hustotami výsevu ($p = 0,08$) (Obr. 14).



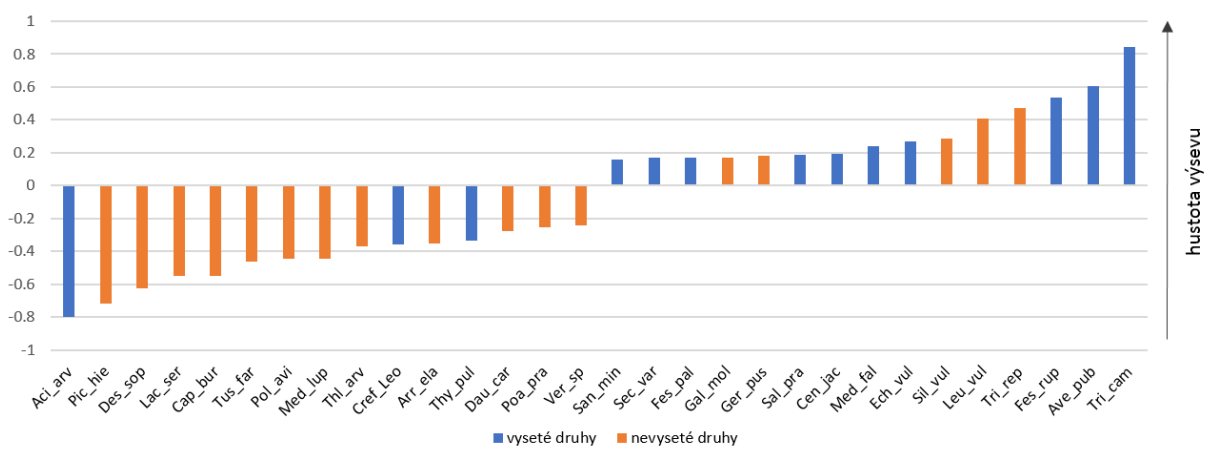
Obr. 14: Celkový počet druhů na plochách s jednotlivými hustotami výsevu.

Ačkoliv se druhové složení vegetace v rámci různých hustot výsevu signifikantně liší, vysvětlená variabilita je poměrně nízká (CCA, $p=0,002$; adj. R squared = 0,002; viz Tab. 4) (Obr. 15). S rostoucí hustotou výsevu přibývají druhy jako *Trifolium repens*, *Bromus hordaceus*, *Festuca rupicola* nebo *Cirsium arvense*. Naopak ubývá například *Picris hiercioides*, *Tussilago fraxifera*, *Medicago lupulina* nebo *Thlaspi arvense*. Na plochách s nízkou hustotou výsevu převažují spíše nevysětřené druhy, na plochách s vyššími hustotami výsevu je podíl vyšetřých druhů vyšší.



Obr. 15: Vliv hustoty výsevu na vegetační složení, CCA analýza ($p=0,002$, první osou vysvětleno 0,4 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

Zaměříme-li se na vegetační složení na jednotlivých typech půdy zvláště, je vliv hustoty výsevu průkazný pouze na vytěženém materiálu z lomu ($p = 0,002$ adj. $Rsq = 0,0072$; viz Tab. 4), na ornici nemá hustota výsevu průkazný vliv ($p = 1,3089$, adj $Rsq=0,0009$; viz Tab. 4). Na šterku se při vyšších hustotách výsevu objevují druhy jako *Trifolium campestre*, *Avenula pubescens*, *Festuca rupicola* nebo *Trifolium repens*. Naopak při nízkých hustotách výsevu se na plochách vyskytuje *Acinos arvensis*, *Picris hieracioides*, *Descurainia sophia*, nebo *Capsella bursa-pastoris* (Obr. 16). Vysvětlená variabilita (adj. $Rsq = 0,0072$) je v tomto případě vyšší než u modelu zahrnující oba typy půd dohromady.

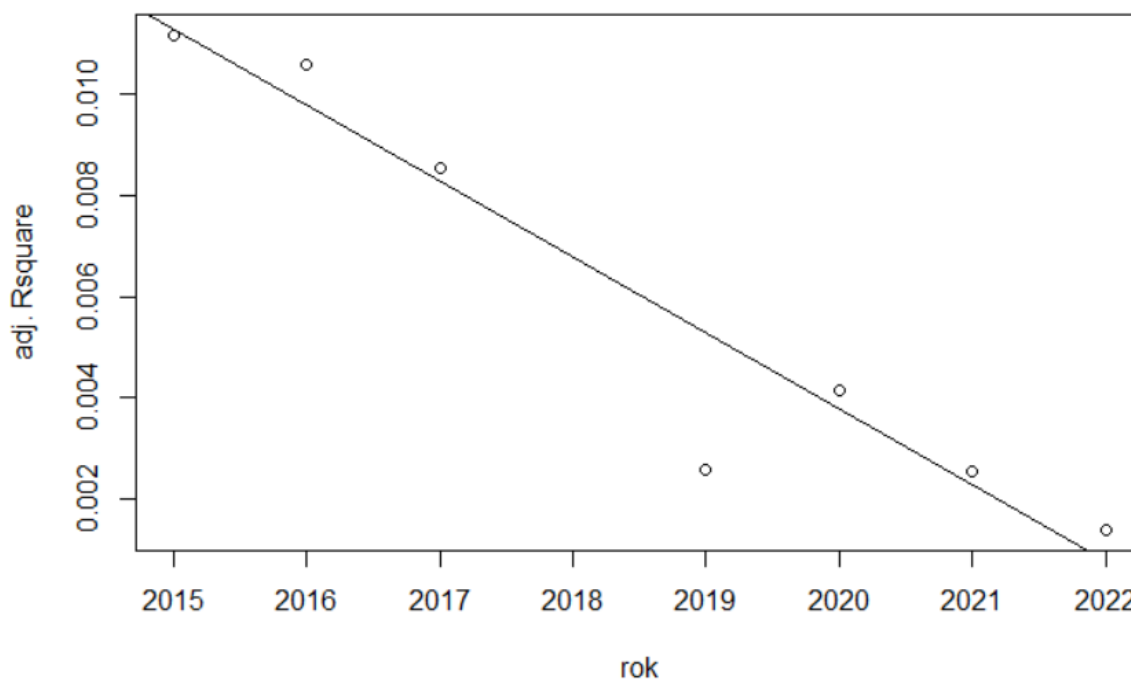


Obr. 16: Vliv hustoty výsevu na vegetační složení na vytěženém materiálu z lomu, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 1 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

Průkazný je také vliv interakce hustoty výsevu a času na druhové složení ($p = 0,002$; adj. $Rsq = 0,0355$; viz Tab. 4). Vliv hustoty výsevu v čase klesá (Tab. 3, Obr. 17). Lze tak pozorovat podle klesající vysvětlené variability (otestováno lineárním modelem, $p = 0,0007$, $Rsq = 0,917$). V poslední 2 letech je vliv hustoty výsevu dokonce nesignifikantní.

Tab. 3: Testové hodnoty CCA analýz vlivu hustoty výsevu na složení společenstva v jednotlivých letech.

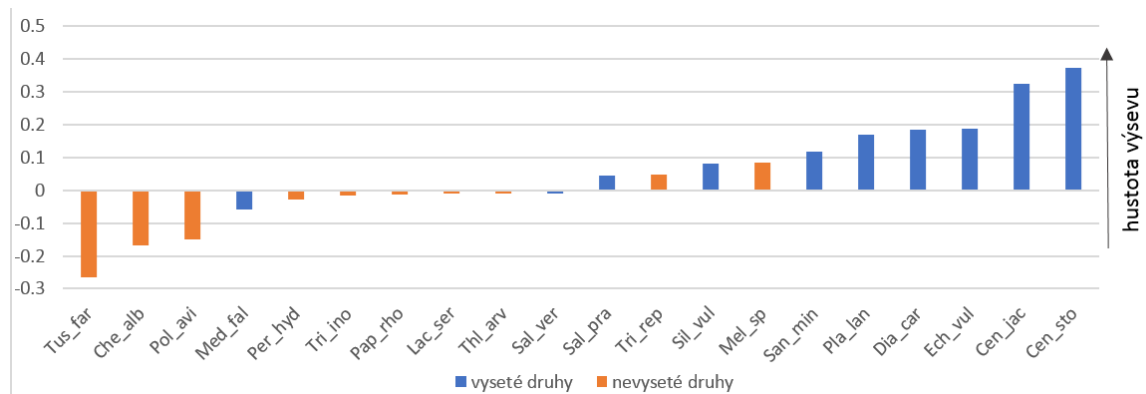
rok	adj Rsquare	p hodnota
2015	0,011	0,002
2016	0,011	0,004
2017	0,009	0,002
2019	0,003	0,046
2020	0,004	0,028
2021		0,062
2022		0,072



Obr. 17: adj. Rsquared z CCA analýz vlivu hustoty výsevu na složení společenstva v jednotlivých letech zvlášť.

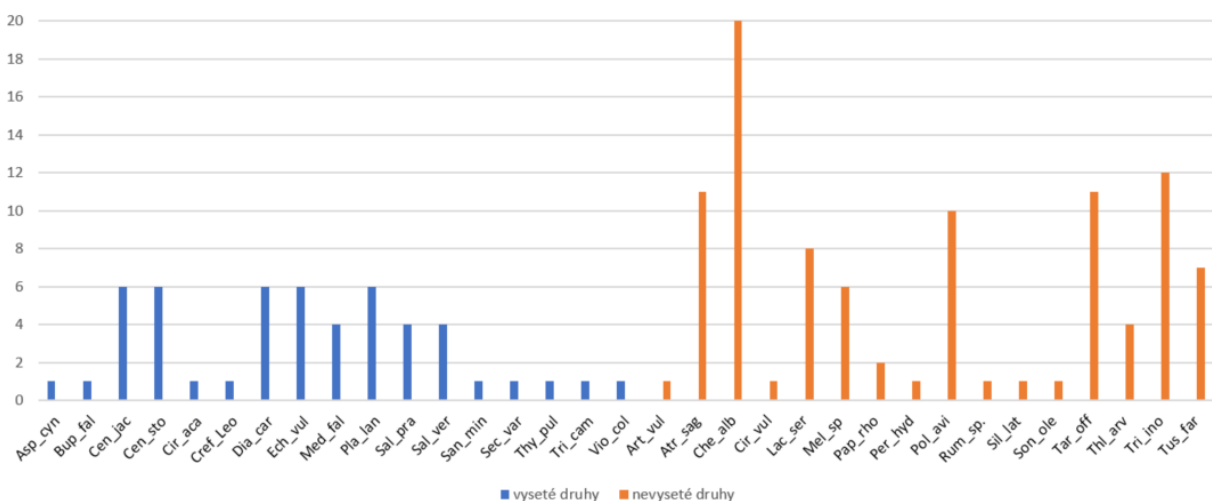
V roce 2015, tedy v prvním roce od výsevu, byl efekt hustoty výsevu nejvyšší. Při rozdělení dat na 2 části podle typu půdy se ukázalo, že na ornici nemá hustota výsevu signifikantní vliv ($p = 0,7325$), zatímco na vytěženém materiálu z lomu je vliv hustoty výsevu průkazný ($p = 0,002$) a má vysokou vysvětlující hodnotu (adj. Rsquared = 0,10). Z Obr. 18 lze vidět, že na vytěženém materiálu z lomu na plochách s nejvyššími

hustotami výsevu v prvním roce převažovaly druhy vyseté, zatímco na plochách s nejnižšími hustotami výsevu převažovaly spíše druhy nevyseté.

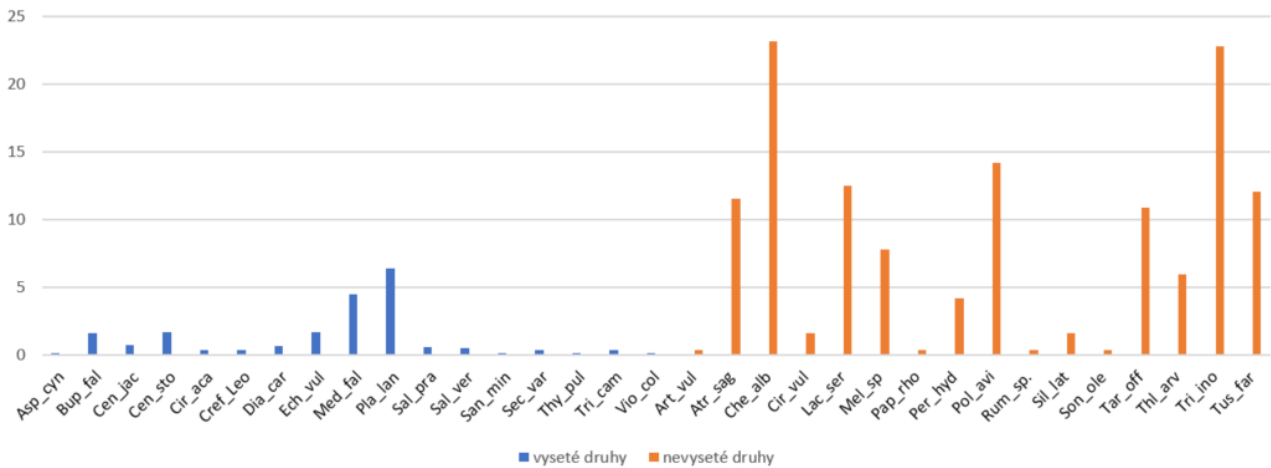


Obr. 18: Vliv hustoty výsevu na vegetační složení v roce 2015, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 2,3 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

Na kontrolních plochách bez výsevu se již v roce 2015 vyskytovaly nevyseté i vyseté druhy. V četnosti se vyseté a nevyseté druhy neliší (testováno pomocí ANOVA, $p = 0,16$) (Obr. 19), ale u celkové pokryvnosti je situace rozdílná, vyseté druhy mají signifikantně nižší pokryvnost, než nevyseté (testováno pomocí ANOVA, $p = 0,0007$) (Obr. 20).

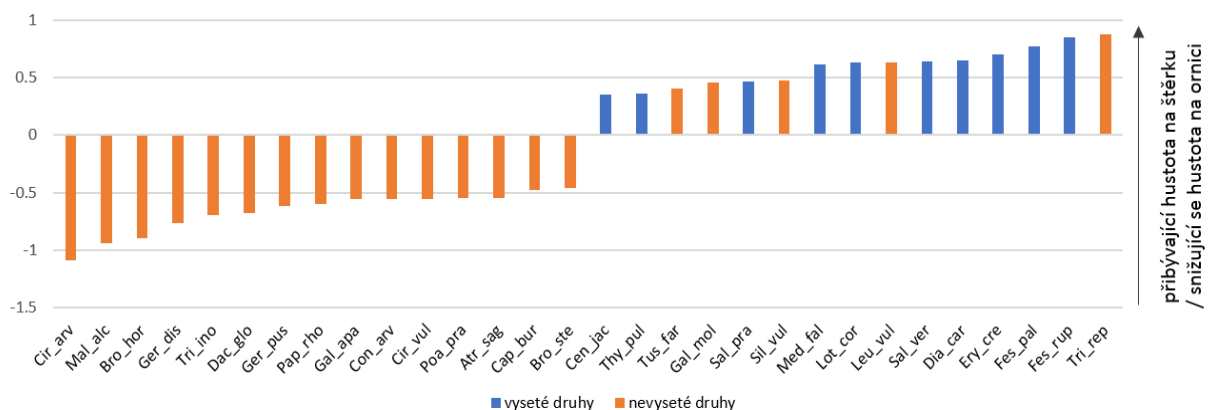


Obr. 19: Celkové četnosti druhů v roce 2015 na kontrolních plochách bez výsevu.



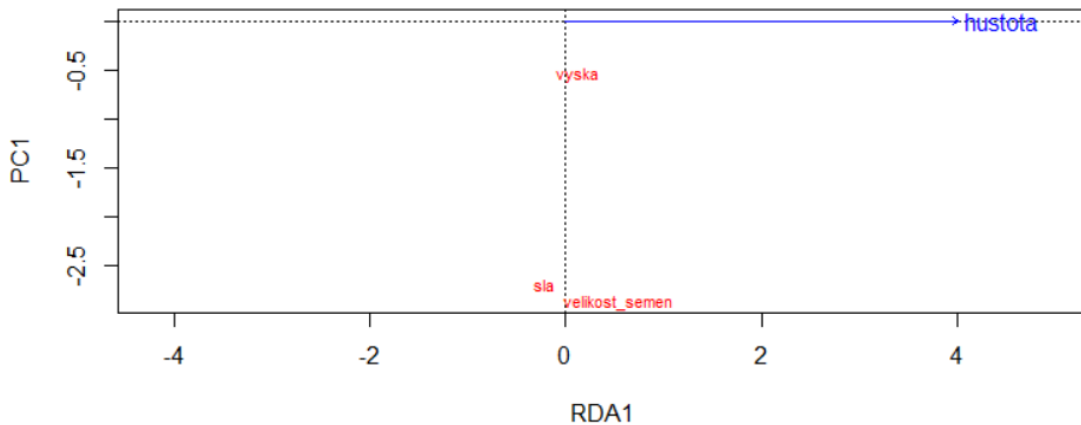
Obr. 20: Celkové pokryvnosti v roce 2015 na kontrolních plochách bez výsevu. Uvedené hodnoty jsou uvedeny v odmocninách.

Průkazně také vyšel vliv interakce typu půdy a hustoty výsevu na druhové složení ($p=0,002$; adj. R squared = 0,0306; viz Tab. 4) (Obr. 21). Zobrazené druhy se záporným koeficientem (např. *Cirsium arvense*, *Malva alcea*, *Bromus hordaceus*) se vyskytují ve větší míře na ornici při vyšších hustotách výsevu, zatímco druhy s kladným koeficientem (např. *Trifolium repens*, *Festuca rupicola*, *Festuca pallens*) se vyskytují zejména na vytěženém materiálu z lomu při vyšších hustotách výsevu. Jak je vidět na Obr. 21, vyšetřené druhy se vyskytují víc na vytěženém materiálu z lomu, a to v největších frekvencích na plochách s nejvyšší hustotou výsevu.



Obr. 21: Vliv interakce typu půdy a hustoty výsevu na druhové složení, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 3,2 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

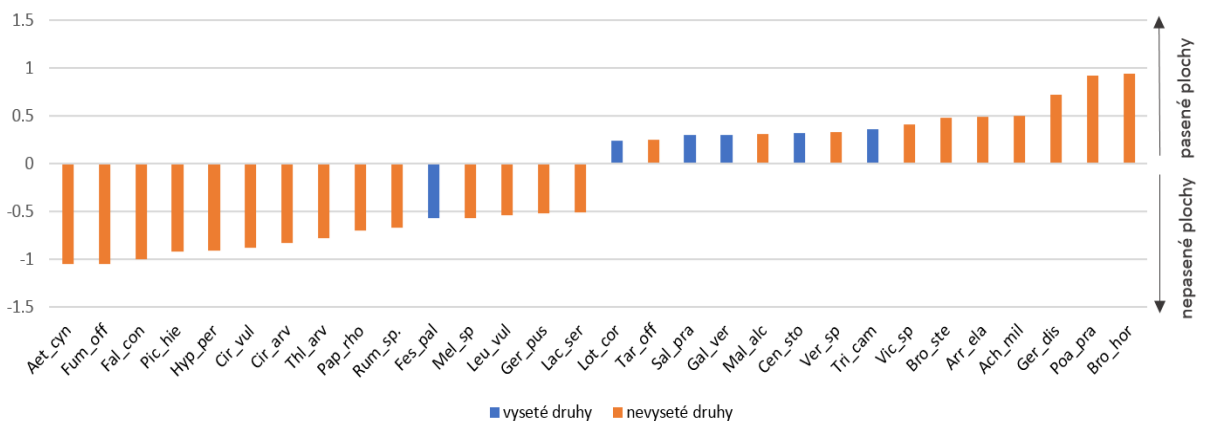
Vliv hustoty výsevu na funkční vlastnosti rostlin ve společenstvu je průkazný pouze na vytěženém materiálu z lomu ($p = 0,006$, adj. R squared = 0,008) (Obr. 22). Na tomto substrátu se na plochách s vyššími hustotami výsevu nachází více druhů s většími semeny, a naopak s nižší specifickou listovou plochou. Výška rostlin se s hustotou výsevu příliš nemění.



Obr. 22: Vliv hustoty výsevu na funkční vlastnosti rostlin na vytěženém materiálu z lomu, RDA analýza ($p = 0,005$, první osou vysvětleno 1,1 % variability, druhou osou 52,2 %).

3.6 Vliv pastvy na pokryvnost druhů a funkční vlastnosti rostlin na plochách

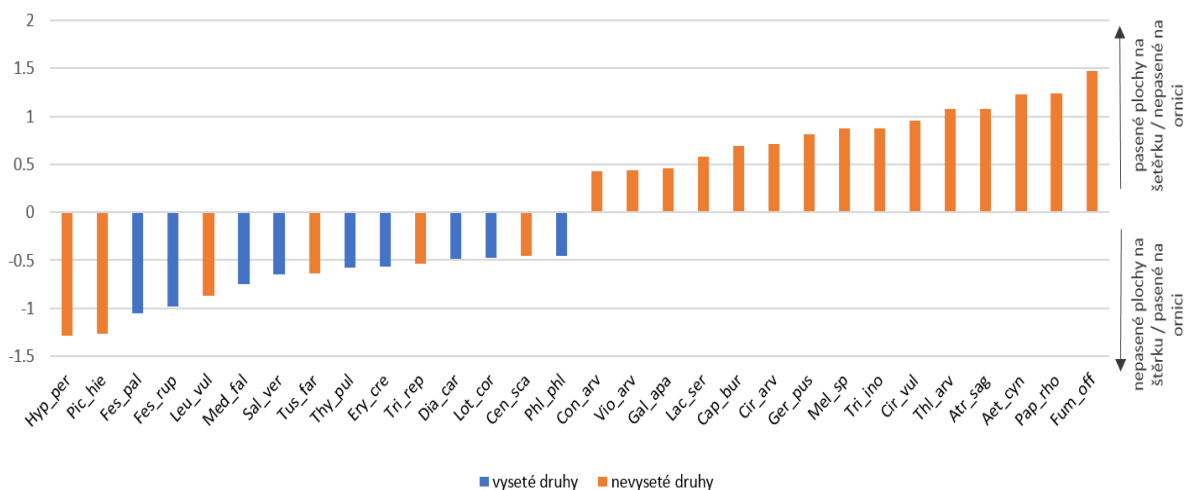
Vliv pastvy na výsledná společenstva je průkazný ($p = 0,002$, adj. Rsquared = 0.014; viz Tab. 4) (Obr. 23). Na nepasených plochách se nejvíce vyskytují druhy jako *Aethusa cynapium*, *Fumaria officinalis*, *Fallopia conovlvulus* nebo *Hypericum perforatum*. Až



Obr. 23: Vliv pastvy na druhové složení, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 1,8 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

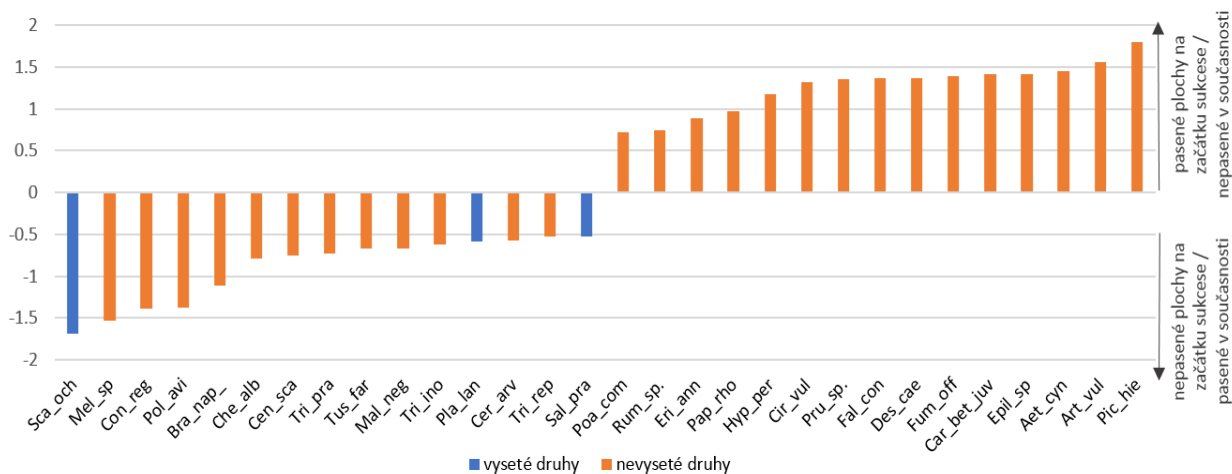
na druh *Festuca pallens* se zde převažují výhradně nevyseté druhy. Na pasených plochách je nejvíce například *Bromus hordaceus*, *Poa pratensis*, *Arrhenaterum elatius* nebo *Bromus sterilis*. Také zde převažují zejména nevyseté druhy, ačkoliv poměr vysetých druhů je vyšší než na nepasených plochách.

Vliv pastvy v interakci s typem půdy je také signifikantní ($p = 0,002$, adj. $R_{\text{suared}} = 0,030$; viz Tab. 4) (Obr. 24). S první osou záporně korelované druhy jako *Hypericum perforatum*, *Picris hieracioides*, *Festuca pallens* nebo *Leucanthemum vulgare* jsou druhy převážně se vyskytující na nepasených plochách na vytěženém materiálu z lomu. Pozitivně korelované druhy, jako *Papaver rhoeas*, *Aethusa cynapium*, *Cirsium vulgare* nebo *Geranium pusillum*, se vyskytuje převážně na nepasených plochách na ornici.



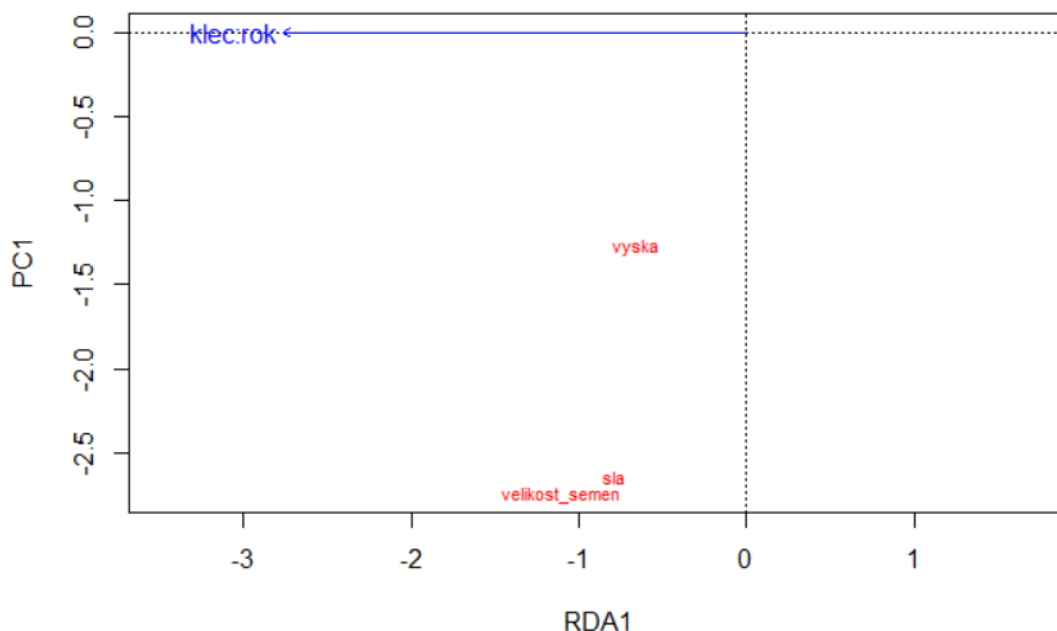
Obr. 24: Vliv interakce pastvy a typu půdy na druhové složení, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 3,4 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

Průkazný je také vliv přítomnosti pastvy v interakci s časem ($p = 0,002$, adj. $R_{\text{suared}} = 0,03$, viz Tab. 4) (Obr. 25). Negativně korelované druhy s první osou jako například *Consolida regalis* nebo *Polygonum aviculare* se na plochách vyskytovaly spíše na začátku sukcese a následně byl zlikvidovány pastvou, *Scabiosa ochroleuca* a *Melilotus* sp. se v současnosti vyskytují spíše na pasených plochách. Oproti tomu pozitivně korelované *Aethusa cynapium*, nebo *Fumaria officinalis* jsou druhy, které se na plochách v současnosti vyskytují zejména na nepasencých plochách.

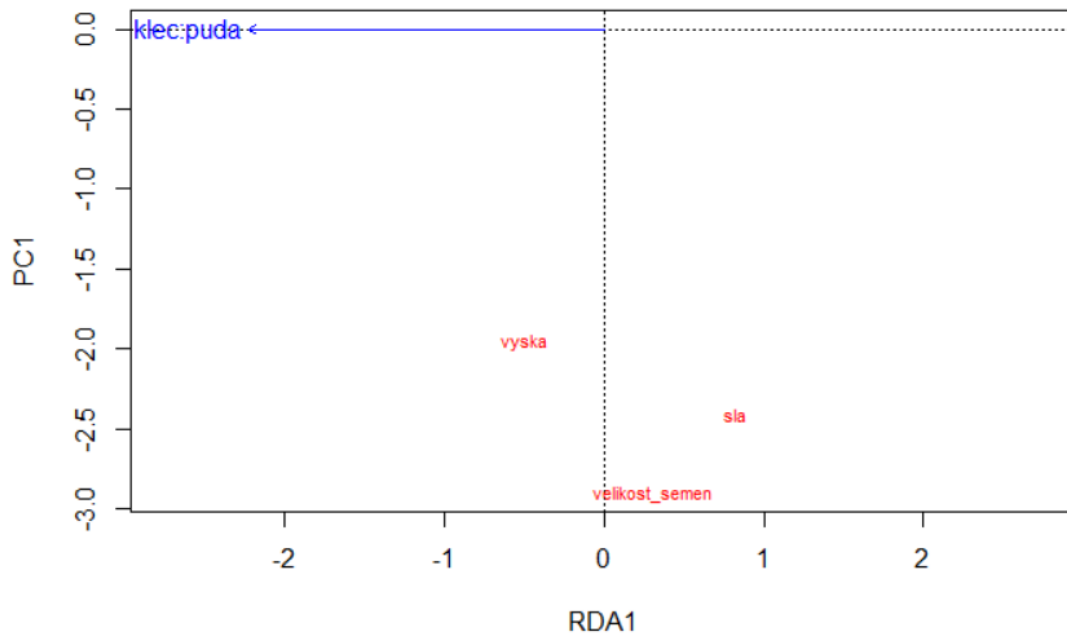


Obr. 25: Vliv interakce pastvy a času na druhové složení, CCA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 2,98 % variability). Zobrazeny skóry druhů na první kanonické ose.

Pastva nemá signifikantní vliv na funkční vlastnosti druhů v společenstvu (Tab. 4). Vliv času a přítomnosti pastvy je průkazný ($p = 0,002$, adj. Rsquared = 0,076, viz Tab. 4) (Obr. 26), stejně tak je tomu i u vlivu pastvy v interakci s typem půdy ($p = 0,004$, adj. Rsquared = 0,032; viz Tab. 4) (Obr. 27).



Obr. 26: Vliv pastvy v interakci s časem na funkční vlastnosti rostlin, RDA analýza ($p = 0,002$, první osou vysvětleno 7,9 % variability, druhou osou 56,6 %).



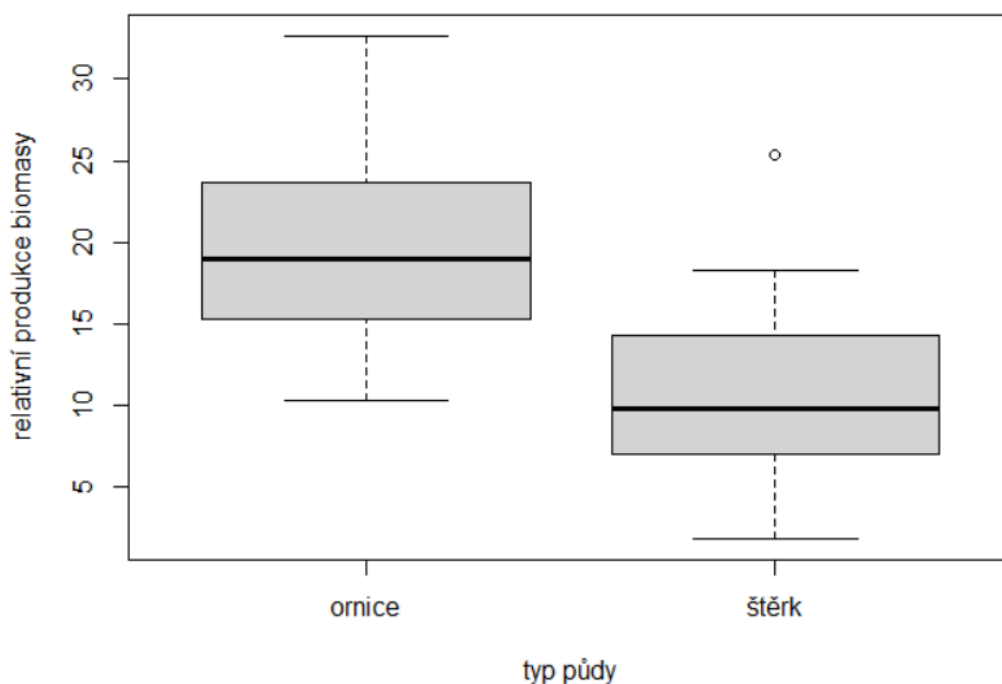
Obr. 27: Vliv pastvy v interakci s typem půdy na funkční vlastnosti rostlin, RDA analýza ($p = 0,003$, první osou vysvětleno 3,6 % variability, druhou osou 63,2 %).

Tab. 4: Výsledky testů CCA analýz.

Datový soubor	Vysvětlující proměnná	Druhé složení			Funkční vlastnosti		
		P hodnota	F hodnota	adj. R square	P hodnota	F hodnota	adj. R square
Pasené plochy	Hustota výsevu	0,002	2,56	0,0021	0,148	0,81	
	Hustota výsevu na ornici	1,309	0,12		0,711	0,12	
	Hustota výsevu na štěrku	0,002	3,55	0,0072	0,006	3,95	0,008
	Typ půdy	0,002	45,73	0,0555	0,002	194,94	0,158
	Typ půdy v interakci s hustotou výsevu	0,002	23,06	0,0306	0,002	60,79	0,079
	Čas	0,002	52,27	0,0695	0,002	262,5	0,273
	Čas v interakci s hustotou výsevu	0,002	26,70	0,0355	0,002	120,3	0,146
	Čas v interakci s typem půdy	0,002	28,41	0,0360	0,002	48,41	0,056
Plochy s hustotou výsevu 2 g/m ²	Přítomnost pastvy	0,002	5,07	0,0141	0,254	0,95	
	Typ půdy	0,002	16,21	0,050	0,002	49,34	0,116
	Čas	0,002	16,60	0,054	0,002	85,13	0,237
	Přítomnost pastvy v interakci s typem půdy	0,002	9,56	0,030	0,004	9,98	0,032
	Přítomnost pastvy v interakci s časem	0,002	8,31	0,026	0,002	23,28	0,076

3.7 Vliv hustoty výsevu, typu půdy a přítomnosti pastvy na relativní produkci biomasy a celkovou pokrývnost

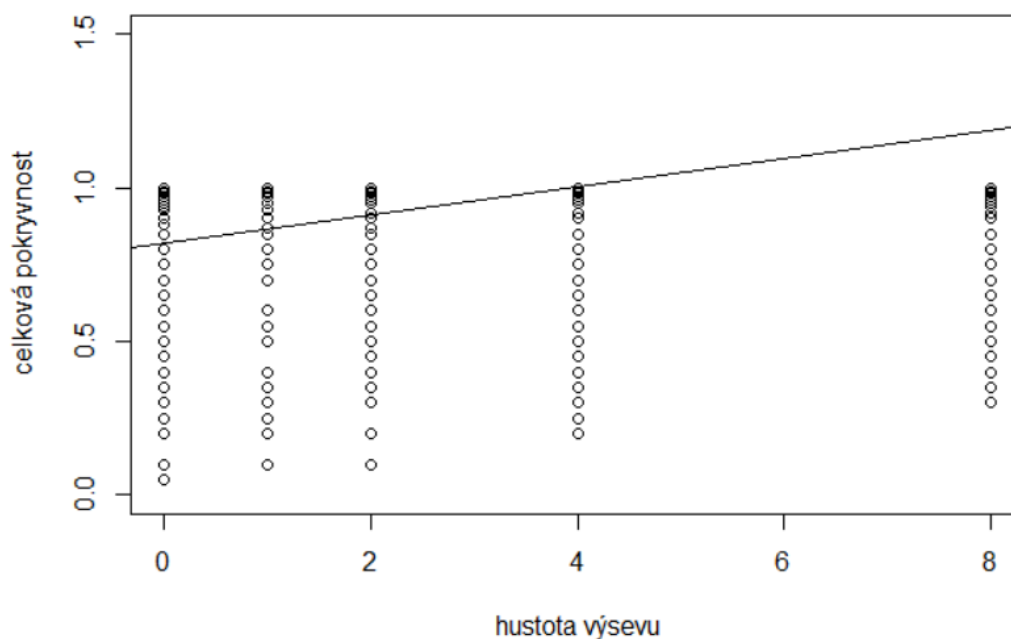
Analýza závislosti relativní produkce biomasy na hustotě výsevu vyšla neprůkazně ($p = 0,46$; vysvětleno 0,2 % variability), hustota výsevu tedy nemá na produkci biomasy vliv. Naopak analýza závislosti produkce relativní biomasy na typu půdy byla průkazná u obou podsouborů ($p < 0,001$ pro oba podsoubory; vysvětleno 42,25 % variability pro první, resp. 49,6 % pro druhý podsoubor), na ornici je větší produkce biomasy, než na vytěženém materiálu z lomu (Obr. 28). Výsledky analýzy obou podsouborů vyšly velmi podobně.



Obr. 28: Vliv typu půdy na relativní produkci biomasy.

Výsledky analýzy závislosti relativní produkce biomasy na pastvě byla opět neprůkazné ($p = 0,44$), stejně jako závislost na hustotě výsevu v interakci s typem půdy ($p = 0,211$) a na přítomnosti pastvy s typem půdy ($p = 0,546$).

Hustota výsevu má signifikantní vliv na celkovou pokryvnost vegetace na plochách ($p < 0,001$, $R^2 = 31,63$), kdy na plochách s vyšší hustotou výsevu stoupá celková pokryvnost. Výsledná regresní přímka na Obr. 29 sice ukazuje i hodnoty nad 1, tedy nad 100% pokryvnost, reálně však pokryvnost na plochách může dosáhnout maximálně 100 %.



Obr. 29: Vliv hustoty výsevu na celkovou pokryvnost vegetace.

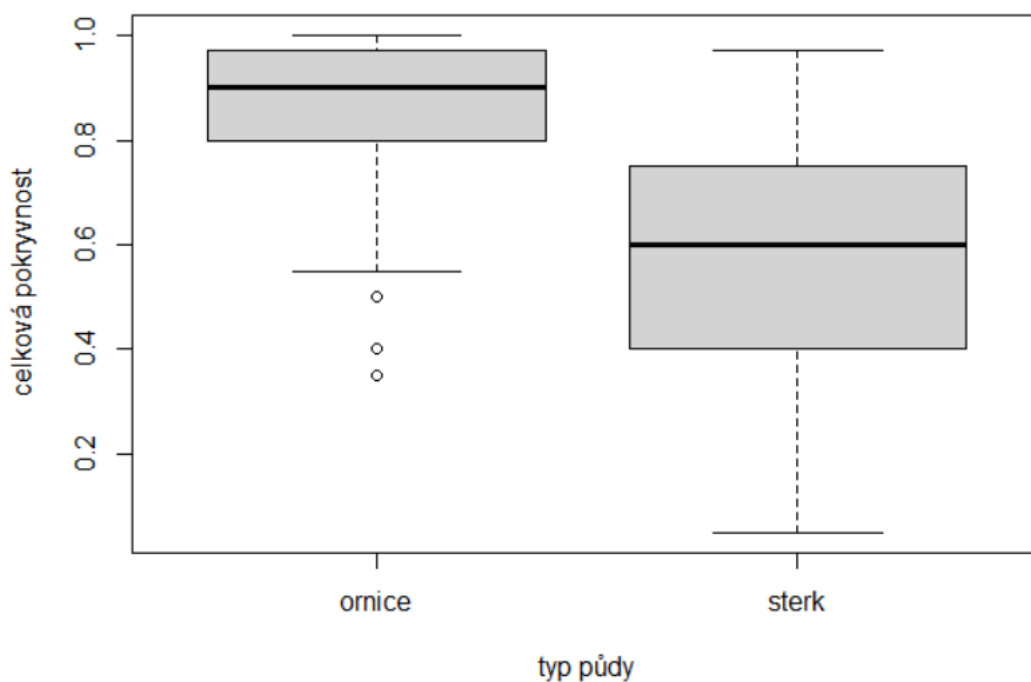
Podíváme-li se na vliv hustoty výsevu na jednotlivých typech půdy zvlášť, je tento vliv signifikantní pouze na vytěženém materiálu z lomu, na ornici nemá hustota výsevu signifikantní vliv.

typ půdy	p	R ²
ornice	0,06	0,022
štěrk	<0,001	0,256

Co se týče vlivu hustoty výsevu v jednotlivých letech zvlášť, průkazný je pouze v prvních 5 letech od výsevu, konkrétně v letech 2016, 2017 a 2019 (z roku 2015 nejsou dostupná data o celkové pokryvnosti).

rok	p	R ²
všechny	<0,001	0,3163
2016	<0,001	0,3941
2017	<0,001	0,6287
2019	<0,001	0,498
2020	0,275	0,5302
2021	0,365	0,3538
2022	0,252	0,3354

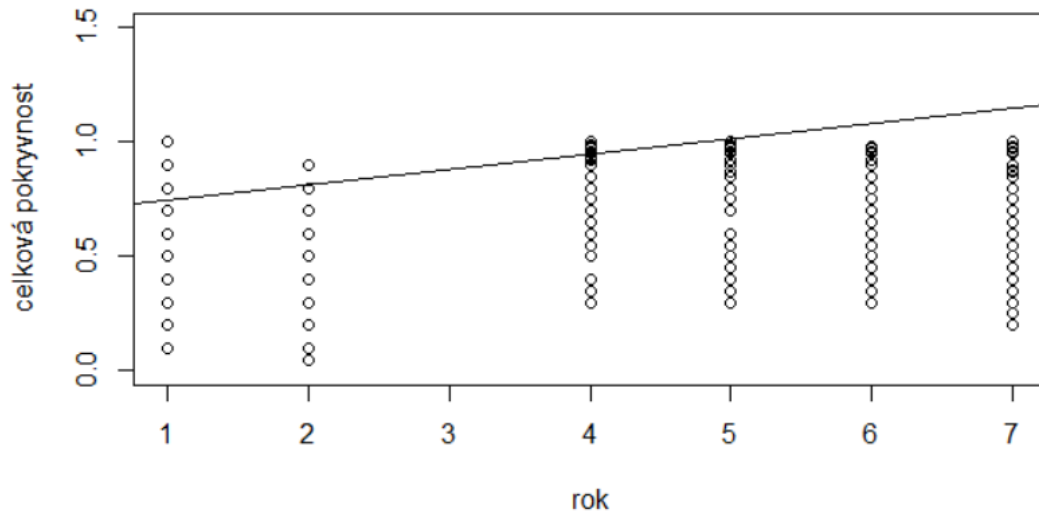
Typ půdy má signifikantní vliv na celkovou pokryvnost u obou podsouborů (na podsouboru s pasenými plochami: $p < 0,001$, $R^2 = 0,303$; na podsouboru s plochami o hustotě výsevu 2 g/m^2 : $p < 0,001$, $R^2 = 0,198$). Na ornici mají plochy vyšší celkovou pokryvnost vegetace než na vytěženém materiálu z lomu (Obr. 30).



Obr. 30: Vliv typu půdy na celkovou pokryvnost vegetace na plochách.

Celková pokryvnost vegetace na plochách se v průběhu času v případě podsouboru s pasenými plochami signifikantně zvyšuje ($p < 0,001$, $R^2 = 0,316$). Vyobrazená regresní přímka na Obr. 31 opět ukazuje i hodnoty vyšší než 1 (tedy více jak 100% pokryvnost),

ve skutečnosti však nelze tuto hodnotu přesáhnout. Zároveň je z Obr. 31 vidět, že celková pokryvnost se zvyšovala zejména v prvních 4 letech od výsevu, v dalších letech už se příliš neměnila. Na podsouboru s plochami o hustotě 2 g/m² je závislost nesignifikantní ($p = 0,4$).



Obr. 31: Vliv času na celkovou pokryvnost vegetace na plochách. Zobrazený vztah je na podsouboru s pasenými plochami.

Přítomnost pastvy nemá na celkovou pokryvnost signifikantní vliv ($p = 0,65$).

4 Diskuse

Mým cílem je porovnat srovnat vliv různých hustot výsevu na výsledná společenstva z hlediska poměru vysetých a nevysetých druhů nacházejících se na plochách i z hlediska funkčních vlastností druhů. Dále také porovnat vývoj vegetace na dvou odlišných substrátech a posoudit vliv pastvy.

4.1 Vývoj vegetace v čase

Na lokalitě bylo zaznamenáno v průběhu času celkem 142 druhů, z toho 36 vysetých a 106 nevysetých. Celkově však můžeme konstatovat, že výsev byl poměrně úspěšný, protože z původně vysévaných 41 druhů se během let na lokalitě objevilo 36 druhů, tedy 88 %. V posledním roce se na lokalitě vyskytovalo 25 vysetých druhů. Podle přehledu od Török et al. (2011) se v případech, kdy byl pro obnovu travního společenstva ve směsi použit podobný počet druhů, se na daných lokalitách uchytil podobný poměr druhů (od přibližně 50 % až po 96 % vysetých druhů). Nevyklíčení několika druhů v této míře je tedy celkem přirozené. Několik vysetých druhů se v průběhu času na lokalitě vůbec neobjevilo, konkrétně *Falcaria vulgaris*, *Pilosella officinalis*, *Eryngium campestre*, *Carlina vulgaris* nebo *Helianthemum grandiflorum*. Jsou to však druhy, které byly ve vysévané směsi zastoupeny v nízkém poměru, jejich absence na výsypce proto může být způsobena nedostatečným množstvím semen. Jiné vyseté druhy, které byly také ve vysévané směsi v nízkém poměru, například *Arabis hirsuta*, *Acinos arvensis* nebo *Teucrium chamaedrys*, se na lokalitě objevily, v tomto případě ale mohlo podpořit výsevovou rekultivaci nejspíše i přirozené šíření druhů z nedaleké Pání hory, kde se tyto druhy přirozeně vyskytují (Mayerová, 2009). Svou roli mohla hrát i samotná kvalita semen. Dodaná semena druhů, které se na lokalitě neobjevily, mohla být nějakým způsobem poškozena a neschopna klíčení. Svou roli mohl hrát i samotný genetický původ semen a nepřizpůsobení daných druhů na dané klimatické podmínky (Schröder & Prasse, 2013).

Vegetace se na výsypce obecně mění v čase. V průběhu času mizí z lokality některé ruderalní druhy, jako například *Chenopodium album*, *Atriplex sagittata* nebo *Malva neglecta*. To souvisí s pokračující sukcesí a zarůstání druhy, které jsou kompetičně silnější (Grime, 1977), zejména travami (*Dactylis glomerata*, *Lolium perenne*, *Poa compressa*, *Phleum phleoides*), které jsou také lépe přizpůsobené pastvě (Stammel et al., 2003), která na lokalitě každoročně probíhá. Tento jev, tedy že se zpočátku na

lokalitě objeví ruderalní druhy, které postupem času mizí, je při obnově travních porostů pomocí výsevové rekultivace poměrně běžný (Scotton, 2018; Stevenson et al., 1995). V mém případě však také mizí některé vyseté druhy (*Centaurea jacea*, *Erysimum crepidifolium*, *Scabiosa ochroleuca*), kterým nejspíš nevyhovuje postupné zarůstání ploch a kompetice ostatních druhů (Nitschke et al., 2010; Partzsch et al., 2018) v kombinaci s menším zastoupením semen ve vysévané směsi (u *Erysimum crepidifolium* a *Scabiosa ochroleuca*). Zároveň se však objevují jiné vyseté druhy (*Acinos arvensis*, *Avenula pubescens*, *Phleum phleoides*), které napomáhají směřovat sukcesi směrem ke společenstvu suchých trávníků.

V průběhu času se také mění funkční vlastnosti rostlin na plochách, kdy v čase přibývají druhy s většími semeny, vyšší SLA a větší výškou. Co se týče SLA, její hodnota během sukcese obvykle spíše klesá (Kelemen et al., 2017; Lindborg & Eriksson, 2005), ale někdy až po vývoji v řádu desítek let, v souvislosti se zarůstáním stromy (Kelemen et al., 2017). Obecně má časový vývoj na tuto funkční vlastnost jen velmi malý nebo žádný vliv (Kahmen & Poschold, 2004; Kelemen et al., 2017), mnohem více ji ovlivňují podmínky prostředí (Kahmen & Poschold, 2004). Vyšší SLA je spojena s vyšším množstvím živin a s tím spojenou vyšší kompetiční schopností rostlin (Knops et al., 2000; Ordoñez et al., 2009). Je tedy možné, že v průběhu času vzrostlo množství živin v půdě dostupné pro rostliny, buď z okolí, nebo pomocí trusu pasoucích se zvířat. Na vytěženém materiálu z lomu, kde zpočátku nebyla vyvinuta půda, mohlo dojít k postupnému tvoření půdního profilu a uvolňování více živin dostupných pro rostliny. Také ke zvýšení průměrného SLA na plochách mohlo dojít v důsledku postupného zarůstání ploch vegetací, a tedy ke zvýšení kompetičního tlaku. Velikost semen i výška rostlin podle očekávání v čase vzrostla v důsledku vyšší nadzemní kompetice (Kahmen & Poschold, 2004; Lindborg & Eriksson, 2005).

4.2 Typ půdy

Typ půdy má při obnově travních společenstev významný vliv na celou strukturu společenstva, diverzitu i přítomnost nepůvodních druhů (Baer et al., 2004; Gornish & Ambrozio dos Santos, 2016). Typ půdy má i v mém studijním systému výrazný vliv na výsledné složení společenstva a ovlivňuje jej mnohem více než hustota výsevu. Na ornici jsou zejména polní plevely a ruderalní druhy, preferující živinami bohatší stanoviště a osidlující zejména místa ovlivněná lidskou činností. V travních porostech,

kteřá bývala dřívě pole, jsou běžně v půdě přítomná semena mnoha polních plevelů a ruderních druhů (Halassy, 2001; Karlík & Poschlod, 2014; Török et al., 2011), z nichž mnohá mohou přetrvat v semenné bance i několik desítek let (Darlington, 1931; Halassy, 2001). Tato semenná banka se jistě nachází i na části výsypky lomu Čeřinka, která byla zavezena ornici z nedalekého pole a vývoj vegetace na ní může být obdobný tomu na bývalých polích. Jednoleté polní plevele mají obvykle semena se schopností dlouhé dormance (Baskin & Baskin, 1985) a mohou klíčit i mnoho let po začátku rekultivace, což může její úspěšnost výrazně negativně ovlivnit.

V tomto případě se zdá, že výsevová rekultivace na ornici nebyla příliš úspěšná a na daných plochách se více uchytily druhy právě z půdní semenné banky a našířené z okolí. Na jiných lokalitách se však obnovit společenstvo suchých trávníků pomocí výsevové rekultivace na bývalých zemědělských půdách podařilo (Prach et al., 2013; Török et al., 2011). Je nutné však podotknout, že v případě zmíněných studií byly použity ve směsi převážně semena druhů trav, a to zejména výběžkatých, zatímco v mojí práci byl použit mnohem vyšší poměr jiných bylin a trsnatých trav, které nejsou tolik přizpůsobené k pastvě nebo kosení (Díaz et al., 2007) a zároveň jsou to pomalu rostoucí druhy z méně úživných stanovišť a na substrátu s vysokým obsahem živin a bohatou semennou bankou polních plevelů nejsou tolik schopné ustát kompetici s plevelely a ruderními druhy. Tento typ půdy může být také pro druhy polních plevelů a ruderních druhů vhodnější, protože obsahuje větší množství živin a více zadržuje vlhkost.

I po osmi letech od výsevu typ půdy výrazně ovlivňuje druhové složení výsledného společenstva. Už v prvním roce na ornici převažovaly druhy nevyseté, zatímco na štěrku byl poměr vysetéch druhů výrazně větší. Na samém počátku sukcese proto neměl výsev semen na vývoj vegetace příliš velký vliv a jak bylo již zjištěno výše, tak ani v průběhu času nebyl vývoj druhů z vysévané směsi příliš úspěšný. V současné době jsou stále velmi patrné rozdíly ve složení společenstva mezi typy půdy, jen je již méně druhů, které jsou výrazněji vázané pouze na jeden typ půdy (například *Rumex* sp vázaný v roce 2015 na štěrku, nebo *Taraxacum officinalis* a *Lactuca serriola* vázané v témže roce na ornici nejsou v současnosti výrazně vázané na žádný typ půdy). To svědčí o tom, že se mohly druhy šířit z jednoho typu půdy na druhý. Zároveň však na každém typu začal postupně dominovat určitý druh, na štěrku *Lotus corniculatus* a na ornici

Bromus sterilis. Stále však převažují na ornici druhy nevyseté a na vytěženém materiálu z lomu druhy vyseté.

Typ půdy v interakci s časem také přináší zajímavé výsledky. S první osou negativně korelované *Viola arvensis*, *Centurea stoebe* a *Echium vulgare* se podle dalších výše zmíněných analýz vyskytovaly více na začátku vývoje na vytěženém materiálu z lomu a nyní na tomto substrátu spíše mizí. Tyto druhy se obvykle nachází v mladších fázích sukcese a hůře snáší okolní zarůstání (Callaway et al., 2011; Roubíčková et al., 2017). Navíc jsou tyto druhy jednoleté, dvouleté, nebo krátce vytrvalé a tyto druhy se na lokalitách vyskytují spíše během rané fáze sukcese a s postupem času klesají (Foster & Tilman, 2000). Naopak pozitivně korelované *Hypericum perforatum* a *Plantago media* se v současné době vyskytují na štěrku více. Jak je vidět, interakce času a typu půdy ukazuje spíše na druhy vyskytující se na tomto substrátu. Může to znamenat, že vliv času se více projevuje na vytěženém materiálu z lomu než na ornici. Na ornici se druhy v průběhu času tolik nemění.

Výrazný rozdíl mezi typy půd ukazuje také analýza funkčních vlastností rostlin: na ornici se vyskytují druhy s větší velikostí semen a SLA. Tyto vlastnosti mívají zpravidla kompetičně silnější druhy (Turnbull et al., 1999; Westoby, 1998). Na tomto typu půdy je nejspíš větší kompetice o světlo, pravděpodobně kvůli většímu množství živin. Rostlině na tomto stanovišti se vyplatí rychle vyrůst, a tedy neinvestovat tolik do kvalitativní biomasy, což ukazuje právě na druhy s větší SLA. Naopak na vytěženém materiálu, kde je živin méně, jsou více strestolerantní rostliny, kterým se vyplatí více investovat do dlouhotrvajících kvalitních listů (Westoby, 1998). Na druhou stranu například *Bromus sterilis*, který je jednoletý a nečekali bychom u něj takovou schopnost kompetice, se hojně vyskytuje na ornici. Zde nejspíš využívá i jiné strategie, například schopnost rychlé obnovy, schopnost využít zdroje nevyužité jinými rostlinami (Fenesi et al., 2011) a také nejspíš využívá výhody přítomnosti velkého množství semen v půdní semenné bance od samého počátku vývoje.

Překvapivým výsledkem je, že na vytěženém materiálu z lomu se nachází druhy s potenciální vyšší výškou. Výška svědčí o větší schopnosti kompetovat o světlo (Westoby, 1998) a také souvisí s množstvím živin, kdy na živinově bohatších lokalitách jsou rostliny vyšší (Elberse & Berendse, 1993). Proto jsou mé výsledky poměrně překvapivé, a to i proto, že v současné době je během období snímkování na ornici

viditelně vyšší vegetace. Výsledky proto mohou být taženy stavem na v počátečních letech vývoje, kdy na ornici mohly převažovat jednoleté polní plevele menšího věku. Zároveň na vytěženém materiálu z lomu převažují spíše vytrvalé druhy.

4.3 Hustota výsevu

Z mých výsledků se zdá, že na plochách s vyšší hustotou výsevu se více uchycují vytrvalé druhy (např. *Centaurea jacea*, *Festuca rupicola*, *Cirsium arvense*) a na plochách s nejnižšími hustotami výsevu nebo bez výsevu jsou stejnou mírou zastoupeny druhy jednoleté nebo krátce vytrvalé (*Medicago lupulina*, *Thlaspi arvense*) a vytrvalé (*Phleum phleoides*, *Achillea millefolium*). Vyšší hustoty výsevu způsobují větší nadzemní kompetici (Bergelson & Perry, 1989). Jednoleté druhy mívají menší semena (Moles et al., 2004) a druhy s menšími semeny bývají kompetičně slabší (Leishman, 2001). Tento jev byl také pozorován v jiném výsevovém experimentu, kdy na plochách s vyššími hustotami výsevu byl zastoupen větší poměr druhů s většími semeny (Turnbull et al., 1999). Také použití vyšších hustot výsevu zvyšuje pravděpodobnost uchycení více rostlin již v prvním roce, tedy vyšší výslednou pokryvnost, a tudíž na plochách zbude příliš málo volné půdy, která by mohla sloužit k uchycení semen jednoletých nebo krátkověkých druhů v následujících letech.

Na plochách s nízkou hustotou výsevu převažují spíše nevyseté druhy (např. *Tussilago farfara*, *Convolvulus arvensis*, *Galium aparine*) na plochách s vyššími hustotami výsevu je podíl vysetých druhů vyšší (např. *Festuca rupicola*, *Trifolium campestre*, *Galium verum*). To koresponduje se zjištěními z jiných lokalit, kdy vysoká hustota výsevu napomáhá zabránit usídlení nežádoucích druhů na plochách (Carter & Blair, 2012; Scotton, 2016). Předpoklad, že vyšší hustota výsevu by mohla vést k vyšší mortalitě vysetých rostlin z důvodu limitace zdroji (Burton et al., 2006) se v tomto případě nenaplnil. Možná však pouze nebyla použita dostatečná hustota výsevu, aby byla překročena určitá hranice, při které by limitace zdroji byla významná. V případě uvedeném v Burton et al. (2006) byla tato hranice stanovena na 1500 semen na m². Protože v této práci je hustota výsevu uváděna v g/m², jsou tyto dva případy hůře srovnatelné. Použijeme-li však hodnotu 1,52 mg jako průměrnou hmotnost semene druhů travních porostů (Jakobsson & Eriksson, 2000), dostaneme se na hodnotu 2,28 g/m². To je poměrně nízké číslo, oproti použitým hustotám výsevu v této práci. Daná průměrná hmotnost semene je však velmi obecná a hmotnost semen se mezi druhy

může řádově lišit, například druh *Lupinus polyphyllus* použitý v práci Burton et al. (2006) má hmotnost semene v desítkách mg (Aniszewski et al., 2001). Je proto možné, že hustota výsevu zmiňovaná autory byla po přepočtu na g/m^2 ve skutečnosti vyšší. Stejně tak se nepotvrdila ani hypotéza, že při nižších hustotách výsevu se některé druhy nemusí ve výsledné vegetaci vůbec objevit (Scotton, 2016).

Množství vysetých druhů, které byly nalezeny na plochách o různé hustotě výsevu, se mezi sebou neliší. Dokonce na plochách bez výsevu bylo v průběhu času nalezeno velké množství vysetých druhů, které se však na plochy pravděpodobně našířily z okolních ploch. Podle přítomnosti některých vysetých druhů již v prvním roce je velmi pravděpodobné, že se také určité množství semen dostalo na tyto plochy splachem z okolí. Protože tyto druhy zde však byly v nízkých pokryvnostech, nebylo šíření semen na plochy tímto způsobem příliš masivní. Uspořádání ploch do bloků nám v tomto případě neumožňuje sledovat na plochách bez výsevu spontánní sukcesí v pravém slova smyslu, kdy by se na plochy mohly šířit pouze druhy z okolí výsypky. Zároveň nám však poskytuje informaci o tom, že se na těchto plochách obnovilo společenstvo velmi podobné těm na okolních plochách s výsevem. To by se dalo využít při dalších rekultivacích, kdy by nemusela být oseta celá plocha výsypky, ale pouze její určitá část, která by posloužila jako zdrojová populace pro zbylé části, čímž by byla rekultivace méně finančně nákladná, přesto však se stejně efektivním výsledkem. Tento přístup byl již využit například při obnově travních porostů v Bílých Karpatech, kdy se lokalita úspěšně obnovila i při vysetí směsi pouze do centrálního pruhu uprostřed studovaných ploch (Jongepierová et al., 2007).

Vliv hustoty výsevu na složení vegetace se rok od roku pomalu snižuje. Nejvíce hustota výsevu ovlivňovala vegetaci v prvním roce od výsevu, v roce 2015, ovšem opět pouze na vytěženém materiálu z lomu, na ornici neměla hustota výsevu signifikantní vliv. Na plochách s nejvyššími hustotami výsevu převažovaly na tomto typu půdy druhy vyseté, zatímco na plochách s nejnižšími hustotami výsevu převažovaly druhy nevyseté. Zároveň také na místech s nižšími hustotami výsevu byly více zastoupené jednoleté druhy. Tedy trend, který je na lokalitě zřetelný v průběhu celého času, se projevoval již od počátku. Od roku 2021, tedy 7 let od výsevu, již nemá hustota výsevu signifikantní vliv.

V prvním roce byl rozdíl mezi plochami s různými hustotami výsevu nejvýraznější. Tyto výsledky jsou částečně podobné těm z podobné studie na obnovu travních porostů (Scotton, 2018). V jejich studii však měla hustota výsevu největší vliv ve třetím roce od výsevu, do té doby na lokalitě převládaly spíše ruderalní druhy. Po tomto roce začal vliv hustoty výsevu opět v čase klesat (Scotton, 2018). Zdá se tedy, že z tohoto hlediska je vývoj vegetace na mé lokalitě velmi podobný, pouze je mírně časově posunutý. Tato analogie poukazuje na to, že hustota výsevu je významná zejména v době, kdy klíčí rostliny z vysetých semen. Poté, v době, kdy se rostliny množí už spíše z nově vytvořených semen nebo klonálně, se už rozdíly stírají. Na lokalitách, jako je výsypka vápencového lomu s navezeným vytěženým substrátem, by proto na úspěšnou obnovu cílového společenstva rostlin měly stačit i nižší hustoty výsevu, což dokládá i Burton et al. (2006). Ovšem v případech, kdy jsou podmínky na lokalitě pro obnovu společenstva suchých trávníků méně příznivé, což je v mém případě situace na ornici, kdy půda obsahuje větší množství živin i vlhkosti, je třeba použít výsevovou rekultivaci účinnějším způsobem. Dané hustoty výsevu, které byly použity, pravděpodobně na obnovu společenstva nestačily a bylo by dobré vyzkoušet ještě vyšší hodnoty. Složení společenstva v počátečních stadiích sukcese má významný vliv na budoucí směřování sukcese (Mudrák et al., 2016), a proto by správně zvolená hustota výsevu, která se projevuje hlavně v prvních 1–3 letech, mohla mít na formování společenstva i celé sukcese na lokalitách s horšími podmínkami významný vliv.

Druhové složení vegetace se mezi různými hustotami výsevu liší pouze na vytěženém materiálu z lomu, naopak na ornici nemá hustota výsevu na složení společenstva průkazný vliv, a to již od prvního roku. To je pravděpodobně způsobeno přítomností půdní semenné banky ve druhém typu půdy. Podíváme-li se na vliv hustoty výsevu pouze na vytěženém materiálu z lomu, opět na plochách s vyššími hustotami výsevu převažují vytrvalé druhy s větším zastoupením druhů vysetých, jako je *Festuca rupicola* nebo *Festuca pallens*. Díky většímu množství semen je zde vyšší šance, že se zde daný druh uchytí. Zároveň vyšší pokryvnost zabraňuje pozdějšímu uchycení a přežití jednoletých druhů. Na plochách s nižší hustotou výsevu jsou více zastoupeny druhy jednoleté a převažují druhy nevyseté, jako třeba *Capsella bursa-pastoris*, a menší množství vysetých, které však byly ve vysévané směsi zastoupeny v nízkém poměru (kromě *Thymus pulegioides*). Situace je zde tedy stejná, jako u vlivu hustoty výsevu na celé lokalitě.

Podíváme-li se na vliv hustoty výsevu s typem půdy v interakci, výsledky ukazují převažující vliv hustoty výsevu na vytěženém materiálu z lomu, kde na plochách s vyššími hustotami výsevu převažují vyseté druhy. To je pravděpodobně způsobeno tím, že na ornici nemá samotná hustota výsevu signifikantní vliv a je průkazná pouze na vytěženém materiálu z lomu.

Z hlediska funkčních vlastností druhů na plochách je vliv hustoty výsevu průkazný pouze na vytěženém materiálu z lomu. Na tomto substrátu se na plochách s vyššími hustotami výsevu nachází více druhů s většími semeny, a naopak s nižší specifickou listovou plochou. Velikost semen pravděpodobně souvisí s větší kompeticí semenáčků na plochách s vyšší hustotou výsevu, kdy semenáčky z větších semen mají větší schopnost přežít v prostředí s vyššími kompetičními tlaky (Turnbull et al., 1999). Naopak snižující se SLA bývá spojována spíše s nižší schopností kompetice (Knops & Reinhart, 2000; Westoby, 1998). Na druhou stranu nižší SLA mají druhy, které jsou více schopny odolávat stresu, například suchu (Wright et al., 2001). Tedy na plochách s vyššími hustotami výsevu se může nacházet více vysetých druhů společenstev xerothermních trávníků, které jsou na sucho lépe přizpůsobené. Výška rostlin se s hustotou výsevu příliš nemění. Vliv samotné hustoty výsevu je však velmi slabý, proto by se dalo zobecnit, že funkční vlastnosti rostlin se mezi různými hustotami výsevu příliš nemění.

4.4 Vliv pastvy

Stejně jako plochy na vytěženém materiálu z lomu mají i pasené plochy větší podíl vysetých druhů, například *Trifolium campestre*, *Centaurea stoebe*, *Galium verum*, *Salvia pratensis* nebo *Lotus corniculatus*. a menší podíl plevelů a ruderálních druhů. Tento fakt naznačuje, že pastva napomáhá k lepšímu směřování vývoje společenstva směrem ke společenstvu suchých trávníků zejména tím, že z lokality odebírá živiny a potlačuje jednoleté druhy, které nejsou pastvě přizpůsobeny. Podobných výsledků dosáhl i výzkum na nedaleké Pání hoře, kde se na pasených plochách více vyskytovaly druhy typické pro společenstva suchých trávníků (Kladivová & Münzbergová, 2016) i v dalších studiích, kdy se pomocí pastvy podařilo zvýšit podíl vysetých druhů, druhů travních společenstev, i vzácných druhů (Mayerová, 2009; Pavlů et al., 2007; Pykälä, 2003). Na pasených plochách se však na mých plochách také hojně vyskytuje *Bromus hordaceus* nebo *Bromus sterilis*. Tyto druhy se ve společenstvech suchých trávníků

obvykle nevyskytují, spíše je najdeme v ruderální vegetaci, na místech bohatých na dusík. Těmto druhům zřejmě vyhovuje každoroční disturbance v podobě pastvy spojená s tím, že se na lokalitu ještě nerozšířily kompetičně silnější druhy.

Vliv pastvy v interakci s typem půdy poukazuje na to, že na nepasených plochách má typ půdy silnější vliv. Pasoucí se stádo dokáže například transportovat živiny v rámci lokality (West et al., 1989) a tím může snižovat rozdíly ve vlastnostech jednotlivých půd, a tedy i vliv typu půdy na výsledné společenstvo. V případě interakce pastvy s časem je vidět, že některé druhy v čase v důsledku pastvy mizí (např. *Consolida regalis*), jiné naopak pastva podporuje a v čase se objevují více na pasených plochách (*Scabiosa ochroleuca*). V současné době se pasené a nepasené plochy výrazně liší, na nepasených se hojně rozrostly druhy jako *Fumaria officinalis* nebo *Aethusa cynapium*, tedy spíše ruderální druhy, které jsou pro obnovu suchých trávníků nežádoucí. Právě tuto skupinu druhů dokáže pastva úspěšně potlačovat (Rysiak et al., 2021) ve prospěch cílových druhů (Mayerová, 2009; Pavlů et al., 2007; Pykälä, 2003). Proto má pastva při rekultivaci nezanedbatelný vliv a může pomoci nasměrovat sukcesi požadovaným směrem.

Analýza vlivu pastvy na funkční vlastnosti druhů vyšla neprůkazně, druhy se tedy z hlediska svých funkčních vlastností příliš neliší na pasených a nepasených plochách. V analýze však byly zahrnuty pouze 3 funkční vlastnosti rostlin (výška, SLA a velikost semen). Je velmi pravděpodobné, že pastva ovlivňuje spíše jiné více specifické funkční vlastnosti, které v této práci nebyly zkoumány, jako například schopnost klonálního množení (Klimešová et al., 2008).

4.5 Vliv hustoty výsevu, typu půdy a přítomnosti pastvy na produkci biomasy a celkovou pokryvnost vegetace na plochách

Hustota výsevu v mé práci nemá průkazný vliv na relativní produkci biomasy, ale ovlivňuje celkovou pokryvnost vegetace na plochách. Vliv hustoty výsevu na celkovou pokryvnost byl však od roku 2020 nesignifikantní. Měření produktivity biomasy bylo provedeno pouze v jediném roce, a to v roce 2020, kdy již hustota výsevu neměla vliv ani na celkovou pokryvnost. Je tedy možné, že na produkci biomasy měla hustota výsevu totožný vliv jako na celkovou pokryvnost, tedy že v prvních pár letech od výsevu se mohla produktivita mezi plochami o různých hustotách výsevu lišit, ale v této

práci pouze nebylo možné tento jev zaznamenat. Na druhou stranu ani v jiných studiích nebyl vliv hustoty výsevu na produktivitu významný (Münzbergová, 2012; von Gillhaussen et al., 2014), zatímco na pokryvnost ano (Burton et al., 2006; Scotton, 2019). Na plochách s různými hustotami výsevu může být v současné době produktivita podobná, protože na plochách s vyššími hustotami výsevu mohlo dojít k samoředění (Burton et al., 2006), naopak na plochách s nižšími hustotami výsevu mohlo docházet k našíření nových jedinců z okolí, případně klonálním množením některých druhů na ploše (Burton et al., 2006).

Vyšší hustota výsevu v tomto případě způsobuje vyšší celkovou pokryvnost. Při výsevu nižších hustot semen mohlo dojít k situacím, kdy některá místa na ploše nemusela být vůbec oseta, což způsobilo nižší pokryvnost. Tento jev se projevuje také v dalších pracích (Burton et al., 2006; Scotton, 2019), stejně tak je i v těchto pracích obdobně zaznamenán pokles vlivu hustoty výsevu po prvních 4 letech od výsevu. Tento pokles se časově shoduje se snižujícím se vlivem hustoty výsevu na strukturu společenstva na plochách, který byl zmíněn výše. To opět potvrzuje domněnku, že hustota výsevu je zásadní ve všech ohledech jen prvních pár let od výsevu, kdy vegetace roste převážně z vysetých semen, a ještě nevyužívá množení z nově vytvořených semen nebo pomocí klonality.

Hustota výsevu má celkovou pokryvnost signifikantní vliv pouze na vytěženém materiálu z lomu, zatímco na ornici nikoliv. To opět svědčí o silném vlivu půdní semenné banky na ornici, která snižuje účinnost výsevové rekultivace, stejně jako v případě vlivu hustoty výsevu na složení společenstva, který je popsán výše.

Typ půdy výrazně ovlivňuje produktivitu i celkovou pokryvnost na plochách. Různé typy půd se odlišují zejména množstvím obsažených živin, které jsou klíčové pro produkci nadzemní biomasy (Polis, 1999). Na ornici má vegetace větší celkovou pokryvnost a také produkuje více biomasy. Během sekundární sukcese zarůstá plocha vegetací rychleji než při primární sukcesi, a to díky již vyvinuté půdě s větším obsahem živin dostupným pro rostliny (Coradini et al., 2022). Sukcesi na ornici, která byla navezena z již vyvinuté půdy, obsahuje větší množství živin i půdní semennou banku, můžeme spíše považovat za sekundární, zatímco na vytěženém materiálu z lomu převažuje spíše sukcese primární. Na vytěženém materiálu z lomu proto probíhá

zarůstání vegetací pomaleji, což se projevuje právě nižší celkovou pokryvností oproti ornici.

Pastva v tomto případě nemá vliv na produkci biomasy ani na celkovou pokryvnost. V jiných případech však intenzivnější pastva může snižovat produkci biomasy (Isbell & Wilsey, 2011), zatímco může způsobovat nižší i vyšší celkovou pokryvnost, v závislosti na ročním období a době uplynulé od ukončení pastvy (Ónodi et al., 2008). Jak je vidět, vliv pastvy může být ovlivněn mnoha faktory, jako je například její intenzita, doba pastvy nebo typ zvířete provádějícího pastvu (například vliv pastvy ovcí a králíků na pokryvnost vegetace je odlišný (Ónodi et al., 2008)). V mém případě může být nesignifikantní vliv pastvy způsobem nižší intenzitou pastvy a také načasováním sběru dat, kdy data byla odečítána v době těsně před započítáním pastvy, tedy s odstupem necelého roku od ukončení poslední pastvy a tato doba může stírat případné rozdíly. Je také možné, že vliv pastvy se projeví až za delší časové období.

5 Závěr

Tato práce se zabývá výsevovou rekultivací výsypky vápencového lomu. Hlavním cílem bylo posoudit vliv hustoty výsevu na druhové složení rostlinného společenstva, a to na dvou různých substrátech. Zároveň jsem se zabývala i vlivem následného managementu lokality, tedy pastvou. Díky časové řadě osmi let jsem mohla sledovat vývoj lokality během poměrně dlouhé doby a od samého začátku sukcese.

Na základě výsledků z této práce lze říci, že na vytěženém materiálu z lomu s nízkým obsahem živin a bez půdní semenné banky lze pomocí vyšších i nižších hustot výsevu vytvořit společenstvo, které v sukcesi postupně směřuje směrem k cílovému společenstvu. Přesto vyšší hustoty výsevu přináší mírně lepší výsledky. Vyšší hustoty výsevu podporují uchycení vysetých druhů a způsobují vyšší celkovou pokryvnost vegetace. Vliv hustoty výsevu je významný zejména v prvních pár letech od výsevu a postupem času tento vliv klesá. Vzhledem k tomu, že i na plochy bez výsevu se velmi brzy našířily cílové druhy z okolních ploch, je možné proto také kombinovat osetí části plochy s ponecháním některých částí bez výsevu a využít přirozené šíření druhů. Toto doporučení je na základě mých výsledků ověřené pouze na vzdálenost několika metrů.

Zatímco na vytěženém materiálu z lomu byla obnova společenstva xerothermních trávníků poměrně úspěšná, na ornici z pole i po mnoha letech dominují polní plevele a ruderální druhy, přičemž vysetých druhů se zde nachází velmi málo. Při zavezení výsypky ornici z pole je proto třeba využít účinnější postupy. Možnými cestami je vyzkoušet ještě vyšší hustoty výsevu, než které byly použity v této práci, nebo využít jinou semennou směs, která by obsahovala druhy, které jsou více schopné konkurovat kompetičně silnějším ruderálním druhům, které jsou lépe přizpůsobené na půdy s vyšším obsahem živin a využívají přítomnosti svých semen v půdní semenné bance.

Je třeba nezapomínat také na následný management na lokalitě. Pastva podporuje vývoj vegetace směrem ke společenstvu suchých trávníků a potlačuje nežádoucí ruderální druhy. Celkově v prvních sedmi letech vedla obnova výsypky lomu Čeřinka pomocí výsevové rekultivace směrem k cílovému společenstvu, během času byla na plochách pozorována většina vysetých druhů. Postupně v čase klesá zastoupení nežádoucích ruderálních druhů a nahrazují je druhy kompetičně silnější, zejména trávy, které také lépe odolávají pastvě, která na lokalitě každoročně probíhá. Proto lze předpokládat, že do budoucna se na lokalitě úspěšně obnoví společenstvo xerothermních trávníků. Tyto

poznatky mohou dále posloužit pro stanovení správného postupu obnovy společenstva suchých trávníků i na dalších výsypkách lomů, které jsou svými podmínkami podobné, jako na výsypce lomu Čeřinka.

6 Použitá literatura

- Aniszewski, T., Kupari, M. H., & Leinonen, A. J. (2001). Seed number, seed size and seed diversity in Washington lupin (*Lupinus polyphyllus* Lindl.). *Annals of Botany*, 87(1), 77–82. <https://doi.org/10.1006/anbo.2000.1300>
- Baasch, A., Kirmer, A., & Tischew, S. (2012). Nine years of vegetation development in a postmining site: effects of spontaneous and assisted site recovery. *Journal of Applied Ecology*, 49(1), 251–260.
- Baer, S. G., Blair, J. M., Collins, S. L., & Knapp, A. K. (2004). Plant community responses to resource availability and heterogeneity during restoration. *Oecologia*, 139(4), 617–629. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1541-3>
- Baskin, J. M., & Baskin, C. C. (1985). *The Annual Dormancy Cycle in Buried Weed Seeds: A Continuum* (Vol. 35, Issue 8).
- Bergelson, J., & Perry, R. (1989). *Interspecific Competition Between Seeds: Relative Planting Date and Density Affect Seedling Emergence*. 70(6), 1639–1644.
- Braun-Blanquet, J., & et al. (1932). Plant sociology. The study of plant communities. *Plant Sociology. The Study of Plant Communities. First Ed.*
- Bucher, S. F., Auerswald, K., Grün-Wenzel, C., Higgins, S. I., & Römermann, C. (2021). Abiotic site conditions affect photosynthesis rates by changing leaf functional traits. *Basic and Applied Ecology*, 57, 54–64. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2021.09.003>
- Burton, C. M., Burton, P. J., Hebda, R., & Turner, N. J. (2006). Determining the optimal sowing density for a mixture of native plants used to revegetate degraded ecosystems. *Restoration Ecology*, 14(3), 379–390.
- Callaway, R. M., Waller, L. P., Diaconu, A., Pal, R., Collins, A. R., Mueller-Schaerer, H., & Maron, J. L. (2011). Escape from competition: Neighbors reduce *Centaurea stoebe* performance at home but not away. In *Ecology* (Vol. 92, Issue 12).
- Carter, D. L., & Blair, J. M. (2012). High richness and dense seeding enhance grassland restoration establishment but have little effect on drought response. In *Ecological Applications* (Vol. 22, Issue 4). <http://www.crh.noaa.gov/gid>

- Coradini, K., Krejčová, J., & Frouz, J. (2022). Potential of vegetation and woodland cover recovery during primary and secondary succession, a global quantitative review. *Land Degradation and Development*, 33(3), 512–526. <https://doi.org/10.1002/ldr.4166>
- Cribari-Neto, F., & Zeileis, A. (2010). *Beta Regression in R*. <https://doi.org/10.18637/jss.v034.i02>
- Darlington, H. T. (1931). The 50-Year Period for Dr. Beal's Seed Viability Experiment. In *Source: American Journal of Botany* (Vol. 18, Issue 4). <https://www.jstor.org/stable/2435902>
- Díaz, S., Cabido, M., Casanoves, F., & Fernando, R. (1998). Plant functional traits and environmental filters at a regional scale. In *Journal of Vegetation Science* (Vol. 9).
- Díaz, S., Lavorel, S., McIntyre, S., Falczuk, V., Casanoves, F., Milchunas, D. G., Skarpe, C., Rusch, G., Sternberg, M., Noy-Meir, I., Landsberg, J., Zhang, W., Clark, H., & Campbell, B. D. (2007). Plant trait responses to grazing - A global synthesis. *Global Change Biology*, 13(2), 313–341. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01288.x>
- Elberse, W. T., & Berendse, F. (1993). A Comparative Study of the Growth and Morphology of Eight Grass Species from Habitats with Different Nutrient Availabilities. In *Source: Functional Ecology* (Vol. 7, Issue 2).
- Fenesi, A., Rédei, T., & Botta-Dukát, Z. (2011). Hard traits of three *Bromus* species in their source area explain their current invasive success. *Acta Oecologica*, 37(5), 441–448. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2011.05.012>
- Foster, B. L., & Tilman, D. (2000). Dynamic and static views of succession: Testing the descriptive power of the chronosequence approach. In *Plant Ecology* (Vol. 146).
- Francis, R., & Read, D. J. (1995). Mutualism and antagonism in the mycorrhizal symbiosis, with special reference to impacts on plant community structure. *Canadian Journal of Botany*, 73(1), 1301–1309. www.nrcresearchpress.com
- Fry, E. L., Pilgrim, E. S., Tallowin, J. R. B., Smith, R. S., Mortimer, S. R., Beaumont, D. A., Simkin, J., Harris, S. J., Shiel, R. S., Quirk, H., Harrison, K. A., Lawson, C. S., Hobbs, P. J., & Bardgett, R. D. (2017). Plant, soil and microbial controls on

- grassland diversity restoration: a long-term, multi-site mesocosm experiment. *Journal of Applied Ecology*, 54(5), 1320–1330. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12869>
- Goldberg, D. E., & Landa, K. (1991). Competitive Effect and Response: Hierarchies and Correlated Traits in the Early Stages of Competition. *Source: Journal of Ecology*, 79(4), 1013–1030.
- Gornish, E. S., & Ambrozio dos Santos, P. (2016). Invasive species cover, soil type, and grazing interact to predict long-term grassland restoration success. *Restoration Ecology*, 24(2), 222–229. <https://doi.org/10.1111/rec.12308>
- Grant, S. A., Suckling, D. E., Smith, H. K., Torvell, L., & Forbes, T. D. A. (1985). Comparative Studies of Diet Selection by Sheep and Cattle: The Hill Grasslands. In *Hodgson Source: Journal of Ecology* (Vol. 73, Issue 3). <https://www.jstor.org/stable/2260163>
- Grime, J. P. (1977). Evidence for the Existence of Three Primary Strategies in Plants and Its Relevance to Ecological and Evolutionary Theory. *Source: The American Naturalist*, 111(982), 1169–1194. <https://www.jstor.org/stable/2460262>
- Halassy, M. (2001). Possible role of the seed bank in the restoration of open sand grassland in old fields. In *COMMUNITY ECOLOGY* (Vol. 2, Issue 1).
- Hartnett, D. C., & Wilson, G. W. T. (1999). *Mycorrhizae Influence Plant Community Structure and Diversity in Tallgrass Prairie* (Vol. 80, Issue 4).
- Holmes, C. W. (1974). The Massey grass meter. In *Dairy Farming Annual*.
- Hölzel, N., & Otte, A. (2003). Restoration of a species-rich flood meadow by topsoil removal and diaspore transfer with plant material. *Applied Vegetation Science*, 6(2), 131–140.
- Hoogsteen, M. J. J., Lantinga, E. A., Bakker, E. J., & Tiftonell, P. A. (2018). An Evaluation of the Loss-on-Ignition Method for Determining the Soil Organic Matter Content of Calcareous Soils. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 49(13), 1541–1552. <https://doi.org/10.1080/00103624.2018.1474475>

- Isbell, F. I., & Wilsey, B. J. (2011). Increasing native, but not exotic, biodiversity increases aboveground productivity in ungrazed and intensely grazed grasslands. *Oecologia*, *165*(3), 771–781. <https://doi.org/10.1007/s00442-010-1877-9>
- Jakobsson, A., & Eriksson, O. (2000). A comparative study of seed number, seed size, seedling size and recruitment in grassland plants. *Oikos*, *88*(3), 494–502.
- Jongepierová, I., Mitchley, J., & Tzanopoulos, J. (2007). A field experiment to recreate species rich hay meadows using regional seed mixtures. *Biological Conservation*, *139*(3–4), 297–305.
- Kahmen, S., & Poschold, P. (2004). Plant functional trait responses to grassland succession over 25 years. *Journal of Vegetation Science*, *15*, 21–32.
- Kaplan, Z., Danihelka, J., Chrtek, J. jun., Kirschner, J., Kubát, K., Štech, M., & Štěpánek, J. (2019). *Klíč ke květeně České republiky (2.)*. Academia.
- Karlík, P., & Poschlod, P. (2014). Soil seed-bank composition reveals the land-use history of calcareous grasslands. *Acta Oecologica*, *58*, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2014.03.003>
- Kelemen, A., Tóthmérész, B., Valkó, O., Migléc, T., Deák, B., & Török, P. (2017). New aspects of grassland recovery in old-fields revealed by trait-based analyses of perennial-crop-mediated succession. *Ecology and Evolution*, *7*(7), 2432–2440. <https://doi.org/10.1002/ece3.2869>
- Kladivová, A., & Münzbergová, Z. (2016). Interacting effects of grazing and habitat conditions on seedling recruitment and establishment. *Journal of Vegetation Science*, *27*(4), 834–843. <https://doi.org/10.1111/jvs.12395>
- Kleyer, M., Bekker, R. M., Knevel, I. C., Bakker, J. P., Thompson, K., Sonnenschein, M., Poschlod, P., van Groenendael, J. M., Klimeš, L., Klimešová, J., Klotz, S., Rusch, G. M., Hermy, M., Adriaens, D., Boedeltje, G., Bossuyt, B., Dannemann, A., Endels, P., Götzenberger, L., ... Peco, B. (2008). The LEDA Traitbase: A database of life-history traits of Northwest European flora. *Journal of Ecology*, *96*, 1266–1274.

- Klimešová, J., Latzel, V., de Bello, F., & van Groenendael, J. M. (2008). Plant functional traits in studies of vegetation changes in response to grazing and mowing: Towards a use of more specific traits. *Preslia*, 80(3), 245–253.
- Knops, J., Mh, R., & Kurt. (2000). Specific Leaf Area Along a Nitrogen Fertilization Gradient. *The American Midland Naturalist*, 144(2), 265–272. <https://doi.org/10.1674/0003>
- Knops, J., & Reinhart, K. (2000). Specific Leaf Area Along a Nitrogen Fertilization Gradient. *The American Midland Naturalist*, 144(2), 265–272. <https://doi.org/10.1674/0003>
- Kučáková, E. (2013). *Sukcese vegetace na výsypce vápencového lomu.*
- Leishman, M. R. (2001). *Does the seed size/number trade-off model determine plant community structure? An assessment of the model mechanisms and their generality.*
- Lepš, J., Doležal, J., Bezemer, T. M., Brown, V. K., Hedlund, K., Igual, A. M., Jørgensen, H. B., Lawson, C. S., Mortimer, S. R., Peix Geldart, A., Rodríguez Barrueco, C., Santa Regina, I., Šmilauer, P., & van der Putten, W. H. (2007). Long-term effectiveness of sowing high and low diversity seed mixtures to enhance plant community development on ex-arable fields. *Applied Vegetation Science*, 10(1), 97.
- Lindborg, R., & Eriksson, O. (2005). Functional response to land use change in grasslands: Comparing species and trait data. *Ecoscience*, 12(2), 183–191. <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-2-183.1>
- Mayerová, H. (2009). *Druhové vlastnosti určující reakci rostlin na pastvu ovcí a koz na modelové lokalitě Pání hora v CHKO Český kras.*
- Moles, A. T., Falster, D. S., Leishman, M. R., & Westoby, M. (2004). Small-seeded species produce more seeds per square metre of canopy per year, but not per individual per lifetime. *Journal of Ecology*, 92(3), 384–396. <https://doi.org/10.1111/j.0022-0477.2004.00880.x>

- Mudrak, O., Dolezal, J., & Frouz, J. (2016). Initial species composition predicts the progress in the spontaneous succession on post-mining sites. *Ecological Engineering*, *95*, 665–670. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.07.002>
- Münzbergová, Z. (2012). Seed density significantly affects species richness and composition in experimental plant communities. *PLoS ONE*, *7*(10), 1–10.
- Nitschke, N., Ebeling, A., Rottstock, T., Scherber, C., Middelhoff, C., Creutzburg, S., Weigelt, A., Tscharnke, T., Fischer, M., & Weisser, W. W. (2010). Time course of plant diversity effects on *Centaurea jacea* establishment and the role of competition and herbivory. *Journal of Plant Ecology*, *3*(2), 109–121. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtp036>
- Novák, J., & Prach, K. (2010). Artificial sowing of endangered dry grassland species into disused basalt quarries. *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *205*(3), 179–183.
- Oksanen, J., Guillaume, Blanchet, F., Friendly, M., Kindt, R., Legendre, P., McGlinn, D., Minchin, P. R., O’Hara, R. B., Simpson, G. L., Solymos, P., Stevens, M. H. H., Szoecs, E., & Wagner, H. (2020). *Vegan: Community Ecology Package* (R package version 2.5-7).
- Ónodi, G., Kertész, M., Botta-Dukat, Z., & Altbacker, V. (2008). Grazing effects on vegetation composition and on the spread of fire on open sand grasslands. *Arid Land Research and Management*, *22*(4), 273–285. <https://doi.org/10.1080/15324980802388223>
- Ordoñez, J. C., van Bodegom, P. M., Witte, J. P. M., Wright, I. J., Reich, P. B., & Aerts, R. (2009). A global study of relationships between leaf traits, climate and soil measures of nutrient fertility. *Global Ecology and Biogeography*, *18*(2), 137–149. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2008.00441.x>
- Pärtel, M., Bruun, H. H., & Sammuli, M. (2005). Biodiversity in temperate European grasslands: origin and conservation. *Grassland Science in Europe*, *10*, 1–14.
- Partzsch, M., Faulhaber, M., & Meier, T. (2018). The effect of the dominant grass *Festuca rupicola* on the establishment of rare forbs in semi-dry grasslands. *Folia Geobotanica*, *53*(1), 103–113. <https://doi.org/10.1007/s12224-017-9298-8>

- Pavlů, V., Hejčman, J., Michal, Pavlů, J., Lenka, Gaisler, & Jan. (2007). RESTORATION OF GRAZING MANAGEMENT AND ITS EFFECT ON UPLAND GRASSLAND-Restoration of grazing management and its effect on vegetation in an upland grassland. In *Applied Vegetation Science* (Vol. 10).
- Polis, G. A. (1999). Why Are Parts of the World Green? Multiple Factors Control Productivity and the Distribution of Biomass. *Oikos*, *86*(1), 3–15.
- Prach, K., & Hobbs, R. J. (2008). Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites. *Restoration Ecology*, *16*(3), 363–366.
- Prach, K., Jongepierová, I., & Řehouňková, K. (2013). Large-Scale Restoration of Dry Grasslands on Ex-Arable Land Using a Regional Seed Mixture: Establishment of Target Species. *Restoration Ecology*, *21*(1), 33–39. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2012.00872.x>
- Prach, K., & Pyšek, P. (2001). Using spontaneous succession for restoration of human-disturbed habitats: experience from Central Europe. *Ecological Engineering*, *17*(1), 55–62.
- Pykälä, J. (2003). Effects of restoration with cattle grazing on plant species composition and richness of semi-natural grasslands. *Biodiversity and Conservation*, *12*, 2211–2226.
- Rakosy, D., Motivans, E., Ștefan, V., Nowak, A., Świerszcz, S., Feldmann, R., Kühn, E., Geppert, C., Venkataraman, N., Sobieraj-Betlińska, A., Grossmann, A., Rojek, W., Pochrzast, K., Cielniak, M., Gathof, A. K., Baumann, K., & Knight, T. M. (2022). Intensive grazing alters the diversity, composition and structure of plant-pollinator interaction networks in Central European grasslands. *PLoS ONE*, *17*(3 March). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0263576>
- Rebele, F. (2013). Differential succession towards woodland along a nutrient gradient. *Applied Vegetation Science*, *16*(3), 365–378. <https://doi.org/10.1111/avsc.12006>
- Roubíčková, W. A., Vachová, P., & Vach, M. (2017). Topography of Spoil Heaps and Its Role in Plant Succession and Soil Fauna Presence. *Scientia Agriculturae Bohemica*, *48*(1), 30–38. <https://doi.org/10.1515/sab-2017-0005>

- Rummel, R. S., & Holscher, C. E. (1955). *Seeding summer ranges in Eastern Oregon and Washington*. United States. Department of Agriculture.
- Rysiak, A., Chabuz, W., Sawicka-Zugaj, W., Jan Zdulski, Grzywaczewski, G., & Kulik, M. (2021). Comparative impacts of grazing and mowing on the floristics of grasslands in the buffer zone of Polesie National Park, eastern Poland. *Global Ecology and Conservation*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01612>
- Schröder, R., & Prasse, R. (2013). Do cultivated varieties of native plants have the ability to outperform their wild relatives? *PLoS ONE*, 8(8).
- Scotton, M. (2016). Establishing a semi-natural grassland: effects of harvesting time and sowing density on species composition and structure of a restored *Arrhenatherum elatius* meadow. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 220, 35–44.
- Scotton, M. (2018). Calcareous grassland restoration at a coarse quarry waste dump in the Italian Alps. *Ecological Engineering*, 117, 174–181.
- Scotton, M. (2019). Mountain grassland restoration: effects of sowing rate, climate and soil on plant density and cover. *Science of the Total Environment*, 651, 3090–3098.
- Smith, R. S., Shiel, R. S., Bardgett, R. D., Millward, D., Corkhill ¶, P., Rolph, G., Hobbs, P. J., & Peacock, S. (2003). Soil microbial community, fertility, vegetation and diversity as targets in the restoration management of a meadow grassland. In *Journal of Applied Ecology* (Vol. 40).
- Stammel, B., Kiehl, K., & Pfadenhauer, J. (2003). Alternative management on fens: Response of vegetation to grazing and mowing. *Applied Vegetation Scienc*, 6, 245–254. <http://www.butbn.cas.cz/klimes/system.html>
- Stevenson, M. J., Bullock, J. M., & Ward, L. K. (1995). Re-creating semi-natural communities: effect of sowing rate on establishment of calcareous grasslands. *Restoration Ecology*, 3(4), 279–289.
- Stewart, K. E. J., Bourn, N. A. D., & Thomas, J. A. (2001). An evaluation of three quick methods commonly used to assess sward height in ecology. *Journal of Applied Ecology*, 38(5), 1148–1154. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2001.00658.x>

- Tälle, M., Deák, B., Poschlod, P., Valkó, O., Westerberg, L., & Milberg, P. (2016). Grazing vs. mowing: A meta-analysis of biodiversity benefits for grassland management. In *Agriculture, Ecosystems and Environment* (Vol. 222, pp. 200–212). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.02.008>
- Török, P., Vida, E., Deák, B., Lengyel, S., & Tóthmérész, B. (2011). Grassland restoration on former croplands in Europe: An assessment of applicability of techniques and costs. *Biodiversity and Conservation*, 20(11), 2311–2332. <https://doi.org/10.1007/s10531-011-9992-4>
- Tóth, E., Deák, B., Valkó, O., Kelemen, A., Migléc, T., Tóthmérész, B., & Török, P. (2018). Livestock Type is More Crucial Than Grazing Intensity: Traditional Cattle and Sheep Grazing in Short-Grass Steppes. *Land Degradation and Development*, 29(2), 231–239. <https://doi.org/10.1002/ldr.2514>
- Tropek, R., Kadlec, T., Karesova, P., Spitzer, L., Kocarek, P., Malenovsky, I., Banar, P., Tuf, I. H., Hejda, M., & Konvicka, M. (2010). Spontaneous succession in limestone quarries as an effective restoration tool for endangered arthropods and plants. *Journal of Applied Ecology*, 47(1), 139–147.
- Turnbull, L. A., Rees, M., & Crawley, M. J. (1999). Seed Mass and the Competition/Colonization Trade-Off: A Sowing Experiment. In *Source: Journal of Ecology* (Vol. 87, Issue 5).
- von Gillhausen, P., Rascher, U., Jablonowski, N. D., Plückers, C., Beierkuhnlein, C., & Temperton, V. M. (2014). Priority effects of time of arrival of plant functional groups override sowing interval or density effects: a grassland experiment. *PLoS ONE*, 9(1), 1–11.
- Wang, C., & Tang, Y. (2019). A global meta-analysis of the response of multi-taxa diversity to grazing intensity in grasslands. *Environmental Research Letters*, 14(11). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab4932>
- West, C. P., Mallarino, A. P., Wedin, W. F., & Marx, D. B. (1989). Spatial Variability of Soil Chemical Properties in Grazed Pastures. *Soil Science Society of America*, 53, 784–789.
- Westoby, M. (1998). A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil*, 199(2), 213–227. <https://doi.org/10.1023/A:1004327224729>

Wright, I. J., Reich, P. B., & Westoby, M. (2001). Strategy shifts in leaf physiology, structure and nutrient content between species of high-and low-rainfall and high-and low-nutrient habitats. *Functional Ecology*, *15*, 423–434.

Yannelli, F. A., Karrer, G., Hall, R., Kollmann, J., & Heger, T. (2018). Seed density is more effective than multi-trait limiting similarity in controlling grassland resistance against plant invasions in mesocosms. *Applied Vegetation Science*, *21*(3), 411–418.

Další zdroje

Lomy Mořina spol. s.r.o.: Informace o lomu Čeřinka (20. 5. 2021). <https://www.lomy-morina.cz>

Mapy.cz: mapové podklady. <https://mapy.cz/>

7 Přílohy

7.1 Seznam použitých zkratk druhů

druh	zkratka	druh	zkratka
Ace_cam	<i>Acer campestre</i>	Ger_dis	<i>Geranium dissectum</i>
Ach_mil	<i>Achillea millefolium</i>	Ger_pus	<i>Geranium pusillum</i>
Aci_arv	<i>Acinos arvensis</i>	Ger_rob	<i>Geranium robertianum</i>
Ado_aes	<i>Adonis aestivalis</i>	Geu_urb	<i>Geum urbanum</i>
Aet_cyn	<i>Aethusa cynapium</i>	Gle_hed	<i>Glechoma hederacea</i>
Agr_cap	<i>Agrostis capillaris</i>	Hyp_per	<i>Hypericum perforatum</i>
Agr_sto	<i>Agrostis stolonifera</i>	Inu_con	<i>Inula conyza</i>
Alo_pra	<i>Alopecurus pratensis</i>	Kna_arv	<i>Knautia arvensis</i>
Aly_aly	<i>Alyssum alyssoides</i>	Koe_pyr	<i>Koeleria pyramidata</i>
Ant_syl	<i>Anthriscus sylvestris</i>	Lac_ser	<i>Lactuca serriola</i>
Ara_hir	<i>Arabis hirsuta</i>	Lam_amp	<i>Lamium amplexicaule</i>
Arc_tom	<i>Arctium tomentosum</i>	Lat_pra	<i>Lathyrus pratensis</i>
Are_ser	<i>Arenaria serpyllifolia</i>	Leu_vul	<i>Leucanthemum vulgare</i>
Arr_ela	<i>Arrhenaterum elatius</i>	Lep_cam	<i>Lepidium campestre</i>
Art_vul	<i>Artemisia vulgaris</i>	Lol_per	<i>Lolium perenne</i>
Asp_cyn	<i>Asperula cynanchica</i>	Lot_cor	<i>Lotus corniculatus</i>
Atr_sag	<i>Atriplex sagittata</i>	Mal_alc	<i>Malva alcea</i>
Atr_pat	<i>Atriplex patula</i>	Mal_neg	<i>Malva neglecta</i>
Arc_lap	<i>Arctium lappa</i>	Med_fal	<i>Medicago falcata</i>
Ave_pra	<i>Avenula pratensis</i>	Med_lup	<i>Medicago lupulina</i>
Ave_pub	<i>Avenula pubescens</i>	Mel_sp	<i>Melilotus</i> sp.
Bal_nig	<i>Ballota nigra</i>	Men_arv	<i>Mentha arvensis</i>
Bet_pen_juv	<i>Betuna pendula</i> (juv)	Myo_arv	<i>Myosotis arvensis</i>
Bra_nap_	<i>Brassica napus</i>	Tri_aes	<i>Triticum aestivum</i>
Bra_pin	<i>Brachypodium pinnatum</i>	Pap_rho	<i>Papaver rhoeas</i>
Bro_ere	<i>Bromus erectus</i>	Per_hyd	<i>Persicaria hydropoper</i>
Bro_hor	<i>Bromus hordaceus</i>	Phl_phl	<i>Phleum phleoides</i>
Bro_ste	<i>Bromus sterilis</i>	Phl_pra	<i>Phleum pratense</i>
Bro_tec	<i>Bromus tectorum</i>	Pic_hie	<i>Picris hieracioides</i>
Bup_fal	<i>Bupleurum falcatum</i>	Pim_sax	<i>Pimpinella saxifraga</i>
Cal_epi	<i>Calamagrostis epigejos</i>	Pla_lan	<i>Plantago lanceolata</i>
Cap_bur	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Pla_med	<i>Plantago media</i>
Car_bet_juv	<i>Carpinus betulus</i> (juv)	Poa_ann	<i>Poa annua</i>
Cen_jac	<i>Centaurea jacea</i>	Poa_ang	<i>Poa angustifolia</i>
Cen_sca	<i>Centaurea scabiosa</i>	Poa_com	<i>Poa compressa</i>
Cen_sto	<i>Centaurea stoebe</i>	Poa_pra	<i>Poa pratensis</i>
Cer_arv	<i>Cerastium arvense</i>	Pol_avi	<i>Polygonum aviculare</i>
Che_alb	<i>Chenopodium album</i>	Pot_arg	<i>Potentilla argentea</i>
Cic_Int	<i>Cichorium intybus</i>	Pru_sp.	<i>Prunus</i> sp.
Cir_aca	<i>Cirsium acaule</i>	Ran_sp.	<i>Ranunculus</i> sp.

Cir_arv	<i>Cirsium arvense</i>	Rosa_sp	<i>Rosa</i> sp.
			<i>Rumex acetosa, acetosella, crispus a obtusifolius</i>
Cir_vul	<i>Cirsium vulgare</i>	Rum_sp	
Con_reg	<i>Consolida regalis</i>	Sal_pra	<i>Salvia pratensis</i>
Con_arv	<i>Convolvulus arvensis</i>	Sal_ver	<i>Salvia verticilata</i>
Con_can	<i>Conyza canadensis</i>	San_min	<i>Sanguisorba minor</i>
Cre_bie	<i>Crepis biennis</i>	Sax_tri	<i>Saxifraga tridactylites</i>
	<i>Crepis foetida a Leontodon hispidus</i>	Sca_och	<i>Scabiosa ochroleuca</i>
Cref_Leo		Sec_var	<i>Securigera varia</i>
Cyn_of	<i>Cynoglossum officinale</i>	Sil_lat	<i>Silene latifolia</i>
Dac_glo	<i>Dactylis glomerata</i>	Sil_vul	<i>Silene vulgaris</i>
Dau_car	<i>Daucus carota</i>	Son_ole	<i>Sonchus oleraceus</i>
Des_cae	<i>Deschampsia caespitosa</i>	Ste_med	<i>Stellaria media</i>
Des_sop	<i>Descurainia sophia</i>		
		Tar_off	<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>
Dia_car	<i>Diantus carthusianorum</i>	Teu_cha	<i>Teucrium chamaedrys</i>
Dip_ful	<i>Dipsacus fullonum</i>	Thl_arv	<i>Thlaspi arvense</i>
Ech_vul	<i>Echium vulgare</i>	Thy_pul	<i>Thymus pulegioides</i>
Ely_rep	<i>Elymus repens</i>	Tra_dub	<i>Tragopogon dubius</i>
Ely_his	<i>Elymus hispidus</i>	Tri_cam	<i>Trifolium campestre</i>
Epil_sp	<i>Epilobium</i> sp.	Tri_dub	<i>Trifolium dubium</i>
Eri_ann	<i>Erigeron annuus</i>	Tri_pra	<i>Trifolium pratense</i>
Ero_cic	<i>Erodium cicutarium</i>	Tri_rep	<i>Trifolium repens</i>
Ery_cre	<i>Erysimum crepidifolium</i>	Tri_hyb	<i>Trifolium hybridum</i>
Eup_hel	<i>Euphorbia helioscopia</i>		<i>Tripleurospermum inodorum</i>
		Tri_ino	
Eur_cyp	<i>Euphorbia cyparissias</i>	Tus_far	<i>Tussilago farfara</i>
Fal_con	<i>Fallopia convolvulus</i>	Urt_dio	<i>Urtica dioica</i>
Fes_pal	<i>Festuca pallens</i>	Ver_lyc	<i>Verbascum lychnitis</i>
Fes_rup	<i>Festuca rupicola</i>		<i>Veronica arvensis, persica, polita a verna</i>
Fum_off	<i>Fumaria officinalis</i>	Ver_sp	
			<i>Vicia angustifolia, cracca, tenuifolia, sativa, hirsuta a tetrasperma</i>
Gal_apa	<i>Galium aparine</i>	Vic_sp	
Gal_mol	<i>Galium mollugo</i>	Vio_arv	<i>Viola arvensis</i>
Gal_ver	<i>Galium verum</i>	Vio_col	<i>Viola colina</i>