

Stresová ekologie v těžební krajině: postindustriální deponie versus okolí jako prostředí selekce příbuzných rostlin s malým a velkým genomem

(Příspěvek k ekologické genomice a k ekologii obnovy)

Adam Glier¹, Romana Prausová², Michal Štefánek^{1,2}, Pavel Kovář¹

¹Katedra botaniky, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, Benátská 2, 128 00 Praha 2

*²Katedra biologie, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Hradec Králové, Rokitanského 62,
500 03 Hradec Králové*



Postindustriální deponie v krajině:

- poskytují možnost studia **ekologie extrémů** – na organismy tu působí vnější faktory: stres/zátěž a/nebo disturbance/narušování
- umožňují konfrontovat vztah „vnitřního prostředí“ a odlišného „okolí“ (**aplikace teorie ostrovní biogeografie**)
- jsou „vstupními okny“ pro **kolonizaci** limitovanou nedostatkem otevřených prostor v okolní krajině (**ekologie obnovy**)
- poskytují dnes vzácnou možnost studovat **primární sukcesi společenstev**
- usnadňují metodou terénního experimentu testovat roli určitých organismů jako **ekologických inženýrů**

Za otce rehabilitační ekologie (ekologie obnovy, restoration ecology) je považován **Aldo Leopold**.

Na podzim 1935 pod jeho vedením skupina ochranářských dobrovolníků znovuobnovila (restaurovala) 24 ha vysokostébelné prairie na farmářské půdě při wiskonsinské univerzitě, na okraji Madisonu.

On sám použil slovo "restoration" pro **znovuzavedení původních rostlinných a živočišných společenstev na poškozený úsek země** a celá akce vešla do historie jako pionýrský akt ekologické obnovy.



Odkaliště

- *ohraničený prostor, sloužící pro trvalé nebo dočasné uskladnění převážně hydraulicky dopravovaného průmyslového kalu*

- ❖ antropogenně vzniklý substrát
- ❖ nepříznivé působení na vegetaci (vysoký obsah těžkých kovů, extrémní pH, kritický vodní režim)

Otázky:

(1) Jaká je závislost druhové diverzity odkališť na druhové diverzitě v okolí?

(2) Jaká je závislost druhové diverzity odkališť na parametrech prostředí: - typu, rozloze, stáří, nadmořské výšce odkališť

(3) Existují druhy se specifickou vazbou na zkoumaná stanoviště?

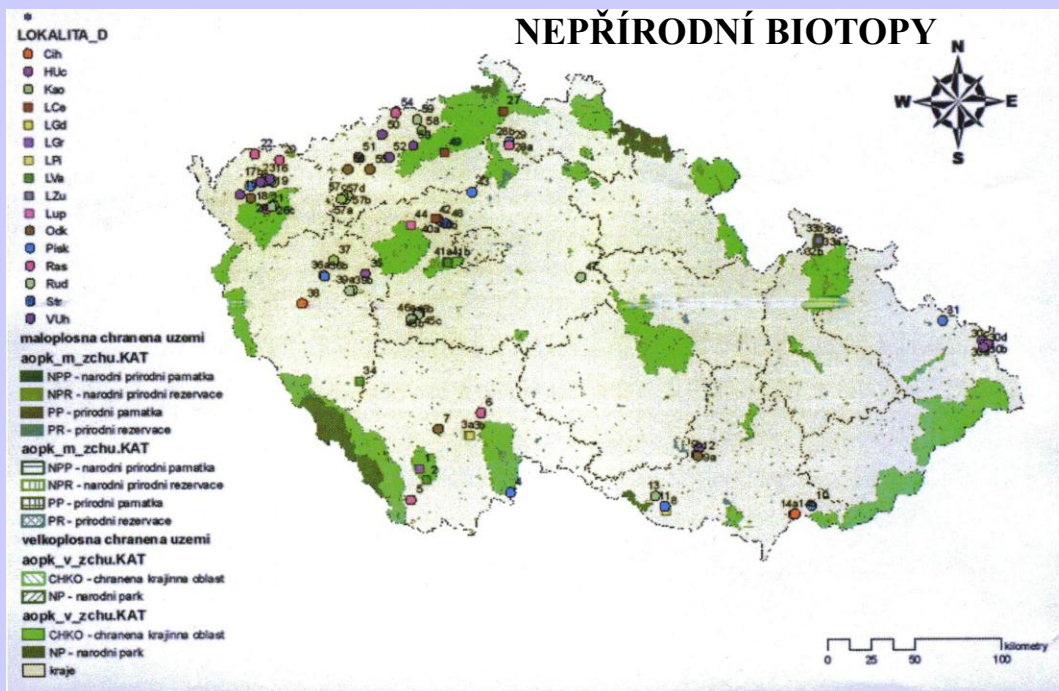
(4) Jak se mění strukturní (skladebné) charakteristiky v čase, během spontánní vegetační sukcese? Které faktory jsou pro rychlost a povahu vývoje významné?



LOKALITY

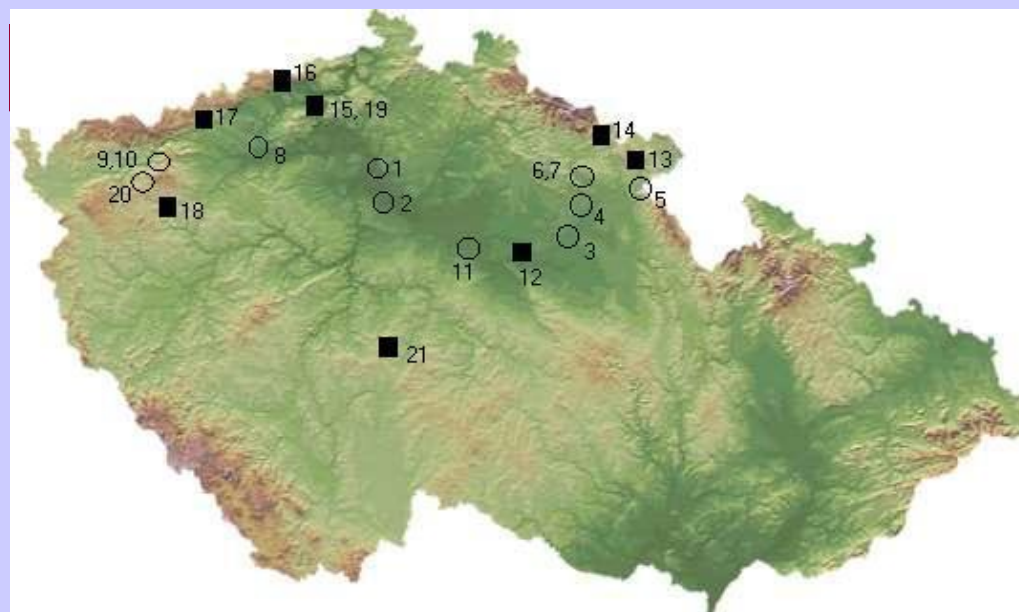
Opuštěná odkaliště:

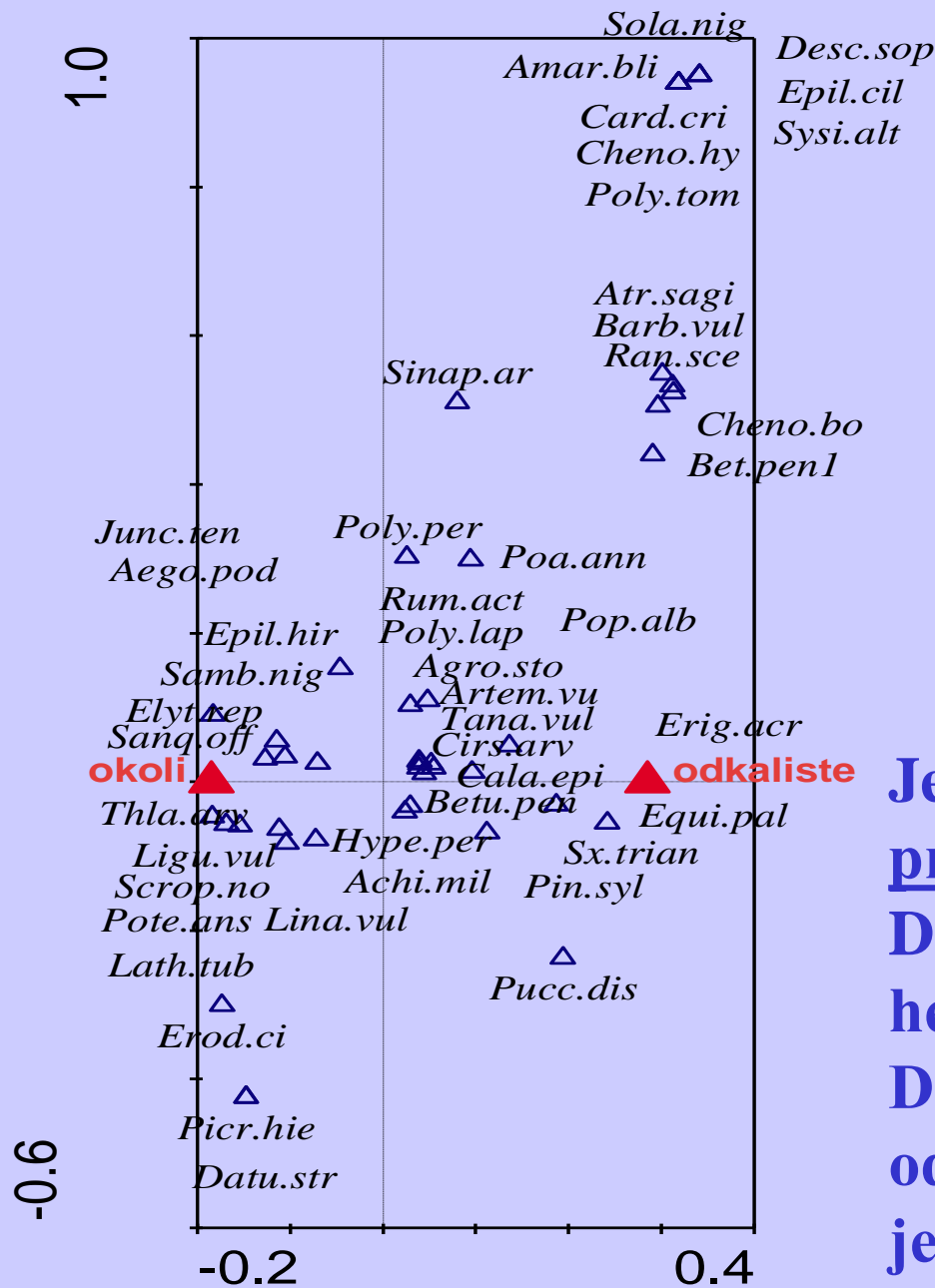
1. Mělník
2. Neratovice
3. Semtín
4. Opatovice
5. Náchod
6. Dvůr K. I
7. Dvůr K. II
8. Počerady
9. Ostrov I
10. Ostrov II
11. Kolín
12. Chvaletice
13. Radvanice
14. Žaclěř
15. Přítkov 1
16. Cínovec
17. Měděnec
18. Krásno
19. Přítkov 2
20. Apollo-Karlový Vary
21. Roudný



Čechy: evidováno 21 nerekultivovaných lokalit – z toho 11 struskopopílkových a 10 rudních odkališť

ODKALIŠTĚ





CCA analýza souboru výskytu druhů na odkališti a v okolí,
($p = 0,0020$, F ratio = 2,15).
První osa vysvětlila 9,7 % variability.
Zahrnuto 47 druhů nejvíce přispívajících k variabilitě souboru.


Je patrně více druhů typických pro odkaliště než pro okolí.
Druhy v okolí jsou více heterogenní skupinou.
Druhů, jež rostly jen na odkališti, je velmi málo, jejich četnosti jsou minimální.

Z několika testovaných parametrů (nadmořská výška, rozloha odkališť, vlastnosti substrátu...) vyšla nejlépe závislost počtu druhů odkališť na počtu druhů v jejich okolí.

Dá se předpokládat, že kvantitativní rozdíl je dán filtrem abiotických faktorů anebo možností šíření („species pool“ okolní krajiny podporovaný propojeností).



What processes shape early-successional vegetation in fly ash and mine tailings?

Jana Urbanová · Pavel Kovář · Petr Dostál 

Received: 6 March 2016 / Accepted: 23 October 2016
© Springer Science+Business Media Dordrecht 2016



Abstract Local abiotic filters and regional processes (i.e., regional pools of species that are dispersal-limited to varying degrees) interactively structure the development of vegetation in human-disturbed habitats, yet their relative contributions to this process are still to be determined. In this study conducted in the Czech Republic, we related plant species diversity and composition of 10 fly ash and 7 mine tailings to local edaphic conditions, and to vegetation from a 100-m perimeter (regional species pool). We found that the species richness and composition on the tailings were significantly associated with diversity and composition of vegetation in the surroundings, but not with the local edaphic conditions. Species from adjacent vegetation that

were more abundant and those producing lighter seeds were more likely to establish on the tailings. The same characteristics also enhanced species abundance on the tailings, but the two predictors explained less than 10% in variation of establishment success or of species abundance. A non-significant relationship between species number and tailings size, but a significant association between diversity and time of vegetation development indicate that the study systems are still far from equilibrium. Our study provides evidence for a strong effect of regional processes, with a limited influence of measured edaphic conditions on plant communities developing *de novo*. It also highlights the necessity to consider the broader spatial context in the analysis of vegetation succession in human-disturbed habitats.

V posledních letech přináší nové poznání v intencích ekologické obnovy ekosystémů ideje a metodologie díky nedávno zrozeným disciplínám jako jsou molekulární ekologie, ekologická genetik/genomika, stresová ekologie v rámci ekotoxikologie či ekologické inženýrství.

Nový multidisciplinární obor "evolutionary and ecological functional genomics" (Feder et Mitchell-Olds 2003) - zkráceně "ekologická genomika": studuje soubory genů, jež ovlivňují evoluční zdatnost populací v daném prostředí.

Ekosystémové inženýrství (ekotechnologie) se soustředuje na to, jak organismy fyzikálně mění abiotické prostředí a jaké jsou poté zpětné vazby vůči biotě (Jones et al. 1994).

Feder, M.E. & Mitchell-Olds, T. (2003): Evolutionary and ecological functional genomics. Nature Reviews Genetics, 4, 649–655.

Jones, C.G., Lawton, J.H. & Shachak, M. (1994): Organisms as ecosystem engineers. Oikos, 69, 373–386.

Chvaletice 1975



Ukazatel 50°01'47.53" S 15°26'25.78" V výš. 232 m

© 2008 Tele Atlas
Image © 2009 GEODIS Brno
Datový proud 100%

© 2007 Google™

Výška pohledu 941 m

Koncentrace prvků v nadzemní biomase vybraných dřevin, trav, mechů, lišejníků a hub na opuštěném rudním odkališti [mg.kg⁻¹ suché biomasy]

	<u>Pb</u>	<u>Mn</u>	<u>Fe</u>	<u>Al</u>	<u>Zn</u>	<u>Cu</u>	<u>Cd</u>	<u>Ag</u>	<u>Hg</u>
<i>Betula pendula</i>	0.58	<u>799.15</u>	34.20	37.52	232.73	0.81	0.59	0.29	0.03
<i>Populus tremula</i>	1.49	<u>1263.42</u>	71.62	106.72	233.40	1.19	1.56	0.25	0.03
<i>Calamagrostis epigejos</i>	1.15	<u>1835.22</u>	56.00	36.35	19.62	0.39	0.06	0.25	0.02
<i>Phragmites australis</i>	1.33	<u>1845.66</u>	118.80	58.56	25.63	0.58	0.06	0.25	0.02
<i>Ceratodon purpureus</i>	6.71	<u>213.80</u>	<u>630.60</u>	299.20	28.40	0.60	0.08	0.25	0.09
<i>Cladonia nemoxyna</i>	3.69	<u>2294.10</u>	<u>3689.80</u>	1053.80	34.40	2.23	0.23	0.25	0.12
<i>Lactarius pubescens</i>	0.23	<u>114.57</u>	87.80	72.32	94.25	2.44	0.17	2.11	0.62

Subhalofyty (mech – *Ceratodon*, tráva zblochanec – *Puccinellia*)



Bříza - semenáčky: sezónní selekce prostředím



- kořenové deformace po kontaktu
s podpovrchovou sádrovcovou krustou

Různá stadia vegetační sukcese na odkališti



1974



1986



1997



2017



Ekoinženýrské druhy –
např. **mravenci**:
myrmekochorie a
(roznos semen) nebo
kryoturpace (přetváření
půdního povrchu)

mravenec stepní –

Formica cunicularia

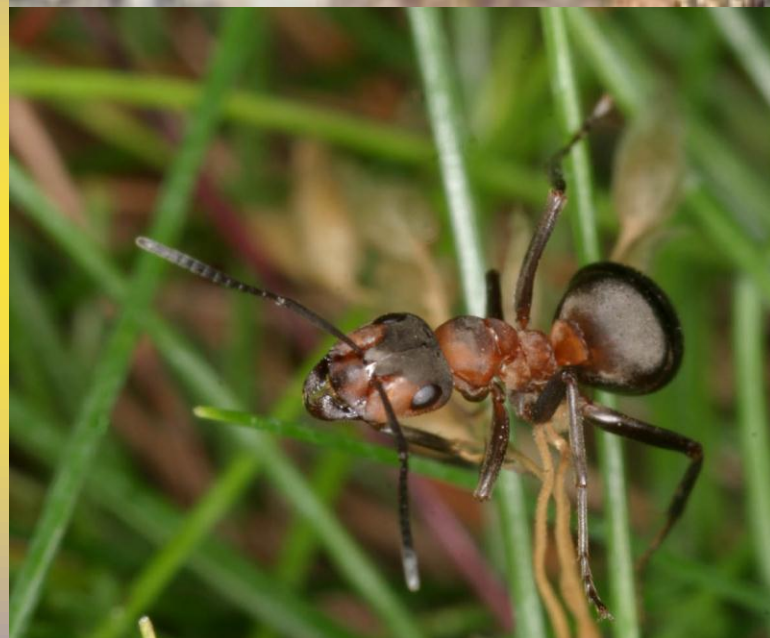
mravenec drnový

– *Tetramorium caespitum*

mravenec obecný – *Lasius niger*

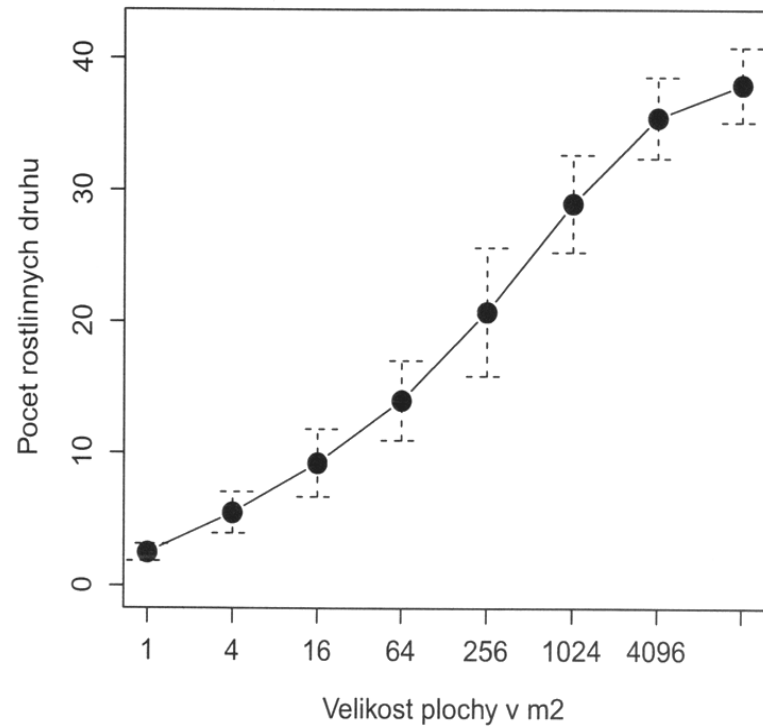
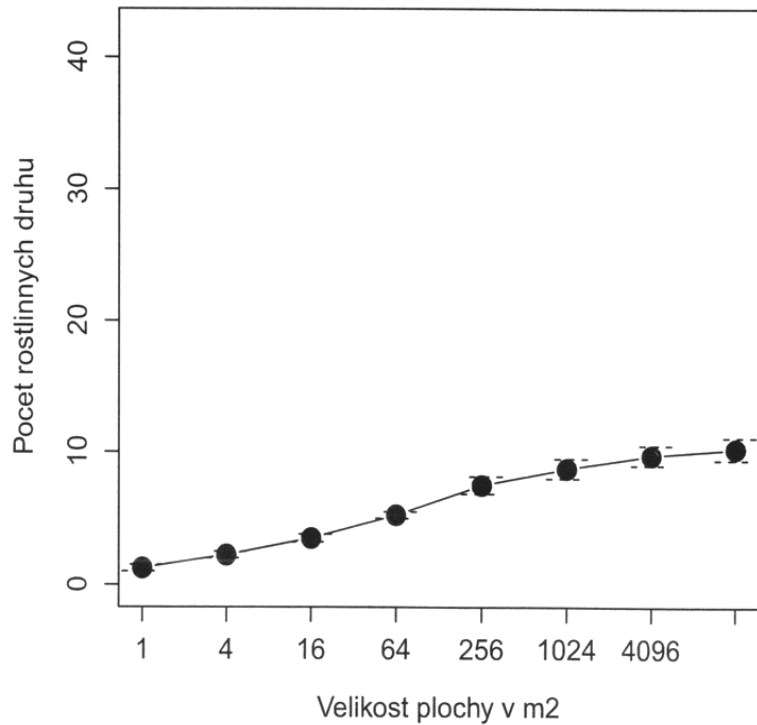
mravenec trávnickový

– *Formica rufibarbis*



**Nabídkové pokusy se
semeny: rozdíl v
sezónním odnosu
semen mezi třemi
dominantními druhy
mravenců.**





10.2478/v10285-012-0061-9

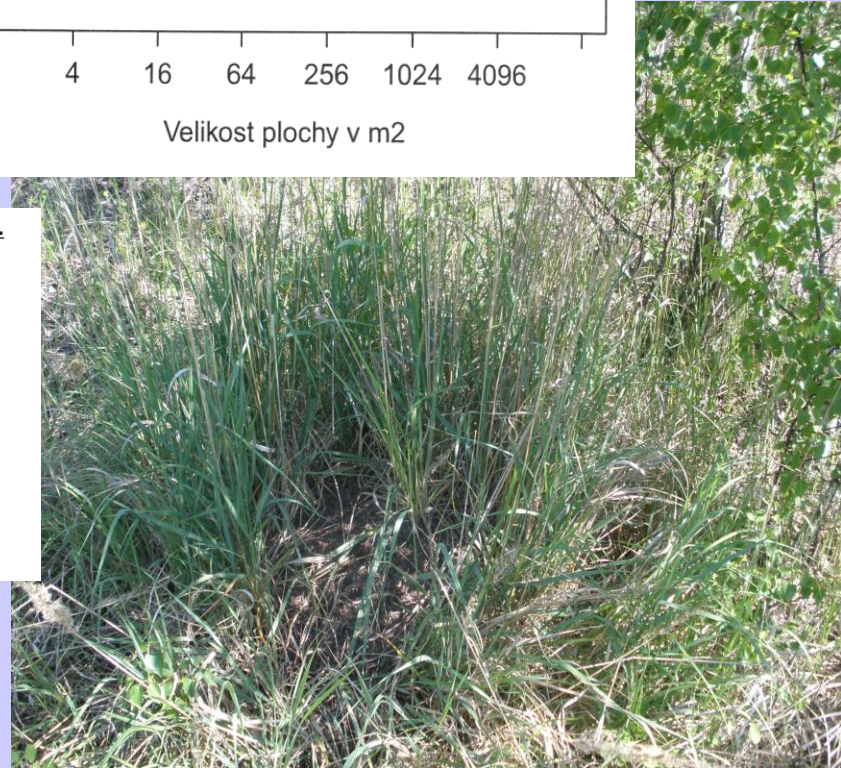
Journal of Landscape Ecology (2013). Vol: 6 / No. 1.

ANTS AS ECOSYSTEM ENGINEERS IN NATURAL RESTORATION OF HUMAN MADE HABITATS

PAVEL KOVÁŘ¹, PAVEL VOJTIŠEK² & IRENA ZENTSOVÁ²

¹Department of Botany & ²Institute of the Environment, Faculty of Science, Charles University in Prague, Benátská 2, 128 01 Prague 2, Czech Republic

Hnízdní kupa mraveniště indikující pokročilé stadium sukcese na odkališti (*Formica pratensis*)



Pracovní hypotéza studie:

Rostliny uvnitř deponie mají menší genom než jejich příbuzné rostoucí v okolí odkaliště, resp. na jeho okraji.
Vychází z předpokladu, že rostliny s menším genomem mají menší požadavky na živiny (P, N) rychlejší buněčný cyklus (není potřeba syntetizovat takové množství NK), tudíž by to měly být druhy s převážně ruderální adaptivní strategií (R-stratégové, resp. terofyty, obecně rostliny s krátkým životním cyklem, ponejvíce jednoletky), které dobře reagují na extrémní v substrátovém obsahu živin a obecně na stres nebo disturbanci dané v našem případě toxickým a texturním charakterem a dynamikou navršeného substrátu.

Výskyt a velikost genomu (DNA C-value) - příklady odkaliště sousední plochy



Vicia angustifolia
2,25

Vicia cracca
5,30



Senecio viscosus
1,55

Senecio jacobaea
2,25



Festuca gigantea
10,38



Festuca ovina
2,31



Veronica polita
0,42



Veronica chamaedrys
1,49

Měření C-hodnoty průtokovou cytometrií:

Za velikostí genomu se zpravidla považuje tzv. C-hodnota, tedy množství holoploidní jaderné DNA v jedné buňce, přičemž holoploidní genom je genom všech chromozomových sad daného jedince (Greilhuber et al. 2005). C-hodnota se polyploidizací násobí podle počtu chromozomových sad (Van Straalen et Roelofs 2011). Udávat ji můžeme více způsoby, v našem případě v pikogramech (pg). Při interpretacích dat týkajících se velikosti genomu je nezbytné zohlednit polyploidizaci - celkovou (duplikace genomu) nebo částečnou (např. chromozomální), typickou pro některé rostlinné taxony. **Výhody – nevýhody metody...**

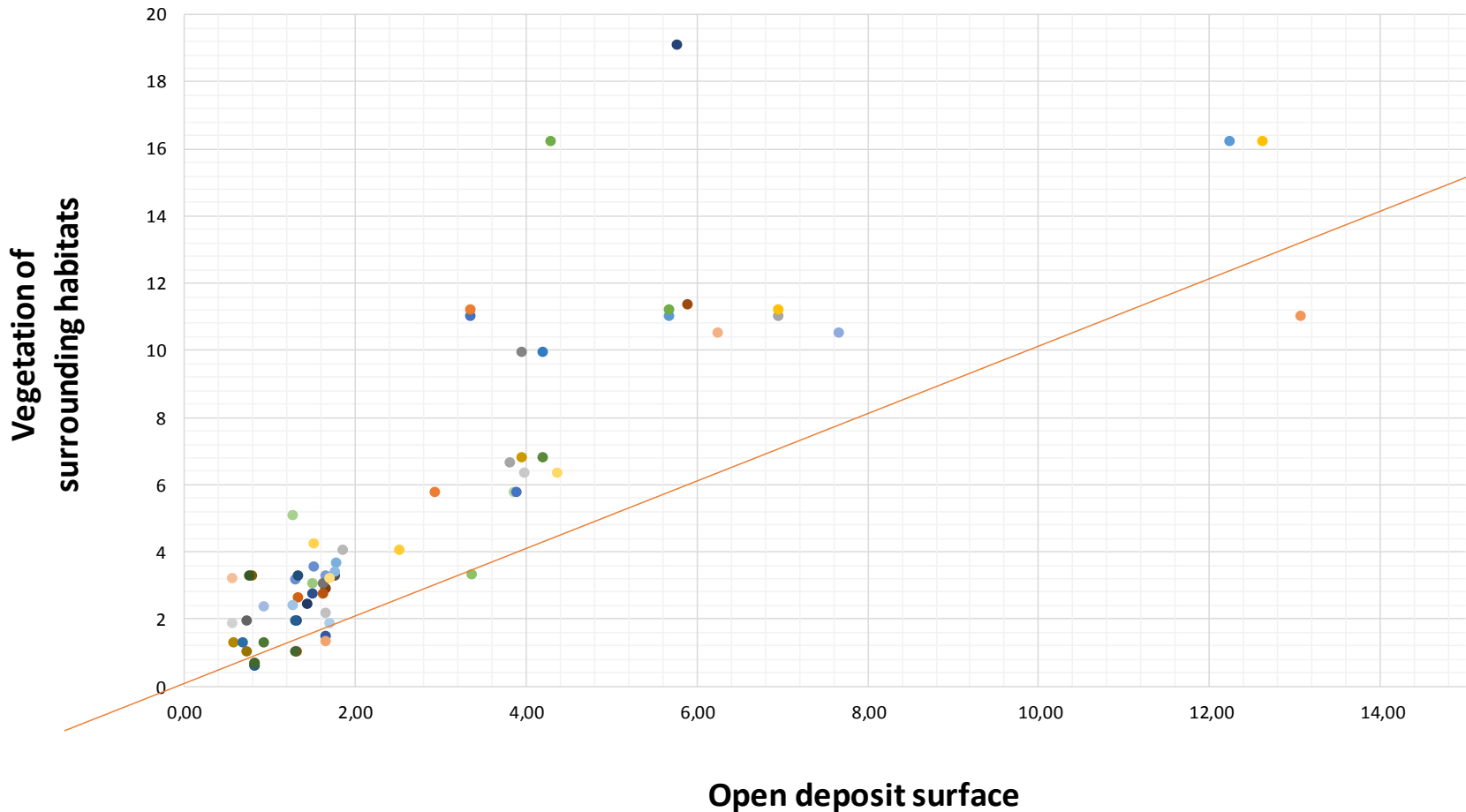
Greilhuber, J., Doležel, J., Lysak, M.A. & Bennett, M.D. (2005): The origin, evolution and proposed stabilization of the terms 'genome size' and 'C-value' to describe nuclear DNA contents. *Annals of botany*, 95(1), 255–260.

Van Straalen, N. M. & Roelofs, D. (2011): An introduction to ecological genomics. OUP, Oxford.

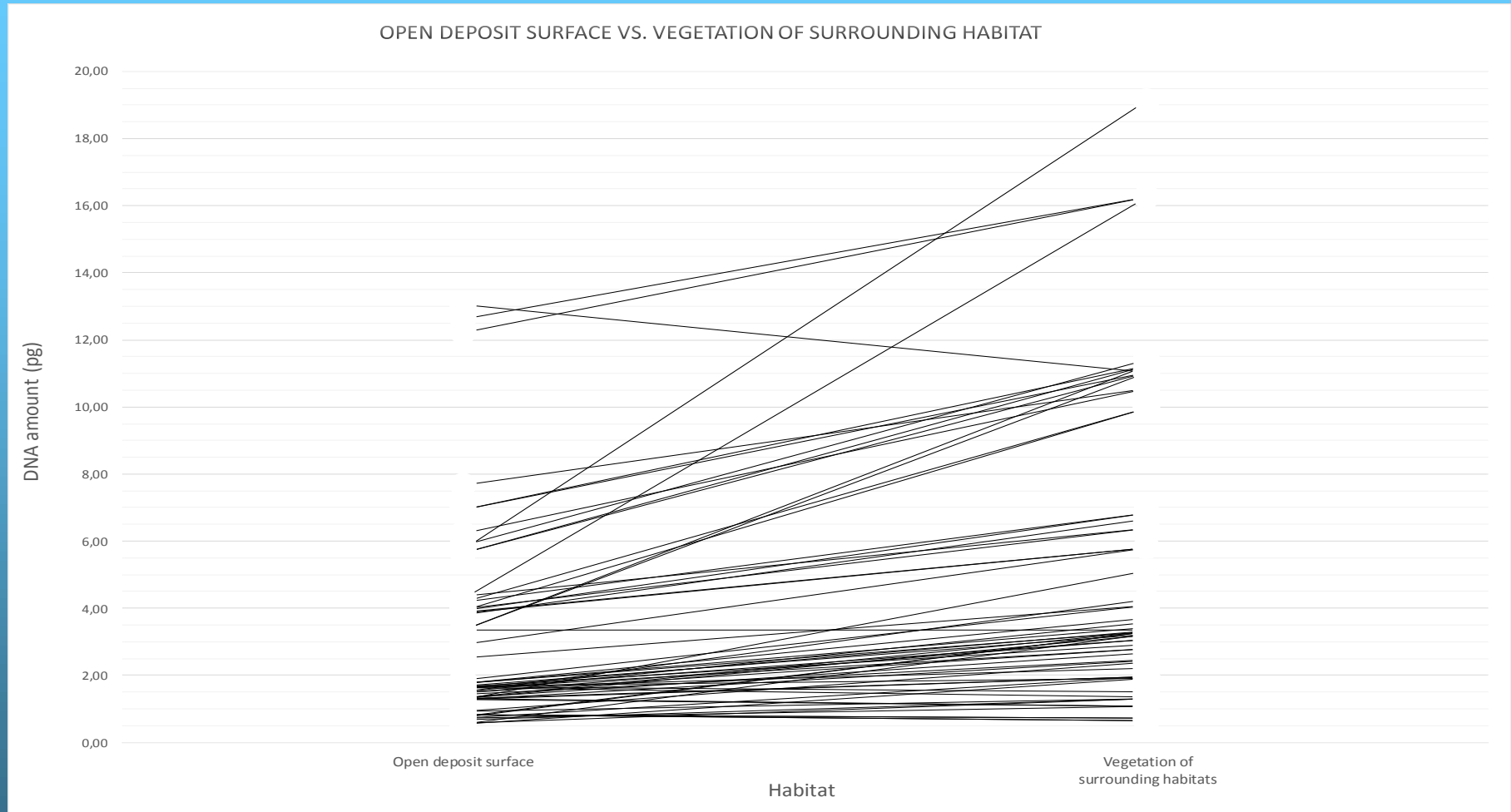
Příklad cenného druhu, jehož výskyt na opuštěném rudním odkališti je spojen se sukcesními procesy: terestrická orchidej bradáček vejčitý (*Listera ovata*), Chvaletice, 2019.



Graf interpretující bodově vztah velikosti genomů v rámci příbuzných skupin druhů. Obsahuje 67 bodů představujících různé druhové kombinace, vždy v rámci příbuzné skupiny. Umístění bodů v horní části grafu (nad úhlopříčnou čarou) naznačuje tendenci rostlin v okolí odkaliště mít větší genom.



Spojnicový graf pro srovnávané velikosti genomů u příbuzných dvojic druhů rostlin s výskytem uvnitř a vně opuštěného odkaliště



Zobrazení spojnic dvou bodů - velikostí genomu párů rostlin z kontrastních stanovišť. Nalevo jsou rostliny z otevřených partií substrátu odkaliště, napravo rostliny z blízkého okolí. Rozdíl velikostí genomu ve vnitrorodově příbuzenském páru rostlinných taxonů je indikován sklonem spojnic.

Vývody

Dosavadní výsledky v oblasti ekologické genomiky získané na modelové lokalitě opuštěného (40 let neprovozovaného) rudního odkaliště ve Chvaleticích podporují hypotézu, že **na plochách uvnitř deponie toxického substrátu**, které nedospěly v sukcesi do lesního stadia, **se vyskytují rostliny s menším genomem než mají blízcí příbuzné taxony v okolí odkaliště**. Žádoucí je v budoucnu rozhojnit datový soubor o vzorky získané z jiných analogických lokalit za použití metody průtokové cytometrie, případně rozšířit spektrum testovaných postindustriálních stanovišť v konfrontaci s jejich okolím. **Nově zjištěné parametry podporující stres-toleranci rostlin vůči ekologickým extrémům na post-industriálních deponiích v krajině mají jak indikační význam, tak potenciál pro budoucí výběr vhodných druhových kombinací urychlujících ozeleňovací proces kolonizace a vegetační sukcese.**

Plošné ostrovy „ekologických extrémů“ v krajině

Nerekultivované postindustriální plochy jsou po desetiletí objektem intenzivního studia biotických interakcí a spontánního „znovuochopení přírodou“. Je možné na ně aplikovat principy teorie ostrovní biogeografie (Wilson & MacArthur 1967).

Tam, kde k rekultivacím došlo, byly často šablonovité postupy kontraproduktivní: nevhodné klima pro introdukovaná osiva druhů z jiných oblastí způsobuje jejich vykonkurování plevelnými střeoevropskými druhy. V některých případech lesnické rekultivace poté, co dřeviny dosáhly kořenovým systémem na toxický podklad, podlehly extrémním substrátovým podmínkám; šlo-li o jehličnany a o lokalitu v dosahu zdrojů atmosférického znečištění, poškození nastalo ještě dříve vlivem atmosférické depozice škodlivin. Při zemědělské rekultivaci může být vypěstovaná biomasa kontaminována těžkými kovy či jinými škodlivými látkami.

Proto je racionální a ekonomicky efektivní využívat přirozené vegetační sukcese nebo asistovaného managementu při obnově.

Poděkování

Některé uváděné výsledky rámuující aktuální studii patří do souvislé řady grantových projektů, jimiž byly v minulosti podpořeny:

- 206/93/2256 GA ČR Biotické interakce při osidlování toxických substrátů vegetací (spolunositel BÚ AV ČR), 1993-1995
- 27200 GA UK Vývoj mezidruhových a vnitropulačních vztahů při vegetační sukcesi na toxických substrátech odkališť (spolunositel BÚ AV ČR), 1997
- G4 1880/2000 FRVŠ (MŠMT ČR) Ekobiologie stres-tolerantních druhů trav a hmyzu na opuštěných odkalištích, 2000
- G4 2001/1792 FRVŠ (MŠMT ČR) Vliv různých parametrů semen na průběh primární sukcese rudního odkaliště, 2001
- G4 2002/2348 FRVŠ (MŠMT ČR) Diverzita rostlin na ostrovních biotopech odkališť v ČR, 2002
- 526/02/0651 GAČR Publikační grant: English monograph - Natural recovery of human-made deposits in landscape (Biotic interactions and ore/ash-slag artificial ecosystems), 2002
- 120/21-31300042 Výzkumný záměr MŠMT ČR (subprojekt Ekologická plasticita a taxonomická variabilita expanzivních rostlinných druhů), 1999-2004

Dále za participaci na sběru dat v terénu, determinaci druhů a konzultace při zpracování vzorků patří poděkování kolegům a studentům z Katedry botaniky PřF UK a Katedry biologie PřF UHK: T.Urfusovi, M.Weiserovi, O.Rauchovi, P.Pechovi, A.Burešové a dalším, příležitostným pomocníkům.