

Stanovení empirických kritických zátěží dusíku jako indikátoru rizika změny biodiverzity lesního porostu

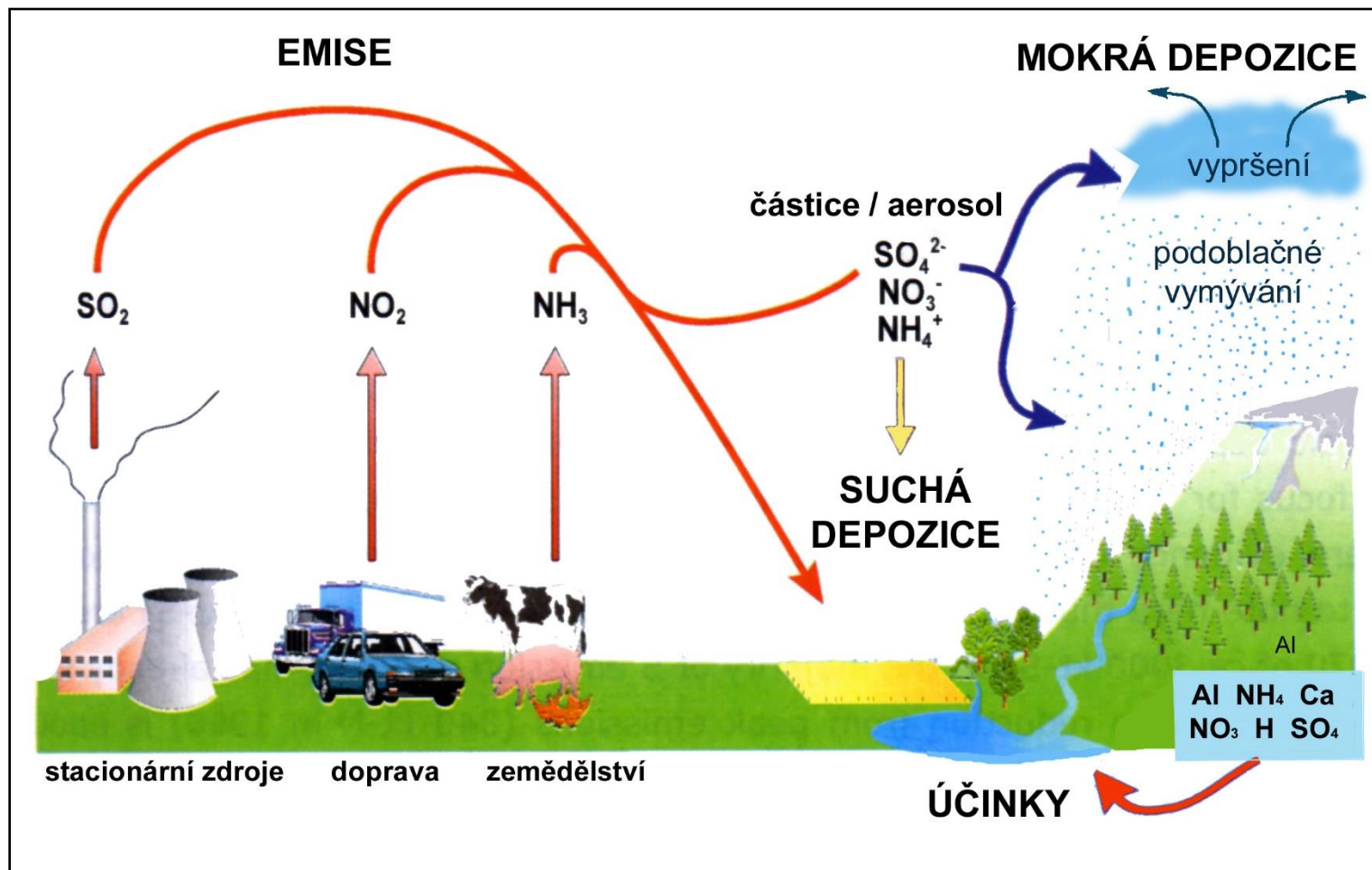
Miloš Zapletal (*Fyzikální ústav Slezské univerzity v Opavě*)

Pavel Samec (*Ústav globální změny AV ČR*)

Šárka Cimalová (*Přírodovědecká fakulta, Ostravská univerzita*)

Radek Kadlubiec (*Česká geologická služba*)

Emise, transport a depozice acidifikujících polutantů



Podle: NEGTA (2001), Driscoll et al. (2001)

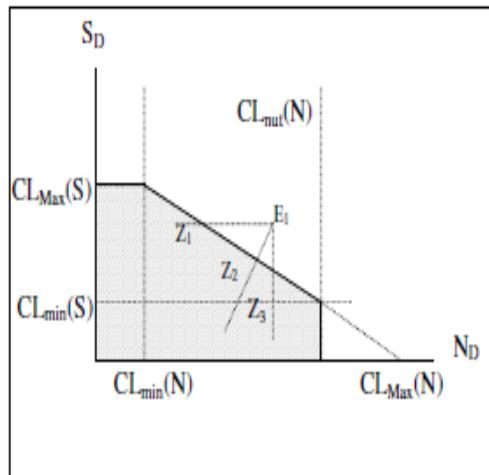
Koncept kritických zátěží

- **Kritická zátěž** je definována jako „nejvyšší dávka znečišťující látky, která ještě nezpůsobí chemické změny vedoucí k dlouhotrvajícím škodlivým účinkům na strukturu a funkci ekosystému“.
- Z hlediska ochrany biotopů před účinky atmosférické depozice síry a dusíku je důležité znát atmosférickou depozici, kritické zátěže a velikost překročení (o které je nezbytné snížit atmosférickou depozici síry a dusíku tak, aby nedocházelo k další devastaci přírodního prostředí acidifikací a eutrofizací).

Metody pro stanovení kritických zátěží nutričního dusíku

podle hmotové bilance dusíku za předpokladu ustáleného stavu. Metoda je založena na odhadu rychlostí nejvýznamnějších procesů vstupu a výstupu dusíku v daném ekosystému

$$CL(S) + (1 - f_{DE})CL(N) = BC_D + BC_W - BC_U + (1 - f_{DE})(N_I + N_U) - ANC_{L,crit}$$



$$CL_{Max}(S) = BC_{dep} - CL_{dep} + BC_w - BC_u - ANC_{le(crit)}$$

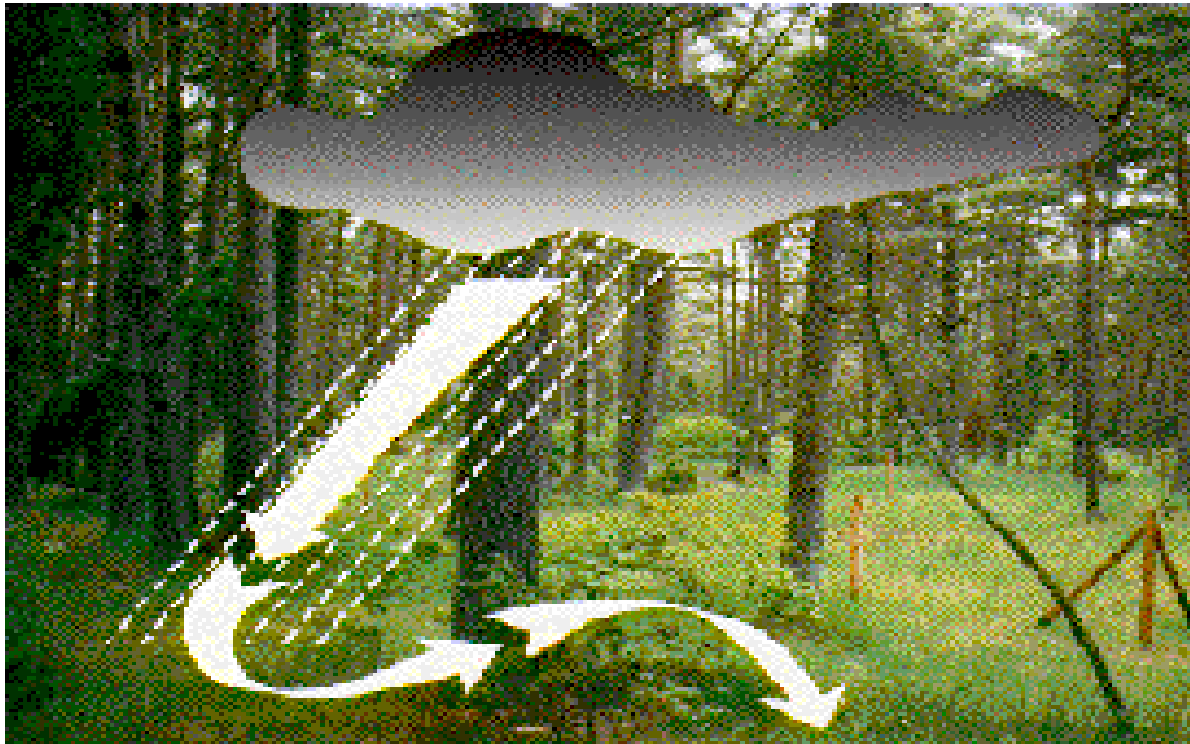
$$CL_{min}(N) = N_I + N_U$$

$$CL_{Max}(N) = CL_{min}(N) + \frac{CL_{Max}(S)}{1 - f_{DE}}$$

$$CL_{nut}(N) = N_I + N_U + \frac{N_{L,crit}}{1 - f_{DE}}$$

Empirické kritické zátěže

Metoda představuje hodnocení na základě sledování změn ve funkci a struktuře ekosystémů (Achermann and Bobbink, eds., 2003).



Základní otázka:

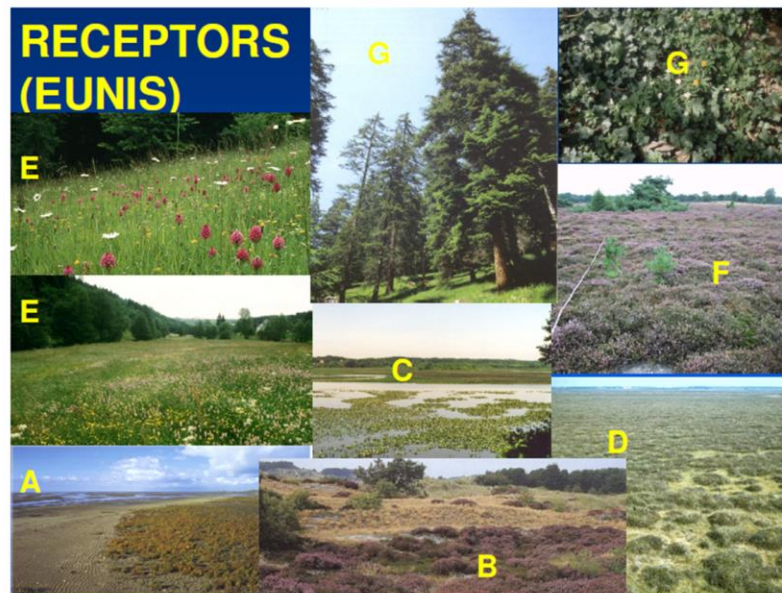
Existuje kvantifikovatelný vztah mezi empirickou N kritickou zátěží a změnami v diverzitě rostlin?

Druhová bohatost:

S_n/S_c :

S_n : Počet druhů na území obohaceném dusíkem

S_c : počet druhů v kontrolním území

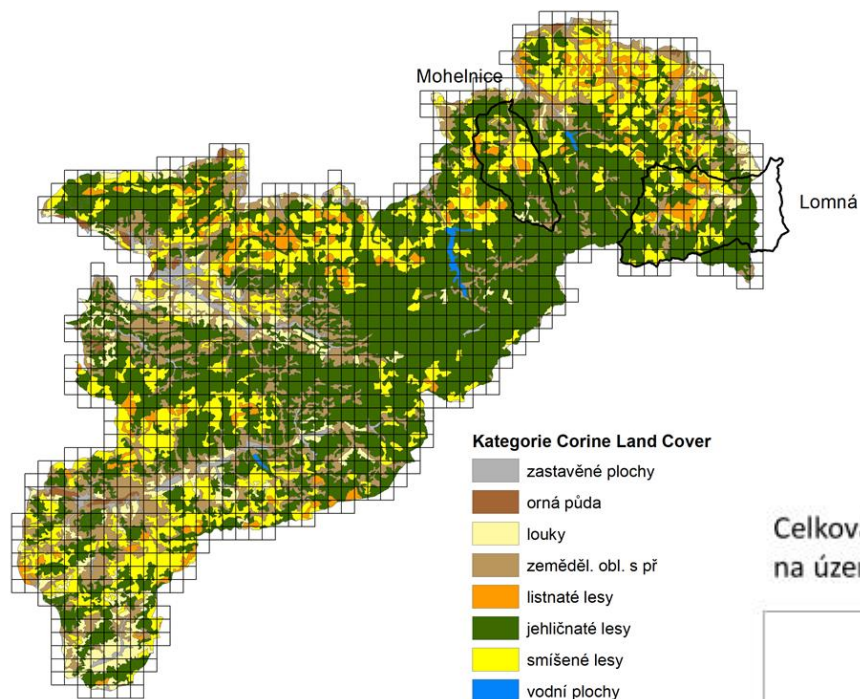


Náš přístup ke stanovení empirických kritických zátěží dusíku

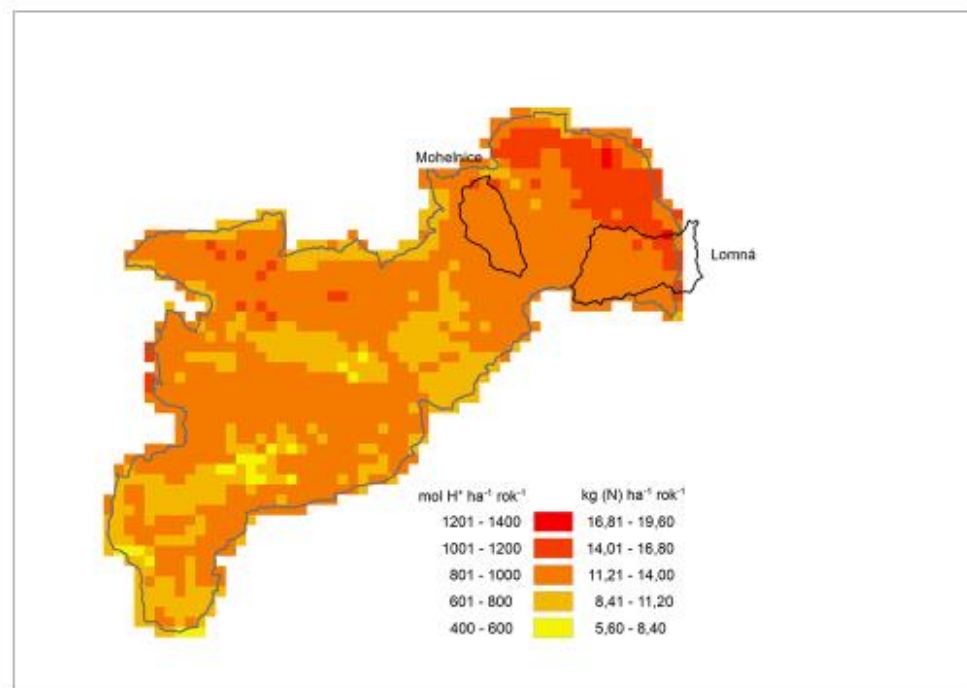
K řešení byl použit statistický odhad fytoindikace kritické zátěže dusíkem v ekosystémech charakterizujících přirozený region.

Region byl vymezen horským zvláště chráněným územím CHKO Beskydy. Řešení bylo rozděleno na etapy posouzení významnosti vlivu depozice dusíku v rámci environmentálních prediktorů a na predikci dopadů během scénářů environmentální změny.

Srovnávány jsou prediktory stanovištních podmínek bylin jako teplota, srážky, depozice dusíku, hustota celkového zápoje vegetace a vlastnosti půdní organické hmoty.



Celková depozice oxidovaných a redukovaných forem dusíku (NO_y a NH_x) na území CHKO Beskydy



Materiál a metoda

- Environmentální a fytocenologická data transformovaná do nepravidelného bodového pole. Bodové pole sestávalo z údajů z let 1994, 1998, 1999, 2000, 2003, 2004 a 2007 na území CHKO Beskydy. Environmentální data zahrnovala jak grid 1x1 km atmosférických vlastností, tak morfometrii odvozenou z DMT ZABAGED a obsah půdního dusíku (Nt) zjišťovaný při fytocenologických průzkumech lesních půd.
- Fytocenologická data byla excerpována z vegetačních snímků České národní fytocenologické databáze (ČNFD) do databáze nitrofilních (NFi) a nitrofobních (NFo) rostlinných druhů (Chytrý & Rafajová 2003).
- Údaje o nelesních rostlinách byly poskytnuty AOPK ČR, údaje o lesních rostlinách a půdním dusíku (Nt) byly získány z databáze oblastních plánů rozvoje lesů UHUL Brandýs nad Labem.
- Taxony byly setříděny dle frekvence výskytu, dále dle Ellenbergových ekologických hodnot (EIH) pro živiny, teplotu, vlhkost, pH a světlo - vypracovaných pro Českou republiku (Chytrý et al. 2018) (Cimalová, 2018).

- Klimatické vlastnosti byly interpolovány v síti 1x1 km pomocí modifikované IDW ze staničních dat měření Českého hydrometeorologického ústavu (Hadaš, 2000).
- Morfometrie byla definována pomocí nadmořské výšky, sklonu a expozice reliéfu z digitálního modelu terénu základní báze geografických dat Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního 10×10 m (Čada a Šilhavý, 2013).
- Modelování vztahu mezi pokryvností lesních bylin a depozicí dusíku bylo zaměřeno na průzkumovou analýzu, porovnání významnosti vlivu depozice dusíku a morfometrie stanovišť a aproximaci odezvy bioindikátorů.

Proměnné byly rozděleny mezi **prediktory charakterizující růstové prostředí** a

abiotické

výška

expozice

sklon

Nt – půdní dusík

ND – depozice dusíku

teplota

srážky

receptory zastoupené pokryvností vybraných druhů indikačních bylin.

biotické

kryt

stromy

keře

byliny

mechy

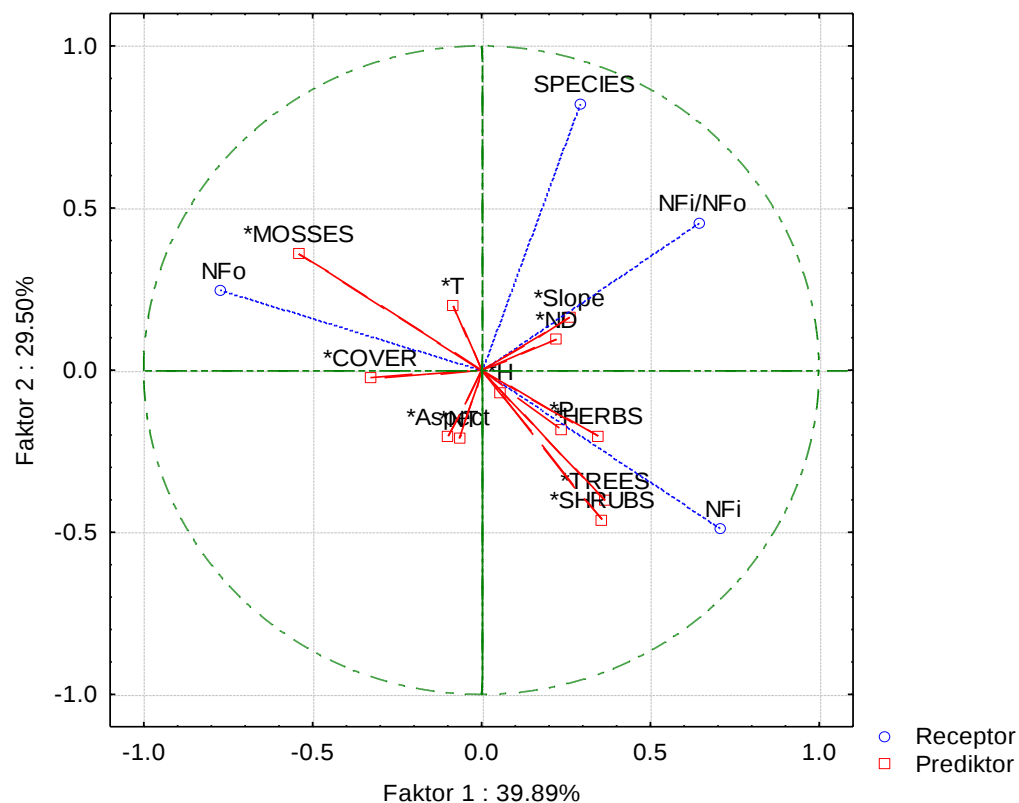
Průzkumová analýza byla provedena pomocí lineárních korelací a analýzy hlavních komponent (PCA). PCA byla zaměřena na posouzení podobností rozdělení hodnot srovnávaných prediktorů a receptorů, kdežto korelační analýza byla určena k její verifikaci.

Hlavní komponenty proměnných srovnávaných složek skupin hlavních beskydských ekosystémů

Subsystém	Biotop	Složka	Veličina	Faktor1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4
Fytocenóza	mokřadní	taxony	počet	0.29	0.82	-0.42	-0.25
		synuzie	NFo	-0.77	0.25	0.38	-0.44
			NFi	0.70	-0.49	0.05	-0.51
			NFi/NFo	0.64	0.45	0.60	0.15
	luční	taxony	počet	-0.86	0.26	0.02	0.44
		synuzie	NFo	0.45	0.61	-0.65	0.10
			NFi	-0.19	-0.81	-0.55	0.09
			NFi/NFo	-0.84	0.24	-0.24	-0.42
	lesní	taxony	počet	-0.56	0.29	0.76	0.18
		synuzie	NFo	0.40	-0.80	0.45	-0.02
			NFi	-0.77	-0.42	-0.34	0.34
			NFi/NFo	-0.89	-0.18	0.02	-0.42
Prediktory	mokřadní	biotické	kryt	-0.33	-0.02	0.09	-0.28
			stromy	0.37	-0.40	-0.03	-0.48
			keře	0.36	-0.46	-0.03	-0.58
			byliny	0.35	-0.20	-0.39	0.28
			mechy	-0.54	0.36	0.17	-0.38
		abiotické	výška	0.05	-0.07	-0.03	-0.20
			expozice	-0.10	-0.20	-0.02	-0.20
			sklon	0.26	0.16	-0.12	-0.22
			Nt	-0.07	-0.21	-0.13	0.28
			ND	0.22	0.09	-0.19	-0.43
			teplota	-0.08	0.20	-0.01	0.10
			srážky	0.24	-0.18	-0.38	-0.28
		luční	biotické	kryt	0.19	0.32	0.20
			stromy	0.19	-0.02	-0.25	-0.13
			keře	0.04	0.14	0.27	-0.31
			byliny	0.05	0.67	0.23	-0.01
			mechy	0.02	-0.07	0.05	-0.09
		abiotické	výška	0.07	-0.05	0.01	-0.09
			expozice	-0.01	0.58	0.23	0.03
			sklon	0.27	0.45	-0.16	0.13
			Nt	0.20	0.01	0.01	0.00
			ND	0.00	0.48	0.35	-0.23
			teplota	-0.22	-0.36	-0.21	0.37
			srážky	-0.14	0.07	0.08	-0.23
	lesní	biotické	kryt	0.35	0.11	0.13	-0.21
			stromy	0.17	-0.17	0.03	-0.09
			keře	0.24	0.28	0.37	-0.17
			byliny	0.30	0.74	0.06	-0.38
			mechy	-0.12	0.53	0.20	0.09
		abiotické	výška	-0.35	0.29	0.31	-0.25
			expozice	0.43	0.34	-0.19	-0.53
			sklon	0.13	-0.03	0.21	-0.32
			Nt	0.07	-0.29	0.02	0.29
			ND	0.48	0.37	-0.25	-0.25

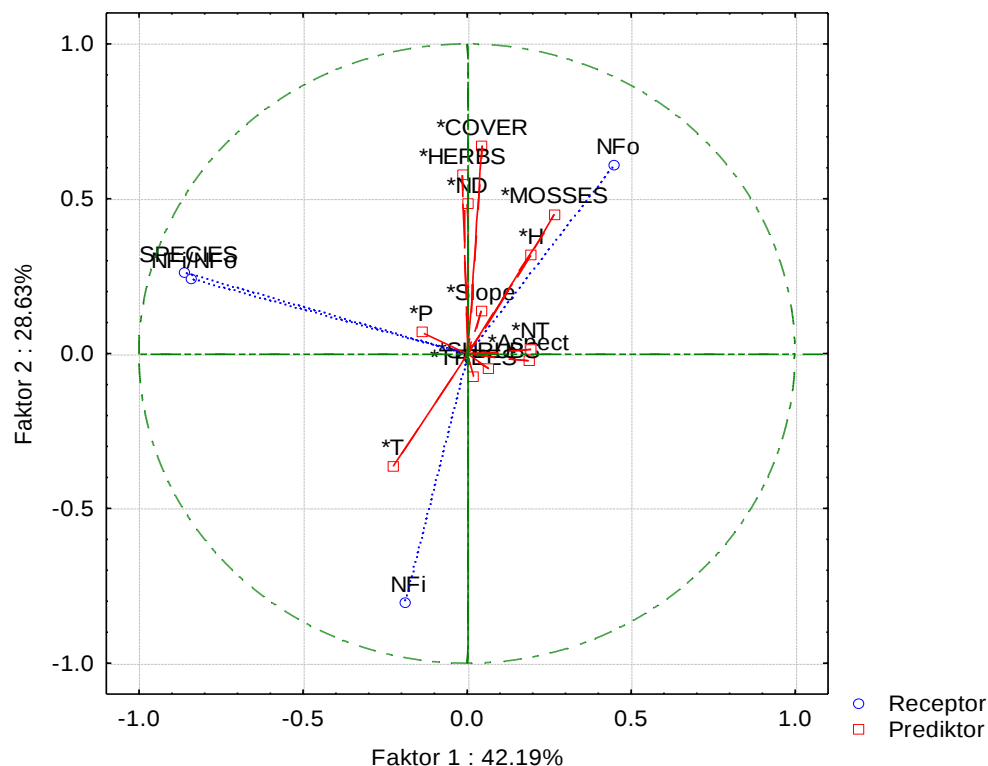
Průzkumová analýza potenciálních vztahů mezi prediktory růstových podmínek a zastoupením N-indikačních rostlinných druhů v mokřadních biotopech

- počet mokřadních druhů bylin a poměr zastoupení nitrofilních/nitrofobních druhů (NFi/NFo) se vyskytuje ve stejném kvadrantu komponentních vah s depozicí dusíku (ND) a sklonem



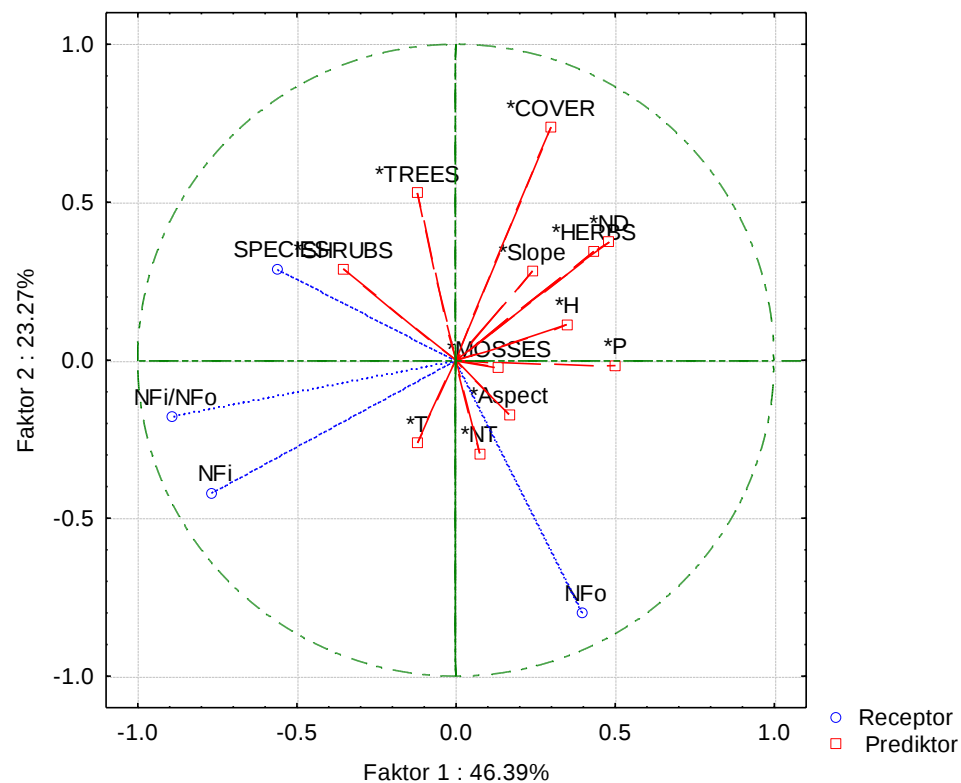
Průzkumová analýza potenciálních vztahů mezi prediktory růstových podmínek a zastoupením N-indikačních rostlinných druhů v lučních biotopech

- charakteristický výskyt komponentních vah počtu druhů a zastoupení nitrofilních/nitrobojných druhů NFi/NFo se srážkovými úhrny a pokryvností bylinného patra
- korespondence mezi NFi se sklonem, ND, půdním Nt a celkovými pokryvnostmi fytoceenózy nebo mechového patra
- korespondence mezi NFi a teplotou
- výskyt významné odezvy synuzie bylin na depozici dusíku se projevuje pouze v některých letech
- zastoupení nitrofilních druhů koresponduje s atmosférickými srážkami a celkovými pokryvnostmi bylinného patra



Průzkumová analýza potenciálních vztahů mezi prediktory růstových podmínek a zastoupením N-indikačních rostlinných druhů v lesních biotopech

- korespondence mezi NFi a teplotou
- synuzie NFo koresponduje s depozicí dusíku více než NFi nebo NFi/NFo
- zastoupení nitrofilních druhů koresponduje s atmosférickými srážkami a celkovými pokryvnostmi stromového patra



Vztahy mezi synuzií vybraných bylin se v odlišných biotopech jeví průkaznější vůči klimatickým vlastnostem než vůči ND nebo reliéfu.

Lineární korelace přibližně odpovídají PCA mezi klimatickými vlastnostmi a NFi nebo NFo v nelesních biotopech.

Souvislost mezi synuzií vybraných bylin a reliéfem nebo depozicí dusíku nebyla pomocí lineárních korelací významná.

Lineární korelace vlastností prostředí v hlavních biotopech s pokryvností nitrofilních nebo nitrofobních druhů při $P < 0.10$ (tučně při $P < 0.05$).

Biotop	Indikátor	kryt	stromy	keře	byliny	mechy	výška	expozice	sklon	N _t	ND	T	R
mokřadní	SPECIES	-0.08	-0.09	-0.11	0.03	0.16	0.02	-0.13	0.32	0.33	-0.21	0.12	0.15
	NFo	0.41	-0.18	-0.14	-0.59	0.74	0.02	0.10	-0.11	-0.03	-0.18	0.07	-0.25
	NFi	-0.07	0.70	0.77	0.18	-0.35	0.17	0.13	0.21	0.32	-0.09	-0.21	0.38
	NFi/NFo	-0.21	-0.04	-0.08	-0.06	-0.14	-0.04	-0.20	0.14	0.01	-0.17	0.05	-0.20
	SPECIES	0.13	-0.07	-0.11	0.18	-0.06	-0.22	-0.23	-0.13	0.03	-0.16	0.26	0.04
lužní	NFo	0.28	-0.08	-0.01	0.20	0.51	0.12	0.22	-0.10	0.04	0.09	-0.15	-0.10
	NFi	-0.68	0.02	0.02	-0.59	-0.31	-0.43	0.11	-0.30	-0.61	-0.05	0.49	-0.10
	NFi/NFo	0.07	-0.01	-0.03	0.08	-0.13	0.00	-0.05	0.06	0.13	-0.16	0.00	0.21
	SPECIES	0.02	0.39	0.47	-0.39	0.02	-0.10	-0.13	0.20	-0.39	-0.06	-0.07	-0.51
lesní	NFo	-0.44	-0.38	-0.23	-0.18	0.17	0.11	0.22	0.04	-0.21	0.27	0.10	0.10
	NFi	-0.69	-0.17	-0.04	-0.59	-0.28	-0.43	-0.10	-0.49	-0.53	0.16	0.32	-0.34
	NFi/NFo	-0.24	-0.02	0.38	-0.23	0.02	-0.24	-0.08	-0.19	-0.40	-0.13	0.06	-0.39
	SPECIES	0.02	0.39	0.47	-0.39	0.02	-0.10	-0.13	0.20	-0.39	-0.06	-0.07	-0.51

Těsnost závislosti pomocí r^2 časového zpoždění odezvy synuzie indikačních rostlin na depozici dusíku v různých skupinách beskydských ekosystémů.

[illegible]

- odezva indikačních nitrofobních druhů na depozici dusíku
korespondovala částečně jen v lučních a lesních biotopech

- v lučních biotopech se nejvýznamnější odezva rostlin vůči depozici dusíku vyskytla v letech 1998 a 2004, kdežto v lesích se významná odezva vyskytla zejména v roce 1999

- mokřadní nitrofobní druhy odrazily v roce 1999 zátěž ND z období 1994-1999

- luční nitrofobní druhy nejvýznamněji odrazily ND z období 1994-2004 v roce 2004

- luční nitrofilní odrážely v roce 2007 depozici dusíku z období 1998-2007

- lesní nitrofilní zaznamenaly v roce 1999 depozici z období 1994-1999

- zastoupení nitrofobních a nitrofilních druhů reagují na zátěž depozicí dusíku s výrazně odlišnou intenzitou.

- nejdelší odezva lučních společenstev přesáhla 10 let

- odezva mokřadních nebo lesních rostlin 10 let nepřesáhla

Kritická zátěž se projevila poklesem zastoupení nitrofobních druhů pod 10 % nebo výskytem zastoupení nitrofilních druhů mezi 2.2-9.7 %.

Odezva N_{Fo} je patrná při 3x vyšších pokryvnostech než N_{Fi} na zátěž o 1/3 vyšší.

Kritická zátěž dusíkem způsobující pokles zastoupení nelesních N_{Fo} je **> 1400** mol+/ha.rok.

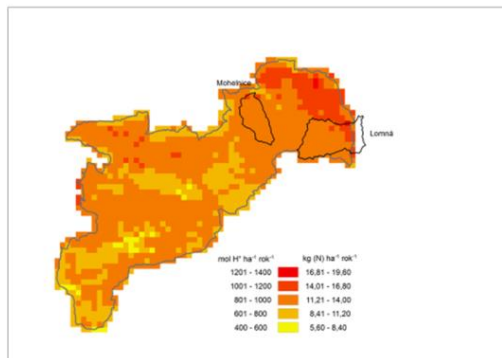
Vzrůst zastoupení nelesních N_{Fi} způsobuje zátěž již **> 800** mol+/ha.rok.

Pokles zastoupení lesních N_{Fo} způsobuje zátěž **> 2125** mol+/ha.rok.

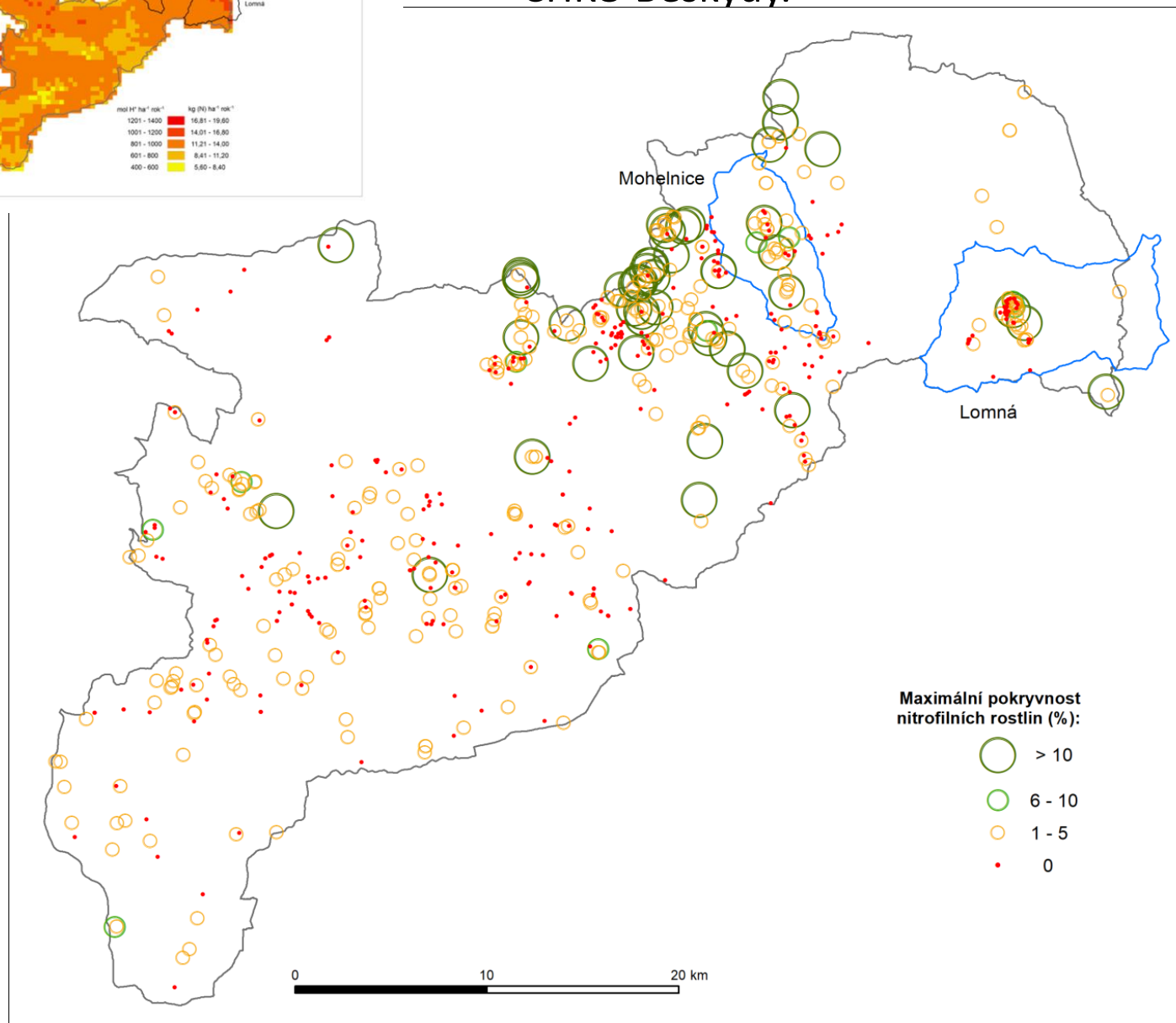
Zvýšení zastoupení lesních N_{Fi} nastává při zátěži **> 1680** mol+/ha.rok .

Parametry logistické funkce kritické zátěže dusíku (CL-N) pro indikační pokryvnost (IP) nitrofobních (N_{Fo}) nebo nitrofilních (N_{Fi}) bylin

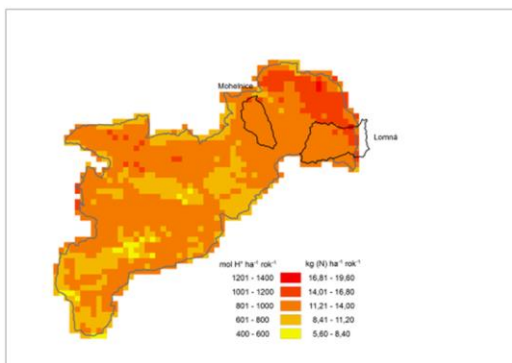
Indikátor	Biotop	Perioda	β_0	β_{1994}	β_{1998}	β_{1999}	β_{2000}	β_{2003}	β_{2004}	β_{2007}	IP	CL-N
N _{Fo}	mokřadní	5	-6.541	0.001	0.003	-0.002	-	-	-	-	< 10	1500
	luční	10	-152.963	-0.070	0.145	0.021	-	-	-	-	< 29	1410
	lesní	5	-0.987	-0.060	0.103	-0.024	-	-	-	-	< 7.7	2125
N _{Fi}	mokřadní	9	-6.394	0.003	0.001	-0.001	0.001	-0.004	-	-	> 2.3	900
	luční	13	14.434	0.019	-0.032	0.013	-0.015	-0.016	-0.002	0.026	> 9.7	832
	lesní	5	-15.411	0.032	-0.040	0.007	-	-	-	-	> 2.2	1680



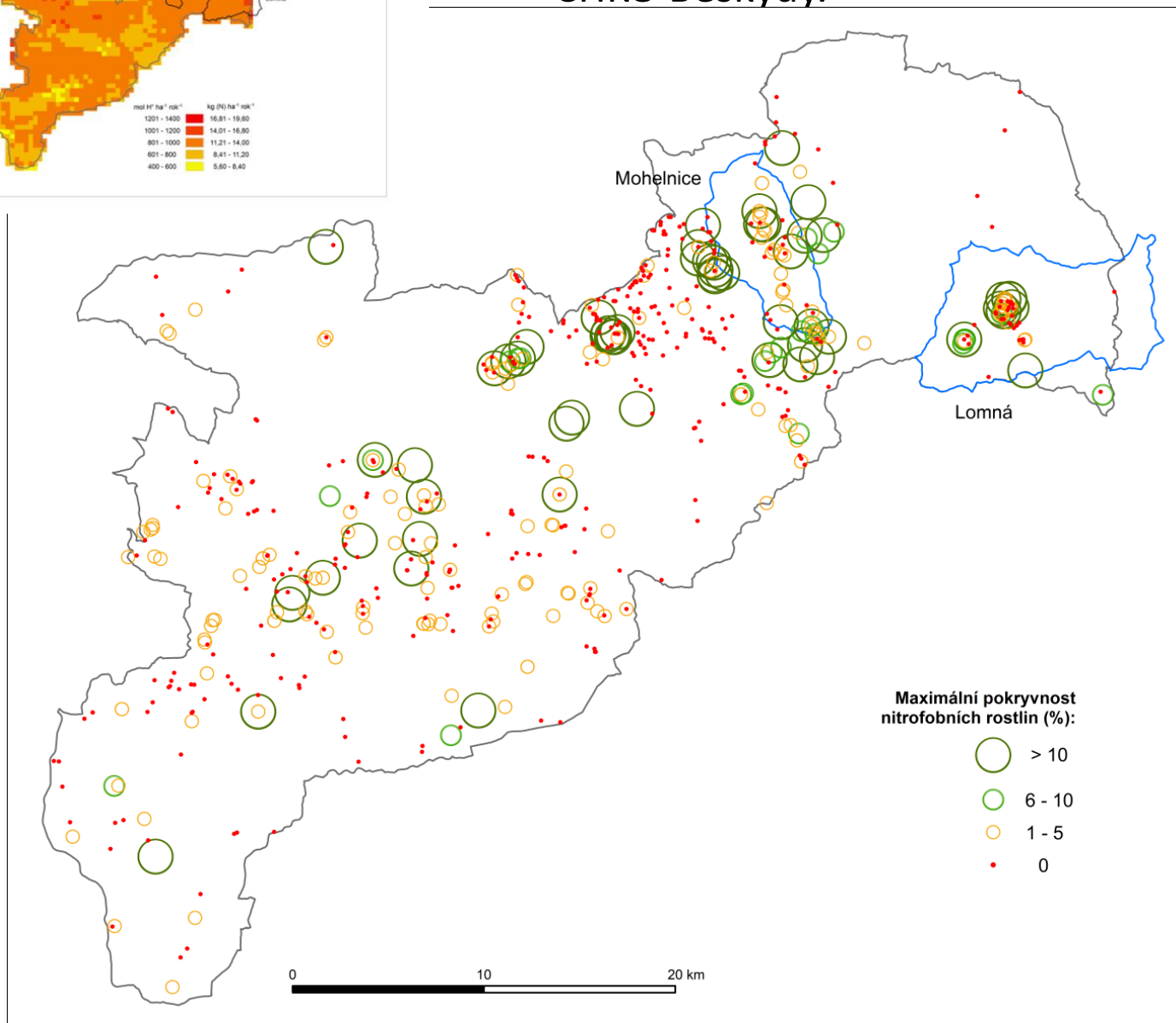
Prostorová distribuce a maximální pokryvnost nitrofilních rostlin na území CHKO Beskydy.



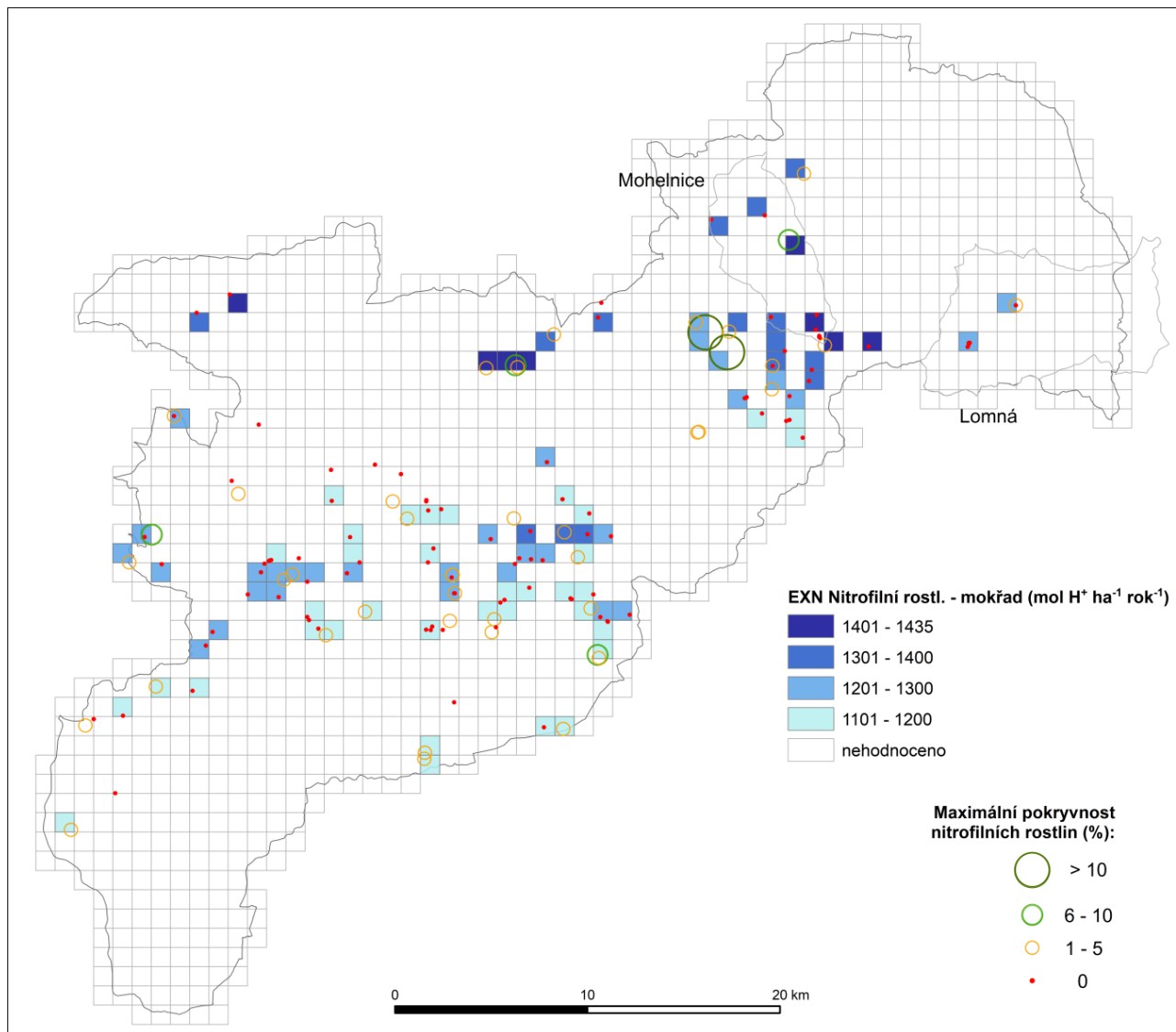
Celková depozice oxidovaných a redukovaných forem dusíku (NO_x a NH_3)
na území CHKO Beskydy



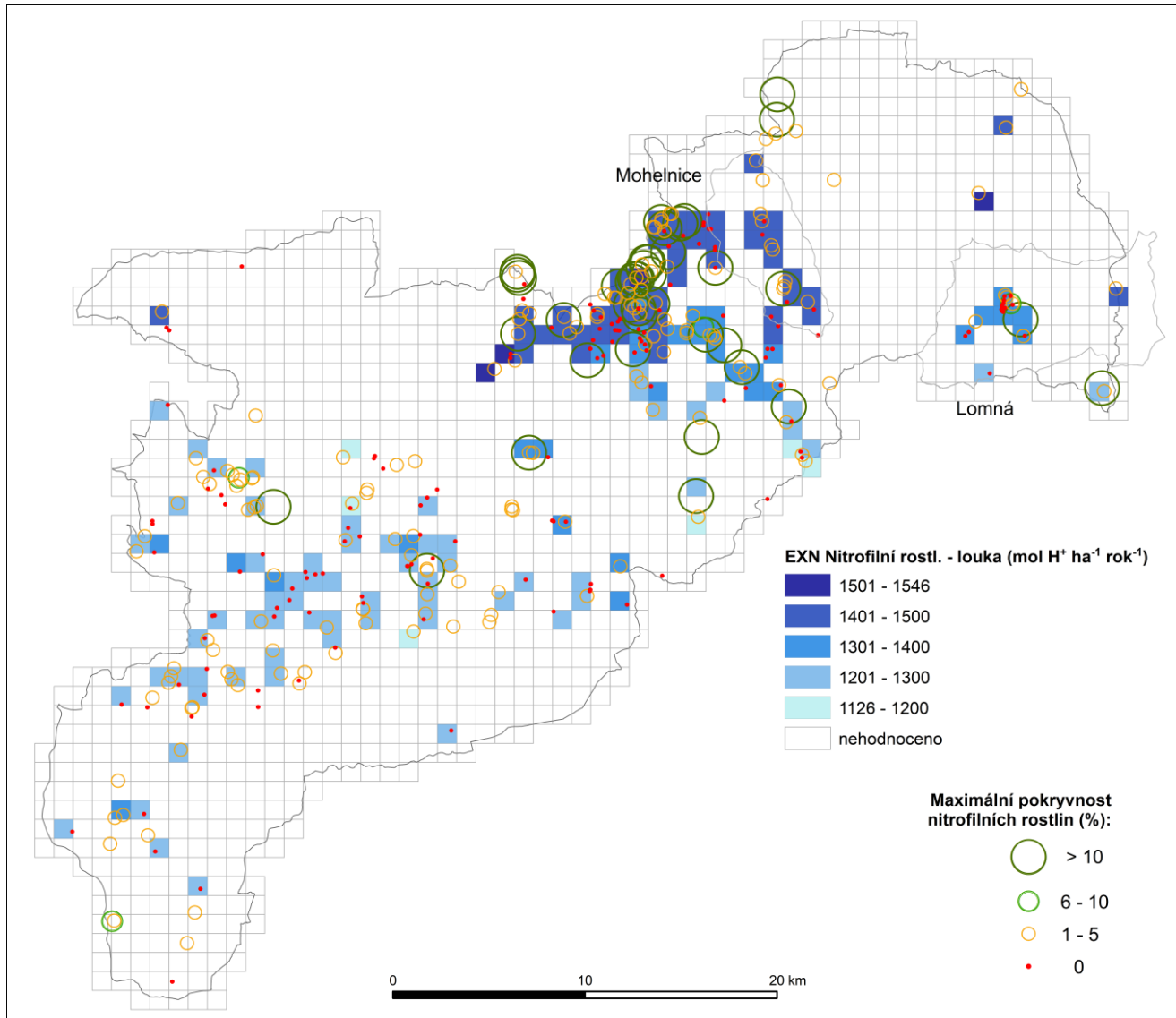
Prostorová distribuce a maximální pokryvnost nitrofobních rostlin na území CHKO Beskydy.



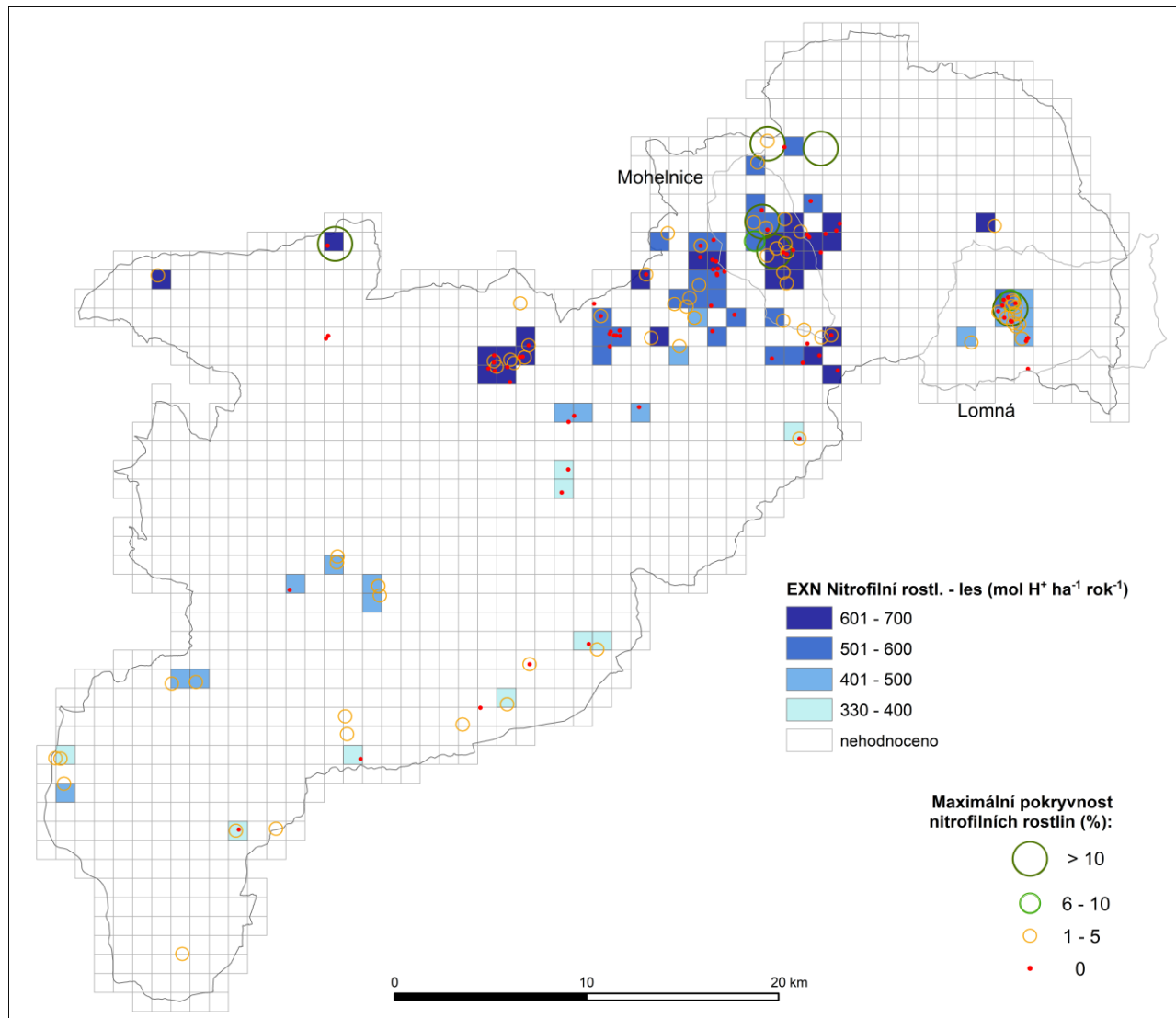
Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro nitrofilní rostliny v mokřadech CHKO Beskydy.



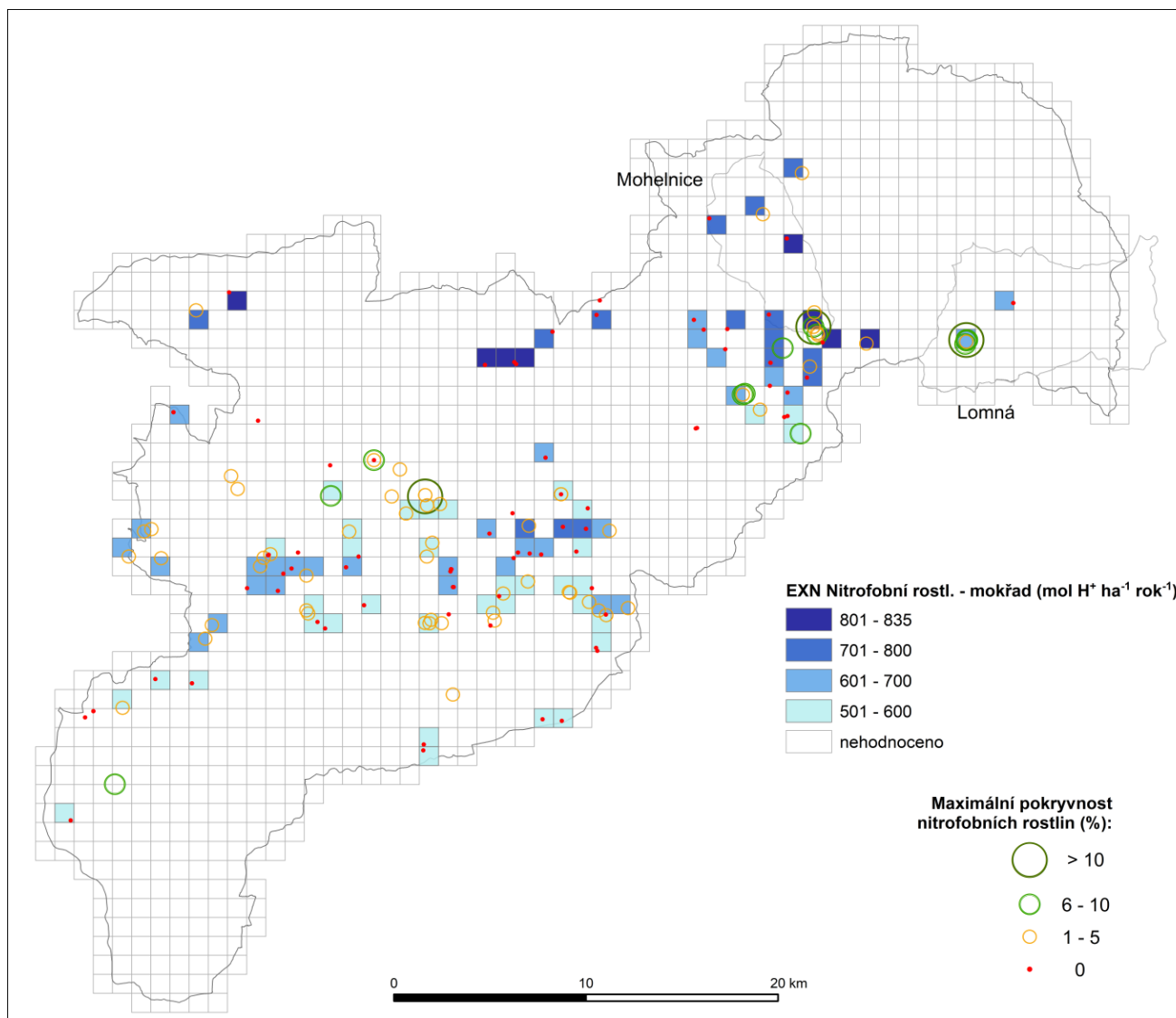
Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro nitrofilní rostliny na loukách CHKO Beskydy.



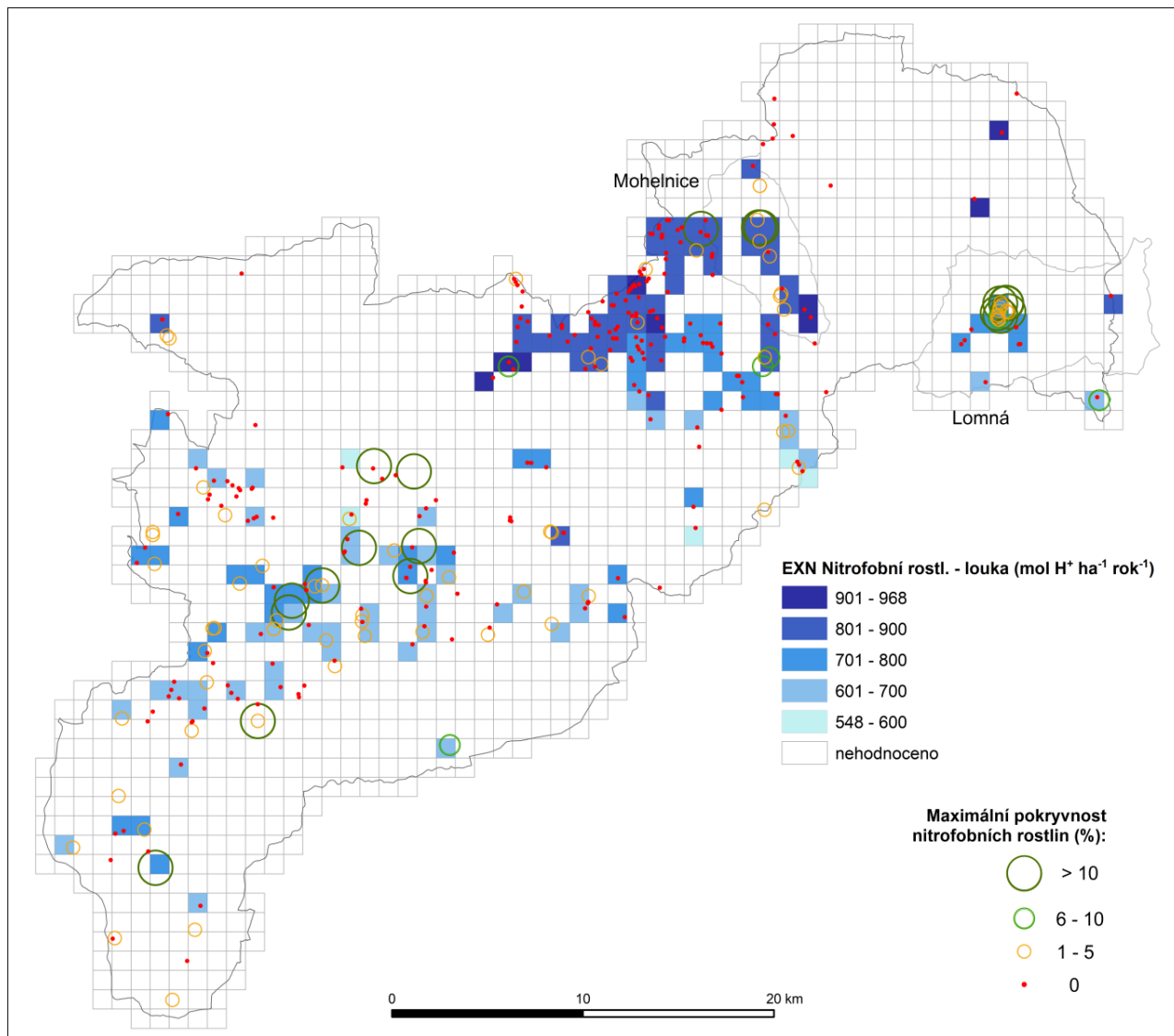
Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro nitrofilní rostliny v lesích CHKO Beskydy.



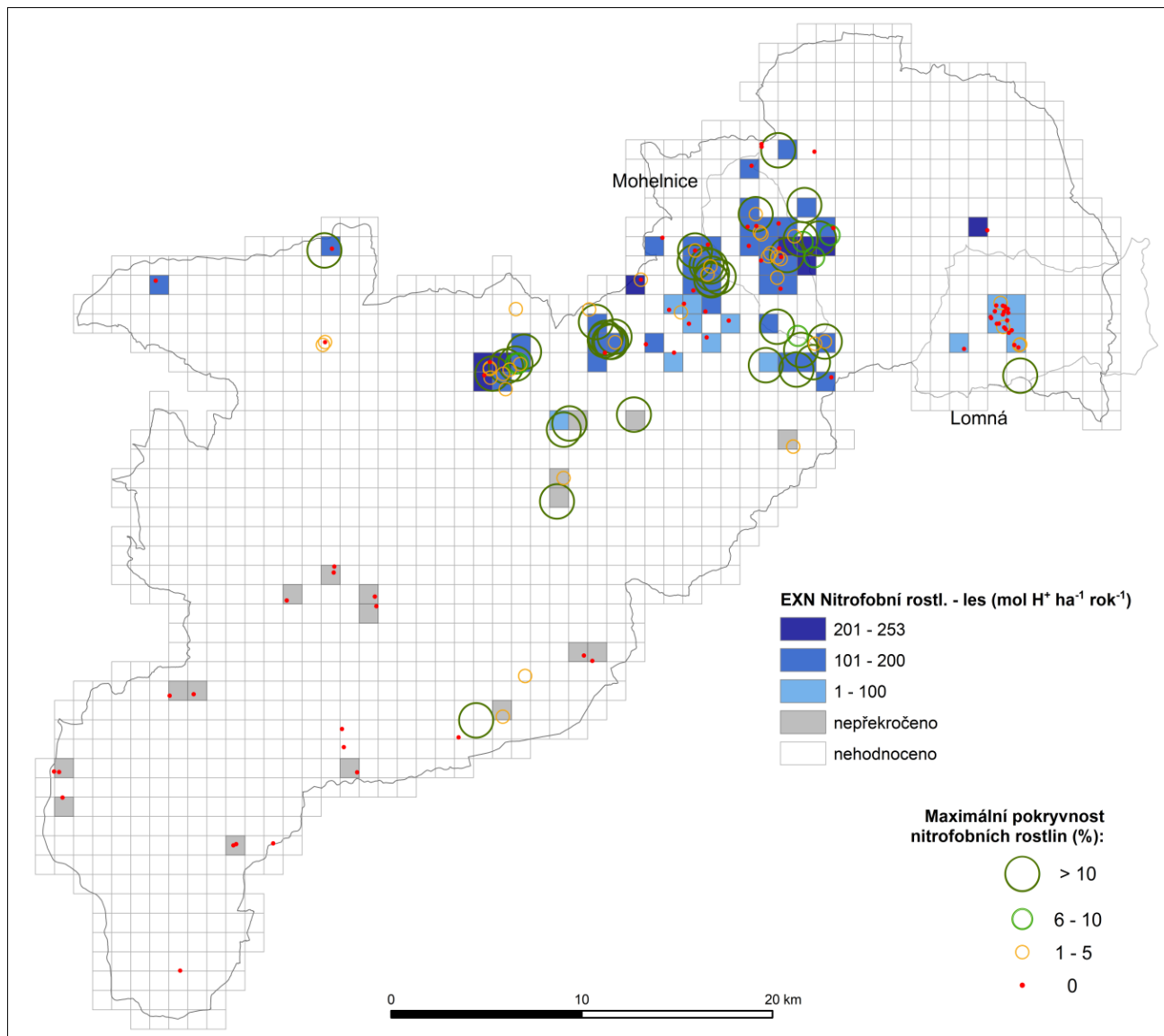
Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro nitrofobní rostliny v mokřadech CHKO Beskydy.



Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro nitrofobní rostliny na loukách CHKO Beskydy.



Překročení empirických kritických zátěží dusíku pro nitrofobní rostliny v lesích CHKO Beskydy.



Závěr

Nitrofilní druhy na překročení kritické zátěže reagují zvýšením pokryvnosti, zatímco nitrobovní druhy poklesem pokryvnosti.

Nicméně nitrofilní druhy reagují na nižší zátěž než nitrobovní. Tato situace je podmíněna tím, že nitrobovní druhy jsou více rezistentní než nitrofilní druhy. Rezistence vyplývá z toho, že nitrobovní druhy se vyskytují zpravidla v prostředí s kumulovaným humusem, který nevyhnutelně obsahuje větší obsah dusíku než minerální půda, ale jeho valná většina se vyskytuje v nepřístupných formách, jejichž zpřístupňování je pomalé.

Na druhou stranu nitrofilní druhy se vyskytují v prostředí, kde dochází k rychlejšímu zpřístupňování dusíku, který kontinuálně využívají. Proto nitrofilní druhy bezprostředně reagují na zvýšení vstupu dusíku do ekosystému i při malé pokryvnosti, zatímco nitrobovní druhy reagují na mnohem vyšší depozici.

Poděkování

TH02030509 „Identifikace zranitelnosti a možnosti podpory přirozených funkcí krajiny v podmínkách změněného klimatu ve velkoplošných zvláště chráněných územích“

Děkuji za pozornost

Metodika

Provozní systém zjišťování kritických zátěží dusíku pomocí zastoupení indikačních druhů rostlin zahrnuje design pozorování, opakovatelnost pozorování a vyhodnocení pomocí nelineární logistické regrese.

Design šetření se jeví optimální při sestavení pomocí kvantitativního výběru ploch pro sledování vegetace. Kvantitativní výběr spočívá v určení počtu fytocenologických ploch úměrně plošnému zastoupení sledovaných typů ekosystémů.

Rozmístění vybraných ploch by mělo eliminovat pseudoreplikaci rovnoměrným zachycením všech částí každého typu ekosystému. Základní množinu pro výběr ploch může tvořit souhrn získaných 718 historických záznamů, z něhož by měly být vybrány plochy odpovídající kritériím kvantitativního zastoupení ekosystémů a eliminované pseudoreplikace a vhodně doplněny.

Volba vhodného systému typizace ekosystémů by měla respektovat dosažení statisticky minimálních počtů fytocenologických ploch pro analýzu nejméně středně velkých souborů dat. Za optimální středně velký soubor dat považujeme víc než 30 ploch v každém typu ekosystému. Systém typizace by měl respektovat klasifikace aktuální vegetace při rozlišení lesních a nelesních společenstev. Klasifikace aktuální vegetace je výhodnější vzhledem k potřebě sledovat prostředí s různou schopností zachytávat depozici dusíku.

Sledování vegetace je žádoucí provádět na všech vybraných plochách pravidelně. Fytocenologické snímkování by mělo být na každé ploše opakováno každoročně po dobu nejméně 5 let v lesních společenstev a po dobu 13 let v nelesních společenstvech.

Odhad empirické kritické zátěže spočívá ve zjištění zastoupení indikačních druhů cévnatých rostlin v jednotlivém typu ekosystému, aplikace logistické regrese a její klasifikace. Zastoupení se zjišťuje u nitrofobních a nitrofilních druhů v absolutním vyjádření v intervalu mezi 0 a 1.

Logistická regrese vyšetřuje nelineární souvislost mezi sérií předcházejících hodnot environmentálních prediktorů. Regresi lze využít k aproximaci odezvy vegetace na environmentální zátěž včetně výkyvů klimatických vlastností. Pomocí kombinatoriky lze hledat nejvíce korelující podmnožinu prediktorů. Vyrůstající významnost regresí v časové řadě zahrnující zvětšující se počet hodnot prediktorů prokazuje vliv zátěže na vegetaci.

Kritická zátěž je hodnotou zahrnující polovinu z intervalu pokryvností indikačních druhů statisticky významně závislých na předcházejících prediktorech.

Tab. 1. Hlavní komponenty proměnných srovnávaných složek beskydských lesních ekosystémů zahrnující > 50% celkového rozptylu.

Ekosystém	Indikátor	Proměnná	Faktor 1	Faktor 2	Faktor 3	Faktor 4	Faktor 5
Fytocenóza	Nitrofilní	<i>Chelidonium</i>	-0.33	0.10	-0.21	-0.55	-0.39
		<i>Galium</i>	-0.38	0.00	-0.01	-0.14	-0.27
		<i>Rumex</i>	-0.47	0.01	-0.09	-0.34	-0.50
		<i>Aegopodium</i>	-0.94	-0.16	0.00	0.03	0.17
		<i>Chaerophyllum</i>	-0.43	-0.19	0.02	0.25	0.47
		<i>Urtica</i>	-0.68	-0.10	0.06	0.07	0.21
		<i>Lamium</i>	-0.80	-0.10	0.02	-0.03	0.02
		<i>Heracleum</i>	-0.30	-0.30	-0.09	0.09	0.07
		<i>Sambucus</i>	-0.36	-0.04	0.00	0.08	-0.02
		<i>Reynoutria</i>	-0.63	-0.10	0.00	-0.12	0.13
	Nitrofobní	<i>Briza</i>	0.25	-0.64	-0.03	-0.16	0.00
		<i>Nardus</i>	0.12	-0.47	-0.20	-0.12	0.10
		<i>Potentilla</i>	0.23	-0.63	-0.10	-0.09	-0.02
		<i>Thymus</i>	0.16	-0.54	-0.22	-0.07	-0.07
		<i>Hieracium</i>	0.15	-0.61	-0.22	-0.06	-0.04
		<i>Avenella</i>	0.10	0.28	-0.45	-0.25	0.35
		<i>Vaccinium</i>	0.16	0.22	-0.51	-0.28	0.46
		<i>Agrostis</i>	0.11	-0.08	0.67	-0.45	0.22
		<i>Viola</i>	0.13	-0.10	0.65	-0.48	0.25
		<i>Blechnum</i>	-0.05	0.22	-0.30	-0.51	0.20
Prediktory	Pollution	ND	0.35	0.02	-0.01	0.08	0.17
	Terrain	Altitude	0.21	0.12	-0.18	-0.08	0.22
		Aspect	0.11	0.04	0.13	0.10	-0.05
		Slope	0.17	0.22	-0.09	0.20	-0.06
	Biotop	Cover	0.35	-0.11	0.14	0.29	0.36
		Trees	-0.03	0.35	-0.13	0.17	0.19
		Shrubs	-0.21	0.12	-0.12	-0.04	0.26
		Herbs	0.21	-0.29	0.10	0.14	0.30
		Mosses	0.23	-0.18	0.25	-0.21	0.23