

Botanika a ekologie

Výzkum vlivu lidské činnosti na biodiverzitu lesních ekosystémů Chráněné krajinné oblasti Český kras

The influence of human activity on biodiversity of the forest ecosystems in the Czech Karst area

Jeňýk Hofmeister¹, Jan Hošek¹

0. Abstract

We summarize main results of our research (started in 1994) dealing with the influence of human activity on biodiversity of forest stands in the Czech Karst area. We observed that the accumulation of nitrogen (as a limiting nutrient) in forest ecosystem due to nitrogen deposition as well as changes of forest management during the last century may affect plant species richness. Moreover, it seems that plant species richness is particularly threatened at phosphorus-rich sites. The total number of plant species is further closely related to the forest area and the length of edges of forest fragments. Ongoing research includes the study of many other groups of organisms (fungi, birds, invertebrates etc.). On this basis, we would like to generalize some of our previous findings concerning plant species diversity.

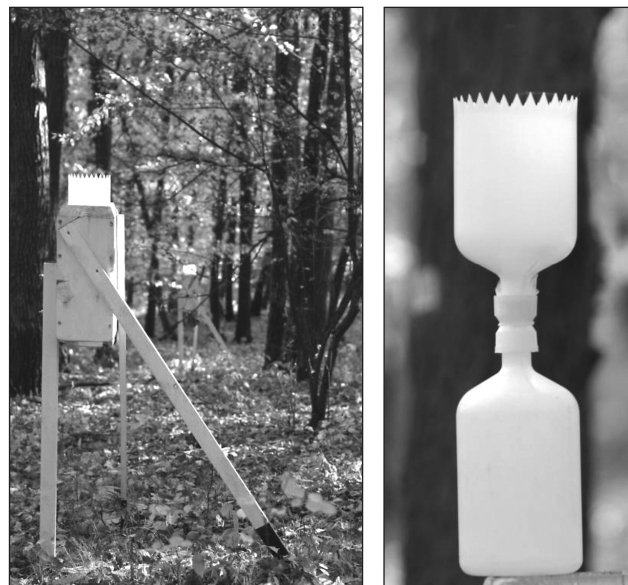
1. Úvod

Dlouhodobé využívání krajiny Českého krasu člověkem pravděpodobně převážně pozitivně působilo při utváření stanovišť s ojedinělou biodiverzitou. Změny tradičního zemědělského a lesnického hospodaření v krajině Českého krasu, k nimž došlo v průběhu 20. století nepochybně ovlivňují i druhové bohatství těmito změnami dotčených stanovišť. I výrazný vzestup průmyslové činnosti a dopravy v druhé polovině minulého století se dotkl krajiny Českého krasu a to jednak přímo – zejména obrovskou expanzí těžby vápenců pod návrším Zlatého koně (ve Velkolomu Čertovy schody otevřeném v roce 1958; blíže HEJNA 2007) a jednak nepřímo – vstupem exhalací produkovaných z blízké (výroba vápna a cementu) i vzdálenější průmyslové činnosti a dopravy do ekosystémů. Vliv popsanych změn na biodiverzitu stanovišť Českého krasu byl v posledních patnácti letech mimo jiné studován v rámci několika výzkumných úkolů iniciovaných druhým z autorů tohoto příspěvku, na jejichž řešení se podílela celá řada odborníků mnoha vědeckých institucí (Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Botanický ústav Akademie věd ČR, v. v. i., Česká geologická služba a mnoha dalších). Předložený příspěvek přibližuje důvody, které vedly k realizaci jednotlivých výzkumných projektů, představuje základní použité metodické přístupy a nejdůležitější výsledky.

2. Měření atmosférické depozice

V souvislosti s růstem intenzity automobilové dopravy po roce 1990, otevřením dálnice D5 a dále s plánovaným záměrem stavby nové cementárny v oblasti Zlatého koně se jedním z potenciálně nejvýznamnějších nepříznivých vlivů lidské činnosti na přírodu Českého krasu stalo působení emisí sloučenin dusíku. Automobilová doprava i výroba cementu jsou velmi významnými zdroji emisí sloučenin dusíku do ovzduší, které jsou vzdušným prouděním transportovány a opět se vracejí na zemský povrch procesy atmosférické depozice. V ekosystémech pak kromě dalších negativních efektů působí podobně jako hnojivo, což zvyšuje

produkci těchto ekosystémů a zároveň podporuje druhy rostlin náročných na dostatek dusíku na úkor druhů schopných přežít v podmínkách jeho nedostatku. Při dlouhodobě zvýšeném vstupu dusíku dochází k tzv. saturaci ekosystému dusíkem, kdy již primární produkce neroste, ale nepříznivý vliv nadbytku dusíku na diverzitu se dále prohlubuje. Druhově nejbohatší společenstva rostlin stejně jako většina vzácných a chráněných druhů rostlin se vesměs vyskytují v podmínkách nižší dostupnosti dusíku, zatímco na půdách s nadbytkem dusíku rostou obvykle druhově chudá společenstva s minimem vzácných druhů. Druhové bohatství mnoha dalších organismů je v úzkém vztahu s diverzitou rostlin a citlivě reaguje na její změny. Z těchto důvodů představoval reálný i potenciální (naštěstí nerealizovaný) vzrůst vstupu sloučenin dusíku do ekosystémů Českého krasu nový nepříznivý faktor, jehož význam bylo obtížné přesně kvantifikovat, neboť v té době nebyla k dispozici žádná měření tohoto druhu z Českého krasu. Na základě toho bylo v roce 1994 zahájeno kontinuální měření atmosférické depozice ekologicky významných látek ve třech doubravách a jed-



Obr. 1. Odběrové zařízení pro měření podkorunových srážek. Foto Jan Stupka.

Fig. 1. A collector for throughfall sampling. Photo by Jan Stupka.

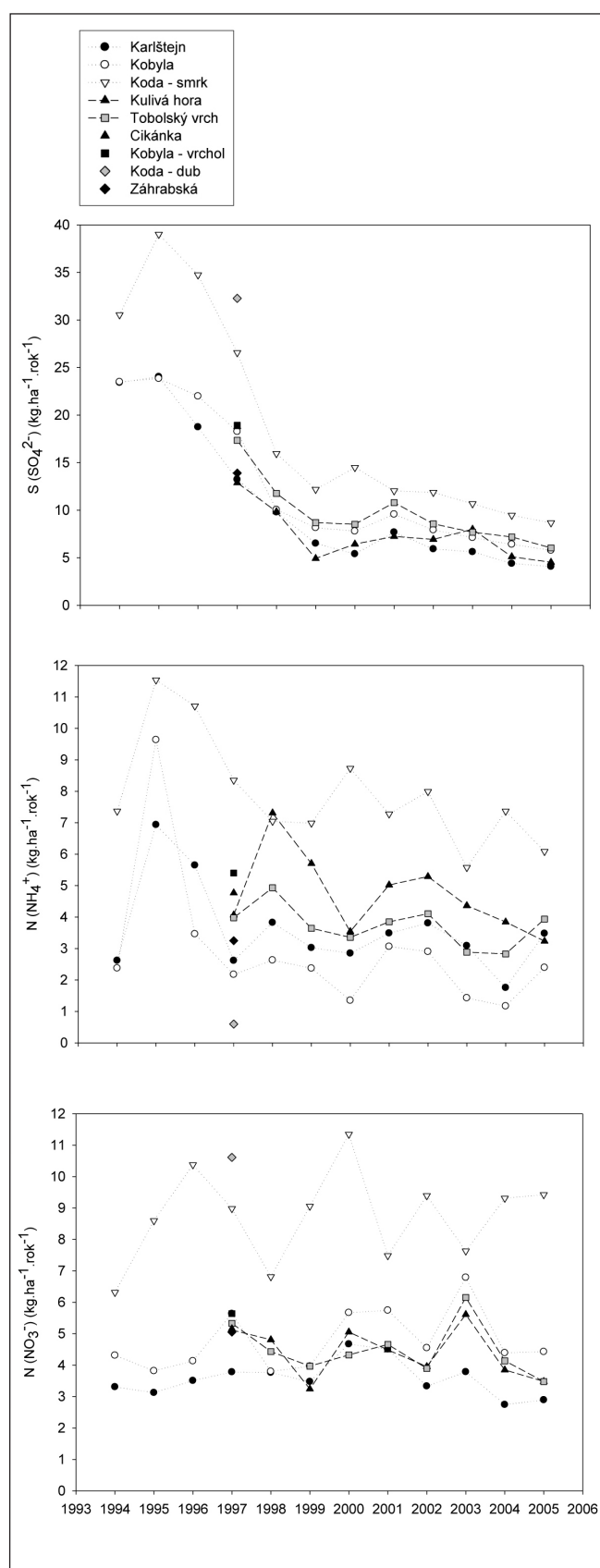
¹ Areál ČOV, Hořovice 268 01; jenyk.hofmeister@email.cz

Poděkování: Jednotlivé části výzkumu byly podpořeny projekty z prostředků Ministerstva životního prostředí, VaV 640/11/03, SM 6/69/05 a SP 2d3/139/07. Autoři děkují všem, kteří se podíleli na řešení jednotlivých zmíněných projektů. Český kras (Beroun), XXXIV (2008), 37–43, 6 obr., 1 tab.

© Muzeum Českého krasu

ISSN 1211-1643

ISBN 978-80-903477-3-1



Obr. 2. Látkový tok síry (S) a dusíku (N) v podkorunových srážkách ve smrkovém porostu (Koda – smrk) a habrových doubravách Českého krasu (všechny ostatní lokality) v letech 1994 až 2005.

Fig. 2. Throughfall fluxes of sulfur (S) and nitrogen (N) at spruce stand ("Koda – smrk") and oak-hornbeam stands (all other localities) in the Czech Karst from 1994 to 2005.

né kulturní smrčíně v Chráněné krajinné oblasti (CHKO) Český kras, přičemž ke každé z lokalit byla zřízena měřicí plocha na volné ploše. V lesním porostu je pro záchyt tzv. podkorunové depozice použito celkem devíti odběrových zařízení se zachytnou plochou 114,2 cm², spojených se zásobní lahví úzkým hrdlem zabráňujícím odparu (viz obr. 1), v bezlesí pak další dvě odběrová zařízení stejného typu. Vzorky srážek byly odebrány v přibližně čtrnáctidenních intervalech do roku 2006, přičemž počet lokalit byl v některých letech vyšší. Z objemů vzorků srážek byly spočteny srážkové úhrny a vzorky chemicky analyzovány. Ze srážkových úhrnů a změřených zjištěných koncentrací jsou vypočítány látkové toky vyjádřené v kg.ha⁻¹.rok⁻¹.

Výsledky více než deseti let měření atmosférické depozice v CHKO Český kras dobře zachycují výrazný pokles látkového toku SO₄²⁻ v průběhu devadesátých let minulého století (obr. 2), zejména v důsledku odsíření tepelných elektráren a zastavení některých průmyslových provozů. V případě látkových toků sloučenin dusíku byl zaznamenán mírný pokles jen v případě NH₄⁺, zatímco v případě NO₃⁻, jehož hlavním zdrojem je opět spalování fosilních paliv, došlo za sledované období spíše k mírnému nárůstu (obr. 2). Z prezentovaných grafů je patrné, že prostorové rozložení a časový trend vývoje depozice je v rámci celého Českého krasu víceméně srovnatelný. Velmi vyrovnaná je depozice sloučenin síry a dusíku měřená na paralelních plochách v bezlesí, kde se roční vstup dusíku pohybuje mezi 4 až 5 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹. Větší rozdíly zjištěné v látkových tocích v lesních porostech jsou dány rozdílnou velikostí intercepční složky depozice (zachycení vzduchem unášených imisí na povrchu receptorů v poli proudění vzduchu), která je odvozená od velikosti a vlastností receptorových povrchů – v našem případě korun stromů. V souladu s tím byl vstup SO₄²⁻, NO₃⁻ i NH₄⁺ systematicky výrazně nejvyšší v podkorunových srážkách ve smrkovém lese ve srovnání s doubravami (viz obr. 2). Výjimkou byla pouze doubrava v Národní přírodní rezervaci (NPR) Koda, kde byl v roce 1997 zjištěn ještě vyšší vstup SO₄²⁻ a NO₃⁻ než v blízkém smrkovém porostu, pro což nemáme uspokojivé vysvětlení (obr. 2). Poměrně nízká depozice sloučenin dusíku zjištěná na většině lokalit v Českém krasu je srovnatelná s hodnotami měřeními na nejbližších lokalitách (např. povodí Lesního potoka u Jevan ve Voděradských bučinách, monitorované Geologickým ústavem AV ČR, v.v.i.). Vstup dusíku je na všech těchto lokalitách měřen jako součet příspěvků NH₄⁺ a NO₃⁻ a nezahrnuje organické sloučeniny dusíku, které mohou za určitých okolností zvýšit vstup dusíku až o třetinu (KOPÁČEK et al. 1997).

Vysoký vstup SO₄²⁻ a NO₃⁻ do ekosystémů se zejména v ekosystémech nacházejících se na minerálně chudých horninách projevuje acidifikací jejich půdního prostředí s nepříznivými následky pro jejich biodiverzitu (TYLER 1992). Půdy v CHKO Český kras vynikají díky převážně minerálně bohatému podloží vysokou pufrací schopností vůči vstupu okyselujících látek, takže k závažnější acidifikaci půdního prostředí zde pravděpodobně nedošlo. Složitější je zhodnocení vlivu vstupujících sloučenin dusíku ve vztahu k úživnosti ekosystému. Doubravy Českého krasu ročně obdrží roční příspěvek z atmosféry kolem 10 kg N (součet podílu NH₄⁺ a NO₃⁻) na hektar. Tento údaj nereprezentuje přesně množství dusíku vstupujícího z atmosféry do ekosystému, neboť v podmínkách nedostatku dusíku jako živiny, která je typická pro většinu suchozemských ekosystémů, přijímají stromy část zachyceného dusíku přímo listy, takže tato jeho část v podkorunovém toku chybí (až 40 %; LINDBERG et al. 1986). Stejně tak není přesně známo, jak velký vstup dusíku postačuje ke změně živinových poměrů, aby došlo ke změnám druhového složení rostlinných společenstev. Opět máme k dispozici pouze odhad, podle něhož dojde v lesích na vápenco-

vých substrátech ke změnám druhového složení vegetace při vstupu 15 až 20 kg N.ha⁻¹.rok⁻¹ (BOBBINK a ROELOFS 1995). Reálná depozice dusíku do lesních ekosystémů se s největší pravděpodobností v posledním desetiletí pohybovala pod nebo na dolní hranici odhadu považovaného za kritický pro změny biodiverzity ve studovaných doubravách.

3. Změny vegetace habrových doubrav a její příčiny

V průběhu devadesátých let 20. století bylo možné v lesích Českého krasu (i jinde) zaznamenat šíření na dusík náročných druhů v bylinném porostu (např. NEUHÄUSLOVÁ 1999). Bujné populace druhů jako svízel přitula (*Galium aparine*), kakost smrdutý (*Geranium robertianum*), kuklík městský (*Geum urbanum*) či krabilice mámivá (*Chaerophyllum temulum*) působily zvláště v prostředí teplomilných doubrav nepatříčně a byly proto často spojovány se zvýšenou atmosférickou depozicí dusíku. Zároveň se na velkých plochách dubových a dubohabrových lesů v Českém krasu začalo prosazovat masivní zmlazení jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*), za nímž bylo možné vzhledem k vyšším nárokům jasanu na dusík spatřovat stejnou příčinu. Nezvyklá byla i prostorová variabilita těchto procesů, kdy se přítomnost na dusík náročných druhů mnohdy velmi lišila v lesích se srovnatelnou věkovou a druhovou strukturou stromového patra.

Přes relativně nízká naměřená množství látkových toků sloučenin dusíku nelze vzhledem k výše popsanému možnému podhodnocení reálného vstupu a nepřesnosti odhadu její kritické velikosti vedoucí ke změnám biodiverzity vliv stávající atmosférické depozice přehlížet. Rozhodně však k vysvětlení nepostačí, neboť její prostorová variabilita je v rámci Českého krasu relativně malá, což ostře kontrastovalo s dramatickými rozdíly ve variabilitě výskytu na dusík náročných druhů rostlin na srovnatelných stanovištích na území Českého krasu.

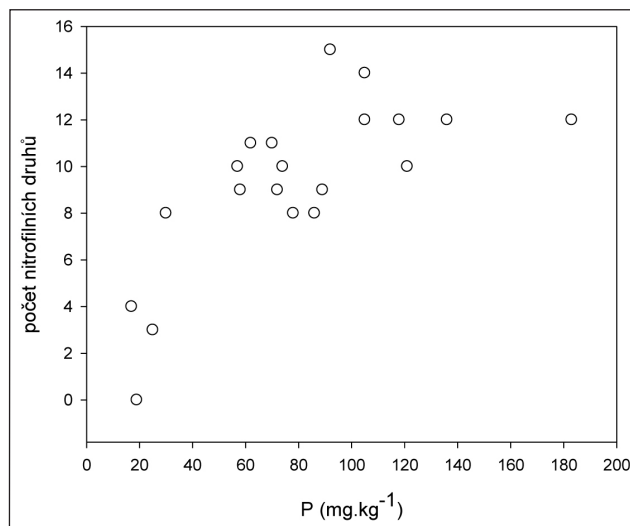
Z tohoto důvodu bylo v roce 1997 zahájen výzkum zaměřený na zmapování procesu šíření tzv. nitrofilních (na dusík náročných) a invazních (rychle se šířících) druhů v habrových doubravách Českého krasu a hledání příčin přispívajících k jejich šíření. V srpnu 1997 bylo provedeno mapování vegetace zaměřené na určení podílu nitrofilních a invazních rostlin na celkem 20 plochách umístěných na vrcholcích kopců v různých habrových doubravách na území celé CHKO Český kras. Lokalizace ploch na vrcholky kopců byla provedena záměrně, neboť se na mnohdy jeví jako iniciální místa šíření nitrofilních a invazních druhů rostlin. Velikost mapovaných ploch se pohybovala od 600 do 2 100 m² v závislosti na morfologii a variabilitě vegetace dané lokality. Na těchto plochách bylo v srpnu 1997 provedeno mapování vegetace se zaměřením na nitrofilní druhy a posléze zopakováno v roce 1999 pro posouzení změn vegetace. V roce 1998 byl vyhotoven soupis druhů vyšších rostlin na všech lokalitách.

Mezi potenciálně nejvýznamnější vlastnosti stanoviště rozhodující o úspěchu či neúspěchu nitrofilních druhů rostlin patří světelné poměry a chemismus půd. Z těchto důvodů byla v letech 1998 až 2000 provedena měření kvality světla v bylinném patře vegetace (poměr R/FR; viz SMITH 1982), odběry vzorků půd a analýza jejich chemismu na všech sledovaných plochách. Z důvodu rozšíření gradientu prostředí a možnosti širšího zobecnění získaných výsledků byly další jednorázová šetření a odběry vzorků půd provedeny ve vybraných oblastech výskytu těchto lesů: jz. Slovinsko (v r. 1999), České středohoří a j. Švédsko (v r. 2000).

Výsledky ukázaly, že zatímco celková pokryvnost bylinného patra se mezi roky 1997 a 1999 v podstatě nezměnila, podíl nitrofilních a invazních druhů se zvýšil znatelně (v průměru za všechny lokality

z 10 na 14 %). Podíl nitrofilních druhů činil 0 až 22 % pokryvnosti bylinného patra sledovaných ploch v roce 1997 a 0 až 37 % v roce 1999. Velké rozdíly v zastoupení nitrofilních druhů na jednotlivých plochách kontrastovaly s vyrovnanou depozicí sloučenin dusíku v rámci území CHKO Český kras a jejich šíření tedy nebylo možné takto jednoduše vysvětlit. Které z dalších sledovaných parametrů prostředí tedy ovlivňovaly pokryvnost bylinného patra a zastoupení nitrofilních druhů? Pokryvnost bylinného patra obecně statisticky významně pozitivně korelovala s půdní vlhkostí (měřenou uprostřed vegetační sezóny po delším období bez srážek), obsahem N v půdě a kvalitou světla v podkorunovém prostoru. Pokryvnost nitrofilních druhů negativně korelovala s poměrem C : N (uhlík : dusík) v půdě. Tento poměr vyjadřuje nepřímo dostupnost dusíku v půdě, neboť s růstem jeho velikosti obecně klesá rychlost mineralizace organické hmoty v půdě a tím i uvolňování minerálního dusíku pro potřeby rostlin (VÍTOUŠEK 1982). Zastoupení nitrofilních druhů bylo tedy vyšší na plochách s vyšší dostupností dusíku. Dalším významným parametrem ovlivňujícím zastoupení nitrofilních druhů byl obsah přístupného fosforu (P) v půdě. Na plochách s pokryvností nitrofilních druhů nižší než 1 % byl průměrný obsah P v nadložním organickém horizontu 43 mg.kg⁻¹ a ve svrchní minerální půdě 23 mg.kg⁻¹, což je výrazně méně ve srovnání s průměrnými hodnotami všech zbývajících ploch (81 mg.kg⁻¹ v organickém horizontu a 62 mg.kg⁻¹ ve svrchní minerální půdě). Diverzita nitrofilních druhů na ploše zároveň vzrůstala s obsahem P v půdě (obr. 3). Ve vztahu ke světelným poměrům byl výskyt nitrofilních druhů vyšší spíše na stanovištích stinnějších (souhrn všech výsledků viz HOFMEISTER 2002a; HOFMEISTER et al. 2002).

Souhrnně lze konstatovat, že výskyt nitrofilních druhů je v úzké vazbě k dostupnosti dusíku a také fosforu na stanovišti. Atmosférická depozice fosforu je nízká a nepřevyšuje obvykle 0,5 kg P.ha⁻¹.rok⁻¹; NEWMAN 1995). Příspěvek lidské činnosti vznikající například úletem částic fosforečnanových hnojiv do lesního prostředí při jejich aplikaci na zemědělské kultury nelze vyloučit, ale jeho vliv hluboko v interiéru lesa je pravděpodobně zanedbatelný.



Obr. 3. Vztah obsahu přístupného fosforu (P) v organickém půdním horizontu a počtu tzv. nitrofilních druhů rostlin v bylinném podrostu habrových doubrav Českého krasu ($r = 0,7150$; $p < 0,001$).

Fig. 3. A relationship between extractable phosphorus (P) in the soil organic horizon and the number of nitrophilic plant species in herb layer of oak-hornbeam stands in the Czech Karst ($r = 0.7150$; $p < 0.001$).

Obsah fosforu v půdách sledovaných ploch navíc velmi věrně odráží obsah fosforu v matečném substrátu, který je jeho hlavním zdrojem v přírodních ekosystémech. K šíření nitrofilních druhů dochází na fosforem bohatých substrátech v důsledku zvýšené dostupnosti dusíku. Ke zvýšení dostupnosti dusíku v ekosystému může dojít v důsledku zvýšené atmosférické depozice anebo – a to je možná nejméně stejně důležité – v důsledku akumulace mrtvé organické biomasy v ekosystémech, která byla v minulosti v různé míře z lesa odnímána a využívána člověkem.

4. Přirozený vs. člověkem ovlivněný vývoj habrových doubrav

Prakticky všechny lesní porosty Českého krasu byly po staletí hospodářsky využívány a je velmi těžké zpětně odhadovat, jaké množství biomasy (a v ní vázaných živin) bylo z ekosystémů pravidelně či nepravidelně odstraňováno. Intenzivně využívaná část dubohabrových pařezin měla dobu obmýti (během níž byly všechny stromy jednou vytěženy) kolem třiceti let. Tyto lesy byly kromě těžby dřeva využívány i k dalším hospodářským činnostem (pastva, hrabání hrabanky apod.). Pro ilustraci lze uvést, že v roce 1892 byl z celkové výměry 1 539 ha lesních porostů na Karlštejně pouze 1 ha lesa staršího šedesáti (!) let (SAMEK 1964).

V důsledku omezení hospodaření v druhé polovině minulého století se dříve světlé habrové doubravy stávají postupně stinnějšími a produkují více organické hmoty, jejíž rozklad může představovat značné zvýšení půdní zásoby živin. Tyto podmínky velmi znesnadňují přirozenou obnovu dubu (dřeviny náročné na světlo a nenáročné na živiny) a naopak podporují prosazování jasanu a dalších troficky náročnějších dřevin jako je jilm, javor, lípa a v posledku i buk (DIEKMANN 1996). Taková přeměna člověkem obhospodařovaných doubrav na mezofilní lesy s počátečním dramatickým nástupem jasanu byla popsána již před bezmála stoletím v Anglii (SALISBURY 1918) a později také v j. Švédsku (MALMER et al. 1978), Dánsku

(EMBOG et al. 2000) i jinde (podrobněji viz HOFMEISTER 2002b; HOFMEISTER et al. 2004). Jakkoli vypadá masivní zmlazení jasanu v podrostu doubrav Českého krasu nepatříčně a nepřírozně, jedná se pravděpodobně o první dobře čitelný krok přírodního vývoje lesa směrem k přírodnímu lesnímu porostu.

Změnu otevřeného výmladkového dubohabrového porostu (regenerujícího výmladnou schopností pařezů po smýcení porostu) ve stinný mezofilní vysokokmenný les provází obvykle ztráta druhové diverzity bylinného podrostu (MALMER et al. 1978; TYBIRK a STRANDBERG 1999). Ochrana přírody stojí před volbou, zdali ponechat dubohabrové porosty jejich přirozenému vývoji i za cenu ztráty diverzity, anebo usilovat o udržení stávající (resp. nedávné) podoby otevřených a prosvětlených porostů. Poměrně velká rozloha habrových doubrav v přírodních rezervacích CHKO Český kras dovoluje problém řešit obojím způsobem. V místech přestárých rozpadajících se pařezin bez jasanového zmlazení lze vcelku bez obtíží provést jejich prosvětlení tak, jak to naši předkové dělávali po staletí. Druhá část lesů, kde již v současné době odrůstá bohaté zmlazení jasanu, by měla být ponechána samovolnému vývoji.

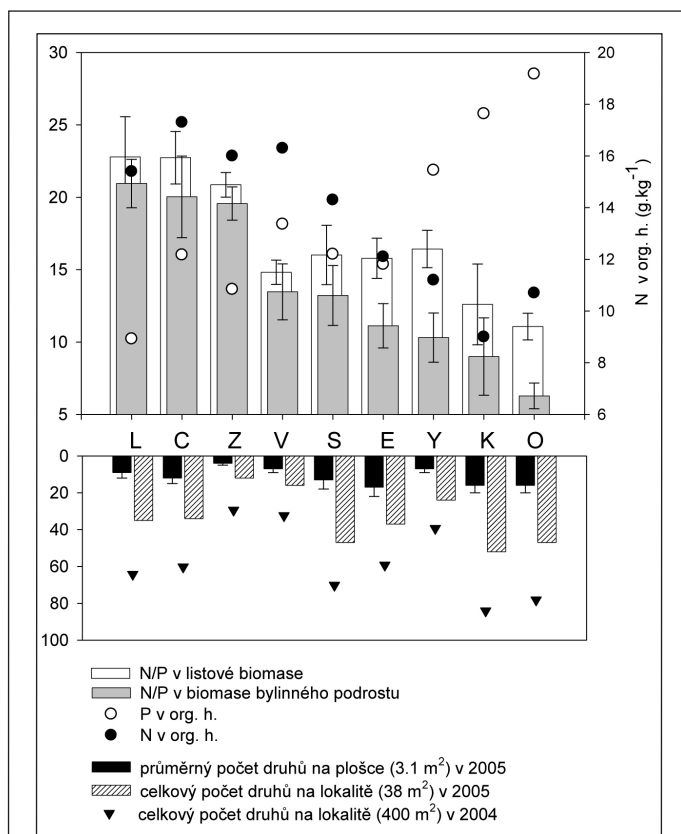
5. Srovnání vegetace doubrav na různých substrátech a s různým depozičním zatížením

Pro prohloubení a další zobecnění získaných výsledků byl v letech 2003 až 2005 realizován výzkum na celkem devíti výzkumných plochách o rozloze 6 400 m² v různých typech doubrav Českého krasu, Českého středohoří a České křídové tabule (tab. 1). Geologické podloží uvedených oblastí je velmi různorodé, z čehož lze očekávat výrazně odlišné zásobení půd živinami ze zvětrávání. Zároveň jsou tyto tři oblasti i jednotlivé lokality uvnitř oblastí v rozličné vzdálenosti od významných stacionárních (hnědohelné elektrárny) i mobilních (frekventované komunikace) zdrojů znečištění s předpokládaným odlišným depozičním vstupem sledovaných látek.

Tab. 1. Stručný popis lesů studovaných v letech 2003 až 2005.

Table 1. A short description of forest stands studied from 2003 to 2005.

region / plocha	souřadnice	nadm. výška (m n. m.)	podloží	popis lesa / syntaxonomické zařazení
Český kras				
Telín (značeno E)	49° 52' 55.1'' N 14° 05' 58.7'' E	420	biodetritické vápence	druhově bohatá teplomilná dubohabřina <i>Melampyro nemorosi - Carpinetum festucetosum heterophyllae</i>
Karlštejn (K)	49° 57' 04.9'' N 14° 08' 27.9'' E	370	biodetritické vápence	druhově bohatá smíšená doubrava <i>Melampyro nemorosi-Carpinetum primuletosum veris</i>
Strážistě (S)	49° 54' 57.2'' N 14° 07' 37.2'' E	430	biodetritické vápence	eutrofní xerothermní šípáková doubrava <i>Como-Quercetum</i>
Č. křídová tabule				
Čtvrtě (C)	50° 17' 37.6'' N 15° 03' 15.4'' E	260	křídové sedimenty	mírně teplomilná eutrofní smíšená doubrava <i>Torilido-Quercetum</i>
Veselský háj (V)	50° 19' 30.9'' N 15° 26' 57.5'' E	280	jemnozrnné jílovce	subacidofilní doubrava s výskytem hajních druhů <i>Tilio-Betuletum (Molinio arundinaceae-Quercetum)</i>
Žlunické polesí (Z)	50° 18' 10.3'' N 15° 21' 19.7'' E	280	jemnozrnné slínovce	chudá subacidofilní doubrava s výskytem hajních druhů <i>Molinio arundinaceae-Quercetum</i>
Č. středohoří				
Líšeň (L)	50° 30' 07.4'' N 13° 54' 06.6'' E	520	fonolit	subacidofilní mírně teplomilná svahová doubrava <i>Sorbo torminalis-Quercetum</i>
Oltářík (O)	50° 29' 19.1'' N 13° 55' 15.8'' E	480	bazalt, kvartérní sedimenty	bohatá mírně teplomilná subacidofilní doubrava <i>Melampyro nemorosi-Carpinetum vincetoxicetosum</i>
Svinky (Y)	50° 28' 09.7'' N 13° 47' 43.1'' E	420	olivinický bazalt	mírně teplomilná eutrofní smíšená doubrava <i>Torilido-Quercetum</i>



Obr. 4. Vztah poměru N/P v nadzemní biomase bylinného podrostu a listové biomase dubu (průměr a směrodatná odchylka), obsahu N a P v organickém horizontu půd a počtu druhů v doubravách Českého krasu, Českého středohoří a České křídové tabule (soupis lokalit je uveden v tab. 1).

Fig. 4. A relationship among the N/P ratio (average and standard deviation) in aboveground biomass of herb layer and leaves of oak, mean N and P concentration in soil organic horizon and both mean and total species richness in oak-dominated stands in the Czech Karst, České středohoří Mts. and the Bohemian Cretaceous Basin (list of sites is contained in Table 1).

Na všech lokalitách proběhlo opakované mapování vegetace bylinného podrostu v roce 2004 (na 16 ploškách o velikosti 25 m²) a 2005 (na 12 kruhových ploškách o velikosti 3,14 m²). V roce 2004 byly na všech ploškách vykopány kvantitativní půdní sondy a stanoven chemismus půd jednotlivých půdních horizontů, což umožňuje poměrně přesný odhad celkové zásoby živin v celém půdním profilu. V roce 2005 byla na všech 12 ploškách použitých k mapování vegetace tato nadzemní živá bylinná vegetace ostříhána a odebrány vzorky organického a svrchního minerálního horizontu pro analýzu obsahu živin. Obsah živin byl stanoven i v listové biomase dubu zimního (*Quercus petraea*) a na jedné lokalitě dubu pýřitého (*Q. pubescens*), která byla odebrána z osvětlené části koruny pětice stromů na každé lokalitě. Světelné poměry lokalit byly stanoveny pořízením digitálních hemisférických fotografií v pravidelné síti bodů a dále měřením poměru R/FR. Měření atmosférické depozice probíhá na těchto lokalitách obdobným způsobem jaký je popsán výše od roku 2004 do současnosti s tím, že vzorky srážek jsou odbírány bezprostředně po každé významnější srážkové události.

Z porovnání diverzity bylinné vegetace doubrav a podmínek prostředí na tomto širokém gradientu vyplynulo, že početnost druhů je nejtěsněji pozitivně svázána s půdní reakcí (pH) a negativně s obsahem celkového dusíku ve svrchním organickém horizontu. Nejvyšší bohatství druhů i počet druhů byl zaznamenán na ploškách s nízkým obsahem dusíku a současně s vysokým obsahem

fosforu v půdě (obr. 4). Diverzita bylinného patra je však na ploškách bohatých fosforem pravděpodobně mnohem více ohrožena v souvislosti se zvýšenou dostupností dusíku. Zvýšení dostupnosti dusíku – ať již je jeho zdroj vně ekosystému (atmosférická depozice) nebo uvnitř (rozklad nahromaděné biomasy) – se v ekosystémech chudých na fosfor projeví jen nevýrazným zvýšením celkové úživnosti, zatímco změna úživnosti v ekosystémech fosforem bohatých může být značná. Nízká druhová diverzita ve spojení s masivním výskytem nitrofilních druhů v bylinném podrostu na ploše Svinky (Y; tab. 1) může být právě důsledkem popsaného procesu. Vliv světla na diverzitu bylinného podrostu byl v rámci sledovaných lokalit překvapivě slabý. S výjimkou pozitivní korelace množství světla a celkové pokryvnosti bylinného patra nebyl zjištěn žádný vztah světelných poměrů k diverzitě vegetace.

6. Biodiverzita lesních ekosystémů na úrovni krajiny

Z předchozích uskutečněných výzkumů souhrnně vyplynulo, že změna druhové diverzity bylinného patra úzce souvisí s dostupností dusíku a fosforu v ekosystému. Současně však zůstala část variability získaných dat nevysvětlená – a tudíž nepostižená faktory, na něž jsme se zaměřili. Další nezodpovězené otázky se týkaly iniciace vlastního procesu prosazování nitrofilních druhů v lesní vegetaci. Byla semena těchto druhů přítomná ve všech studovaných lesích, kde jen čekají na vhodné podmínky nebo v některých lesích jsou a jinde chybí? A naopak není pokles početnosti druhů v rozlohou malých lesích uprostřed zemědělské krajiny vyvolán jednoduše tím, že některé druhy nemají pro dlouhodobé přežívání v těchto lesích dostatečný prostor a obtížné je znovu kolonizují? A celá řada navazujících otázek směřující ke konkrétním situacím v terénu, jako např. jaký vliv má pěstování hospodářských jehličnatých lesů s typicky vysokou účastí nitrofilních druhů v bylinném podrostu na své okolí? Pro zodpovězení těchto otázek je nutné kromě poznání vlastností prostředí, jehož vegetace nás zajímá, detailněji zkoumat i vlastnosti jeho okolí i krajiny jako celku (velikost a vzdálenosti fragmentů lesů, jejich vnitřní heterogenita, vlastnosti vnějšího prostředí, hojnost a vlastnosti liniových struktur atd.).

Z těchto důvodů byl v roce 2005 zahájen výzkum vztahu vegetace a prostředí ve všech lesních porostech výseku krajiny Českého krasu o velikosti 22 km². Oblast se nachází v jihovýchodní části CHKO Český kras na pravém břehu Berounky, průměrná lesnatost vybrané oblasti je 25 % a zahrnuje celkem 33 lesních fragmentů s velikostí od 0,15 do 256 ha. V těchto lesích bylo v letech 2005 až 2007 na základě předběžného mapování prostředí vybráno více než 200 výzkumných ploch uvnitř a na okrajích studovaných lesních porostů, na nichž bylo provedeno mapování vegetace, stanovení chemismu půd a měření světelných poměrů obdobným způsobem jako u dříve realizovaných projektů. Kromě toho byl ke každé ploše pořízen soubor parametrů charakterizující její umístění v lesním prostředí (vzdálenost okraje lesa a jiných typů lesní vegetace, morfologie stanoviště ve vztahu k okolnímu terénu atd.). Současně byl proveden soupis všech druhů vyšších rostlin nacházejících se ve studovaných lesích. Aktuální potenciál vegetace bylinného patra je na více než třetině studovaných výzkumných ploch studován hned několika v současnosti užívanými a rozvíjenými metodami – jednak analýzou tzv. semenné banky (zásoby živých semen v půdě, které všechny mohou teoreticky za určitých podmínek vyklíčit a stát se součástí reálné vegetace) a analýzou deště semen (semen, která na daném stanovišti dopadají na povrch půdy). Analýza semenné banky byla prováděna ze vzorků půd odebraných do hloubky 10 cm minerálního půdního profilu v jarních měsících, upravených dle metody TER HEERDT et al. (1996) tak, aby došlo ke koncentraci semen



Obr. 5. Klíčení semen zachycených v semenných pastích za standardních podmínek ve skleníku (červen 2008). Foto Jan Stupka.

Fig. 5. Germination of seeds (collected in seed traps in studied forests) under standard conditions in a glasshouse (June 2008). Photo by Jan Stupka.

a poté kultivovány ve skleníku (obr. 5). Pro zachyt deště semen byly na těchto plochách umístěny dva typy tzv. pastí, jejichž účelem je zachytit a uchovat semena, která v daném lesním prostředí dopadají na povrch půdy. Obsah těchto pastí je v závislosti na jejich typu buď opět kultivován ve skleníku anebo jsou druhy rostlin determinovány přímo ze semen podle jejich morfologických znaků. Ačkoli samotné metody analýzy semenné banky i deště semen mají dosud řadu neodstraněných metodických úskalí, bude možné po skončení výzkumu alespoň rámcově srovnání reálné podoby vegetace na stanovišti s jejím aktuálním teoretickým potenciálem.

V letošním roce výzkum pokračuje mapováním nelesní vegetace studovaného výseku krajiny. Výsledky všech sledování jsou průběžně zpracovávány, ale vzhledem k tomu, že většina z nich není ještě uzavřena, není jejich podoba definitivní. Z dosud zpracovaných výsledků lze uvést překvapivě vysoký počet druhů, kde bylo ve 33 lesích (celková rozloha 440 ha) nalezeno více než 500 druhů vyšších rostlin, přičemž jejich počet v lesích byl v přímo učebnicovém vztahu k rozloze lesa resp. délce jeho obvodu (obr. 6).

7. Pohled na biodiverzitu obecně

Během prodlužující se doby trvání výzkumu zaměřeného na vegetaci a růstu poznání jejího vztahu k prostředí se stále naléhavěji nabízel otázka nakolik poznatky o vegetaci, k nimž jsme dospěli, vypovídají o biodiverzitě obecně. Jsou stanoviště s přežívající vysokou diverzitou vyšších rostlin v lesích studovaného výseku krajiny celkově obecně druhově bohatší a naopak stanoviště s chudou či v posledních letech ochuzenou vegetací chudší? A vynikají některá stanoviště v daném výseku krajiny biodiverzitou obecně, nebo záleží na skupině organismů, na něž se zaměříme?

Pro zodpovězení této otázky byl výzkum ve studovaném výseku krajiny Českého krasu rozšířen o sledování vybraných indikačně významných skupin organismů: mechorostů, hub (makromycet), ptáků a vybraných skupin zástupců bezobratlých. Přes určité obtíže při hledání schématu sledování diverzity v daném výseku krajiny, kdy metody používané specialisty jednotlivých oborů jsou velmi rozdílné a pracují na různých prostorových škále, se snad podařilo dosáhnout toho, aby výsledky jednotlivých oborů byly vzájemně srovná-

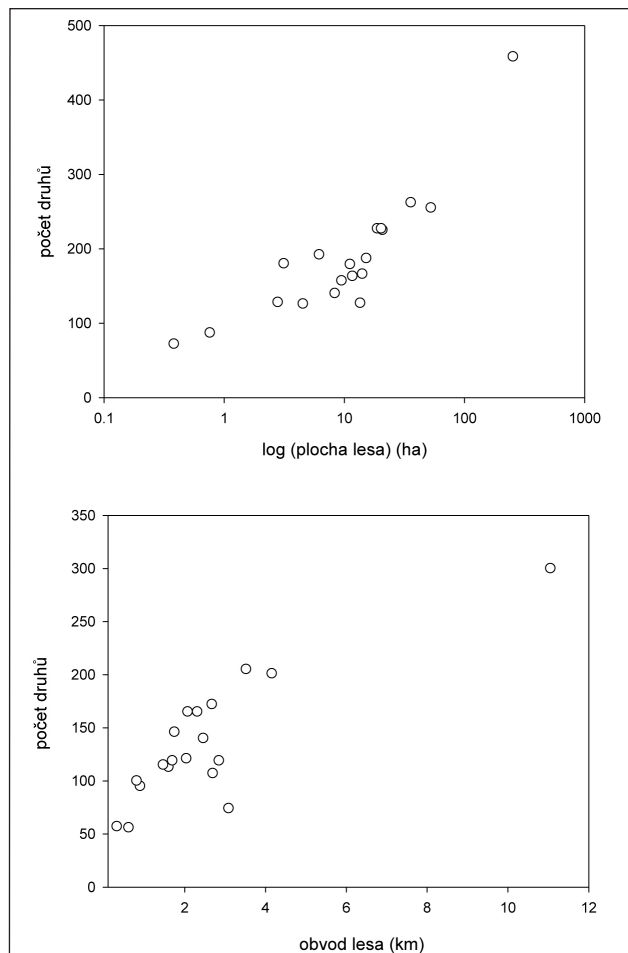
telné pro různé typy stanovišť a prostorových úrovní vyskytujících se v lesních fragmentech studovaného výseku krajiny.

Jak již je uvedeno výše, hospodářské aktivity v lesích a krajině vůbec v uplynulých staletích pravděpodobně dosud zásadním způsobem ovlivnily diverzitu lesních porostů. Detailní studium vývoje lesních porostů a historie jejich využívání je proto další novou součástí studovaného výseku krajiny.

Ačkoli běží teprve první rok tohoto výzkumu, již teď lze na základě terénních nálezů očekávat výsledky, které pomohou nalézt odpovědi na vznesené otázky týkající se vztahu lidské činnosti a biodiverzity v Českém krasu či kulturní krajině obdobných území střední Evropy.

8. Závěr

Príspevek shrnuje nejdůležitější práce volně navazujícího výzkumu vztahu biodiverzity a vlastností prostředí v kulturní krajině Českého krasu, po staletí ovlivňované činností člověka – a se zvláštním zřetelem ke změnám vlivu lidské činnosti, k nimž došlo v posledních desetiletích a jejichž vliv na biodiverzitu může být velmi významný. Nebyla zmíněna celá řada drobnějších studií, které se prováděly v návaznosti na jednotlivé projekty a jejichž výsledky se rovněž podílely na formulaci prezentovaných poznatků i dosud nezod-



Obr. 6. Vztah počtu druhů vyšších rostlin v lesních fragmentech a jejich rozlohy (ha) a vztah počtu druhů v okrajovém lemu lesních fragmentů a obvodu lesa (délky okrajových lemů) (km) ve studovaném výseku krajiny Českého krasu v roce 2006.

Fig. 6. A relationship between the numbers of plant species inside forest fragments and their areas (ha), and a relation between the numbers of plant species on the edge of forests and the lengths of these edges (km) in a landscape segment of the Czech Karst in 2006.

povězených otázek. Výsledky právě probíhajících výzkumů budou doufejme laskavému čtenáři předloženy v blízké budoucnosti.

Literatura

- BOBBINK R., ROELOFS J.G.M. (1995): Nitrogen critical loads for natural and semi-natural ecosystems: The empirical approach. – *Water, Air, & Soil Pollution*, 85: 2413–2418.
- DIEKMANN M. (1996): Ecological behaviour of deciduous hardwood trees in Boreo-nemoral Sweden in relation to light and soil conditions. – *Forest Ecology and Management*, 86: 1–14.
- EMBORG J., CHRISTENSEN M., HEILMANN-CLAUSEN J. (2000): The structural dynamics of Suserup Skov, a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. – *Forest Ecology and Management*, 126: 173–189.
- HEJNA M. (2007): 50 let Velkolomu Čertovy schody. – *Český kras (Beroun)*, 33: 5–8.
- HOFMEISTER J. (2002a): *Vliv atmosférické depozice sloučenin dusíku na současné změny vegetace dubohabrových lesů CHKO Český kras*. – Doktorská práce, Přírodovědecká fakulta UK Praha: 1–256.
- HOFMEISTER J. (2002b): Šíření jasanu ztepilého (*Fraxinus excelsior*) v habrových doubravách CHKO Český kras jako projev jejich spon-tánního vývoje. – *Muzeum a současnost, ser. natur.*, 16: 41–50.
- HOFMEISTER J., MIHAJLEVIČ M., HOŠEK J., SÁDLO J. (2002): Eutrophication of deciduous forests in the Bohemian Karst (Czech Republic): the role of nitrogen and phosphorus. – *Forest Ecology and Management*, 169: 213–230.
- HOFMEISTER J., MIHAJLEVIČ M., HOŠEK J. (2004): The spread of ash (*Fraxinus excelsior*) in some European oak forests: an effect of nitrogen deposition or successional change? – *Forest Ecology and Management*, 203: 35–47.
- KOPÁČEK J., PROCHÁZKOVÁ L., HEJZLAR J., BLAŽKA P. (1997). Trends and seasonal patterns of bulk deposition of nutrients in the Czech Republic. – *Atmospheric Environment* 31: 797–808.
- LINDBERG S.E., LOVETT G.M., RICHTER D.D., JOHNSON D.W. (1986): Atmospheric Deposition and Canopy Interactions of Major Ions in a Forest. – *Science*, 231: 141–145.
- MALMER N., LINDGREN L., PERSSON S. (1978): Vegetation succes-sion in a south Swedish deciduous wood. – *Vegetatio*, 36: 17–29.
- NEUHÄUSLOVÁ Z. (1999): Změny bylinného patra v lesních spole-čenstvech. – *Zprávy České botanické společnosti*, 17: 37–46.
- NEWMAN E.I. (1995): Phosphorus Inputs to Terrestrial Ecosys-tems. – *The Journal of Ecology*, 83: 713–726.
- SALISBURY E.J. (2008): The Oak-Hornbeam Woods of Hert-fordshire Parts III and IV. – *The Journal of Ecology*, 6: 14–52.
- SAMEK V. (1964): Lesní společenstva Českého krasu. – *Rozpravy ČSAV*, 74: 72.
- SMITH H. (1982). Light duality, photoreception, and plant strate-gy. – *Annual Review of Plant Physiology*, 33: 481–518.
- TER HEERDT G.N., VERWEIJ G.L., BEKKER R.M., BAKKER J.P. (1996): An improved method for seed bank analysis: seedling emergence after removing the soil by sieving. – *Functional Ecology*, 10: 144–151.
- TYBIRK K., STRANDBERG B. (1999): Oak forest development as a result of historical land-use patterns and present nitrogen deposi-tion. – *Forest Ecology and Management*, 114: 97–106.
- TYLER G. (1992): Inability to solubilize phosphate in limestone soils - key factor controlling calcifuge habit of plants. – *Plant and Soil*, 145: 65–70.
- VITOUSEK P. (1982): Nutrient Cycling and Nutrient Use Efficien-cy. – *The American Naturalist*, 119: 553–572.