

Lesy České republiky, s.p., Hradec Králové

VÝZKUMNÉ PROJEKTY GRANTOVÉ SLUŽBY LČR



Souhrn projektu

PŮDNÍ A EPIGEICKÁ FAUNA STANOVIŠŤ OVLIVNĚNÝCH VÁPNĚNÍM A JEJÍ DYNAMIKA

Řešitel

Lesnická a dřevařská fakulta
Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně



Lesnická a dřevařská fakulta
Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně



PŮDNÍ A EPIGEICKÁ FAUNA STANOVIŠŤ OVLIVNĚNÝCH VÁPŇENÍM A JEJÍ DYNAMIKA

Souhrn projektu

Řešitel

Prof. Ing. Emanuel Kula, CSc.

Spolupracovníci

Doc. dr. ing. Dušan Vavříček

Ing. David Matoušek

Ing. Luboš Purchart

RNDr. Libuše Kodarová

Ing. Renata Matějková

Mgr. Ivan H. Tuf, Ph.D.

Prom. biol. Jaroslav Laibner

RNDr. Josef Starý, CSc.

RNDr. Václav Pižl, CSc.

Mgr. Stanislav Korenko

Mgr. Michal Holec, Ph.D.

V Brně, červen 2007

1. ZAMĚŘENÍ

Hypotéza: Fauna, která se nacházela ve smrkových monokulturách horské oblasti Krušných hor, byla změněna nejen acidifikací, ale i v důsledku měnících se stanovištních podmínek (narušení půdního povrchu, zahuštění, světlostní, teplotní a vlhkostní poměry). Živočišná složka podílející se na dekompozičních procesech zahrnuje druhy acidofilní stejně jako zástupce vyžadující neutrální i alkalickou hodnotu pH. Do jaké míry vápnění může zasáhnout existující epigeickou a půdní faunu a vyvolat změny v kvantitativním a kvalitativním složení, šokovou reakci po aplikaci dolomitického vápence, dlouhodobé reakce na půdní revitalizaci je předmětem komplexního studia.

Cílem první části řešení bylo poskytnout obsáhlý přehled existujících evropských poznatků dotýkajících se půdní fauny v procesu zakyselování, vápnění, působení těžkých kovů, půdotvorných procesů a možností vyjádřit změny pomocí bioindikátorů. Výstupem je rešerše: **Kula, E., Matoušek, D., Kodarová, L. 2003: Arachnoentomofauna stanovišť ovlivněných vápněním a hnojením a její dynamika. Rešeršní zpráva, MZLU v Brně, 79 pp.**

Cílem druhé části řešení bylo konkrétní stanovisko k reakci vybraných skupin půdní a epigeické fauny na vápnění realizované v srpnu 2003 v území LS Litvínov a sledované do r. 2006 včetně změn v chemizmu půdy, mikrobiální aktivitě, růstových vlastnostech porostu a chemizmu asimilačních orgánů stromů, které byly vystaveny diferencované dávce dolomitického vápence.

Pro řešení projektu byly formulovány dílčí cíle a otázky, jejich naplnění umožňuje: posoudit přímý a nepřímý dopad vápnění na půdní faunu. Souběžně jako podpůrné jsou sledovány půdní a růstové podmínky.

- Může vápnění narušit stabilitu a strukturu půdních bezobratlých a vyvolat zhroucení populací?
- Mění se v prvních letech po vápnění druhové spektrum bezobratlých, existují bioindikátoři těchto změn?
- Jak dlouho odeznívá vliv vápnění na půdní faunu?
- Jak souběžné změny mohou nastat ve vápněných ekosystémech?

2. REŠERŠE SHRNUTÍ

K celkovému pochopení širších souvislostí jsou zahrnuty v úvodu rešerše pasáže dotýkající se vlivu vápnění na nadložní humus, ve kterém se rozhodující část půdní fauny nachází a měnící se vlastnosti minerální půdy rovněž souvisí s aktivitou půdních živočichů.

2.1. Půdní změny vyvolané vápněním

Reakce humusové vrstvy na aplikaci dolomitického vápence nemusí být obecně shodné, neboť záleží nejen na dávce, ale i na stupni připravenosti stanoviště. Významná je zásoba celkového dusíku, kterou je ovlivňována mikrobiální biomasa a v návaznosti makro a mezo fauna. Většina výstupů prezentuje pozitivní odezvu s výjimkou reakce porostů břízy a jeřábu. Zde nitrifikace vlivem vápnění dlouhodobě klesá. Za významný faktor dopadu vápnění se považují změny v poměru C : N, které se neprojevují v obecných zákonitostech tím, že N se může akumulovat a C snižuje zásobu po vápnění, u půd chudých na N se vápněním dále prohlubuje deficit N. Respirace a bakteriální aktivita jsou vápněním stimulovány i když je registrováno i omezené působení nebo krátkodobý efekt. Vápněním se zvyšuje obsah přístupného K, P (ne vždy), Ca, Mg, snižuje se Al a toxicita těžkých kovů, což rovněž může ovlivnit živočišnou složku. Mění se velikost, propustnost a difusní koeficient pro plyny.

V minerální půdě se vápněním vyvolává pokles acidity (s různým časovým zpožděním), kvalitativní dopady zvyšuje stupeň mechanické přípravy půdy. Zvyšuje se zásoba celkového N, intenzita nitrifikace, amonizace i když odchylky existují, zvláště v poměru C : N je nejednotná reakce závislá na množství vyplaveného N z nadložního humusu. Zvyšuje se respirace (se zpožděním), přístupný obsah K, P, Ca, Mg a mobilita Cu, Pb, Fe, Zn a klesá mobilita Mn, Cd. Neprojevují se fyzikální vlastnosti (vlhkost, propustnost).

Vzrůst živin po vápnění ovlivňuje pozitivně kořenový systém, jeho živou biomasu a mykorrhizu.

Na půdní prostředí působí řada faktorů, především biotických a antropogenních, často souběžně, které zasahují biotické složky a vyvolávají změnu půdní aktivity ústící v dekompozičních procesech a kvalitativních změnách půdní bioty. Nelze vyloučit, že předpoklady o pozitivním působení vápnění mohou zahrnovat i dílčí negativní dopady, jejichž závažnost je třeba posoudit v kontextu pozitivních změn.

Multifaktoriální stanovištní podmínky jsou příčinou toho, že stejná opatření v závislosti na dřevině (stáří, druh) a oblasti mohou vyvolat odlišnou reakci půdní fauny. Dosavadní šetření soustředěná do smrkových, bukových, vzácněji borových porostů se pouze jednou prací váží i na březové a jeřábové porosty v imisních územích Krušných hor.

2.2. Dopady acidity a vápnění na jednotlivé skupiny půdní fauny

Vliv vápnění na půdní faunu s vyvoláním případné změny nelze přijímat jako negativistické narušení existujícího stavu, ale jako průvodní reakci na změny směřující k celkové revitalizaci půdního prostředí a půdotvorných procesů. Dále jsou shrnuty dostupné poznatky o reakci jednotlivých skupin půdní fauny, které v přehledu poskytuje i tab. 1 a připojena jsou pracovní schéma možných vazeb a závislostí u žíhal, roupic a hádátek, dále roztočů a mnohonožek.

2.2.1. Mnohonožky a stejnonožci

1. Dopady imisí na tuto saprofágní faunu jsou přímé negativní, spočívají v desikaci vyvolané prašným spadem a nepřímo pozitivní, vyvolané tvorbou nových vegetačních a mikroklimatických poměrů. Imisní lokality s bylinnou vegetací vykazují zvýšené zastoupení a kumulaci opadu.
2. Vápnění ($5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ CaO}$) zvyšuje s odstupem 4-6 let početní zastoupení Chilopoda a Myriapoda a po ošetření vápencem a NPK se ještě po 10 letech udržuje nebo jsou ve zvýšeném zastoupení (jiné skupiny ustupují). Tyto trendy potvrzuje vápnění v borových porostech (ještě po 12 letech) a v bukových porostech u mnohonožky *Mycogona germania* Verhoeff.
3. Příčiny zvýhodnění:
 - Kalcifikovaný skelet vyžaduje vápník, který je vápněním dodáván, přičemž přílišný obsah Ca může škodit.
 - Porézní půda (z aktivity žížal po vápnění) zlepšuje životní prostředí pro mnohonožky.
 - *Lithobius curtipes* C. L. Koch (Lithobiidae) – prosperující predátor živící se faunou (žížaly, dvoukřídle apod.), která profituje z vápnění.

2.2.2. Pancířníci – Oribatidae

1. Imisní působení snižuje druhovou diverzitu a abundanci půdních pancířníků, snižuje frekvenci výskytu a vyvolává změny ve struktuře společenstva, zvyšuje agregaci. Imise redukuje cenózy druhů recedentních a subrecedentních ($< 2 \%$), ustupují i dominantní druhy. Regenerace fauny je dlouhodobým procesem, neboť imise působí „toxicky“ na celé společenstvo.
2. Ústup pancířníků může souviset s redukcí mycelia půdních hub.
3. Arborikální a kortikorní pancířníci ustupují vlivem imisí (citlivost, změna biochoru, lišejníky mizí).
4. Vápnění vyvolává u pancířníků:
 - V agrocenózách krátkodobé zvýšení abundance, při snížení počtu druhů.
 - V lesních ekosystémech zvýšené zastoupení v důsledku redukce potravních zdrojů (rychlá dekompozice opadu) a do 2 let ústup specializovaných druhů a nástup eurytopního druhu *Tectocephus velatus* Mich., ale i ten může do 4 let vymizet a setrvá makrofytofágní druh *Steganocarus spinosus*, který má kutikulu inkrustovanou sloučeninami na bázi Ca.
 - Po dlouhodobém působení (dávka $2-10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ CaO}$) signifikantní negativní změny registrovány dokonce až po 28 letech projevující se přesunem do hlubších vrstev půdy.
 - Do 2 let po aplikaci snížení abundance a biomasy, krátkodobé zvýšení druhové diverzity a následný ústup druhů obývajících opad (chybí nymfy a larvy) a mykofágů, nástup druhů makrofágních a indiferentních a druhů nespecifických.
5. Vápnění se dále projevuje ústupem sametkovců z vápněných ploch a nárůstem čmelíkovců v souvislosti s potravní nabídkou (háďátka, roupice).

2.2.3. Háďátka – Nematoda

1. Šokový účinek zakyselení vyvolává ústup Nematoda s výjimkou tolerantnějších druhů (*Aphelenchoides*); klesá podíl omnivorů a predátorů. Snížená predace žížalami v kyselém prostředí vede k obnovení společenstva Nematoda (po 7 letech).

2. Acidifikací se snižuje zásoba potravy pro Nematoda, vápnění indukuje pokles konzumentů kořenových hub a nárůst počtu bakteriálních konkurentů při výraznějším rozvoji bakterií.
3. Vápněním se zvyšuje aktivita bakterií v organické vrstvě, které jsou potravou pro Nematoda (omnivorní, bakteriální) a tím zpravidla s odstupem 4 let narůstají a nepřímo profitují z vápnění.
4. Negativní dopad vápnění na Nematoda je nepřímý, neboť jsou zdrojem potravy pro žížaly, které pozitivně reagují na vápnění (zvláště *D. octaedra*). Roupice (Enchytraeidae) neovlivňují Nematoda.

2.2.4. Žížaly – Lumbricidae

Acidita

1. Kyselé srážky a degradace půd snáší ve svrchním opadu žijící *D. octaedra*, *D. rubidus*, rychle reagují na vápnění. Kontinuální zakyselování však nesnáší ani acidotolerantní druhy *D. octaedra*, *D. rubidus* v důsledku přímého kontaktu a působením protonů uvolněných disociací z půdních roztoků.
2. Nízké pH u žížal ovlivňuje negativně plodnost, snižuje abundanci a druhovou diverzitu, vytváří se jedno druhové společenstvo. Odlesněním trpí hluboko ryjící žížaly (*Lumbricus terrestris*).
3. Kyselými vstupy vyvolaný ústup druhů *L. rubellus*, *D. rubidus* je reverzibilní po vápnění do 3 let, následně může nastat pokles, ale současně pronikání do minerální půdy.
4. Acidita je stresorem vyvolávajícím zmnožení sliz vylučujících epidermálních buněk a omezuje spotřebu kyslíku (např. *Allolobophora caliginosa*). Existuje hypotéza, že zmnožení buněk je reakcí na zvýšenou sekreci. Epidermální sliz ovlivňuje fyziologii žížal.
5. Kyselými vstupy uvolněný Al v podobě monomeru s vysokou toxicitou vyvolává zvýšenou mortalitu u žížal. V organické vrstvě může být toxicita Al eliminována jeho vazbou v komplexních sloučeninách.

Vápnění

1. Saprofágové jsou citlivější v tlející vrstvě než ve vlastní půdě a ustupují se snižující se hladinou organické hmoty v půdním humusu. Smýcení porostu stejně jako vápnění vyvolává změny ve složení živočišné složky se sníženou respirací.
2. Vápněním a hnojením uvolňované prvky se neprojevují negativně s výjimkou Cu, která snižuje reprodukci např. u *Allolobophora caliginosa* a obecně může být toxická pro žížaly. Snížené pH zvyšuje mobilitu Pb, Cd, kterou eliminuje vápnění dolomitickým vápencem. Jinak se Cd akumuluje a protože olovo je intenzivně vylučováno trusem, není u bezobratlých akumulováno.
3. Vápnění u žížal podporuje jejich migraci, reprodukci a snižuje mortalitu. Existuje pozitivní korelace mezi četností žížal a obsahem Ca v půdě.
4. Regenerace půdy vápněním souvisí do dvou let s nárůstem aktivity endogenních a anektických žížal. Nejčastěji jsou zastoupeny epigeické *D. octaedra*, *D. pygmeana*, *D. rubida* endogenní *A. caliginosa*, *A. limicola*, *A. rosae*, intermediální *L. rubellus*.
5. Vápnění přispívá k procesu dekompozice, bukový opad je dostupný pro žížaly po šestiměsíčním rozkladu a rozvoji mikrobiální činnosti.
6. Činnost žížal podpořená vápněním přispívá k rozrušení kompaktnosti půdy v závislosti na jejich počtu a druhovém složení; zvláště endogenní *A. limicola* a *O. cyaneum* živící se humusem mají vysokou ryjící aktivitu.
7. Vápnění smrkových porostů hořečnatým vápencem v závislosti na množství změnilo do 2 let půdní faunu ve prospěch žížal (*D. octaedra*, *D. rubida*, *L. rubellus*) a tiplic, ale

vyvolalo ústup roupic, acidofilních chvostoskoků, mikrofágních larev dvoukřídlých a roztočů. Výstupem je přeměna surového humusu na dynamický mull.

2.2.5. Roupice – Enchytraeidae

Acidita

1. Roupice preferují kyselá stanoviště a jejich populační hustota koreluje s pH (*C. sphagnetorum*).
2. Vápněním ($4,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) ošetřené plochy vystavené kontinuálnímu kyselému vstupu 3 roky udržují stabilitu a snížení abundance *C. sphagnetorum* nastupuje ve 4.-5. roce.
3. Acidofilní *C. sphagnetorum* se rozmnožuje nepohlavně rozpadem těla a rychleji reaguje na změnu pH než druhy neutrofilní *E. buchholzi*, *E. parva*, *F. paroniana* s delším reprodukčním cyklem.

Metody hodnocení

1. Dlouhodobý monitoring dokládá ústup a změnu druhového spektra např. v oblastech s postupným zakyselováním a dlouhodobou reakci na realizované vápnění a regeneraci půdního prostředí imisních oblastí.
2. Paralelní sledování vlivu dřeviny ve shodných stanovištních podmínkách se odráží v procesu zakyselování, půdotvorných procesech, tvorbě surového humusu a diferencích půdní fauny.

Vápnění

1. Vyvolává dlouhodobý ústup roupic (*C. sphagnetorum*, *Marianina dovata*, *A. camerani*), ale podporuje mezofilní zástupce (zvýšení abundance) s odstupem 5 let i dříve (*F. paroniana*, *M. armatur*, *M. glandulosus*, *M. peliceusis*, *S. niveus*).
2. Roupice splňují požadavky na bioindikační živočichy (monitorují změnu pH, TK v půdě, vstupy N)
3. Po vápnění se zvyšuje zastoupení druhů schopných tolerovat širší rozpětí pH.

2.2.6. Vliv těžkých kovů na žížaly a roupice

1. Vysoké koncentrace těžkých kovů mají negativní dopad na půdní organismy a narušen je dekompoziční proces. Abundance žížal směrem k imisnímu zdroji klesá stejně jako diverzita, narůstá vrstva opadu.
2. Roupice lze užít k monitoringu těžkých kovů, neboť jsou schopny přijímat nadlimitní množství těžkých kovů a deponovat je v tkáni (Cd narůstá lineárně, Cu, Pb lineárně a později exponenciálně, Zn se zvyšuje až při dlouhodobé expozici). Cu v půdě vytváří nepříznivé prostředí pro žížaly i roupice. Reakce druhu může být specifická k akumulaci těžkých kovů.
3. Cu, Zn jsou základními kovy, jejichž příjem je regulovatelný do určitého stupně, zatímco pro Cd, Pb neexistují regulační mechanismy. Rozdíly v koncentraci rovněž ovlivňují odchylky v morfologii, chování a způsobu života, potravní preference bezobratlých zástupců. Olovo, které se ukládá ve svalové tkáni žížal je eliminováno vápněním a s klesajícím pH se zvyšuje jeho mobilita a příjem.
4. Akumulace těžkých kovů souvisí s věkem (juvenilní stádia citlivější). Povrchový sliz u žížal může zabránit penetraci do těla jejich absorpcí, rozhodující je vstup s potravou. Depozice v jícnu, svalech, mozkové zauzlině. Žížaly splňují kritéria pro monitoring těžkých kovů.
5. V lesích kontaminovaných těžkými kovy je vápnění jedinou ozdravnou metodou, která ovlivňuje živiny, mikrobiální aktivitu, existuje určitý stupeň variability a závislost na stupni kontaminace.

2.2.7. Žížaly a roupice v půdotvorném procesu

1. Nárůst společenstva žížal (druhů, hustoty, biomasy) po vápnění souvisí s kvalitou opadu, rozmanitostí potravních zdrojů, přičemž potravní selekce není dostatečně prostudována.
2. Vliv žížal na úrodnost lesních půd spočívá ve zvýšené mineralizaci živin, lepších fyzikálních vlastnostech půd, zvýšení obsahu metabolických produktů a je podporován vápněním, hnojením, introdukcí žížal a výsadbou listnáčů.
Žížaly rozkládají opad, vytváří humus, kypří a provzdušňují půdu, přesouvají půdní částice tvoří půdní biomasu, produkují 3,5-7 kg.m⁻² trusu za rok. Přispívají k vyluhování kationů K, Mg do nižších půdních horizontů. Ca přijímají jako výživu. Jestliže vlivem zakyselení nemůže být uspokojen nárok na Ca u *L. rubellus*, mizí z lokality.
3. Efektivita žížal v půdotvorném procesu se diferencuje stanovištními nároky, přičemž mezi limitující se řadí vlhkost a přístup kyslíku.
Roupice na rozdíl od žížal nesnáší anaerobní podmínky. Hladina spodní vody limituje hluboce ryjící druhy (*C. sphagnetorum*). Endogenní druhy ohrožuje nízká vrstva humusu, vysoká kyselost, chlad – eliminuje vápnění a hnojení. Sucho ohrožuje obecně suchozemské kroužkovce.

Kvalita potravy

1. Postavení a účinnost žížal jako požíračů detritu je závislá na stupni rozkladu, i když se připouští mimo jiné i konzumace živé biomasy (*D. octaedra*), hub (*C. sphagnetorum*). Schopnost zpracovávat opad od začínající fáze rozkladu má *D. octaedra*, neboť disponuje vysokou enzymatickou činností pro trávení celulózy. Kyselými vstupy klesá rozpustnost organických sloučenin a přináší negativní vliv na zdroje výživy.
2. Vápnění podporuje kvalitu potravní nabídky rozmnožujícími se mikroorganismy a bakteriemi na mikroflóře, což vyvolává intenzivní rozpad smrkového opadu, snížení toxických fenolických látek a tvorbu zásobních živin.
3. Samotné vápnění nemůže zajistit dlouhodobé zlepšení životních poměrů pro žížaly, zatímco listnáče a půdní vegetace představují stabilizační faktor. Lze očekávat pozitivní vliv porostů náhradních dřevin.

Introdukce žížal

1. Inokulací žížal lze posílit účinnost vápnění, přičemž epigeické druhy se šíří rychleji (až 10 m.rok⁻¹), zatímco endogenní druhy 3-4 m po 6 letech. Obecně se jedná o pozvolný proces.

Mezidruhová interakce

1. V přítomnosti žížal (*L. rubellus* a *D. octaedra*), jsou potlačovány roupice, např. (*C. sphagnetorum*) a existuje vzájemná negativní korelace v jejich biomase. Mezidruhovú konkurenci se vyznačuje nižším počtem dospělců, uložených kokonů a omezeným rozmnožováním i hloubkou osídlení minerální půdy.

2.2.8. Chvostoskoci

Acidita

1. Vysokou početností se vyznačující chvostoskoci jsou významnou součástí ekosystému a jejich poškození (aciditou, vápněním) může vyvolat trvalé poruchy v ekosystému.
2. Chvostoskoci napomáhají procesu mineralizace i humifikace. Např. *Isotoma tigrida* redukuje mineralizaci uhlíku, omezuje biomasu kolonizující mikroflóry, podněcuje výluh

minerálního dusíku v závislosti na prostředí. Chvostoskoci efektivně mění růstové podmínky dekompozičních mikroorganismů svým působením na půdní houby. Zvyšují pufrovací kapacitu biotických procesů směřujících proti kyselým vstupům.

3. Změna přirozené půdní kyselosti (imisní vstupy, těžba, hnojení, vápnění) působí na mikrobiální život, obsah taninů, huminových kyselin, Al komplex a ovlivňuje biodiverzitu, aktivitu mikrofauny a tím zasahuje potravní zdroj pro chvostoskoky. Rekolonizace půdy chvostoskoky je vztažena k pH a tím je určeno druhové spektrum a početní zastoupení.
4. Citlivosti širokého spektra chvostoskoků lze využít při bioindikaci půdní acidity. Reakce jednotlivých druhů je rozdílná, ale ve svém výsledku se u příslušných rodů shoduje. Reakce mohou být začleněny do kategorií: abundance se zvyšuje acidifikací nebo snižuje vápněním a naopak, snižuje acidifikací i vápněním, vykazuje různou reakci.

Vápnění

1. V přírodních podmínkách bylo doloženo, že ve fauně chvostoskoků na vápencích se objevili zástupci kyselého společenstva půd tvořených na žule, zatímco některé kalcifilní druhy vymizely.
2. Vápněním se obecně snižuje abundance endo i epigeických druhů chvostoskoků. Reakce společenstva je ovlivněna kompeticí v potravních nárocích a mikrobiální biomasou, kdy v kyselých půdách převažují houby a na vápněných dominují bakteriální společenstva, která jsou rychle využita chvostoskoky. Reakce jednotlivých druhů vykazují dílčí odchylky.
3. Abundance osídlení chvostoskoky je v listnatých lesích nižší než v jehličnatých, přičemž na úrovni druhů existují rozdíly v dominanci, která ukazuje jejich odlišnou adaptabilitu.
4. Vápnění dolomitickým vápencem vyvolalo chemickou reakci v půdě, která vyčlenila 2 skupiny chvostoskoků v dubobukovém porostu.
 - Pozitivní vztah ke koncentraci K, P a negativní k těžkým kovům Mn, Cd.
 - Acidofilní s negativní reakcí k Ca, pH a pozitivní k Fe, Pb, Al.

Jiné reakce ale vykazují tyto druhy ve smrkovém porostu.

2.2.9. Dvoukřídli – Diptera

1. Determinační bariéra nedostatku znalostí pro určení larev neumožňuje plně využít tuto bohatě zastoupenou skupinu půdní fauny.
2. Acidifikace ovlivňuje přímo činnost trávicích enzymů a nepřímo vysoké pH rozpustnost a toxicitu těžkých kovů, kvalitu potravy, ovipozici a úspěšnost vývoje, složení vegetačního krytu, které se jeví jako nejvýznamnější, neboť ovlivňuje složení a množství opadu.
3. Vápněné paseky vykazují vyšší zastoupení dvoukřídлых, zvláštní difference vykazují skupiny makrohumifágů, mikrohumifágů a zoofágů.
 - Zvyšuje se podíl makrohumifágů v důsledku nárůstu bylinné biomasy a vysokého pH. I přes nedostatečnou vlhkost reagovali na vápněných plochách pozitivním nárůstem.
 - Mikrohumifágové vázaní na mikroskopické řasy a houby profitují z vápnění, vyžadují odpovídající vlhkost.
 - Zoofágové nereagují významně na změny vápněním.
4. Vápnění může negativně ovlivnit společenstva larev dvoukřídлых, zvláště vysoké dávky dolomitického vápence.
5. Saprofágové jsou citlivější na vápněných plochách s výrazným podílem na rozpadu listového humusu (13-29 % ročního opadu), stimulují dekompoziční procesy, mineralizaci a pohyb živin.

2.2.10. Ostatní skupiny

Brouci - Coleoptera

1. Brouci místem vývoje larev preferují vápněné lokality a porosty před pasekami, ale existuje značná variabilita. *Athous subfuscus* a nosatci rodu *Phyllobius*, *Strophosoma* preferují porosty bez zvláštní reakce na vápnění, střevlíkovití (*Trechus*, *Trichocellus*) upřednostňují porosty vápněné, zabařenělé. Staphylinidae reagují na vápnění nárůstem i ústupem.

Mravenci - Formicidae

1. Negativní dopady na mravence rodu *Formica* působí jemná frakce aplikovaného vápna nebo vápenná suspenze. Zasažením dochází k narušení vodního režimu, dýchání, pohybových vlastností, orientace, snižuje se akční rádius, narůstá mortalita, zvyšuje se agresivita v rámci druhu. Zasažené kolonie přemísťují mraveniště.

2.2.11. Bioindikace

1. Vlivem imisí se mění populace bezobratlých v důsledku stanovištních změn, mizí druhy jako odraz chybějících zdrojů potravy, které zahynuly pro vysokou citlivost k imisím (lišejníky).
2. Objevují se industriální melanismy (motýli, slunéčka).
3. Bioindikace půdních změn odráží tři roviny:
 - bezobratlí živočichové,
 - mikroorganismy,
 - procesy v ekosystémech.

3. METODIKA

3.1. Půdní fauna

3.1.1. Metoda zemních pastí

Formalinové zemní pasti (médium 4 % roztok formaldehydu se smáčecím prostředkem) o objemu 4 litrů opatřené stříškou (5 ks/plochu) vedené liniově středem porostu (eliminace okrajového efektu) s odstupem 10 m. Odběr ve formě směsného vzorku ze všech pastí na ploše porostního dílce charakterizovaného aplikací dolomitického vápence, konzervace 75 % etanolem. Expoziční doba byla 6 týdnů s případnou možností odlišit aspekt jarní (do 20.6.), letní (21.6.-15.8.), pozdně letní (16.8.-15.9.) a podzimní (16.9.-30.10.) (obr. 1 – zemní past).



3.1.2. Extrakce makro a mezofauny pomocí tullgrenů

Odběr půdních vzorků: sonda 25 x 25 cm, 10-15 cm hluboko, počet sond na plochách 1-8 (4 ks) a plochách 9-12 (3 ks). Odběry byly realizovány v jarním, letním a pozdně letním termínu v porostu na linii mezi zemními pastmi. Každý vzorek byl odděleně analyzován extrakcí na tullgrenech v laboratorních podmínkách. Metoda je založena na hydrotaxi a na pozitivním geotropismu edafických forem (obr. 2 - tullgren).



3.1.3. Stanovení půdních pancířníků

Kvantitativní vzorky byly odebírány v letech 2003-2006 v termínu jarním souběžně s odběrem půdních sond pro extrakci půdní fauny metodou tullgrenů půdní sondou o pracovní ploše 10 cm² do hloubky 5 cm (5 vzorků) a transportovány do laboratoře ústavu půdní biologie AV ČR v Českých Budějovicích. Zde byli půdní roztoči a další zástupci mesoedafonu extrahováni v modifikovaných fototermoelektorech typu Berlese - Tullgren po dobu 5 dnů při teplotě 35 °C. Pancířníci byli projasněni v přechodných mikroskopických preparátech v 80 % kyselině mléčné a determinováni do druhu a poté převedeni do glycerolu.

3.1.4. Metoda půdních fotoeklektorů

Tři fotoeklektory o rozměru (0,5 x 1 x 0,3 m, 0,5 m²) byly instalovány každoročně bezprostředně po sejítí sněhu na každé z ploch lokality Buttersteig 5-8 v nadmořské výšce 700 m n. m. Kontrolní odběry z fotoeklektorů probíhaly po celé vegetační období (15.4. - 30.10.) ve 14denním intervalu. Směsný vzorek, který tvořil odchyt z dané plochy a termínu, byl konzervován v 75 % etanolu (obr. 3 - fotoeklektor).



3.1.5. Determinace

Determinace půdní a epigeické fauny byla realizována ve spolupráci se specialisty z různých pracovišť (univerzity, akademie věd, muzea) a předními amaterskými determinátory. Tato část zpracování je velice náročná, vzhledem k rozsahu materiálu a omezenému zastoupení specialistů.

3.2. Stanovištní a půdní charakteristika

3.2.1. Chemismus půdy

Detailní půdní charakteristika byla stanovena pomocí rozboru dvou půdních horizontů odebraných v porostu v blízkosti již odebrané půdní sondy (25 x 25 cm, hloubka 10-15 cm) určené ke stanovení půdní fauny. Každoročně bylo odebráno 88 vzorků ze 44 sond, odděleně ve dvou horizontech. Byla souběžně provedena typologická charakteristika dr. ing. D. Vavříčkem z MZLU v Brně.

Ve spolupráci s akreditovanou laboratoří Ekola s.r.o. Bruzovice byly stanoveny v horizontu H a A: obsahy výměnných bází (S), kationtová výměnná kapacita (T), procento nasycení sorpčního komplexu bázemi (V), celková organická síra, uhlík, přístupné živiny (P, Mg, Ca, K, S v minerální půdě), pH.

3.2.2. Mikrobiální aktivita

Reakce půdní mikrobiální složky byla stanovena dle produkce CO₂ na lokalitách v 700 a 900 m n.m. s opakovaným odběrem třikrát ročně v termínu odběru půdních vzorků na extrakci půdní fauny pomocí tullgrenů na každé ploše v koridoru zemních pastí. Odebírán byl směsný vzorek horizontu H (po odstranění opadu a drti) v linii zemních pastí poblíž míst určených pro odběr půdních sond ke stanovení chemismu půdy. Vzorky byly uloženy v chladicím boxu a přepraveny do pedologické laboratoře v Brně k provedení analýzy.

3.2.3. Reakce porostu na vápnění

3.2.3.1. Růstové vlastnosti

Reakce břízy na vstup dolomitického vápence byla hodnocena na souboru trvalých vzorníkových stromů (25 na plochu) situovaných na lokalitu Buttersteig (700 m n. m.) v porostních plochách 1-8, vedených v linii podél zemních pastí a půdních sond. Stanoven byl tloušťkový přírůst (obr. 4 – porosty břízy v lokalitě Buttersteig).



3.2.3.2. Chemismus asimilačních orgánů

Na plochách stanoviště Buttersteig dílce 1-8 byl analyzován obsah prvků v asimilačních orgánech – mikro (Mn, Zn, Cu), makro (S, N, P, Ca, Mg, K) a cizorodé prvky (Pb, Cd) u tří trvalých vzorníků (Σ 24 vzorků). Odběr v souladu s metodikou ICP Forest. Analýza v akreditované laboratoři EKOLA Bruzovice s.r.o.

3.2.3.3. Poškození asimilačních orgánů

Na plochách 1-8 polohy Buttersteig bylo vyhodnoceno poškození asimilačního aparátu břízy v jarním a letním aspektu. Defoliace byla hodnocena kvalifikovaným odhadem procenta poškozené plochy na náhodně vybraném souboru 70 listů z každé úrovně a každého vzorníku (Σ 48 odběrů) (obr. 5 – barevné změny vyvolané vysokým obsahem manganu).



4. POPIS OBLASTI ŠETŘENÍ

Exponovaná území především náhorních poloh východního Krušnohoří jsou v souvislosti s revitalizačním procesem předmětem leteckého vápnění. Zvolené zájmové území pro sledování dopadů vápnění na půdní faunu je hlavní plochou (Buttersteig, LS Litvínov) situováno na spodní hranici plánovaného vápněného území (700 m n.m.) a paralelní plochou (Loučná, LS Litvínov) do polohy 900 m n.m., která představuje typická stanoviště pro náhorní plato Krušných hor.

Hlavní výzkumné plochy jsou situovány do lokality Buttersteig v nadmořské výšce 710-750 m, v mírném jižním svahu pod komunikací Buttersteig 1 (plochy 1-4, porost 336B2) a ve středním svahu nad komunikací Buttersteig 5 (plochy 5-8, porost 338B3c). Jednotlivé porostní dílce s březovými monokulturami jsou od sebe odděleny zalesněnými pasekami se zajištěnými kulturami. Paralelní výzkumné plochy doprovodné v poloze 900 m n.m. představují silně mezernaté až bezlesé plochy po uhynulé bříze s vyšším podílem smrku pichlavého. Vysoký stupeň zabuřnění (*Calamagrostis* sp.) je charakteristický pro lokality 9, 10, 11 (obr. 6, 7).

Obr. 6: Vápněné porosty břízy v lokalitě Buttersteig



Obr. 7: Vápněné porosty v lokalitě Loučná



Vápnění se uskutečnilo 28. srpna 2003 v plánované dávce $1,5-3-6 \text{ t.ha}^{-1}$ drceného dolomitického vápence (producent Krkonošské vápenky Kunčice a.s.) v níže uvedeném složení odpovídající stanoveným normám ÚKZÚZ s podlimitním obsahem rizikových prvků (Hg, Cd, Pb, Cr, As) (obr. 8, 9).

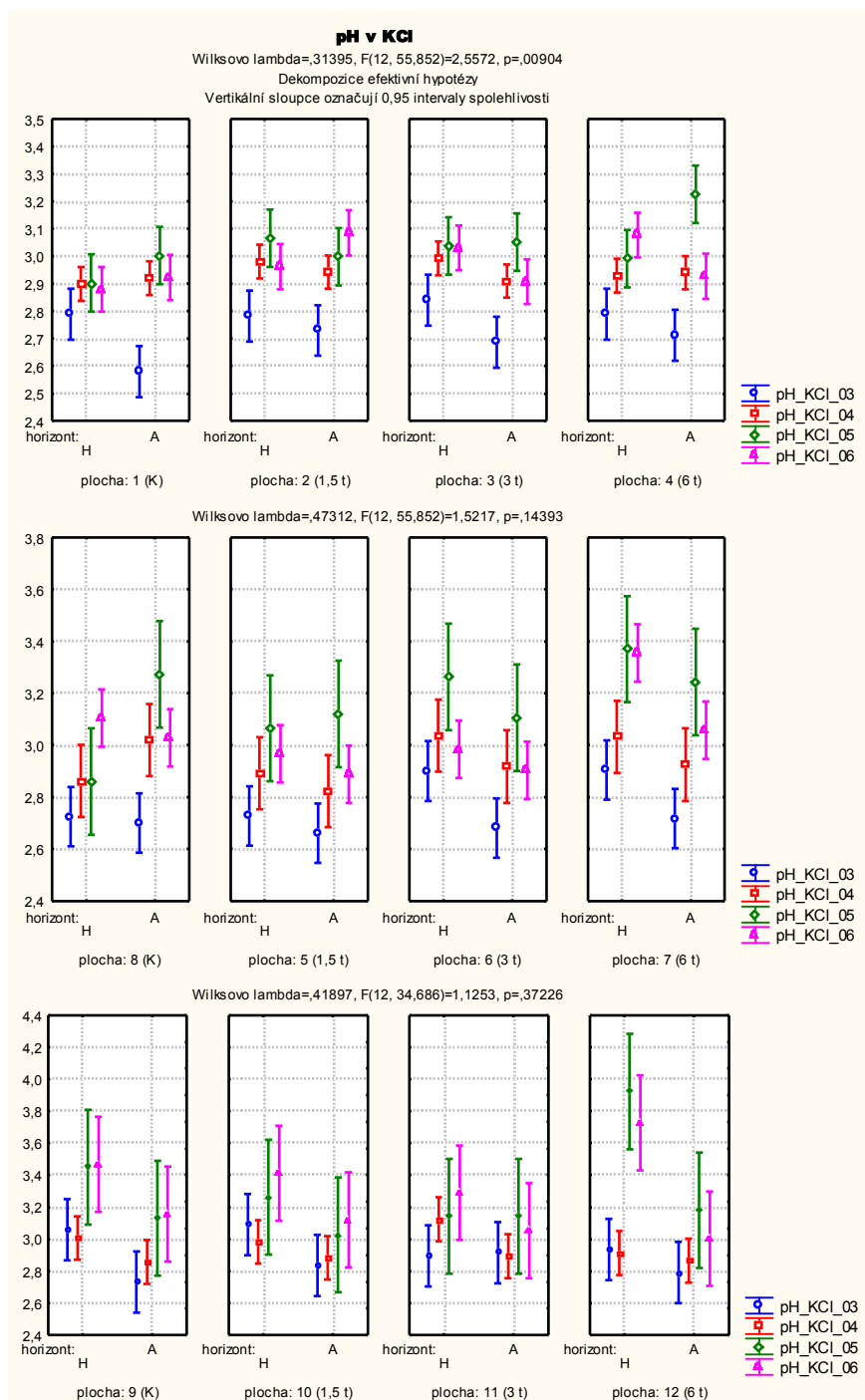


5. SOUHRN NEJDŮLEŽITĚJŠÍCH VÝSLEDKŮ ŠETŘENÍ

Stanovištní podmínky

Půdní prostředí studované oblasti je významně ovlivněno geologickým substrátem, podzolizačními půdotvornými procesy a extrémním imisním tlakem v minulosti.

Stanoviště, která nebyla ošetřena dílčím melioračním, případně udržovacím vápněním se vyznačuje rizikově velmi nízkými hodnotami pH, které klesají pod limitní hranici 2.8 pH/KCl. Paradoxně se jedná o plochy relativně nižších poloh 4.-5. LVS, které byly vápněním významně ovlivněny (obr. 10 - Dynamika změny pH (v KCl) půdy vápněných porostů v lokalitě Buttersteig, Loučná (2003-2006).

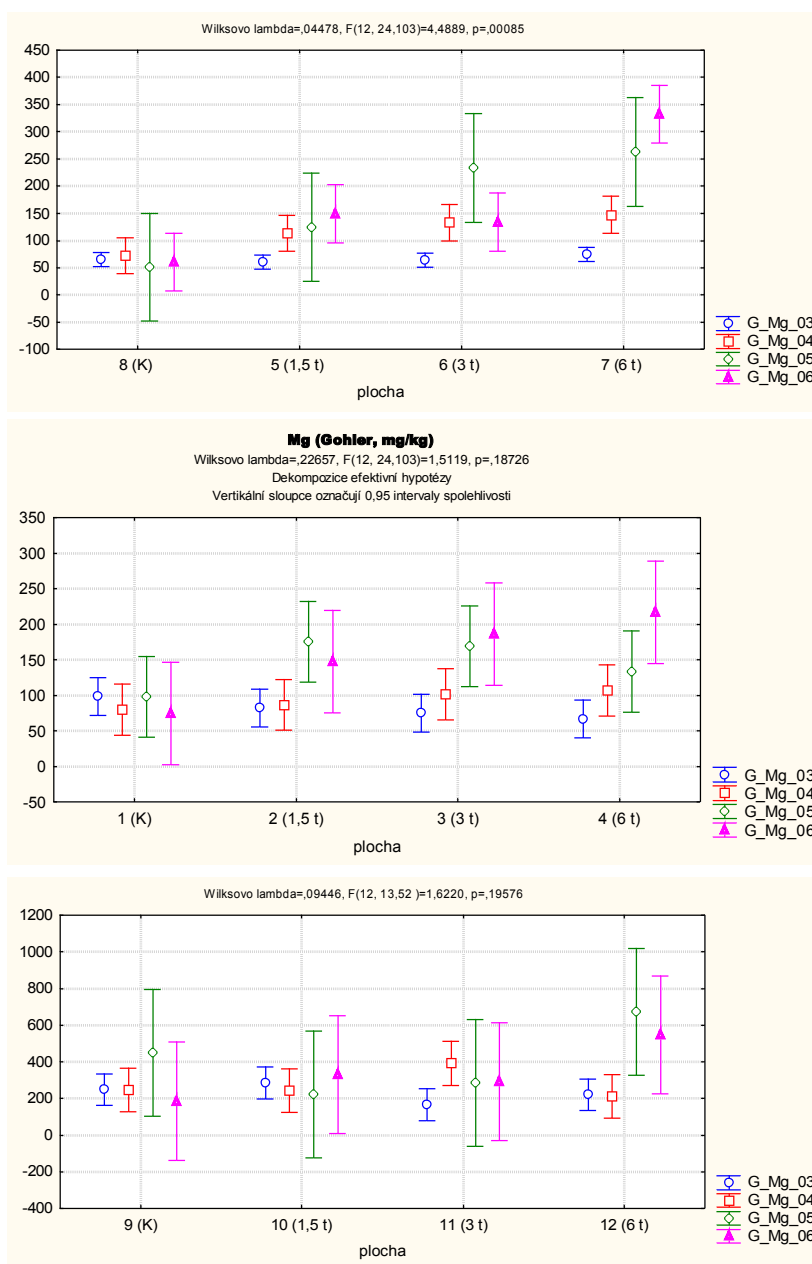


V minulosti vápněné plochy 6.-7. LVS pod tuto extrémní hranici pH neklesaly a s ohledem na vyšší pufovací sílu slabých organických kyselin z morových humusových forem nebyla povrchová aplikace významně ovlivňujícím faktorem.

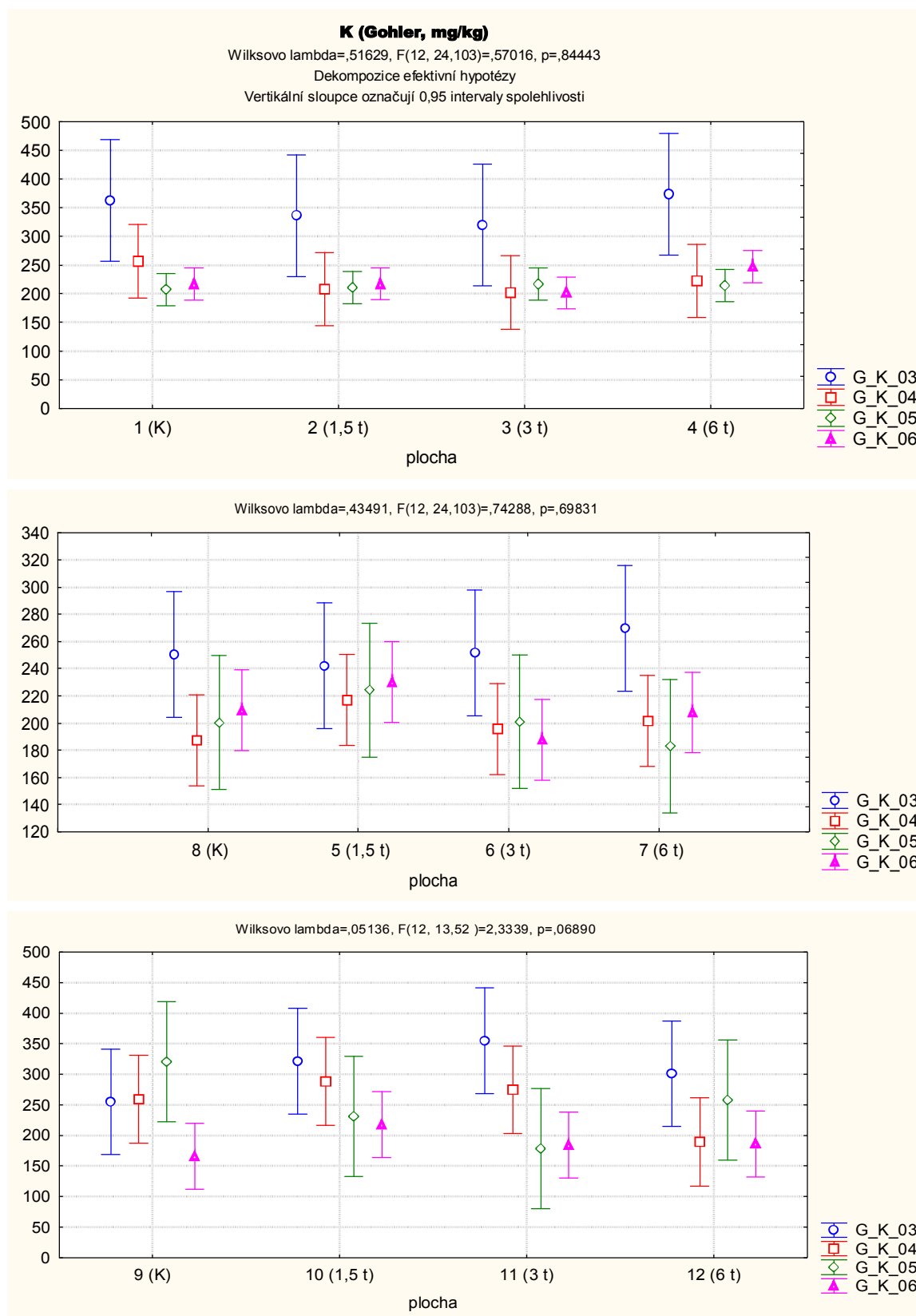
Při celoplošném působení dolomitického vápence dochází k migraci C-látek a jejich dočasnému nárůstu také v epipedonu. Proces ovlivňuje zejména maximální sorpční kapacitu. V rámci jednotlivých variant byly hodnoty rozkolísané a s širokou variabilitou souborů byly rozdíly nevýznamné.

Kvalita humusu se vlivem povrchového leteckého vápnění nemění a poměr C: N zůstává pro fixaci N_{min.} na hranici limitně rizikových hodnot.

Na stanovištích, která nebyla v minulosti intenzivně vápněna, došlo k optimalizaci zásoby přístupného Mg, a to na úroveň ploch 6.-7. LVS ovlivněných povrchovým vápněním v předešlém období zvýšeného imisního tlaku. Při vyšších aplikacích (6 t.ha⁻¹) bylo zjištěno, že ve vztahu k jednovalentním makrobioelementům nastal nárůst vlivu antagonistických procesů (obr. 11 - Dynamika změny Mg (Gohler, mg/kg) v horizontu H půdy vápněných porostů v lokalitě Buttersteig, Loučná (2003-2006).



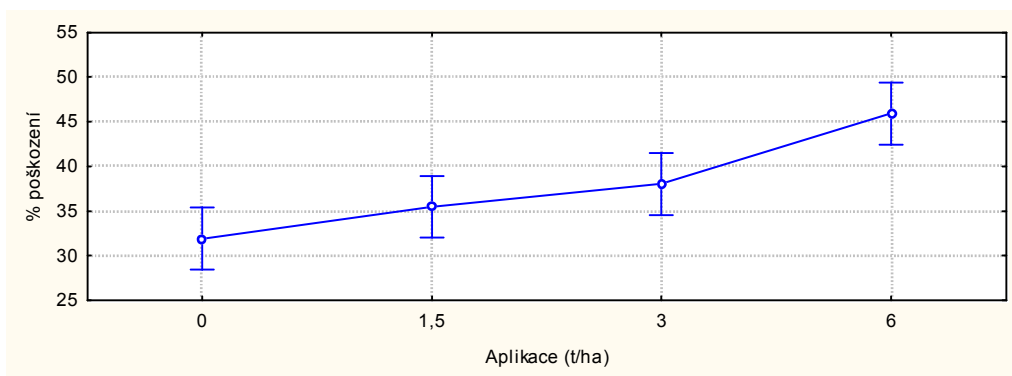
Antagonismus k draslíku se projevil zejména v horizontech epipedonu. Obsahově neklesl pod limitní hranici nízkých zásob (obr. 12 - Dynamika změny K (Gohler, mg/kg) v horizontu H půdy vápněných porostů v lokalitě Buttersteig, Loučná (2003-2006).



Navyšování hodnot po aplikaci melioračního materiálu je krátkodobé. Po časovém období 3 let dochází k poklesu vybraných charakteristik směřující na hladinu původních limitů. Dlouhodobější působení bylo zaznamenáno pouze u vyšších dávek ($6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) použitého vápence.

Mikrobiální aktivita

Trend vývoje mikrobiální aktivity (2004–2006) i přes dílčí odchylky je možné charakterizovat jako nejnižší na plochách kontrolních bez aplikace a maximální v porostech s aplikací $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dolomitického vápence. Aplikace $1,5$ a $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ vápence si byly blízké a ukázaly na určitou kontinuitu začlenění mezi kontrolu a max. aplikaci. Tyto stanovené difference by mohly přispět k vysvětlení některých změn v abundanci půdní fauny (obr. 13 - Mikrobiální aktivita v porostech břízy pod vlivem vápnění (Buttersteig, 2004–2006).

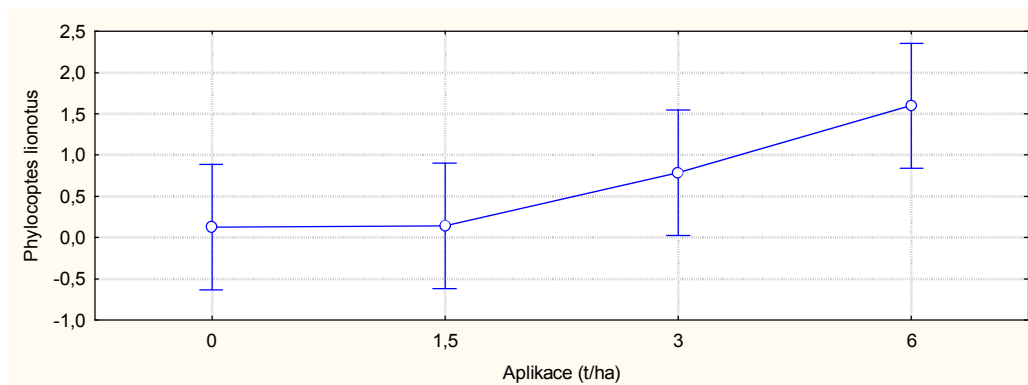


Růstové vlastnosti porostu

Pro komentování zjištěného negativního vlivu vápnění na přírůst břízy nemáme odpovídající informace.

Zdravotní stav, stupeň defoliace, chemismus asimilačních orgánů

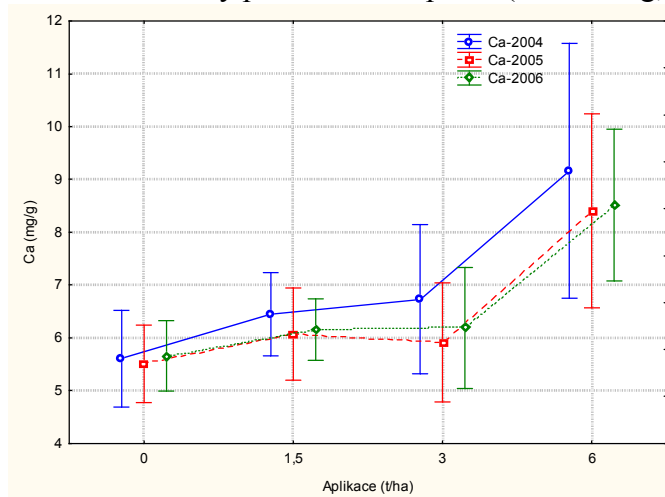
V průběhu let 2004–2006 se neprojevil dopad aplikace dolomitického vápence na eliminaci nebo aktivizaci fytofágů či jiných typů poškození vedoucí ke ztrátě asimilačních orgánů. Byl zaznamenán posun v populační dynamice vyjádřený nepřímo rozsahem poškození asimilační plochy u žíru nespecifikované housenice (letní vzestup), nosatců (jarní i letní ústup), pouzdrovníčka stromového (ústup), Eriocrania sp. (vzestup), roztoči *A. rudis* (vzestup), *A. lionotus* (vzestup), rez *Discula* sp. (ústup). Pouze náznak intenzivnějšího stupně napadení zvláště v r. 2006 na plochách s vyšší dávkou vápence charakterizoval roztoč *A. lionotus*, případně nedeterminované housenice (obr. 14 - Podíl roztoče *Phyllocoptes lionotus* na poškození listů břízy (%) v závislosti na aplikované dávce vápence a termínu odběru (kontroly) (Buttersteig, 2004–2006).



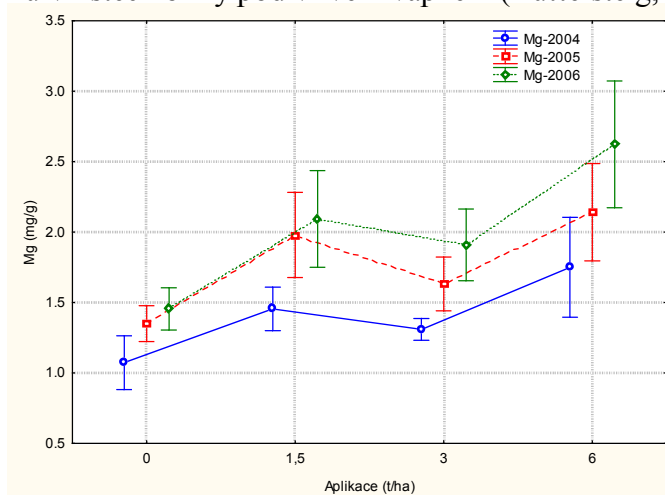
Chemismus asimilačních orgánů břízy

Vápnění pozitivně ovlivňuje s odstupem 3 let obsah Ca, Mg, negativně P, N, částečně K a bez vlivu zůstává S. Mikroprvky a cizorodé prvky se jednoznačně neprofilovaly v průběhu tří let po aplikaci (obr. 15, 16, 17).

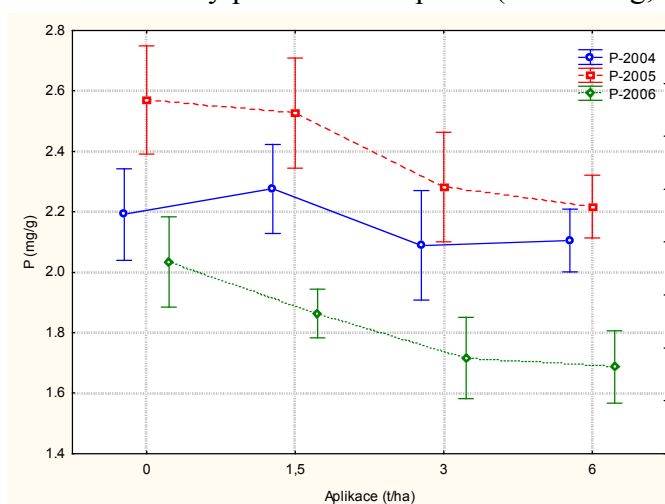
Obr. 15: Obsah vápníku v listech břízy pod vlivem vápnění (Buttersteig, 2004-2006)



Obr. 16: Obsah hořčíku v listech břízy pod vlivem vápnění (Buttersteig, 2004-2006)



Obr. 17: Obsah fosforu v listech břízy pod vlivem vápnění (Buttersteig, 2004-2006)



Půdní a epigeická fauna

Chvostoskoci představují významné indikátory změn prostředí, které bylo možné využít zatím pouze z hlediska kvantitativního a celkové abundance, pro hodnocení kvalitativní změny je nezbytná druhová determinace.

Nematocera po třech letech působení dolomitického vápence se projeví na plochách s vyšší aplikací poklesem populační hustoty a posunem kulminace.

Zástupce podřádu Brachycera lze zařadit do skupiny částečně ovlivněné aplikovaným vápněním (pozitivně) nepřímo přes kladnou reakci potencionálních hostitelů, která ale může z části být tvořena druhy do půdy vstupující pouze k zimování (housenky, housenice). Přes výše uvedené asi není vhodnou bioindikační skupinou.

U nosatcovitých metodou fotoeklektorů zatím nebyl prokázán dopad vápnění na larvy vyvíjející se v půdě v horizontu tří let po aplikaci. Nejednotnost dosavadního vývoje neumožňuje bližší prognózu reakce.

Drabčíkovití zřetelně pozitivně reagují na vápněním ovlivněné stanovištní podmínky pravděpodobně nepřímo v důsledku výhodné potravní nabídky. Tuto hypotézu je třeba ověřit na základě analýzy druhového spektra a konfrontací potravně ekologických nároků dominantních druhů.

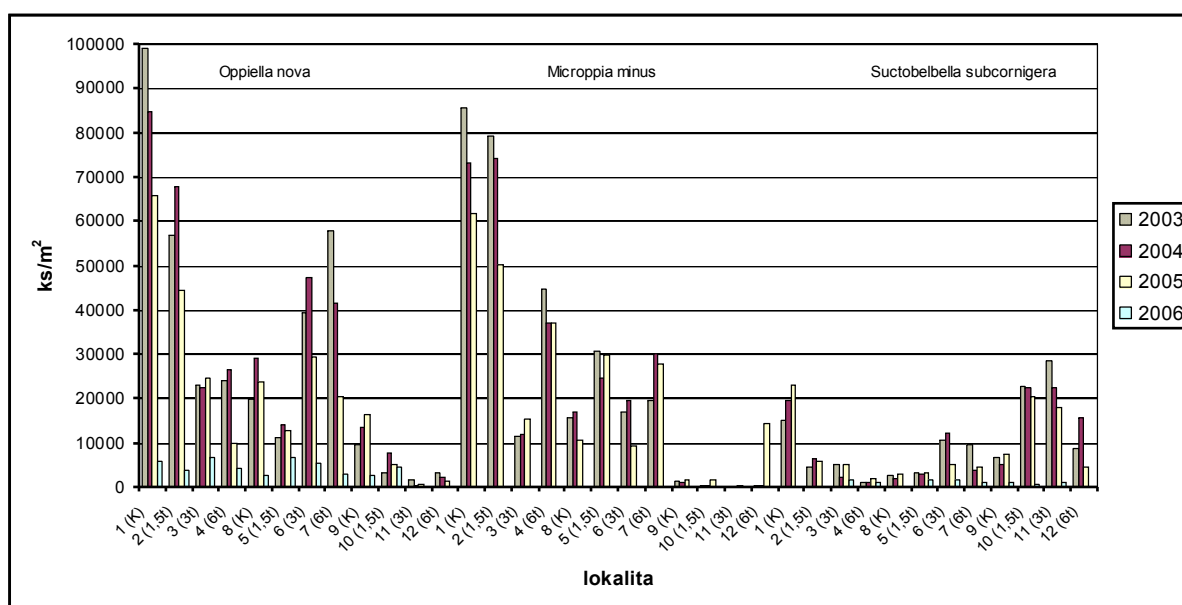
Chalcidy, lumci a lumčici jsou vázáni na hostitele, kteří mají diferencovaný vztah k půdnímu prostředí, a to modifikuje celkově jejich odchyt. Vliv vápnění je tedy (pokud existuje) nepřímý přes zástupce vyvíjející se v půdě a zvláště ty druhy, jejichž početnost je vápněním ovlivňována (Nematocera).

Tab. 1: Zastoupení bezobratlých na plochách s diferencovanou dávkou dolomitického vápence (Buttersteig, metoda fotoeklektorů).

Aplikace (t/ha)	K	1,5	3	6
Brachycera	500	617	787	790
Brouci	513	270	510	304
Drabčici	217	164	297	306
Eriocrania	30	29	50	56
Housenky	6	7	4	0
Chalcidky	586	685	645	1176
Chvostoskoci	858	819	1181	1634
Křisi	102	62	94	112
Lumci	245	207	327	300
Motýli	63	72	120	76
Mšice	22	1001	1	24
Nematocera	7228	10127	5905	5769
Nosatci	275	134	206	189
Páteříčci	79	97	34	90
Pavouci	362	418	847	638
Ploštice	271	333	490	352
Roztoči	1014	1255	1208	1205
Sekáči	10	13	19	4
Stonožky	1	2	2	1

Vliv vápnění na společenstva pancířníků (Acari: Oribatida)

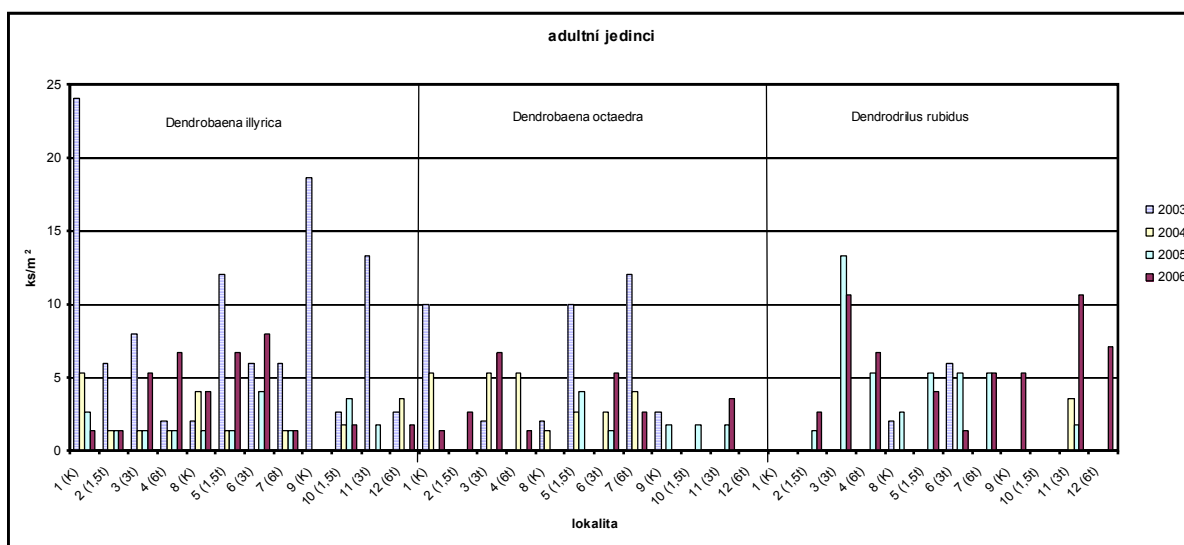
Roztoči (81 druhů) představují nejpočetnější půdní zoocenózu, která odráží změny ve vývoji v porostech ošetřených vápněním. V porostech kontrolních a s nízkými vstupy vápence ($1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) se 10–15 % pokles abundance váže k populační dynamice a faktorům mimo vliv vápnění. Z ústupu populační hustoty na hladinu 60–73 % v porostech s aplikací 3 a $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ s odstupem 1,5 roku od vápnění, lze odvodit negativní dopad melioračního vápnění při revitalizaci půdního prostředí. Pokles v r. 2006 byl způsoben pochybením v časovém transferu vzorků k přímé extrakci na tullgrénech a nesouvisí s vápněním (obr. 18 - Vývoj abundance některých druhů pancířníků (Acarina) ve vápněných porostech (2003 - 2006).



Zoocenóza Chilopoda, Diplopoda, Oniscidae, Symphyla

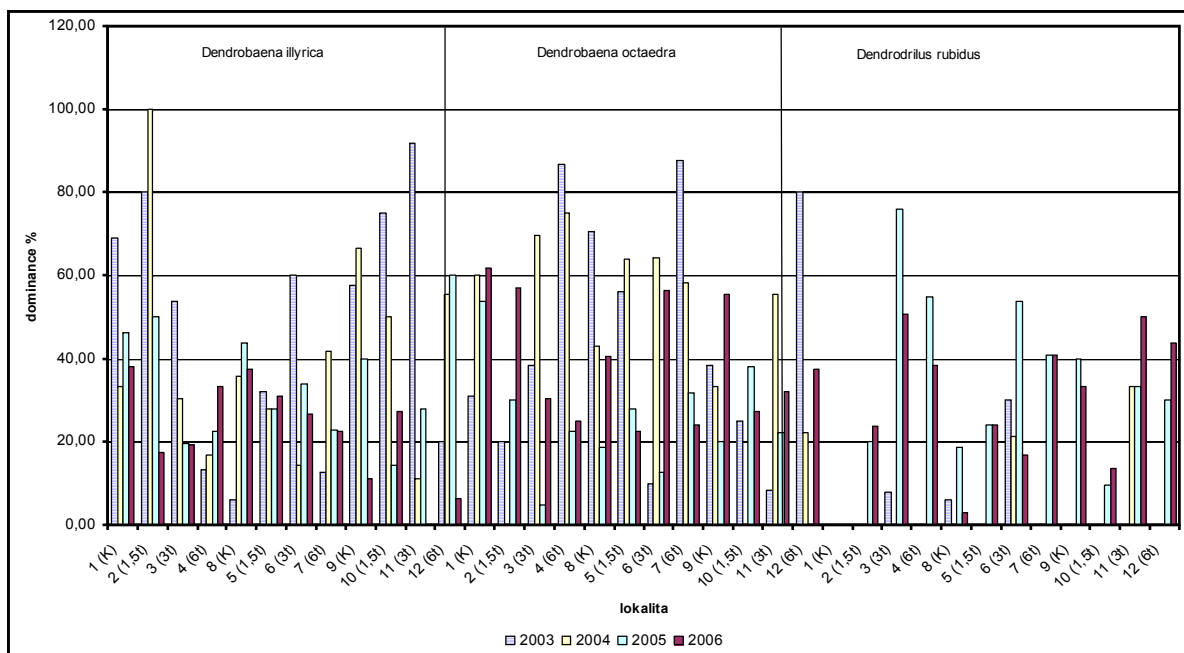
K objektivnímu stanovení výskytu zástupců zoocenózy Chilopoda, Diplopoda, Oniscidae a Symphyla je nezbytné vzhledem k jejich etologii, pohybové aktivitě užit metodu zemních pastí i tullgréňů.

Z vývoje populační dynamiky na plochách kontrolních a pod vlivem vápnění vyplývá negativní vliv vápnění na Diplopoda (pokles populační hustoty v r. 2004 nebyl do r. 2006 obnoven na vápněných plochách), v indiferentním postavení se nachází Chilopoda (výrazný nárůst v kontrole i na vápněných plochách), Oniscidae (obecný nárůst byl vyšší na plochách s vyšší dávkou aplikace), Symphyla (výrazné zvýšení ve vápněných porostech $1,5$ a $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) (obr. 19 - Dynamika abundance u některých druhů adultních žížal ve vápněných porostech (metoda tullgréňů, 2003-2006).



Zoocenóza žížal

Zoocenóza žížal byla ovlivněna pozitivně vápnění, zvláště druhy *D. rubidus*, *D. octaedra*, *D. illyrica*. Rozdíly mezi lokalitami jsou odvozeny od stanovištních podmínek (nadmořská výška) (obr. 20 - Dynamika dominance u některých druhů žížal ve vápněných porostech (metoda tullgrenů, 2003-2006).



Zoocenóza střevlíkovitých

Prokázání vlivu vápnění na faunu střevlíkovitých je obtížné, v důsledku vlivu meziročních rozdílů v abundanci způsobených populační dynamikou přítomných druhů. Testováním změn v druhovém spektru na plochách s různou dávkou aplikovaného vápence nebyl zjištěn významný přímý vliv vápnění na faunu střevlíkovitých. Přesto však může přeneseně dojít k nepřímému působení na střevlíkovité přes jejich potravu, která může být vápněním

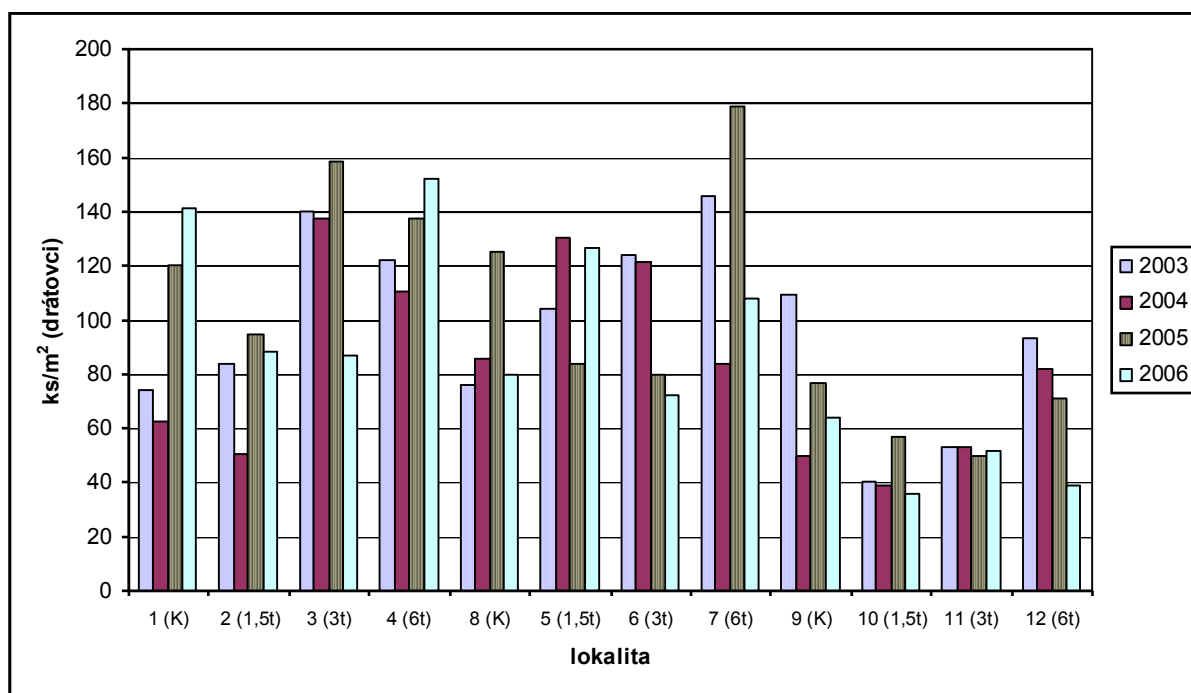
ovlivněna přímo. Příkladem je významné zvýšení početnosti druhu *C. hortensis*, který se mimo jiné živí i žížalami, u nichž bylo zaznamenáno výrazné zvýšení abundance na většině zjištěných lokalit. Nicméně, je nutno poznamenat, že podobné trendy nebyly u ostatních druhů rodu *Carabus*, u kterých jsou žížaly součástí jejich potravy, zaznamenány.

Zdá se, že střevlíkovití nepodléhají přímým vlivům vápnění, neboť nejsou v tak vysoké interakci s půdním prostředím jako jiné skupiny bezobratlých vázaných přímo na půdu (např. žížalovití) a pokud dochází k jejich reakci na uskutečněné vápnění, tak se tak děje v návaznosti na změnu jejich potravní nabídky.

Kovaříkovití (Elateridae)

Kovaříkovití představují skupinu půdní fauny, která odráží dílčí negativní dopad na vyšší populační hustoty drátovců zvláště při vyšších aplikačních dávkách.

Přes vysokou diverzitu humusové vrstvy odebíraných sond nedochází k ovlivnění fauny kovaříkovitých (drátovci) s výjimkou suchého moru, který byl zastoupen pouze třemi sondami (6,8 %) a kde abundance klesla o polovinu (obr. 21 - Abundance kovaříků (drátovci, imaga) ve vápněných porostech v letech 2003 - 2006 (tullgrény).



Zoocenóza pavouků

Pavouci jako nespecifičtí predátoři vykazují ve fotoeklektorech částečně pozitivní reakci na aplikaci vyšších dávek dolomitického vápence, pravděpodobně jako odraz dopadu na rozvoj jejich potencionální potravy. Pavouci, kteří byli však rozhodující měrou loveni do zemních pastí, ukazují, že nejsou podstatným způsobem ovlivněni vápněním.

6. ZÁVĚR PRO LESNICKOU PRAXI

V souladu s poznatky reakce dílčí části zoocenozy by realizace velkoplošného vápnění předpokládanou dávkou $3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ v oblasti východního Krušnohoří neměla ohrozit půdní a epigeickou faunu. Bezprostřední reakce na vápnění v prvním roce po aplikaci vápence nenaplnila obavy o destrukci zoocenozy. Ze získaných poznatků o reakci půdní a epigeické fauny v horizontu 3 let po aplikaci dolomitického vápence vyplývá, že nedochází ani při jedné z aplikovaných dávek ($1,5 - 3 - 6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$) k zásadní změně v kvalitě a kvantitě živočišné složky a zoocenoza zůstává relativně stabilní. V tomto období se projevila v některých případech očekávaná pozitivní reakce spočívající ve výrazném nárůstu početního zastoupení a druhové diverzity u žížal (především druhové spektrum epigeických zástupců obývajících hrabanku a surový humus) a dále pozitivně reagovali zvyšující se abundancí drabčíkovití a Symphyla. Mezi živočišnou složku s mírným poklesem celkové abundance se řadí larvy kovaříkovitých (drátovci) působící v půdě jako škůdci na kořenovém systému. Dle očekávání se projevil mírný a kontinuální pokles v abundanci půdních pancířníků. Nematocera reagovala pozitivně při nízké dávce dolomitického vápence a při aplikaci 3 a $6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ byla abundance pod úrovní kontroly. Diplopoda vykazují výraznější pokles na vápněných plochách. Indiferentní reakce na vápnění charakterizuje střevlíkovité, pavouky, sekáče, nosatce s vývojem larev v půdě, Chilopoda.

7. PODĚKOVÁNÍ

Výsledky jsou výstupem řešení grantového projektu grantové služby LČR 4/2002 a výzkumného záměru MSM 6215648902.