

**Mendelova univerzita v Brně**

**Lesnická a dřevařská fakulta**

Ústav ochrany lesů a myslivosti

**Možnosti užití Chilopoda, Diplopoda a Isopoda: Oniscidea  
k bioindikaci relativně trvalých ekologických podmínek  
smrkových a bukových ekosystémů Moravskoslezských  
Beskyd**

Disertační práce

Brno 2016

Ing. Martin Lazorík

*Prohlašuji, že jsem práci: „Možnosti užití Chilopoda, Diplopoda a Isopoda k bioindikaci relativně trvalých ekologických podmínek smrkových a bukových ekosystémů Moravskoslezských Beskyd“ zpracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách, ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací. Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60, odst. 1, autorského zákona.*

*Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.*

*V Brně, dne:..... podpis studenta*



## **Pod'akovanie**

Chcel by som sa poďakovať profesorovi Emanuelovi Kulovi za výborné vedenie disertačnej práce, neúnavné revidovanie publikovaných príspevkov a promptnú komunikáciu s redakciami, oponentami a šefredaktormi časopisov. Ďalej sa chem srdečne poďakovať za zasvetenie do tajov poznania Miriapoda Dr. Ivanovi Hadrianovi Tufovi z Palackého univerzity v Olomouci ako aj RNDr. Jane Tufovej. Veľka vďaka celému výskumnému tímu, ktorý sa podieľal na výzume Beskyd v teréne, laboratórnych prácach na rozdried'ovaní ochytených vzorkov.

A v neposlednej rade veľká vďaka celej mojej rodine za niekoľko ročnú podporu pri štúdiu, terénnych odberoch a písaní publikácií. Tato práca mi otvorila poznanie širšieho rozmeru vzdelania, o ktorom som ako inžinier ani netušil.

## Abstrakt

LAZORÍK M., 2016. Možnosti užití Chilopoda, Diplopoda a Isopoda: Oniscidea k bioindikaci relativně trvalých ekologických podmínek smrkových a bukových ekosystémů Moravskoslezských Beskyd., Disertační práce, MZLU v Brně, 166 s.

V lesnickém managementu je v dlouhodobém plánování využívána lesnická typologie. Jejím základem je lesní typ, který představuje relativně trvalou biocenózu s fytoecologickou podobností. Základem je poznání synuzie podrostu (rostlinné složky) doplněné o ekologické (stanovištní) charakteristiky. Na změny vývoje ekologických faktorů v ekosystému citlivě reaguje živočišná složka spíše než rostlinná. Proto je dlouhodobou snahou poznání bioindikační živočišné složky, která reaguje rychleji než flora na vyvolané změny v ekosystému.

V síti 38 lokalit zahrnující 12 souborů lesních typů byl zhodnocen výskyt Diplopoda, Chilopoda a Isopoda: Oniscidea (metoda zemních pastí, 16,189 ex., 39 druhů). K vymezení environmentálních charakteristik bylo užito 30 meteostanic, využit byl podrobný pedologický průzkum včetně chemismu půdy a fytoecologický průzkum. Získaná data byla zpracována analýzou MNDS, PCA a CCA. Nejvýznamnějším faktorem byl pokryv bylinnou vegetací, obsah Ca, Mg v půdě. Významný byl i vliv souboru lesních typů, kde pomocí analýzy CCA bylo stanoveno celkové rozložení jednotlivých druhů. Všechny skupiny druhů Diplopoda, Chilopoda a Isopoda: Oniscidea byly vyhodnoceny jako významné v bioindikaci v lesních ekosystémech. Chilopoda a Diplopoda umožnila charakterizovat každý soubor lesních typů konkrétním druhem. Isopoda dobře vyznačila lokality s vysokou hladinou vody a procesem tvorby rašeliny. Vzhledem k náročným požadavkům na indikátory prostředí byl pomocí metody Indicator value stanoven *Lithobius nodulipes* bioindikátorem pro soubor lesních typů 5L (montánní jasanová olšina) a *Lithobius pelidnus* na 5Y (sleketová jedlová bučina). Také významné postavení měl druh *Hyloniscus riparius* a *Ligidium hypnorum* na 6 O/R (svěží rašelinná smrčina).

**Klíčová slova:** Chilopoda, Diplopoda, Isopoda: Oniscidea, soubor lesních typů, půdní vlastnosti, klimatické faktory, Moravskoslezské Beskydy

## Abstract

LAZORÍK M., 2016. Possibility Chilopoda, Diplopoda and terrestrial isopods to bioindication relatively permanent ecological conditions of spruce and beech ecosystems Moravian-Silesian Beskids Mts., Doctoral Thesis, MZLU in Brno, 166 pp.

In forest management, forest typology is often used in long-term planning. Its basic is forest site, which represents a relatively permanent biocoenosis with phytocoenological similarities. The basis of knowledge is synusia undergrowth (plant components), accompanied by ecological (habitat) characteristics. To changes in the development of ecological factors in the ecosystem is sensitive animal ingredients, than plants. Therefore, the long-term effort of knowledge bioindicative animal ingredients, which reacts faster than the flora on induced changes in the ecosystem.

In the network of 38 localities covering 12 forest site complex, occurrence of millipede, centipede and terrestrial isopoda was investigated (a method of pitfall traps, 16,189 ex., 39 species). In order to speciy of environmental characteristics, data from 30 weather stations were used, detailed pedological ressearch including soil chemistry and phytocoenological research were carried out. Obtained data were processed by MNDS, PCA and CCA analyses. The most significant factor were coverage by herbaceous vegetation and contents of Ca, and Mg in soil. Distribution of the individual species in relation to different forest site complexes was determined by CCA analysis. All three studied groups of species, i.e. millipedes, centipedes and terrestrial isopods, were evaluated as significant for bioindication within the forest ecosystems. Centipedes and millipedes enabled us to associate each FSC with a specific species. Terrestrial isopods indicated well the localities with high groundwater level and the process of peat formation. Due to the strict requirements indicator pros'tredí was using the methods set value Indicator type *Lithobius nodulipes* on a forest site complex 5L (Montane Ash–Alder) and *Lithobius pelidnus* to 5Y (Skeletal Fir-Beech) bioinikator. Also important position had the second *Hyloniscu riparius* and *Ligidium hypnorum* 6 O/R (Nutrient-medium Peat Spruce).

**Keywords:** Chilopoda, Diplopoda, terrestrial Isopods, forest site complex, soil properties, climatic factors, Moravian-Silesian Beskids Mts.

## Obsah

<b>1. Úvod</b> .....	1
<b>2. Cíle práce</b> .....	2
<b>3. Literární přehled</b> .....	3
3.1. Využití zoocenózy bezobratlých k bioindikaci.....	3
3.1.    Stonožky ( <i>Chilopoda</i> ), mnohonožky ( <i>Diplopoda</i> ) a stejnonožci ( <i>Isopoda</i> ).....	5
3.2.    Ekologická charakteristika skupiny mnohonožky ( <i>Diplopoda</i> ) .....	5
3.3.    Ekologická charakteristika skupiny stonožky ( <i>Chilopoda</i> ) .....	7
3.4.    Efekt mocnosti horizontu opadu na stonožky .....	10
3.5.    Výšková migrace druhů v rámci vrstvy opadu .....	10
3.6.    Efekt mikro a makroklimatických parametrů prostředí na výskyt epigeického hmyzu.....	11
3.7.    Efekt chemických a fyzikálních vlastností půdy na výskyt půdní fauny .....	12
3.8.    Vliv managementu lesa na výskyt půdní fauny .....	14
3.9.    Ekologická charakteristika Stejnonožců ( <i>Isopoda</i> ).....	15
<b>4. Metodika a materiál</b> .....	16
4.1.    Širší územní vztahy.....	16
4.2.    Přírodní charakteristiky výzkumných ploch .....	17
4.3.    Metodika výběru výzkumných lokalit a jejich stabilizace v terénu .....	37
4.4.    Metodika sběru epigeické a půdní fauny .....	38
4.5.    Metodika pedologického průzkumu .....	39
4.6.    Metodika měření klimatických faktorů.....	40
4.7.    Fytcenologický průzkum .....	41
4.8.    Statistické zpracování .....	41
<b>5. Získané výsledky a diskuze</b> .....	44
5.1.    Faunistický přehled odchycených druhů.....	44
5.2.    Zjištění vlivu smrkových a bukových porostů.....	44
5.3.    Chilopoda v korunové a kmenové fauně.....	45
5.4.    Půdní typ, forma nadložního humusu, nadmořská výška a jejich vliv na populaci.....	45
5.5.    Vliv skeletu, zrnitosti, půdní vlhkosti, půdní reakce a chemických vlastností půdy na velikost a rozmanitost populace.....	46
5.6.    Vlhkost půdy.....	47
5.7.    Reakce půdy.....	47
5.8.    Chemické vlastnosti půdy.....	48
5.9.    Vliv klimatických faktorů.....	48
5.10.    Zjištění bioindikační schopnosti stonožek, mnohonožek a stejnonožců v lesním prostředí.....	49
<b>6. Publikace I.</b> .....	52
<b>7. Publikace II.</b> .....	61
<b>8. Publikace III.</b> .....	70
<b>9. Publikace IV.</b> .....	79
<b>10. Publikace V.</b> .....	90
<b>11. Publikace VI.</b> .....	109
<b>12. Publikace VII. – nepublikovaný rukopis</b> .....	119
<b>13. Závěr</b> .....	146
<b>14. Summary</b> .....	149
<b>15. Použité zkratky</b> .....	152
<b>16. Literární přehled</b> .....	155

## 1. Úvod

Český lesnický typologický klasifikační systém vytvořený za účelem diferenciaci lesnického hospodaření na ekosystémovém základě klasifikuje (relativně) trvalé ekologické podmínky. Nejnižší jednotkou klasifikačního systému je lesní typ, který se teoreticky shoduje s definicí Zlatníka (1956): „Je to soubor lesních biocenóz, původních i změněných, a jejich vývojových stadií, včetně prostředí, tedy geobiocenóz k sobě patřících.“ Jako základní klasifikační jednotkou jsou dnes vnímány soubory lesních typů „SLT“ (Plíva 1971, 1991). Soubory lesních typů jsou kombinací (lesního) vegetačního stupně (L)VS a edafické kategorie (EK). Pod pojmem stupňovitost vegetace (kolektiv 1995) se rozumí jev změny druhové skladby přírodních fytoocenóz včetně jejich edifikátorů se změnou makroklimatu ve vertikálním směru v určitém geografickém celku. Přestože geobiocenóza (Zlatník 1954) vyjadřuje jednotu biocenózy s jejím prostředím, jsou jednotlivé klasifikační jednotky tradičně systematicky charakterizovány, na úrovni biocenózy, výhradně flórou a vegetací, i přestože jsou vazby mezi geobiocenologickými klasifikačními jednotkami (resp. aktuálními geobiocenózami) a dílčími zoocenózami sledovány již řadu desetiletí (např. Stolina 2000, Králíček a Povolný 1978, Šustek a Povolný 1980, Holuša 2003). Živočišná složka vzhledem ke své pohyblivosti reaguje poměrně rychle na změny ve stanovištních podmínkách a ekologických faktorech (Vašátko 2000, Wolters et al. 2000, Blackburn et al. 2002, Wardle et al. 2004). I když fauna bezobratlých je mnohem rozmanitější než rostlinná, její využití je závislé na jejím získání objektivními a srovnatelnými metodami v dlouhodobějším časovém horizontu s navazujícím zpracováním a interpretací. V důsledku širokého spektra druhů se jeví jako limitující determinace do druhové úrovně, případně na vyšší taxonomické jednotky (Vašátko 2000). Zastoupení živočichů v geobiocenózách je limitováno nejen klimatickými podmínkami, ale i rostlinným společenstvem nebo jen konkrétním rostlinným edifikátorem. I přestože živočišné nemusí být přímo troficky závislé na edifikátorech, obývají biotopy, které edifikátor vytváří a kde může živočišná složka nalézt potravu, např. souvrství organických horizontů. Vymizení nebo ústup edifikátora vyvolává změny v populační hustotě živočicha. Mezi významné faktory charakterizující stanovištní podmínky a prostředí pro vývoj a aktivitu půdní a epigeické fauny se řadí především půdní vlhkost. Vzhledem k existující omezené síti klimatických stanic většinou nezbyvá než pro výzkum stanovištních poměrů použít hrubá interpolovaná data (Havlíček et al. 1986). Tyto údaje

jsou však pro detailní studium ekologických zákonitostí na konkrétních stanovištích zcela nepoužitelné. Pro zhodnocení rozdílů mezi jednotlivými typy stanovišť je třeba rozhodně postihnout alespoň některé mikroklimatické charakteristiky, z nichž k nejvýznamnějším patří dynamika teploty půdy a vzduchu a také dynamika změn vlhkosti půdy. Na základě těchto poznatků byly v Moravskoslezských Beskydech vybrány plochy s rozdílným geobiocénem (souborem lesních typů), na kterých probíhá odchyt bezobratlé epigeické fauny pomocí metod vhodných k odběru té které skupiny. Aby bylo možné rozdělit jednotlivé zástupce do bioindikačních skupin, je zapotřebí prozkoumat jednotlivé plochy z pohledu vlivu prostředí na zoofaunu.

## 2. Cíle práce

Cíle disertační práce byly rozděleny do několika bodů a formou jednotlivých publikací předkládány výstupy jejich řešení:

*Stanovení druhového složení populace.* Základním cílem bylo specifikovat faunistický přehled vyskytujících se druhů metodou zemních pastí, individuálního odchytu a pomocí tullgrénů a konfrontovat jej s dosavadními poznatky ze studovaného území Moravskoslezských Beskyd.

*Zjistit vliv smrkových a bukových porostů na velikost a strukturu populace Chilopoda, Diplopoda a Isopoda.* Cílem bylo vymežit vliv dřeviny dominantně zastoupené v lesním porostu na velikost a dynamiku populace. Základem řešení byla konfrontace cenóz zachycených v relativně shodných stanovištních a podmínkách, ale s rozdílnou dřevinou tvořící lesní porost.

*Vymezení fauny Chilopoda na kmenech a větvích některých dřevin v minulosti imisnemi narušeném území Krušných hor a Děčínské vrchoviny.* Metodou sklepávání byli nalezeni někteří zástupci v porostech náhradních dřevin v imisní oblasti. Z pohledu půdní fauny se jedná rozšíření poznatků arborikolní povahy u některých druhů.

*Zjištění vlivu půdního typu, formy nadložního humusu a nadmořské výšky na populaci.* Na jednotlivých výzkumných plochách byl podrobným pedologickým výzkumem stanoven půdní typ a forma nadložního humusu. Pomocí těchto rozdílů byla analyzována velikost populace a druhové složení zoocenózy odpovídající jednotlivým půdním typům a formě humusu.

*Zjištění vlivu skeletu, zrnitosti, půdní reakce, vlhkosti a chemických vlastností půdy na velikost a rozmanitost populace.* Při podrobném pedologickém průzkumu byly laboratorně stanoveny fyzikální a chemické vlastnosti půd. Cílem bylo popsat vztahy jednotlivých druhů v návaznosti na půdní vlastnosti.

*Zjištění vlivu klimatických faktorů na velikost populace.* Součástí výzkumu bylo dlouhodobé sledování mikroklimatických podmínek na výzkumných plochách. Cílem bylo vyhodnotit možný vliv teploty a vlhkosti na velikost populace a její dynamiku v reálných podmínkách lesního porostu.

*Vymezit možnost užití Chilopoda, Diplopoda a Isopoda: Oniscidea jako bioindikátorů souborů lesních typů v lesních ekosystémech.* Nosným cílem bylo prokázat, jestli zooedafická složka ekosystému může být nástrojem k identifikaci relativně trvalých ekologických podmínek.

### **3. Literární přehled**

#### **3.1. Využití zoocenózy bezobratlých k bioindikaci**

Geobiocenologické vazby jsou složitým komplexem, který lze poznat, jestliže bude fauna sledována dlouhodobě v celé šíři druhového spektra v jasně definovaných podmínkách a v návaznosti umožňující ověřit zobecnění pro další území. Komplexnost a její efektivita je dána nejen kvalitně zvoleným územím ke sledování, ale i vhodností metod sběru a zajištění spolupráce širokého týmu entomologů a zoologů pro determinaci. Modelové skupiny bezobratlých zástupců musí splňovat pět základních kritérií: malý počet druhů, dobrá znalost ekologických nároků jednotlivých zástupců, snadná dostupnost sběru materiálu, dostatečná početnost v geobiocenóze nejlépe se sníženou pohyblivostí, determinovatelnost. Z pohledu pohyblivosti považuje Šustek (1976) střevlíkovité jako méně vhodné, zatímco Vašátko (2000) je řadí mezi vhodné bioindikační skupiny. Pisivky, které jsou vysoce vázány na hlavní edifikátory, lze užít k bioindikaci lesních geobiocenóz, jestliže je zachyceno alespoň 500 exemplářů v lokalitě (Holuša 2003).

Výhodou živočišné složky je její citlivost a bezprostřední reakce na změny ekologických faktorů, především abiotických. Pro studium živočichů v lesních geobiocenózách na většině území ČR je Český lesnický typologický klasifikační systém vhodný, neboť pro syntézu poskytuje podpůrné podklady fytoocenologické, pedologické

a částečně bioklimatické (Šustek 1993). Zastoupení živočichů v geobiocenózách je limitováno nejen klimatickými podmínkami, ale i rostlinným společenstvem nebo jen konkrétním rostlinným edifikátorem. I přestože živočichové nemusí být přímo troficky závislí na edifikátorech, obývají biotopy, které edifikátor vytváří a kde může živočišná složka nalézt potravu, např. souvrství organických horizontů (Jabin 2008). Vymizení nebo ústup edifikátoru vyvolává změny v populační hustotě živočicha. Mezi významné faktory charakterizující stanovištní podmínky a prostředí pro vývoj a aktivitu půdní a epigeické fauny se řadí především půdní vlhkost. Vzhledem k existující omezené síti klimatických stanic většinou nezbyvá než pro výzkum stanovištních poměrů použít hrubá interpolovaná data (Havlíček et al. 1986). Tyto údaje jsou však pro detailní studium ekologických zákonitostí na konkrétních stanovištích zcela nepoužitelné. Pro zhodnocení rozdílů mezi jednotlivými typy stanovišť je třeba rozhodně postihnout alespoň některé mikroklimatické charakteristiky, z nichž k nejvýznamnějším patří dynamika teploty půdy a vzduchu a také dynamika změn vlhkosti půdy.

První, kdo použil SLT pro studium lesnicky významných „škůdců“ v lesních geobiocenózách, byl Stolina (1959). V oblasti Slovenska v celé škále VS vymezil a rajonizoval gradační oblasti některých druhů v závislosti na SLT (např. obaleče jedlového *Choristoneura muriana* (Hübner, 1799), obaleče modřínového *Zeiraphera diniana* Guénée, 1845. Uvádí, že na základě znalostí klimatických charakteristik SLT lze pak určit i klimatické optimum pro hmyzí škůdce. U některých významných druhů zjistil frekvenci výskytů v různých SLT. V pozdějších pracích Stolina (1975) konstatuje, že velmi významnou roli v biocenotických procesech má fytofágní hmyz, který ovlivňuje abundanci edifikátoru lesní geobiocenózy (dřevinné složky). Geobiocenologické jednotky SLT a VS pak považuje za rámce, které je možné využít při autekologických studiích druhů a na základě těchto studií vymezit tofické možnosti (tj. výskyt, lokality výskytu, existenční možnosti). Uvádí, že fytofágové mají výrazný vliv na strukturu dřevinného patra zejména v 2. a 3. VS, v 5. VS ovlivňují strukturu dřevinné složky mikrofágové (zejména na jedli bělokoré (*Abies alba*)) a v 8. VS mají velký vliv makrofágové. V nejnovější práci, která je syntézou předcházejících studií, Stolina (2000) informuje o využití typologických jednotek geobiocenologické koncepce pro stanovení indikátoru ekologické stability lesa a pro vymezení podmínek aktivizace „agresivity“ škodlivých faktorů (jak abiotických, tak biotických). Dále uvádí, že hmyzí druhy jsou těsně vázány na ekologické podmínky geobiocénů lesa – u některých



dendrofágních druhů se projevují již na úrovni LT a že pomocí geobiocenologických jednotek lze vymezit podmínky s pravděpodobnou gradací klimaticky stenoekních druhů a pomocí LT je možné rozlišit podmínky pravděpodobné gradace stenotopních dendrofágních druhů hmyzu včetně specifika jejich gradací (Holuša 2003).

### **3.1. Stonožky (*Chilopoda*), mnohonožky (*Diplopoda*) a stejnoonožci (*Isopoda*)**

Stonožky, mnohonožky a suchozemští stejnoonožci tvoří významnou půdní živočišnou složku vhodnou pro hodnocení kvality biotopu (Bilton 1996, Paoletti a Hassall 1999, Souty-Grosset et al. 2005, Tuf a Tufová 2008). Diplopoda jsou býložravé, výrazně závislé na kvalitě substrátu. Vyskytují se převážně na vlhkých stanovištích s listnatým porostem nebo s porostem smíšeným, v jehličnatých lesích jsou úzce vázané na větší mocnost opadu (Folkmanová a Lang 1960). Chilopoda jsou řazena k edafické fauně, protože obývají svrchní vrstvy půdy. Osidlují hrabanku, půdu nebo jsou nalézány pod kameny, kůrou či dřevem v lese. Stonožky se živí téměř výhradně dravě malými členovci a jinými bezobratlými, pouze ve výjimečných případech je možná saprofaqie (Folkmanová 1928). Některé druhy žijí na místech velmi vlhkých, při březích vod, ve vlhké zemi, snesou i krátký pobyt ve vodě. Nesnášejí přímé sluneční záření, proto se vyskytují převážně pod kameny, spadaným listím a dřevem, v mechových porostech nebo přímo v zemi (Frankenberger 1959). Obecně rozšíření zástupci (187 druhů), snadno lovitelní do zemních pastí, byli klasifikováni do kategorie reliktní (výskyt na nenarušených lokalitách specifického charakteru), adaptabilní (kolonizují částečně narušené prostředí), eurytopní (osidlují různé prostředí včetně antropogenně narušených (Tuf a Tufová 2008). Stonožky zahrnují 65 druhů, z nichž je 40 % reliktních, 45 % adaptabilních a 15 % eurytopních, mnohonožky mají 80 druhů (29 – 49 – 22 %) a suchozemští stejnoonožci 42 druhů (31 – 48 – 21 %) (Tajovský 2001a, 2001b, Flasarová 2000, Tuf a Laška 2005, Tuf a Tufová 2008).

### **3.2. Ekologická charakteristika skupiny mnohonožky (*Diplopoda*)**

Diplopoda představuje jednu z největších tříd v živočišné říši a je třetí největší z terestrických Arthropoda, po Insecta a Arachnida. V současné době je popsáno cca 10 000 druhů, o kterých lze předpokládat, že reprezentují jen 10 – 15 % existující druhové bohatosti (Hoffman 1985, Golovatch et al. 1995, Adis a Harvey 2000). V České republice je doposud popsáno 80 druhů mnohonožek, z kterých je klasifikováno cca 50 % jako reliktní (Tuf a Tufová 2008).

Z morfologického hlediska mají diplopody segmenty těla spojeny do diplosegments, tykadla jsou složená s osmi článků (Enghoff 1984, Edgecombe a Giribet 2002). Nicméně mnohonožky jsou velmi rozmanité, zahrnují kolem 15 – 17 čeledí a 115 rodů. Systematické zpracování diplopod bylo nestabilní, což odráží základní znalosti o evoluční historii těchto živočichů.

Třída mnohonožek byla rozdělena tradičně do dvou podtříd. Podtřída Penicillata (nebo Pselaphognatha) je malá skupina drobných mnohonožek, známých jako „zježená“ mnohonožka. Tyto se nacházejí obvykle pod kůrou, nemají vápenatou pokožku a jsou pokryty četnými zoubkovanými štětinami. Podtřída Chilognatha obsahuje drtivou většinou mnohonožek. Ty mají kalcifikované pokožky, jsou obecně dlouhé a tenké s četnými nohami a osidlují svrchní půdní vrstvu až k jejímu povrchu (Barker 2004).

Mnohonožky se vyskytují ve většině suchozemských ekosystémů pouze v extrémních podmínkách subarktických, subantarktických a v pouštním prostředí nejsou téměř vůbec nebo zcela chybí. Navíc jsou často hojné hustoty, 50 jedinců na m<sup>2</sup> (např. Meyer 1985, Bhakat 1989, Dangerfield a Milner 1996, Dangerfield a Telford 1996), a existují případy 200 až 800 jedinců na m<sup>2</sup>. Společenství mnohonožek se obecně vyznačují prostorovou heterogenitou v důsledku malého rozsahu vegetace, vlhkosti a výživové dynamiky (Blower 1969). Shluky mohou být také spojeny s výskytem vysoce kvalitní potravy (Dangerfield a Telford 1993). Na rozdíl od mnoha dalších větších skupin zvířat, které mají širokou ekologickou valenci a jsou morfologicky dobře diverzifikované, mnohonožky obývají poměrně úzké adaptivní zóny a jsou poměrně morfologicky jednotné. Kime a Golovatch (2000) uznávají pět hlavních forem života mnohonožek, a to *Stratobionti* (omezené na hrabanku a vrchní půdní vrstvy), *Troglobionti* (jeskynní druhy), *Geobionti* (hlubší vrstvy půdy), *Subkortikální xylobionti* (pod kůrou) a *Epiphytobionti* (stromové, v prašném humusu). U mnohonožek často trvá několik let, než dosáhnou pohlavní dospělosti a dlouhověkosti, u některých druhů může přesáhnout deset let. Jejich životnost souvisí s kvalitní potravní nabídkou (Blower 1985). Mnohonožky jsou obecně považovány za detritovory, jsou důležité v rozkladném procesu mrtvého rostlinného materiálu (listy, dřevo) a souvisejících detritovorných hub (Shear a Kukulova-Peck 1990). Přestože požadavky na energii a živiny jsou částečně selektivní (Kheirallah 1979, Dangerfield a Telford 1993), relativně nízká kvalita potravy vyžaduje zvýšený příjem. U většiny mnohonožek vyžaduje příjem potravy kousání mrtvého rostlinného materiálu na malé kousky pomocí kusadel, která jsou v jícnu natravována, a vylučovaným sekretem slinných žláz. Zajímavé je, že

mnohonožky nejsou dobře vybaveny specializovanými trávicími enzymy a zřejmě využívají mikrobiální degradaci listového materiálu před i po jeho požití. Detritivory je možné nacházet i na výkalech býložravců, mršínách, včetně mrtvých žížal *Clitellata: Haplotaxida*, na měkkýších *Mollusca* a hmyzu *Hexopoda: Insecta* (Dall 1892, Cole 1946, Cloudesley-Thompson 1958, Hoffman 1969, Dangerfield a Telford 1996, Barker 2004). Některé mnohonožky jsou býložravé a mohou mít hospodářský význam jako škůdci pěstované plodiny (Biernaux 1966, Baker 1974).

### **3.3. Ekologická charakteristika skupiny stonožky (*Chilopoda*)**

Stonožky mají přibližně 21 čeledí, které zahrnují 7000 druhů, z nichž asi 3200 bylo determinováno. Nejstarší fosilní stonožky, řádu *Scutigermorpha*, byly nalezeny ve svrchní vrstvě siluru a devonu (Almond 1985, Jeram et al. 1990). Z období karbonu pochází jedinci stonožek dorůstajících do délky 1,5 m (Mundel 1979). Stonožky jsou známé ze všech kontinentů kromě Antarktidy. Největší druhové rozmanitosti dosahují v tropech a v teplých mírných oblastech. Obývají hrabanku, půdu nebo jsou nalézány pod kameny, kůrou či v trouchnivějícím dřevě v lese, také na pastvinách, na poušti, v jeskyních a v přímořských zónách. Ale existuje poměrně málo studií o ekologii společenstev, biologické rozmanitosti druhů (Auerbach 1949, 1951, Lewis 1965, 1981, Albert 1979, Summers a Uetz 1979, Blackburn et al. 2002). Jejich druhová bohatost a početnost může být pozoruhodně vysoká vzhledem k jejich trofickému postavení (masožravci).

Stonožky nemají sklerotizovanou pokožku, proto jsou nuceni žít ve vlhkém prostředí a obecně omezují svou aktivitu na chladnější a vlhčí noc (Curry 1974). Nejvíce se stonožky vyskytují v zalesněných krajinách, kde žijí v listové hrabance. *Scolopendromorpha* a *Geophilomorpha* se do určité míry zavrtávají do půdy nebo využijí nory jiných zvířat. Některé stonožky jsou stromové a nacházejí se v mezerách stromů nebo v trhlinách na kmenech stromů. Některé druhy žijí v pouštních podmínkách, mohou přežít vysoké teploty a nízkou vlhkost skrytí pod kameny nebo v kamenných štěrbinách a aktivitu vykazují výhradně v noci, kdy teplota klesne. Blower (1955) upozornil na propustnost svrchní vrstvy endodermis, která omezuje kolonizaci mokřých stanovišť v důsledku nedostatečné kontroly příjmu vody pokožkou. Během deštivého období se mnoho stonožek rodu *Lithobiomorpha* často nachází pod kůrou padlých stromů nebo v jiných, dobře odvodněných místech, kde nebudou vystaveny

nadměrné vlhkosti (Barker 2004). Vývoj od vajíčka až po dospělé je poměrně pomalý, 3 – 4 roky. Dožívají se přibližně 5 – 6 let.

Pokud je známo, většina stonožek je výhradně masožravých. Některé zřejmě doplní svou stravu o detritus (Lewis 1965, Gunn a Cherrett 1993). Blackburn et al. (2002) konstatují, že v důsledku univerzálnosti dravého způsobu existence, dostupnosti jednotlivých druhů kořisti se jeví, že má relativně malý vliv na distribuci nebo hojnost stonožek. Většinou se jedná o vysoce polyfágní zástupce, které omezuje pouze velikost potencionální kořisti, případně utváření pokožky nebo obranné sekrety kořisti (Lewis 1981). Podíl dravých makro-bezobratlých zástupců třídy *Chilopoda* se velmi mění mezi ekosystémy, ale mohou často přesáhnout 20 % (Albert 1979).

Stonožky jsou schopny ulovit relativně velkou a aktivní kořist prostřednictvím svých výkonných *toxicognathus*, s nimiž mohou nejen uchopit, ale také ochromit či dokonce zabít kořist, prostřednictvím jedu. Často nohy na přední část těla (*maxillipedes*) slouží k uchopení kořisti během jejího žíru (Elzinga 1994).

S výjimkou *Scutigromorpha*, které mají složené oči, možnost vidění chybí nebo je špatně vyvinuta. Zástupci *Geophilomorpha* a mnoho *Scolopendromorpha* jsou zcela slepí a světlo vnímají jen přes integument. Stonožky obecně vnímají kořist pouze při kontaktu s tykadly. Jedinec pak udělá prudký výpad vpřed a uchopí kořist pomocí *maxillipedes*. Málo je známo o chemickém složení jedu, kterým je kyselina s hemolytickou reakcí podobnou u některých pavouků (Arachnida: Chelicerata: Araneae) a štírů (Arachnida: Chelicerata: Scorpiones). Obratlovci a členovci jsou velmi citliví na jed, zatímco ryby (Chordata: Teleostei), žížaly (Clitellata: Haplotaxida) a měkkýši jsou více či méně imunní vůči jeho účinkům (Lawrence 1984). Některá *Geophilomorpha*, vzhledem k jejich výskytu v půdním prostředí, se mohou specializovat na žížaly v lokalitách, kde se hojně vyskytují (Johnson 1952).

Doposud je známo v České republice 72 druhů stonožek. Check-list stonožky z České republiky sestavil Tajovský (2001a) a byl aktualizován (Tuf a Laška 2005, Tuf et al. 2008), poslední aktualizace (Tuf a Tajovský 2016).

### **Scutigromorpha**

Do tohoto řádu patří 100 platných druhů (200 pojmenovaných, Edgecombe a Giribet 2007). V ČR je tento řád zastoupen pouze jedním druhem (Tuf a Tufová 2008). Hlavní znaky tohoto řádu jsou tyto: zástupci mají složené oči, tykadla a vlečné nohy mnohem

delší než tělo. Obsahuje 3 čeledi: Pselliodidae, Scutigerae, Scutigerae. Rozšíření: cirkumtropické, zasahují i do subtropického a mírného pásu.

### **Lithobiomorpha**

Zahrnuje 1100 platných druhů (více než 1800 pojmenovaných, Edgecombe a Giribet 2007). V ČR je tento řád zastoupen 37 druhy (Tuf a Tufová 2008). Hlavní znaky: zástupci bez očí nebo pouze jednoduché oči, tykadla i vlečné nohy kratší než tělo, hřbetní štítky nejsou stejné, 2., 4., 6., 9., 11. a 13. kratší než ostatní a mají 15 párů nohou. Obsahuje 2 čeledi (Hofman 1999). Lithobiidae (974 druhů, v ČR 36) – znaky: pleury článku kusadlových nožek za kusadlovými nožkami odděleny, nohy s trny; Henicopidae (122 druhů, v ČR 1) – znaky: pleury kusadlových nožek spojeny za kusadlovými 7 nožkami, nohy bez trnů, na bocích hlavy 1 velké očko. Rozšíření: Lithobiidae převážně na severní polokouli, Evropa, Asie, Severní a Střední Amerika a severní část Jižní Ameriky; Henicopidae převážně na jižní polokouli, Austrálie, Nový Zéland, Tasmánie, jižní Afrika, Chile, některé druhy i Severní Amerika, Evropa, Japonsko (Neckařová 2009).

### **Scolopendromorpha**

Do tohoto řádu patří největší druhy stonožek, zahrnuje více než 800 platných druhů (Edgecombe a Giribet 2007). V ČR je tento řád zastoupen 3 druhy (Tuf a Tufová 2008). Obsahuje 3 čeledi: Scolopendridae (21, 23, 39 či 43 párů noh), Cryptopidae (21 párů noh) a Scolopocryptopidae (23 párů noh). (Hofman 1999, Chagas-Jr. a kol. 2008). Hlavní znaky: bez očí nebo jednoduchá očka; tykadla i vlečné nohy kratší než tělo, u našich stonožek vždy 21 párů noh (Folkmanová 1959). Rozšíření: tropické oblasti, mnoho druhů je kosmopolitních jako výsledek nahodilého a přirozeného rozptýlení.

### **Geophilomorpha**

Nejrůznorodější skupina mezi stonožkami se 14 čeleděmi (Hofman 1999). Zahrnuje 1300 platných druhů (více než 1700 pojmenovaných, Edgecombe a Giribet 2007). V ČR je tento řád zastoupen 25 druhy (Tuf a Tufová 2008). Hlavní znaky: vždy bez očí, tykadla 14 článků, tykadla i vlečné nohy kratší než tělo, 27 – 191 párů nohou, u našich druhů 31–173 párů nohou (Folkmanová 1959). Rozšíření od tropických oblastí až po polární kruh.

### 3.4. Efekt mocnosti horizontu opadu na stonožky

Šest z 16 zjištěných druhů *Lithobius lapidicola* Meinert, 1872; *Lithobius macilentus* L. Koch, 1862; *Lithobius tenebrosus* Meinert, 1872; *Lithobius tricuspis* Meinert, 1872; *Geophylus flavus* (DeGeer, 1778) se vyskytlo pouze v lokalitách s nahromaděným opadem do mocnější vrstvy a akumulací rozpadlého dřeva a tři z těchto druhů *Lithobius lapidicola*, *Lithobius tenebrosus* se vyskytly pouze na stanovišti s rozpadlým dřevem (Jabin 2008). Autor dále uvádí zvýšený výskyt druhů na výzkumných plochách s uměle navrstveným opadem v blízkosti rozpadajícího se dřeva, následuje plocha s uměle navrstveným opadem a kontrolní plocha s přirozenou vrstvou opadu vykazuje nejméně druhů. Pomocí testování druhové bohatosti byl zjištěn významný rozdíl u kontrolní série a uměle upravených podmínek, ale mezi variantami uměle upravenými nebyl nalezen významný rozdíl. Celkově bylo 51 % jedinců nalezených v šetření s opadem a rozpadlým dřívím, 36 % v šetření s opadem a 13 % v šetření s přirozeným opadem (Jabin 2008). Průměrná hustota jedinců v lese byla 790 ind./m<sup>2</sup> v Arzbachu a 936 ind./m<sup>2</sup> v Elbertu. V sérii s přirozenou vrstvou opadu byla průměrná hustota 142 ind./m<sup>2</sup> v Arzbachu a 81 ind./m<sup>2</sup> v Elbertu (Jabin 2008).

### 3.5. Výšková migrace druhů v rámci vrstvy opadu

Výskyt řádu Lithobiomorpha (včetně *Lithobius mutabilis* L. Koch, 1862 a *Lithobius curtipes* C. L. Koch, 1847) byl prokázán ve většině případů ve svrchní části hrabanky, spíše než ve spodní. Dále výskyt zástupců řádu Geophilomorpha byl prokázán v nižší vrstvě opadu. Endogeický druh, *Brachygeophilus truncorum* (Bergsoë & Meinert, 1886), byl zastoupen poměrně velkým počtem jedinců ve spodní vrstvě opadu. Lesní porost neměl žádný významný vliv na hustotu výskytu stonožek ( $p > 0,001$ ). Na hustotu výskytu juvenilních a post-juvenilních jedinců řádu Lithobiomorpha měla silný vliv sezónní periodicitu ( $p < 0,001$ ). U zástupců Lithobiomorpha byla zjištěna silná závislost na vrstvě opadu, kdy početnost rostla s výškou opadu a výskytem rozpadlých stromů (Jabin 2008). Výsledky Fründa (1987) dokládají, že odolnost jednotlivých druhů proti vysychání odpovídá jejich vertikální distribuci v opadové vrstvě. Druhy s vyšší odolností (*Lithobius mutabilis*) byly častější v horní části vrstvy hrabanky, zatímco druhy s nižší odolností *Lithobius crassipes* L. Koch, 1862, *Strigamia acuminata* (Leach, 1814) byly omezeny na spodní vrstvy hrabanky (Fründ 1987). Stonožky jsou schopné rozptýlit se a vybrat si příznivé lesy když se vyskytnou navhodné životní podmínky.

V Anglii v lese lokality Wytham Woods, byla pozorovaná migrace stonožek do rozpadlého dřeva v průběhu teplých zimních dnů, ale zůstaly ve hrabance během chladnějších zimních dnů (Lloyd 1963).

### **3.6. Efekt mikro a makroklimatických parametrů prostředí na výskyt epigeického hmyzu**

Významný vliv na výskyt Isopoda v lesním společenstvu má průměrná denní teplota. Čtyři taxony vykazovaly vliv sezónních změn: Pseudoscorpionida, ve kterých dominoval druh *Neobisium carinoides* (Hermann, 1804), Araneida, Lithobiomorpha (post)-juvenile a Coleoptera (larvae) byly nejvíce zastoupeny během zimních měsíců a vykazovaly nižší aktivitu v létě. Střevlíkovití z mírného pásma dávají přednost teplotám mezi 8 a 25 °C a vlhkosti vzduchu mezi 45 a 85 % (Thiele 1977). Některé z těchto druhů vykazují nízkou tepelnou prahovou hodnotu pro rozvoj svého larválního stadia v nízkém rozsahu teplot od - 6 °C až do +3 °C (Topp 1994).

Empirické vztahy mezi mikroklimatem a půdními bezobratlými podle retransformovaných údajů nebyly vždy lineární. Jedině pro výskyt larev Coleoptera a suchou hmotnost opadu pro všechna roční období se lineární regrese ukázala jako nejvhodnější. Vliv denní teploty na zastoupení dospělých brouků byl nejlépe popsán pomocí exponenciální regresní přímky ( $p = 0,002$ ). Hojnost dospělců Coleoptera dramaticky klesla, když průměrná denní teplota byla nižší než 2 °C. Nicméně, vztah mezi suchou hmotností opadu a množstvím Araneida byl nejlépe aproximován křivkou polynomem 2. řádu ( $p < 0,001$ ). Denní rozsah teplot byl nejlepším indikátorem pro dospělé Coleoptera a Ptiliidea přes letní a zimní období a pro Isopoda a Staphylinidae přes letní období. Stonožky z mírného pásma se vyskytují v širokém spektru teplot (Albert 1983). Například *Lithobius forficatus* Linnaeus, 1758 nevykazoval žádné preference teploty v širokém teplotním rozmezí mezi 0 a 32 °C (Pfleiderer – Gruber 1986) a mohl by dokonce přežít teploty -3 °C po dobu jednoho týdne bez poškození (Lavy a Verhoef 1996). Obsah vlhkosti v půdě rozhodoval o výskytu Diplopoda přes zimní období a o početnosti Lithobiomorpha na podzim a v zimě. V experimentálním výzkumu se podařilo prokázat, že *L. mutabilis* a jiné Lithobiomorpha preferují až 100 % vlhkost (Fründ 1987). Hadley (1994) ukázal, že *Lithobius* spp. je docela citlivý na vysychání. Výše vlhkosti také působila na hojnost výskytu u Araneida v jarním a zástupce Staphylinidae v zimním období (Jabin 2008). Struktura a distribuce členovců značně závisí na expozici svahu (Tolbert 1975). Například hojnost hmyzu a pavouků na

pastvinách Tennessee a Severní Karolíně byly nejvyšší na jižních svazích a nejnižší na severo-západních svazích (Tolbert 1975). Stejně tak počet stonožek v pralese (střední Slovensko) byl nejvyšší na jižních svazích (Jabin et al. 2007).

Extrémní teploty neměly vliv na množství macroarthropods. Mnozí členovci přežijí v teplotách mrazových nad kritickým bodem, ale nesnášejí promrzání (Sømme 1982). Kritická teplota promrznutí hrabanky osídlené členovci, jako jsou mnohonožky (David et al. 1993), suchozemští stejnonožci (Tanaka a Udagawa 1993) a drabčíkovití (Topp 1978), se pohybuje na úrovni průměrné teploty - 4 až - 5 °C v zimě. Stonožky promrznou, když teplota klesne pod -4 °C (Haacker 1968). Smrtelné teploty mohou být zaznamenány během zimy v místech s nedostatečnou vrstvou hrabanky, proto jsou preferovaná stanoviště disponující vysokou vrstvou opadu, která představuje útočiště pro stonožky a také pro jiné členovce citlivé na nízké teploty během zimy.

Šest z 13 druhů *Lithobius* spp. se vyskytovalo v lesích s jižní expozicí. Alespoň jeden z druhů (*Lithobius melanops* Newport, 1845) je znám svou teplomilností (Spelda 1999). Také *Lithobius tricuspis* Meinert, 1872 a *Lithobius austriacus* Verhoeff, 1937 preferovaly vlhké a teplé podmínky u rozpadlých dřev na jižních svazích (Jabin 2008). Klimatické parametry, jako jsou teplota a vlhkost, se zdají být nejdůležitějšími faktory omezující šíření stonožek (Auerbach 1951, Blackburn et al. 2002). Na rozdíl od Lithobiomorpha, většina Geophilomorpha jsou dobře přizpůsobeny pro život v půdě, a proto se mohou vyhnout nevhodným mikroklimatickým podmínkám v opadové vrstvě vertikální migrací (Lewis 1981). Geophilomorpha stonožky jsou obecně odolnější vůči vysychání než Lithobiomorpha (Curry 1974, Lewis 1963).

### **3.7. Efekt chemických a fyzikálních vlastností půdy na výskyt půdní fauny**

Většina studií o vlivu faktorů prostředí na výskyt stonožek vyloučila vliv chemických vlastností půdy na stonožky. Opravdu existuje jen málo důkazů o vlivu chemických vlastností půdy na distribuci stonožek. Alespoň jeden druh (*Lithobius aeruginosus* L. Koch, 1862) dává přednost lesním stanovištím na vápencích (Spelda 1999). Blackburn et al. (2002) poukázal na silně negativní vliv endogeického druhu *Brachygeophilus truncorum* a pH v půdě, zatímco epigeické druhy Lithobiomorpha poukazovaly na pH v půdě jen ojediněle nebo vůbec. Ani na zvýšený obsah uhlíku v půdě stonožky nereagovaly významným způsobem (Jabin 2008). Jabin (2008) konstatoval, že jiné faktory než chemie půdy ovlivňují výskyt stonožek. Dostupnost mikrootvoru ve vrchních profilech půdy hraje důležitou roli ve výskytu stonožek (Fründ 1983).



*Lithobius mutabilis* je běžným druhem v bukových lesích na vápenci (Poser 1990). Půdy na vápencích obecně disponují vysokou hustotou Lumbricidae a dobrým systémem mikrootvorů. Stonožky hojně využívají chodeb vytvořených žížalami nebo vzniklých po rozpadlých kořenech (Albert 1982). Byly také nalezeny v chodbách po krtcích (Jeekel 1964). Stonožky se vyhýbají jílovitým půdám a v půdám s redukováným systémem provzdušnění prostřednictvím mikrootvorů (Albert 1982, Attemps 1926). Vysoký obsah volných prostorů v půdách umbrického andosolu umožňuje vertikální migraci mezi opadem a půdou, což má za následek vysokou populační hustotu. V kontrastu (dystric kambizem) je velmi kompaktní a hlinitý, bez žížal, a tedy i bez chodeb žížal, což vysvětluje i nízkou hustotu stonožek. Stupeň provzdušnění půdy makro a mikro dutinami představuje důležitý faktor ovlivňující strukturu rozdělení mezi endogeic Geophilomorpha a epigeic Lithobiomorpha (Jabin 2008).

Vztahy mezi různými skupinami členovců a hodnotou pH, maximální vodní retenční kapacitou a poměrem dostupných živin (Ca, Mg,K)/Al vykazují difference, kdy vazby mohou být negativní i pozitivní.

Byla zkoumána mikrobiální aktivita a biomasa ve vztahu, k půdním parametrům. Silný korelační vztah byl prokázán dostupným živinám (Ca, Mg, K) k obsahu Al v půdě. Mesofauna ukázala významný korelační vztah k Oribatida a maximální vodní retenční kapacitě a mezi Collembola a obsahem sloučenin fosforu  $PO_4$  v půdě ( $R^2 = 0,437$ ). Nejsilnější korelace v rámci půdní fauny byly mezi bezobratlými s vápenatým exoskeletem Isopoda, Diplopoda a pH/KCl v půdě ( $R^2 = 0,539$ ) a obsahem dostupných živin (Ca, Mg, K  $\rightarrow R^2 = 0,582$ ). Isopoda nejvíce korelovala s obsahem pH a Diplopoda s dostupným obsahem v půdě. Zástupci Pseudoscorpionida byli v negativní korelaci k obsahu živin v půdě. Chilopoda byla pozitivně prokázána k dostupnému obsahu živin v půdě. Výskyt Coleoptera a Staphylinidae nebyl významně korelován k žádnému s testovaných půdních parametrů. Araneida neprokázala žádný korelační vztah k šetřeným parametrům (Jabin 2008).

Acidifikace má za následek zvýšení celkového množství mesofauny v lesních půdách, ale hlavně vede k vysoké hojnosti několika dominantních druhů (Bååth et al. 1980, Hågvar a Kjøndal 1981, Hågvar, 1984). Naproti tomu obohacení lesní půdy vápencem, P-struskou a dusičnanem amonným obecně vedlo ke snížení mesofauny, ale také k posunu dominantní struktury (Jandl et al. 2003). Jednotlivé druhy, stejné taxonomické skupiny reagují odlišně na změněné podmínky. Například (Geissen et al. (1997) reakce dvou skupin Collembola: Druhy první skupiny pozitivně ovlivnil obsah draslíku

a fosforu, naproti tomu druhá skupina reagovala negativně na obsah bazických kationtů a pH. To může indikovat potravní migraci z dolního patra směrem k hornímu patru (Jabin 2008). Suchozemští stejnonožci jsou známi obsahem kutikulárního vápníku (Radu et al. 1971) a množstvím vápenatých a hořečnatých solí převyšující 70 % ze suché hmotnosti pokožky Diplopoda (Ansenne et al. 1990). Obsah minerálních látek, zejména vápníku a hořčíku, je důležitým faktorem struktury výskytu členovců s vápenatým exoskeletem (Hopkin a Read 1992). Bignell (1989) poukázal na to, že mikroorganismy tvoří důležitý zdroj živin pro stonožky. V prostředí, v němž jsou omezené živiny, se mikroorganismy vyskytují v omezené míře, proto Isopoda a Diplopoda preferují stanoviště s vyšším obsahem živin a mikrobiální aktivitou.

### 3.8. Vliv managementu lesa na výskyt půdní fauny

Ve všech lesích byly stonožky Lithobiomorpha akumulovány v místech s rozkládajícím se dřevu, ale existují rozdíly v celkovém počtu jedinců mezi lokalitami v závislosti na vzdálenosti od místa chronického rozpadu, nejvyšší byly na jižních svazích (Jabin 2008). Jižní svahy jsou charakteristické sušším a teplejším mikroklimatem ve srovnání s plošinami a severními svahy stejné geografické oblasti (Geiger et al. 1995, Oke 1987). Stonožky Lithobiomorpha vyhledávají místa s vlhkostí téměř 100 % a vyhýbají se polohám s vlhkostí nižší než 80 %. Výskyt stonožek řádu Lithobiomorpha byl pozorován pouze v hrabance s vlhkostí vyšší než 50 % (Albert 1983). Voda se ztrácela z těla jedinců transpirací i při 98 % relativní vlhkosti a teplotě 27 °C (Fründ 1987). Větší jedinci Geophilomorpha:*Strigamia acuminata* (Verhoeff, 1928) a Lithobiomorpha:*Lithobius curtipes* C.L. Koch, 1874, *Lithobius mutabilis* L. Koch, 1862 jsou obecně odolnější vůči vysychání než menší druhy. Proto juvenilní a post-juvenilní jedinci jsou citlivější na vlhkost než dospělci stejného druhu (Fründ 1987). *Schendyla nemorensis* (C.L. Koch, 1837), jeden z dominantních druhů Geophilomorpha, zřejmě upřednostňuje teplá a suchá stanoviště jižních svahů, kde tvořil téměř polovinu všech stonožek na těchto lesních stanovištích. Naproti tomu druhy *Brachygeophilus truncorum* a *Strigamia acuminata* byly dominantní na náhorních planinách a severních svazích a vzácně se vyskytovaly na jižních svazích. *Schendyla nemorensis* je také typickým druhem otevřené krajiny. Druh se vyznačuje partenogenezí (Spelda 1999). *Brachygeophilus truncorum* a *Strigamia acuminata* jsou typické lesní druhy, které mají pohlavní rozmnožování (Spelda 1999). Jabin (2008) uvádí výskyt obou pohlaví ve všech typech lesa. Pokud jde o výběr strategie přežití, stonožky by

mohly být považovány za K-stratégy v porovnání s jinými členovci (Albert 1983, Pianka 1970). Nicméně *Schendyla nemorensis* se jeví být více charakterizována jako R-stratég, vzhledem k reprodukční strategii a adaptaci na prostředí s náročnými a variabilními životními podmínkami, např. stanoviště jsou postižena suchem, prosvětlené lesy (Jabín 2008).

### 3.9. Ekologická charakteristika Stejnonožců (Isopoda)

Celkem bylo doposud popsáno 3637 druhů (Schmalfuss 2003). V České republice je známo 42 druhů stejnonožců (Flasarová 2000) řazených do 10 čeledí: Ligiidae, Trichoniscidae, Buddelundiellidae, Platyarthridae, Philosciidae, Oniscidae, Cylisticidae, Trachelipodidae, Porcellionidae, Armadillidiidae (Tuf a Tufová 2008). Suchozemští stejnonožci se vyvinuli z mořských předků, ale jsou dokonale přizpůsobeni životu na zemi (Frankenberger 1959). Postrádají ale lipidní vrstvu, která by bránila odpařování a ztrátě vody (Edney 1951). I když jsou stejnonožci dokonale přizpůsobeni životu na zemi, přece potřebují pro svůj život určitý stupeň vlhkosti. Výjimky se týkají některých forem dokonale přizpůsobených i k životu v poušti, jak je známo z okrajů Sahary z Alžírsko a Egypta. Máme-li však na zřeteli poměry evropské a speciálně středoevropské, pak formy xerofilních nejsou zastoupeny. Mírné sucho tolerují druhy *Porcelio montanus* Budde-Lund, 1885, *P. spinicornis* Say, 1818 a *Tracheoniscus nodulosus* (C.L. Koch, 1838) Frankenberger (1959). Druhý extrém představují formy hygrofilní, které mají své zástupce v rodech *Ligidium*, *Hyloniscus*, *Androniscus*, *Trichoniscus*. Žijí jen na místech velmi vlhkých, při březích vod, pod vlhkým spadaným listím nebo v drobném šterku i mokré zemi u potoků a rybníků. Na přímém slunci a v suchém prostředí hynou během několika minut, naproti tomu snesou i dlouhý pobyt ve vodě. Mezi hygrofilní se řadí *Oniscus asellus* L. 1758, *Trachelipus rathkei* (Brandt, 1833), rod *Porcellium*, *Armadillidium zenckeri* Brandt, 1833 (Frankenberger 1959).

Žijí skrytě, pod kameny, dřevem, spadaným listím i přímo v zemi nebo tlejících stromech. Mnoho druhů je z velké části petrofilních, dávají přednost substrátům se skeletem a kamením. Geologický ráz kamenitého substrátu hraje někdy důležitou úlohu, existují druhy vápnomilné (*Porcellio spinicornis*), které se vyskytují v rozvalinách hradů.

Jediný druh, který zasahuje až do pásma subalpinního, je *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt, 1833). Typickým územím našich stejnonožců jsou pahorkatiny porostlé listnatými nebo smíšenými lesy a křovinami (Frankenberger 1959).

Potravou stejnonožců jsou látky rostlinného charakteru odumřelé, tlející, s hojným podílem bakterií, plísní a houbových hyf.

#### **4. Metodika a materiál**

##### **4.1. Širší územní vztahy**

Zájmové území se nachází na severní Moravě, v centrální části Moravskoslezských Beskyd. Údolí horské řeky Čeladenka lemují na západě masiv Smrku (1276 m n.m.), na východě masív Kněhyně (1257 m n.m.), Porosty spadají do přírodní lesní oblasti (PLO) 40 – Moravskoslezské Beskydy. Na severu hraničí s PLO 39 – Podbeskydská pahorkatina, na východě s Polskem, na jihovýchodě se Slovenskou republikou a na jihozápadě s PLO 41 – Hostýnskovsetínské vrchy a Javorníky. Tvoří nepravidelný rovnoběžník s vlnitými hranicemi. Celková výměra je cca 82 432 ha, s výměrou porostní půdy cca 63 990 ha. Hranice PLO 40 je prakticky totožná s hranicí geomorfologického celku Moravskoslezské Beskydy (IXE-3). PLO 40 navíc zahrnuje okrsek Zašovská pahorkatina (IXE-2b), geomorfologický celek Slezské Beskydy (IXE-5) a dále sem náleží okrsek Ondřejník (IXD-1D-c) z podcelku Štramberské vrchoviny (IXD-1D). Tento okrsek je přiřazen k PLO 40 na základě podobnosti terénních poměrů, geologického podloží a přírodních poměrů geobiocenóz. Do přírodní lesní oblasti Moravskoslezské Beskydy (PLO 40) patří oblast Karpatského vnějšího flyše, na severu oddělená od oblasti Podbeskydské pahorkatiny, která byla ovlivněna v dobách ledových, zatímco masiv Ondřejníku ovlivněn nebyl, zasahuje do 5. LVS a je přiřazen k Moravskoslezským Beskydům. Jihovýchodní hranice PLO se relativně dobře kryje s hranicí magurského flyše. Na podloží vnějšího flyše, tvořeného převážně pískovcovými a břidlicovými vrstvami godulskými a istebňanskými, se tvoří velmi hluboké, 5 – 10 m, hlinitopísčité zvětraliny, a to i na prudkých svazích, kterých je zde relativně nejvíce v rámci ČR.

Specifikem oblasti je jednotvárné geologické podloží, tvořené pískovci a břidlicemi vnějšího flyše a flyše magurského. Tato geologická podloží jsou středně bohatá, téměř vůbec se nevyskytují podloží chudá nebo bohatá. Zvětraliny těchto podloží dosahují abnormální mocnosti. Velmi hojný je výskyt svahů značných sklonů (průměr 14-15°), v celé oblasti se vyskytují vysoké srážky (>1000 mm).

##### **Klimatická charakteristika oblasti**

Průměrné roční teploty se pohybují v rozmezí 2,3 – 7,2 °C.

Průměrný roční úhrn srážek je 1000 – 1565 mm.

Průměrná teplota vzduchu ve vegetačním období se pohybuje v rozmezí 10 – 13 °C.

Průměrný úhrn srážek ve vegetačním období činí 700 – 900 mm.

Délka vegetační doby činí 100 – 140 dní.

Průměrný počet letních dnů roce je 10 – 40 dní.

Průměrná sněhová pokrývka tvoří 35 – 120 cm.

Průměrný počet dnů se srážkami nad 1 mm je 130 – 150 dnů.

Průměrný počet dnů se srážkami nad 10 mm je 30 – 40 dnů.

Sníh se podílí 16 – 17 % (se stoupající nadmořskou výškou až 24 %) na celoročních srážkách, do nadmořské výšky 800–850 m n.m. nabývají na významu horizontální srážky (mlhy, nízká vrstva mračen), které mohou zlepšit vodní bilanci až o 15 %. Vítr převládá západní, případně severní.

#### 4.2. Přírodní charakteristiky výzkumných ploch

Plocha č. 1                      N49°30'47.5'' E018°20'37.1''

Porost se zastoupením dřevin SM 95, MD 4, BK 1, věk 90 l., pokryvnost dřevin 80 %, pokryvnost podrostu bylin 45 % (*Vaccinium myrtillus* 31 %, balvany pokryty mechy „bělomech“ 30 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5Y – skeletová jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec, silně svažitý sklon terénu (20 – 25°), okraj balvanového proudu, pokryvnost balvanů 50 – 70 % povrchu, velikost balvanů 5 – 50 cm, 600 m n. m., expozice JJZ, nepříznivé stanoviště z hlediska obsahu skeletu, výrazná propustnost pro gravitační vodu, zvýšené riziko intraskeletové eroze.

#### Ranker podzolový

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L	opad smrkového jehličí, ojediněle trávy
4-8	F	slabě fermentovaná drť, převažují zbytky smrkového jehličí, silně prokořeněný
8-10	H	tmavě hnědá, silně prokořeněná měl, nepravidelné rozložení mezi balvany, mocnost se značně mění,

		nejasný přechod do podloží, balvanitý skelet cca 50 %, silně prokořeněný
10-30	Ahe	tmavě šedý, kyprý, mírně vlhký, humusem silně obohacený, hlinito-písčité s ojedinělými vybělenými zrny SiO <sub>2</sub> , nepravidelně rozložený mezi balvany (skelet 50-70 %)
30 (40)-50	Bhs	červenorezavě hnědý, hlinito-písčité, suchý, s výskytem přemístěného humusu, nepravidelně rozložený mezi balvany (skelet 50 – 70 %)
50-70	Bs	žlutorezavě hnědý, hlinitopísčité, prakticky suchý, kapsovitě mezi balvany skelet 50 – 70 %

Plocha č. 2 N49°30'10.7 E018°20'51.5''

Porost se zastoupením dřevin BK 55, SM 43, KL 1, věk 110 l., pokryvnost dřevin 98 %, pokryvnost podrostu bylin 40 % (*Calamagrostis arundinacea* 31 %, *Rubus* sp., kapradí), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5F – svahová jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový jemnozrnný pískovec. Svažité sklon terénu (25–35°), na povrchu 5 – 10 % balvanů, velikost do 20 cm, 815 m n. m., expozice JZZ.

#### Ranker dystrický, podzolový

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	opad s převahou listí buku a opad trav
3-5	F	svahová drť, listy buků a trávy, příměs úlomků skeletu (balvany) do 30 %, silně prokořeněný
5-10	H	černá bezstrukturní, silně prokořeněná měl, obsah skeletu v podobě balvanů a drobných úlomků 50 %, silně prokořeněný
10-16	Ah	tmavě šedý, světlejší od nadloží, písčito-hlinitý, vlhký, skelet velikosti 5 – 20 cm, 50 – 70 %, prokořeněný
16-30	Bsv	šedorezavě hnědý, hlinitý, mírně vlhký, 50 – 70 % převážně balvanitého skeletu, minimum kořenů
30-70	Bvs	světle hnědý, hlinitoprachovitý, suchý, balvanitý skelet 50 – 70 %

Plocha č. 3 N49°29'02.5'' E018°21'08.7''

Porost se zastoupením dřevin BK 80, SM 20, věk 66 l., pokryvnost dřevin 98 %, pokryvnost podrostu bylin 25 % (*Calamagrostis arundinacea* 10%, *Athyrium filix-femina* 10 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5S – svěží jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec. Sklon terénu (10–20°), na povrchu ojedinělé balvany, 880 m n. m., expozice JZZ.

### Kambizem dystrická, podzolovaná

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	prakticky jen listí buku, na spodní vrstevní ploše prokořenění
3-5	F	nevýrazný fermentační horizont, částečně rozložené fermentované listí, zřetelné prokořenění
5-9	H	tmavá bezstrukturní měl, silně prokořeněná, mírně vlhká, do hloubky světlá a přibývá minerální podíl
9-20	Ahe	tmavá bezstrukturní měl, silně prokořeněná, mírně vlhká, do hloubky světlá a přibývá minerální podíl
20-70	Bv	šedohnědý, ve svrchní části až písčitohlinitý, mírně vlhký, ojedinělé kořeny, cca od 40 cm drobný skelet 50 %

Plocha č. 4 N49°29'01.9'' E018°21'23.0''

Porost se zastoupením dřevin, etáž 1. SM 100, etáž 2. BK 80, JD 20, etáž 3. SM 100 věk etáž 1. (6 l.) etáž 2. (3 l.) etáž 3. (94 l.), pokryvnost dřevin 65 %, pokryvnost podrostu bylin cca 45 %, (*Calamagrostis arundinacea* 21 %, *Vaccinium myrtillus*), přítomnost zmlazení 5 %, soubor lesných typů 5S – svěží jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový jemnozrnný muskovitický pískovec. Sklon mírný, téměř rovina (svah do 10°), 890 m n. m., expozice V.

### Podzol kambický

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	opad s převahou jehličí, trocha trávy
2-6	F	slabě fermentovaná drť, zbytky jehličí, silné prokořenění
6-11	H	černá, mírně vlhká, kyprá, silně prokořeněná měl, pozvolný přechod do podloží
11-13	Ahe (Ep)	tenký, naředlý, se zřetelnými vybělenými zrny křemene
13-17	Bhs	červenohnědorezavý, humusem mírně zbarvený, písčitojílovitý, mírně vlhký, mazlavý, drobný skelet 1-5 cm do 30 %
17-70	Bsv	rezavěhnědý, kyprý, vlhký hlinitopísčité, drobný skelet 30 – 50 %, téměř bez kořenů

Plocha č. 5 N49°29'02.0'' E018°22'33.3''

Porost se zastoupením dřevin SM 50, BK 50, věk 81 l., pokryvnost dřevin 90 %, pokryvnost podrostu bylin 0,5 % (*Calamagrostis arundinacea*, *Dryopteris dilatata*, *Athyrium filix-femina*, *Maianthemum bifolium*, *Oxalis acetosella*, *Polytrichum formosum*), přítomnost zmlazení 5 %, soubor lesných typů 5S – svěží jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový jemnozrnný pískovec. Sklon mírný, téměř rovina (svah do 5°), 850 m n. m., expozice JV.

#### Podzol kambický

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	opad bukového listí
2-4	F	rozpadlé bukové listí a větvičky, silné prokořenění drobnými kořínky
4-8	H	černá, bezstrukturní měl, vlhká, silně prokořeněná, zřetelný přechod do podloží
8-10	Ahe (Ep)	tenká vrstva, tmavošedá kyprá písčítá
10-18	Bhs	červenohnědá (humusem obohacená), jílovitohlinitá, vlhká, obsah většinou drobného skeletu do 30 %
18-70	Bsv	okrově rezavě hnědá, hlinitopísčítá, mírně vlhká, s občasným prokořeněním, obsah drobného i většího skeletu do 50 %

Plocha č. 6 N49°29'04.5'' E018°22'16.0''

Porost se zastoupením dřevin etáž 1. BK 60, SM 40, etáž 2. BK 70, SM 20, KL 10, věk etáž 1. (10 l.) etáž 2. (116 l.), pokryvnost dřevin 95 %, pokryvnost podrostu bylin 10 % (*Calamagrostis arundinacea* 7 %), přítomnost zmlazení 15 %, soubor lesných typů 5B – bohatá jedlová bučina.

Matečný substrát zřetelně vrstevnatá flyšová břidlice až prachovec. Sklon mírný, téměř rovná plošina pod svahem (10 – 20 °), 915 m n. m., expozice JJV. Zřetelně akumulovaná půdní jednotka, jakoby na sebe nasedlé jednotlivé svahové vrstvy, v hloubce cca 30–40 cm výrazná vrstva s akumulací organických látek.

#### Kambizem modální mezobazická

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L (F)	opad převážně bukové listí, bukvice, ve spodní části zřetelné kořínky
4-6	H	černá strukturní, nejasná měl, místy zcela chybí, zřetelné prokořenění, přechod horizontu jazykovitý (nepravidelný)
6-10	Ah	hnědočerný, hlinitý, mírně vlhký, často nejasný
10-70	Bv	okrově hnědý, písčitohlinitý, mírně vlhký, převážně drobné úlomky skeletu do hloubky stoupají až k 50 %, v hloubce 30 – 40 cm tmavě šedohnědý, humusem výrazně obohacený horizont



Plocha č. 7 N49°29'42.6'' E018°21'03.0''

Porost se zastoupením dřevin etáž 1. BK 50 JD 40, SM 10, KL 10 etáž 2. BK 100, etáž 3. KL 98, SM 2, věk etáž 1. (4 l.) etáž 2. (25 l.) etáž 3. (160 l.), pokryvnost dřevin 80 %, pokryvnost podrostu bylin cca 65 % (*Calamagrostis arundinacea*, *Luzula sylvatica*, *Rubus* sp., kapradí), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5A – klenová bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec. Silně svažité sklon terénu (20–35°), na povrchu do 20 % balvanů, velikost do 20 cm, 855 m n. m., expozice JZ.

#### Ranker kambický (podzolovaný)

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	opad převážně bukové listí, zbytky kapradin a ojediněle jehličí
3-5	F	tmavě hnědá, silně rozložená drť, zřetelné zbytky listí, prokořenění
5-11	H	černá, bezstrukturní, silně prokořeněná, mírně vlhká měl, cca 50 % jemnozrnného (1 – 5 cm) skeletu, výskyt i větších úlomků skeletu
11-17	Ah	tmavě hnědý, hlinitý, mírně vlhký, humusem obohacený, cca 50 % skeletu
17-80	Bv	okrově tmavohnědý, hlinitý, mírně vlhký, s ojedinělými kořeny, drobný i hrubý skelet 50 – 70 %

Plocha č. 8 N49°30'10.9'' E018°23'04.4''

Smrková monokultura, věk 53 l., pokryvnost dřevin 80 %, pokryvnost podrostu bylin do 5 % (*Vaccinium myrtillus* 2 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 6S – svěží smrková bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec. Mírný sklon terénu (6–10°), 1010 m n. m., expozice JVV. Celá sonda s nepravidelným rozmístěním horizontů jazykovitého charakteru.

#### Podzol modální

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	opad smrkového jehličí a větviček, prakticky bez dalších příměsí
2-7	F	tmavá drť různě rozložených smrkových jehlic
7-14	H	černá vrstva mělu s náznaky rašeliny, vlhká, s náznaky vrstevnatosti, výrazně prokořenělá, s ostrým přechodem do podloží
14-18	Ahe	tmavě hnědá, hlinitá, silně humusová, mírně vlhká, difúzní přechod do podloží
18-22	Ep	výrazně šedě zbarvený, vybělený, písčité se zrny křemene

22-30	Bsh	výrazný rezivě červenohnědý, písčito-hlinitý, mírně vlhký, téměř bez skeletu, ojediněle prokořeněný
30-70	Bs	rezavě hnědý, hlinitopísčité, mírně vlhký, směrem do hloubky výrazně přibývá skeletu, od 50 cm cca 50 %

Plocha č. 9 N49°30'15.5'' E018°23'02.0''

Smrková monokultura, věk 54 l., pokryvnost dřevin 85 %, prakticky bez vegetačního pokryvu (*Dryopteris expansa* 1 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 6S – svěží smrková bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec. Silně svažité sklon terénu (25–30°), 1045 m n. m., expozice V. Půda vzniklá na smíšené svahovině, do 40 cm výrazný (30-50 %) podíl skeletu, hlouběji jílovitohlinitá vrstva, prakticky bez skeletu.

#### **Kambizem dystrická, oglejená**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L+F	vrstva smrkového opadu, na povrchu nerozložená, do hloubky náznaky rozkladu
3-6	H	černá, mírně vlhká, bezstrukturní, s vysokým podílem jemného skeletu (30 – 50 %)
6-14	Ahe	šedočerná, hlinitá až prachovitá, mírně vlhká, ve spodní části šedne (jemná zrna křemene), skelet 30 – 50 %
14-25	Bv (Bvs)	rezivě hnědá, hlinitopísčité, mírně kyprá a vlhká, značně skeletnatá (skelet cca 50 %)
25-40	Bvg	jílovitohlinitá, šedohnědá, výrazně vlhká, náznaky oglejení, výrazný úbytek skeletu, jen drobný 10 – 20 %
40-80	Bvg	hlinitá (drobtovitý rozpad), šedohnědá, tmavší než nadloží, prakticky bez skeletu, vlhká, pod 80 cm opět nárůst skeletu

Plocha č. 10 N49°30'13.5'' E018°24'14.2''

Porost se zastoupením dřevin SM 80, BK 20, věk 43 l., pokryvnost dřevin 93 %, téměř bez podrostu bylin do 1 % (*Calamagrostis arundinacea*, *Avenella flexuosa*, *Rubus hirtus*, *Dryopteris expansa*, *Dryopteris dilatata*, *Athyrium filix-femina*, *Oxalis acetosella*, *Vaccinium myrtillus*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5S – svěží jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový jemnozrný slídnatý pískovec. Sklon svažité. cca 20°, výzkumná plocha téměř na rovině pod mírným svahem, 845 m n. m., expozice SV.

**Ranker kambický**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L	mocná vrstva jehličnatého opadu, s příměsí větviček, ve spodní části prokořenění
4-8	F	výrazná vrstva drtě smrkového jehličí, cca 20 % drobného skeletu, silné prokořenění, téměř suché
8-10	H	šedočerná, špatně rozeznatelná od drtě, strukturní měl, téměř bez jemného skeletu, suchá
10-18	Ah	šedý až světlešedý, prachovitohlinitý, téměř suchý, s cca 50 % jemného břidličnatého skeletu
18-70	Bv	hnědošedý, hlinitý, téměř suchý, do hloubky se zvyšujícím se obsahem zvětšujícího se skeletu, bez prokořenění, kamenitý skelet 50 – 70 %

Plocha č. 11 N49°31'08.6'' E018°23'19.9''

Porost se zastoupením dřevin SM 65, SMP 10, BR 10, KOS 5, JR 5, KL 3, BK 2, věk 14 l., pokryvnost dřevin 65 %, pokryvnost podrostu bylin 30 % (*Dryopteris expansa* 20 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5F – svahová jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec. Silně svažité sklon terénu (25 – 35°), na povrchu 15 – 20 % balvanité suti, 840 m n. m., expozice SSV.

**Ranker dystrický, podzolovaný, oligotrofní**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	čerstvý smrkový opad + větvičky a příměs travin
2-7	F	mocná, středně fermentovaná drť, převážně z jehličí – prokořenění
7-10	H	tmavě hnědá, mírně vlhká, bezstrukturní měl, neodlišitelný přechod do podloží, cca 20 % skeletu + decimetrové balvany
10-14	Ah (e)	šedočerná, mírně vlhká, drobtovitá, písčitohlinitá, kamenitý skelet nad 50 %
14-25	Bsh	hnědý až červenohnědý, těžší než nadloží, hlinitý, mazlavý, 50 – 70 % skeletu
25-70	Bs/C	rezavě hnědý, hlinitý, mírně vlhký, skelet + balvany 60 – 80 %

Plocha č. 12 N49°30'57.1'' E018°22'54.4''

Porost se zastoupením dřevin etáž 1. KL75, BK 25, etáž 2. BK 85, KL 15, věk etáž 1. (19 l.) etáž 2. (124 l.), pokryvnost dřevin 65 %, pokryvnost podrostu bylin 80 % (*Athyrium filix-femina* 31 %, *Luzula sylvatica*, *Calamagrostis villosa*), přítomnost zmlazení do 5 %, soubor lesných typů 5F – svahová jedlová bučina.

Matečný substrát flyšová jemnozrná břidlice, substrát smíšená svahovina, velmi intenzivní prokořenění jemnými vláskovitými kořínky cca do 30 cm. Srázný sklon terénu (30–35°), na povrchu ojediněle balvany, 835 m n. m., expozice SSZ.

#### Kambizem rankerová (podzolovaná, oligotrofní)

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L	opad bukového listí + javorové listí + tráva a kapradiny, ve spodní části prokořenění, výskyt drobných úlomků břidličnatého skeletu
4-5	F	nejasný náznak horizontu slabě fermentované drtě, prokořenění, skelet 20 %
5-9	H	tmavě hnědá, mírně vlhká měl, silně prokořeněná, jemné kořínky, drobný břidličnatý skelet až 40 %
9-17	Ah	tmavě hnědý, hlinitopísčité, mírně vlhký, velmi silně jemnými kořínky prokořeněný, skelet 30 – 50 %
17-30	Bv1	tmavě hnědý, mírně vlhký, hlinitý, drobtovitý, silně prokořenění, jemný břidličnatý skelet cca 50 % + občasné balvany
30-80	Bv2	okrově hnědý, jílovitohlinitý, mírně vlhký, ve svrchních 5 cm intenzivní prokořenění (jemné kořínky), drobný skelet 30 – 50 %

Plocha č. 13 N49°30'55.0'' E018°22'22.1''

Porost se zastoupením dřevin SM 80, BK 20, věk 51 l., pokryvnost dřevin 96 %, pokryvnost podrostu bylin do 5 % (*Dryopteris expansa* 3 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5F – svahová jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec, v profilu ve svrchních cca 40 cm velmi vysoký obsah balvanité sutě (více než 50 %), do hloubky obsah sutě výrazně klesá (20 – 40 %), jedná se spíše o drobnější úlomky, silně svažité sklon terénu (25–30°), na povrchu 10 – 15 % balvanité suti, 850 m n. m., expozice SSV.

#### Ranker podzolový, oligotrofní

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	čerstvé suché jehličí s příměsí bukového listí, přítomnost balvanů
3-5	F	špatně definovatelná, silně fermentovaná drť jehličí a listí, skelet ve formě balvanů (5 – 20 cm), 30 – 50 %
5-12	H	tmavě hnědá až černá, mírně vlhká, bezstrukturní měl, skelet balvanitý, cca 50 %, silné prokořenění
12-26	Ah (e)	tmavě šedý, téměř suchý až prachovitý se zřetelnými bílými zrny, skelet 60 – 80 %
26-40	Bhs	rezavě hnědočervený, hlinitopísčité, mírně vlhký, se zřetelnou příměsí humusu, prakticky bez kořenů, skelet

		30 – 50 %
40-70	Bs	rezavě hnědý, hlinitý, vlhký, drobný skelet do 40 %

Plocha č. 14 N49°31'03.9'' E018°21'55.9''

Porost se zastoupením dřevin SM 60, BK 37, JD 2, BR 1, věk 21 l., pokryvnost dřevin 96 %, téměř bez podrostu cca 1 % (*Polygonatum verticillatum*, *Oxalis acetosella*, *Dentaria bulbifera*, *Dryopteris dilatata*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5B – bohatá jedlová bučina. Matečný substrát flyšová břidlice až jílovec, zřetelná břidličnatá odlučnost v celém profilu. Mírný sklon terénu (6 – 10°), 830 m n. m., expozice SZZ.

#### Kambizem oglejená, mezobazická

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-1	L	malé množství opadu smrkových jehlic
1-3	F	silně fermentovaná drť jehlic
3-7	H	černá, vlhká, bezstrukturní měl, nejasný přechod do podloží
7-14	Ah	hnědý, s nízkým obsahem humusu, hlinitý, vlhký, minimum kořenů, drobné břidličnaté úlomky do 30 %
14-50	Bv	hnědý (světle), hlinitojílovitý, vlhký (mazlavý), drobně břidličnatý skelet, množství do hloubky roste 20 – 40 %
50-80	Bvg	rezavě hnědý, s šedými skvrnami, hlinitojílovitý, vlhký

Plocha č. 15 N49°31'19.1'' E018°22'09.4''

Porost se zastoupením dřevin SM 100, věk 55 l., pokryvnost dřevin 65 %, pokryvnost podrostu bylin cca 35 % (*Calamagrostis arundinacea* 20 %, ojediněle *Oxalis acetosella*, mechy), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5Y – skeletová jedlová bučina. Matečný substrát flyšový pískovec, svažité sklon terénu (15–20°), suťové balvany pokrývají 30 – 50 % povrchu, okraj balvanového moře, 790 m n. m., expozice JV.

#### Ranker suťový, mezotrofní

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	převážně jehličnatý opad s příměsí větviček a travin, intenzivně prokořeněno
3-8	F	tmavá drť, převážně jehličí, téměř suchá, velmi silně prokořeněná, nesouvislá jen mezi balvany, suť nad 50 %
8-40	H/Ah	černošedá, bezstrukturní, téměř suchá, výskyt jen mezi balvany, minimum minerálního podílu, ve svrchní části silně prokořeněno, pod 20 cm prakticky bez kořenů, suť 70 – 90 %

40-100	Cr	zvětralina, převážně křemenná, zrna a organický materiál z nadloží, vlhké až mokré, suť v podobě balvanů, 70 – 90 %
--------	----	---

Plocha č. 16                      N49°30'31.7'' E018°19'24.3''

Porost se zastoupením dřevin SM 60, BK 37, JD 2, BR 2, věk 84 l., pokryvnost dřevin 80 %, téměř bez podrostu do 5 % (*Dryopteris expansa* 3 %, ojedinele mechy), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5Y – skeletová jedlová bučina.

Matečný substrát flyšový pískovec, silně svažité sklon terénu (21–25°), suťové balvany pokrývají 10 – 30 % povrchu, suťové pole, 880 m n. m., expozice V.

#### Ranker podzolový suťový

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	převážně jehličnatý opad s příměsí větviček a dřeva
2-7	F	tmavá drť, převážně jehličí, velmi silně prokořeněná, nesouvislá jen mezi balvany a skeletem suť nad 50 %
7-12	H(Ahe)	tmavý převážně humusový, téměř suchý, nepravidelně rozložený mezi balvany a sutí, nepravidelně s povlaky světlého křemitého prachu, prokořeněno, skelet 50 – 70 %
12-80	Bs	rezavě hnědý, písčítý, do hloubky postupně těžší a vlhčí, skelet směrem do hloubky drobnější a postupně ubývá

Plocha č. 17                      N49°29'55.2'' E018°20'26.1''

Porost se zastoupením dřevin SM 100, věk 65 l., pokryvnost dřevin 60 %, pokryvnost podrostu bylin 30-60 % (*Avenella flexuosa* 44 %, *Vaccinium myrtillus*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5L – montánní jasanová olšina.

Matečný substrát nivní sediment, rovina, aluvium potoka, 590 m n. m., expozice SV. Terén na aluviálním náplavu, cca 4 m nad současným tokem.

#### Fluvizem kambická

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L(F)	opad jehličí, do hloubky mírně rozložený
4-9	H(Ah)	černá, bezstrukturní, kyprá až mazlavá vlhká měl, do hloubky světlá a zvyšuje se podíl písčité frakce (Ah) prokořenění
9-20	Bv	rezavě tmavě hnědá, hlinitopísčítá, směrem do hloubky se vylehčuje a objevují se zaoblené valouny, prokořenění
20-80	M	M1 – hnědý, silně písčítý M2 - proplástky jílu M3 – šterkovité valounové polohy

Plocha č. 18                      N49°28'57.0'' E018°20'38.2''

Smrková monokultura, věk 113 l., pokryvnost dřevin 45 %, pokryvnost podrostu bylin cca 95 %, *Avenella flexuosa* 20 %, *Agrostis capillaris* 20 %, *Vaccinium myrtillus*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5L – montánní jasanová olšina.

Matečný substrát nivní sediment, rovina, aluvium potoka, 600 m n. m., expozice V.

Terén na aluviálním náplavu, cca 3 m nad současným tokem.

#### **Fluvizem modální (arenická)**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	tenká vrstva nerozloženého jehličí
2-9	H	velmi jemná, práškovitá, tmavá, mírně vlhká měl s nepravidelnou příměsí drtě, silně prokořeněná
9-15	A(Ah)	hnědý, jen nepatrně tmavší minerálně humusový horizont, písčítý, s příměsí valounů, náznak vrstevnatosti, téměř bez kořenů
15-60	M1	tmavě hnědý, vrstevnatý, zrnitostně vytríděný písek
60-90	M2	poloha deskovitých valounů 2 – 15 cm, meziprostor vyplněný pískem

Plocha č. 19                      N49°28'07.0'' E018°21'19.6''

Smrková monokultura, věk 58 l., pokryvnost dřevin 45 %, pokryvnost podrostu bylin 95 % (*Vaccinium myrtillus* 56 % mechy převážně *Sphagnum* sp.), přítomnost zmlazení 10 %, soubor lesných typů 6O – svěží smrková jedlina.

Matečný substrát flyšová jílovitá břidlice, podmáčená smrčina v depresní sníženině, prakticky rovina (0 – 5°), 630 m n. m., expozice JZ.

#### **Glej histický**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-12	Ot	živý rašeliník, do hloubky postupně světlá (odumřelý), občas větvičky
12-45	Tf	tmavě hnědá, vlhká až mokrá, slabě prokořeněná se zbytky dřeva, rašelina
45-70	Gr	jílovitá, mazlavá, vlhká, šedozelená, s ojedinělými hnědými šmouhami u kořenu, do spodiny s příměsí břidličnatého skeletu

Plocha č. 20 N49°27'56.5'' E018°21'04.6''

Smrková monokultura, věk 51 l., pokryvnost dřevin 15 %, lokalita na malé rašelinné louce, pokryvnost podrostu bylin 100 % (*Sphagnum* sp. 94 %, *Vaccinium myrtillus*), přítomnost zmlazení 0%, soubor lesných typů 6O/R – svěží rašelinná smrčina.

Matečný substrát pravděpodobně flyšová jílovitá břidlice. Téměř rovina, chladná inverzní sníženina, 640 m n. m., expozice JJV. Hladina podzemní vody v hloubce 20 – 30 cm.

#### Organozem fibrická

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-15	Ot	živý rašelíník, do hloubky postupně světlá (odumřelý), občas větvičky a kusy dřeva
15-35	Tf1	tmavá, mokrá, rašelíníková a dřevní hmota
35-115	Tf2	světlejší s větším množstvím dřevní hmoty, množství silných kořenů ve 115 cm stále rašelinný horizont

Plocha č. 21 N49°28'44.6'' E018°22'43.3''

Porost se zastoupením dřevin BK 95, SM 5, věk 110 l., pokryvnost dřevin 96 %, holá bučina, téměř bez podrostu cca 1 % (*Polytrichum formosum*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5B – bohatá jedlová bučina.

Půdotvorný substrát, střídání tenkých vrstev prachovce a pískovce, svázný sklon terénu (15 – 20°), na povrchu do 10 % skeletu, 720 m n. m., expozice JZ.

#### Kambizem rankerová, podzolovaná

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	opad bukového listí, bukvice, úlomky dřeva
3-5	F	nevýrazná slabě rozložená drť
5-8	H	tmavá, černohnědá, vlhká, bezstrukturní měl, velmi silně prokořeněná, drobné úlomky skeletu (do 20 %)
8-11	Ah	nevýrazná, kaštanově hnědá, dospodu světlá, prachovitohlinitá, vlhká, jemně prokořeněná, skelet 30-50 %
11-75	Bv	okrově hnědá, písčitoohlinitá (práší, vysoký podíl prachu), světlejší a okrovější než nadloží, cca od 20 cm nad 50 % drobného skeletu

Plocha č. 22 N49°28'36.2'' E018°22'54.0''

Smrková monokultura, věk 65 l., pokryvnost dřevin 65 %, prakticky bez podrostu cca. 2 % (*Avenella flexuosa* 1 %, *Vaccinium myrtillus* 1 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5B – bohatá jedlová bučina.



Půdotvorný substrát jemnozrnný flyšový pískovec, mírný sklon terénu (6 – 10°), 680 m n. m., expozice J.

#### **Kambizem dystrická, podzolovaná**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-6	L(F)	opad smrkového jehličí, do hloubky prakticky bez rozkladu, suchý
6-9	H	tmavá, černá, bezstrukturní, silně prokořeněná měl
9–15	Ah(e)	kaštanově světle hnědá, hlinitá, dospodu světlá, téměř suchá, prokořeněná
15-30	Bv(s)	rezavě hnědá, hlinitá, mírně vlhká, s příměsí prachu (eolická činnost)
30-70	Bv	žlutohnědá, jílovitohlinitá, s příměsí prachu, mírně vlhká, do hloubky stoupá obsah skeletu, cca od 50 cm nad 50 %

Plocha č. 23                      N49°28'24.6'' E018°24'59.5''

Porost se zastoupením dřevin SM 99 OL 1, věk 32 l., pokryvnost dřevin 15 %, pokryvnost podrostu bylin 97 % (*Sphagnum* sp. 56 %, ojediněle *Vaccinium myrtillus*, kapradí, *Menyanthes trifoliata*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 6O/R – svěží rašelinná smrčina.

Půdotvorný substrát flyšová jílovitá břidlice, lokalitu lze rozdělit na území přímo uprostřed deprese, kde je rašelinění intenzivnější a vyšší zamokření, směrem k pasti č. 1 terén mírně stoupá, rašelinění je méně hluboké, hladina podzemní vody v centru deprese v cca 50 cm, u okraje v cca 80 cm Téměř rovinný terén, dno mírné deprese (0–5°), 540 m n. m., expozice JV.

#### **Organozem mesická, oligotrofní**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-15	Ot	živý a odumřelý rašeliník, světle hnědý
15-60	Tm1	hnědý, rašelinný horizont, úlomky dřevní hmoty, kůry i výskyt celých kmenů, mokré, cca do 50 % prokořenění
60-110	Tm2	oproti nadloží vyšší obsah dřevní hmoty a téměř vrstva z kmenů
110-?	Gr	šedomodrá, jílovitá, plastická, úlomky nazelenalé flyšové břidlice a vybělená zrna křemene

Plocha č. 24 N49°28'28.4'' E018°25'01.5''

Porost se zastoupením dřevin SM 85, OL 10, OS 5, věk 37 l., pokryvnost dřevin 55 %, pokryvnost podrostu bylin 80 % (*Sphagnum* sp. 44 % ojediněle *Vaccinium myrtillus*, mechy), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 6O – svěží smrková jedlina.

Půdotvorný substrát flyšový drobnozrný pískovec, střídání s břidlicí povrch prakticky suchý, téměř rovina (0 – 5°), 540 m n. m. expozice J.

#### **Pseudoglej modální, podzolovaný**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L	převážně nerozložené smrkové jehlice, kousky větviček a dřeva, prakticky suché
4-7	F(H)	tmavší, částečně rozložený, zřetelná původní struktura, prokořeněno, mírně vlhké
7-16	Ahn	tmavě hnědý, vlhký, hlinitojílovitý velmi silně prokořeněný, ve spodní části náznak mírného vysvětlení a vylehčení, zřetelný přechod do spodiny
16-22	En	světlešedý s ojedinělými novotvary bročků, hlinitojílovitý
22-70	Bm	mramorovaný, výrazně šmouhovitý, vlhký, do hloubky až mokrá, jílovitohlinitý do hloubky až jílovitý

Plocha č. 25 N49°29'29.3'' E018°21'00.6''

Porost se zastoupením dřevin etáž 1 SM 80, BK 20, etáž 2 BK 85, SM 15, věk etáž 1. (31 l.) etáž 2. (49 l.), pokryvnost dřevin 70 %, pokryvnost podrostu bylin 30 % (*Calamagrostis arundinacea* 21 %, ojediněle kapradí), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5A – klenová bučina.

Půdotvorný substrát drobnozrný flyšový pískovec, silně svažitý sklon terénu (21 – 30°), na povrchu cca 5 – 10 % balvany, 850 m n. m., expozice JZZ.

#### **Kambizem rankerová, podzolovaná**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	opad bukového listí příměs bukvice a tráva
2-7	F	drť převážně bukového listí a větviček silně prokořenělá, téměř suchá, skelet
7-14	H(Ah)	tmavá, slabě strukturní měl, silně prokořenělá, skelet 20 – 40 %, neoddělitelná (jen světlá-hnědne)
14-20	Bv1	tmavě hnědý, hlinitý (prachovitý), destičkovitá struktura, téměř suchý, tmavší než podloží, kořenů ubývá, skelet 20 – 40 %
20-80	Bv2	okrově hnědý, písčitohlinitý, od 30 cm skelet ostrohnaný nad 50 %

Plocha č. 26 N49°29'27.8'' E018°20'58.1''

Porost se zastoupením dřevin SM 90, BK 9, MD 1, věk 88 l., pokryvnost dřevin 85 %, pokryvnost podrostu bylin 45 %, (*Dryopteris dilatata* 31 %, mech), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5A – klenová bučina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec, srázný sklon terénu (31–35°), na povrchu cca 20 – 40 % ostrohranného skeletu, 850 m n. m., expozice SZZ.

#### Ranker suťový

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-8	L(F)	jehličnatý opad s příměsí větviček a listů, velmi silně prokořeněný, drobný skelet 20-40 %, téměř suchý
8-20	H(Ahe)	tmavá bezstrukturní měl, téměř suchá, do hloubky zvýšený minerální podíl, zasahuje mezi skeletem do hloubky, na povrchu balvanů náznak světlého prachu, prakticky bez prokořenění (skelet 70 – 90 %)
20-90	Ah/Cr	jen suť s minimem prostoru vyplněného zasakujícím humusem, skelet 70 – 90 %

Plocha č. 27 N49°30'32.6'' E018°18'13.2''

Porost se zastoupením dřevin BK 90, SM 10, věk 15 l., pokryvnost dřevin 65 %, pokryvnost podrostu bylin 80 % (*Calamagrostis arundinacea* 36 %, kapradí), přítomnost zmlazení 0 %, výsadba jedlí, soubor lesných typů 6S – svěží smrková bučina. Půdotvorný substrát flyšový pískovec, svážný sklon terénu (11–20°), 1000 m n. m., expozice SVV.

#### Kambizem rankerová, mesobazická

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	opad bukového listí, příměs traviny
2-8	F(H)	tmavá vlhká drť, jen na bázi náznak měly, téměř bez kořenů
8-11	Ah	nezřetelný jen náznak, kaštanově hnědý (průsak humusu), hlinitý, mírně vlhký, občasné skelet
11-40	Bv	rezavě hnědý, hlinito-písčité, mírně vlhký, skelet 20 – 40 %, prokořenění
40-85	Bv/C	rezavě hnědý, téměř dlažba z desek pískovce (skelet 50 – 70 %), téměř bez kořenů

Plocha č. 28 N49°30'40.6'' E018°18'10.7''

Porost se zastoupením dřevin BK 90, SM 10, věk 15 l., pokryvnost dřevin 97 %, pokryvnost podrostu bylin 40 % (*Calamagrostis arundinacea* 22 %, kapradí, ojediněle *Oxalis acetosella*), přítomnost zmlazení 0 %, výsadba jedlí, soubor lesných typů 6S –

svěží smrková bučina. Půdotvorný substrát jemnozrný šedý flyšový pískovec, silně svažité sklon terénu (25 – 30 °), 1020 m n. m., expozice SVV.

#### Kambizem modální mezotrofní

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	opad bukového listí s příměsí bylin
2-8	F(H)	tmavý silně fermentovaný, vrstevnatý, mírně vlhký, silně prokořeněný, na bázi nezřetelný Oh
8-16	Ah	tmavě hnědý (hnědočerný), hlinitý, mírně vlhký, silně prokořeněný, do 20 % drobného skeletu, pozvolný přechod do podloží
16-20	Bv1	šedohnědý, tmavší (od humusu) a lehčí než podloží, do 30 % skeletu, mírně vlhký
20-90	Bv2	hnědý hlinitý, skeletnatost 30 – 50 %, ojedinělé prokořenění až do spodiny, mírně vlhký

Plocha č. 29                      N49°31'38.5'' E018°23'12.9''

Porost se zastoupením dřevin SM 100, věk 89 l., pokryvnost dřevin 70 %, pokryvnost podrostu bylin 25 % (*Rubus hirtus* 3 %, mechy na balvanech), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 4Y – skeletová bučina.

Půdotvorný substrát flyšový křemitý pískovec, svažité sklon terénu (15–20°), balvanový proud cca 50 m pod skalním výchozem, balvany pokrývají 50 – 70 % povrchu, 600 m n. m., expozice JV. Hloubka horizontů je jen orientační mezi balvany (5–30 cm) nelze přesně určit.

#### Ranker podzolový

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	převážně jehličnatý opad, prokořeněný
3-7	F	silně prokořeněná drť (jehličí, větvičky a kořeny), skelet do 50 %
7-15	H	tmavá bezstrukturní měl mezi balvany, někde zcela chybí, neodělitelná od podložního Ah(e), prokořenělá
15-20	Ahe	tmavě šedý minerální hor. S výskyty vybělených zrn křemene (na povrchu skeletu), prokořenění výrazně ubývá, skelet nad 50 %
20-30	Bhs	tmavě hnědý (humusem obohacený), písčito-hlinitý jen mezi balvany, skelet balvanitý 50 – 70 %
30-60	Bs	rezivě hnědý, hlinitý, skelet 50 – 70 %

Plocha č. 30 N49°31'17.1'' E018°18'57.4''

Porost se zastoupením dřevin SM 95, MD 2, BK 2, DB 1, věk 90 l., pokryvnost dřevin 65 %, pokryvnost podrostu bylin do 20 % (*Rubus hirtus* 5 %, občas kapradí, trávy a mech), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 4S – svěží bučina.

Půdotvorný substrát flyšová jílovitá břidlice, půda na svahovině střídání různě skeletnatých poloh, mírný sklon terénu (6–10°), 620 m n. m., expozice SSV.

#### Kambizem modální oligotrofní

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	opad smrkového jehličí
3-5	F	slabě až středně rozložený opad, jehličí
5-12	Ah (H)	šedý hlinitojílovitý, prokořenělý, téměř suchý, drobný břidličnatý skelet do 10 %
12-28	Bv1	tmavě hnědý, hlinitý, vlhký, se záteky z nadloží, silně skeletnatý 50 – 70 %, cca 10 cm mocná vrstevnatá poloha břidličnatého skeletu
28-80	Bv2	světle okrově hnědý, prachovito-hlinitý, sušší, skelet 30-50 %

Plocha č. 31 N49°29'45.2'' E018°21'34.2''

Porost se zastoupením dřevin SM 95, BK 5, věk 60 l., pokryvnost dřevin 80 %, pokryvnost podrostu 20 % (*Vaccinium myrtillus* 10 %, *Oxalis acetosella*, mechy), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 6S – svěží smrková bučina.

Půdotvorný substrát flyšový drobnozrný pískovec s břidličnatou odlučností, svažité sklon terénu (11–15°), 1100 m n. m., expozice J.

#### Kryptopodzol modální (rankerový)

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L(F)	jehličnatý opad do hloubky jen minimálně rozložený
3-6	H	zřetelný málo mocný, černý, mírně vlhký hor. bezstrukturní měli, prokořenělý, drobný skelet do 30 %
6-14	Ah(e)	výrazně tmavě hnědý, písčito-hlinitý, mírně vlhký, prokořenělý, drobný skelet 30 – 50 %
14-25	Bsv	hlinitější a světlejší než nadloží, téměř bez kořenů, skelet cca 50 %
25-80	B/C	rezivě tmavohnědý hlinitý, skelet 50 – 70 %

Plocha č. 32 N49°30'18.9'' E018°22'14.8''

Smrková monokultura, věk 250 l., pokryvnost dřevin 40 %, pokryvnost podrostu bylin 85 % (*Vaccinium myrtillus* 66 %), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 7S – svěží buková smrčina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec, silně svažité sklon terénu (21–25°), skelet na povrchu porostlý, 1190 m n. m., expozice JJV.

#### Ranker podzolový

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-5	L(F)	opad jehličí a hodně mechu, šišky, mokrý, prokořenělý, skelet drobný do 20 %
5-11	H	černá bezstrukturní měl, vlhká silně prokořenělá, skelet 30 – 50 %
11-18	Ah(e)	šedočerný písčitohlinitý, humusem z nadloží zbarvený, vlhký, slabě prokořenělý, ojedinělé vybělené zrna, skelet cca 50 %
18-36	Bsh	tmavě rezivý, písčitohlinitý, mokrý, bez kořenů, skelet 50 – 70 %
36-75	B/Cr	tmavě hnědý (zbarvený od zasakujícího humusu), hlinitopísčité, mokrý, skelet nad 70 %

Plocha č. 33 N49°30'17.4'' E018°22'08.1''

Porost se zastoupením dřevin SM 90, KOS 10, věk 69 l., pokryvnost dřevin 50 %, pokryvnost podrostu bylin 70 % (*Vaccinium myrtillus* 44 %, kapradí mechy), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 7S – svěží buková smrčina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec, mírný sklon terénu (6–10°), 1210 m n. m., expozice JVV.

#### Podzol modální (rankerový)

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	jehličnatý opad + mech+ kořeny
3-7	F	hnědé rozložené jehličí, mech, silně prokořenělý, mírně vlhký, skelet do 20 %
7-12	H	černá bezstrukturní vlhká měl, prokořenělá, neoddělitelná od podloží (světle hnědá), skelet cca 20 %
12-16	Ahe	hnědý do hloubky až hnědošedý, zprvu písčitohlinitý do spodiny písčité, s jazykovitými (kapsovitými) záteky do spodiny, vlhký, skelet do 30%
16-18	Ep	nepřavidelný, šedý, se zřetelně vybělenými zrny křemene, ostrý barevný přechod do podloží, kapsovité záteky
18-23	Bhs	červenohnědý hlinitý, povlaky na skeletu až červené, vlhký, skelet 30 – 50 %
23-70	Bs	rezavě hnědý, písčitohlinitý, vlhký bez kořenů, skelet postupně do hloubky narůstá nad 50 %

Plocha č. 34 N49°30'08.5'' E018°22'20.6''

Porost se zastoupením dřevin SM 85, BK 15, věk 256 l., pokryvnost dřevin 30 %, pokryvnost podrostu bylin 75 % (*Vaccinium myrtillus* 56 %, mech, kapradí), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 6S – svěží smrková bučina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec, svažité sklon terénu (15 – 20°), 1090 m n. m., expozice JV.

#### Podzol modální (rankerový)

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L	jehličnatý opad + kořínky (F chybí)
3-6	H	černá bezstrukturní měl, jasný barevný přechod do podloží, vlhká prokořenělá, skelet do 20 %
6-9	Ahe	nevýrazný, hnědočerný (humusem zbarvený), hlinitopísčité, vlhký, prokořenělý, skelet do 20 %
9-15	Ep	světle hnědošedý, písčité, vybělená zrna křemene, jen mírně vlhký, již minimum kořenů, skelet do 20 %
15-22	Bsh	černohnědorezivý s povlaky na skeletu, písčitohlinitý, vlhký, skelet 20 – 40 %
22-80	Bs	rezavě světle hnědý, hlinitý, vlhký až mokřý (pod 60 cm mírně oglejený Bsg), bez kořenů, skelet cca 50 %

Plocha č. 35 N49°31'09.6'' E018°19'13.2''

Porost se zastoupením dřevin BK 100, věk 45 l., pokryvnost dřevin 95 %, téměř holá bučina, ojediněle kapradí, (*Luzula luzuloides*, *Calamagrostis arundinacea*, *Carex sylvatica*), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 4S – svěží bučina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec + jemnozrná flyšová břidlice, pravděpodobně eolická příměs, mírný sklon terénu (6 – 10°), 620 m n. m., expozice SV.

#### Kambizem modální slabě oglejená mesotrofní

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-2	L	jen opad bukového listí, minimálně rozložený, suchý, chybí Of a Oh
2-7	Ah	jen opad bukového listí, minimálně rozložený, suchý, chybí Of a Oh
7-50	Bv	světle hnědý, prachovitohlinitý, téměř suchý, slabé prokořenění, drobné úlomky břidlic do 20 %
50-80	Bvg	hlinitý, hnědý, náznaky rezavých skvrn a mramorování, mírně vlhký, skelet do 20 % (úlomky břidlic a pískovce), nznak oglejení vodou stékající v profilu po svahu

Plocha č. 36 N49°28'46.6'' E018°23'39.6''

Porost se zastoupením dřevin SM 98, BK 2, věk 25 l., pokryvnost dřevin 80 %, pokryvnost podrostu bylin 30 % (*Calamagrostis arundinacea* 10 %, *Vaccinium myrtillus* 10 %, mechy), přítomnost zmlazení semenáčky smrku do 10 %, soubor lesných typů 5S – svěží jedlová bučina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec, mírný sklon terénu (6 – 10°), 640 m n. m., expozice V.

#### Kambizem modální oligotrofní

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-4	L(F)	jehličnatý opad + trávy, jen částečně rozložený
4-7	H	tmavě hnědá bezstrukturní měl s jemným minerálním podílem, silně prokořenělá, téměř suchá, bez skeletu
7-13	Ah	kaštanově hnědý, hlinitý, prokořenělý, mírně vlhký, drobný skelet do 20 %
13-70	Bv	světle žlutohnědý, hlinitopísčité, mírně vlhký, prokořenělý, obsah skeletu do hloubky roste 20 – 40 %

Plocha č. 37 N49°28'19.5'' E018°23'34.9''

Smrková monokultura, věk 94 l., pokryvnost dřevin 80 %, pokryvnost podrostu bylin 23 % (*Calamagrostis arundinacea* 10 %, *Vaccinium myrtillus* 10 %, kapradí), přítomnost zmlazení 0 %, soubor lesných typů 5S – svěží jedlová bučina.

Půdotvorný substrát flyšový hrubozrnný křemitý pískovec, mírný sklon terénu (6 – 10°), 630 m n. m., expozice Z.

#### Kambizem dystrická slabě oglejená

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-5	L(F)	jehličnatý opad, větvičky, byliny
5-7	H	nevýrazné hor. měly, na bázi světlý prachový povlak, suchý, prokořenělý
7-12	Ah(e)	hnědý, písčitohlinitý, slabě humusový, suchý, prokořenělý, výrazná zrna křemene (vyvětralá z hrubozrnného pískovce)
12-60	Bv	žlutohnědý, hlinitopísčité, téměř suchý, velké zakulacené balvany (5 – 50 cm), ojedinělé kořeny
60-85	Bvg	písčitohlinitý, hnědý s šedými šmouhami (náznak mramorování), mírně vlhký, bez kořenů, skelet do 20 % a zakulacené balvany



Plocha č. 38

N49°31'13.5'' E018°18'06.6''

Porost se zastoupením dřevin SM 60, BK 35, MD 3, JD2, věk 35 l., pokryvnost dřevin 94 %, bez vegetačního krytu a zmlazení, soubor lesných typů 4S – svěží bučina.

Půdotvorný substrát flyšový pískovec, v hloubce 5 - 0 cm poloha ostrohranných balvanů pískovce (periglaciální svahové pohyby, soliflukce). Mírný sklon terénu (6 – 10°), 620 m n. m., expozice S.

#### **Podzol kambický slabě oglejený**

Mocnost (cm)	Půdní horizont	Charakteristika prostředí
0-3	L(F)	jehličnatý opad jen mírně rozložený
3-10	H	černá bezstrukturní, suchá měl, prokořenělá, neoddělitelná od Ahe, do hloubky nárůst minerálního podílu, na bázi zřetelná vybělená zrna křemene, v hor. velké množství (cca 50 %) ostrohranných balvanů (5 – 30 cm), nerozlišitelné kapsovitě hranice horizontů
10-12	Ahe	šedý, hlinitopísčité, s vybělenými povrchy hrubého skeletu
12-20	Bvs	okrově hnědý, hlinitý, mírně vlhký, prokořenělý, balvanitý skelet 30 – 50 %
20-45	Bs	rezavě hnědý, hlinitopísčité, vlhký, skelet drobný do 20 %, prokořenělý
45-80	Bsg	hnědý do spodiny šedohnědý, hlinitý vlhký, skelet do 50 %, náznaky oglejení

#### **4.3. Metodika výběru výzkumných lokalit a jejich stabilizace v terénu**

Výzkumné plochy byly vybrány za pomoci pracovníků ÚHÚL ve Frýdku-Místku (Ing. Žiarník) na základě typologické revize stávajících údajů v hospodářské knize a typologických mapách. Výběr lokalit sleduje cíl postihnout maximální spektrum mezo-klimatických podmínek masivu Smrku a Kněhyně v Moravskoslezských Beskydech. Navržená síť výzkumných lokalit zachycuje výškový gradient 540–1220 m n. m., trofické rozpětí od půd oligobazických (kryptopodzoly a podzoly) až po půdy eumezobazické (kambizemě, rankery), hydrické rozpětí od půd bez hydromorfního ovlivnění až po půdy trvale ovlivněné vodou (organozemě), různé geomorfologické tvary a úplné spektrum expozic terénu, dva mikroekologicky výrazně odlišné porostní typy (bukový a smrkový) ve věkovém rozpětí (6–259 let). Celkem osm lokalit je součástí přírodních rezervací (plocha 7, 34, 32, 31), patří do PR Smrk, plocha 6 patří do PR Studenčany, plocha 12 patří do PR Bučací potok a plocha 20, 19 patří do PR Podolánky.

Výzkumné plochy byly zakládány ve dvou etapách. 27. 04. 2007 bylo vybráno 38 ploch a umístěno 15 klimatických stanic, 10. 04. 2008 bylo rozšířeno měření klimatickými stanicemi na dalších 15 ploch. Při zakládání výzkumných ploch byla příslušná plocha zaměřena pomocí GPS pro dlouhodobý charakter výzkumu (podrobný přehled viz publikace I.). Síť výzkumných ploch se rozkládá na ploše 58 km<sup>2</sup>, šířka je 8,45 km a délka 6,85 km. Průměrná vzdálenost mezi plochami je 1,2 km.

#### **4.4. Metodika sběru epigeické a půdní fauny**

Sběr epigeické fauny byl založen na standardní metodě formalinových zemních pastí. Zemní past tvoří sklenice o objemu 4 litrů s průměrem hrdla 93 mm. Sklenice byla zakopána v zemi s úrovní terénu tak, aby její okraj byl lehce překonatelný pro epigeickou faunu. Jako smrtící konzervační medium byl použit 4% roztok formaldehydu s detergentem (JAR) a past byla krytá plechovou stříškou, omezující vstup dešťovým srážkám a nečistotám. Na každé lokalitě bylo nainstalováno 5 pastí, uspořádaných liniově s odstupy 10 m. Založení pastí se uskutečnilo na začátku vegetačního období, zpravidla 1.5. Kontrola pastí se realizovala v intervalu 6 týdnů (jarní 15.6., letní 30.7., pozdně letní 15.9. a podzimní 30.10.). V každém termínu odběru byl získán směsný vzorek ze všech pastí za porost, který byl konzervován v 75% etanolu. Následovalo roztřídění odchyty v laboratorních podmínkách a determinace. Ze zájmových skupin zoocenózy byly tříděny tyto: Araneida, Opilionoidea, Oribatoidea, Chilopoda, Diplopoda, Oniscidae, Lumbricidae, Carabidae, Elateridae, Staphylinidae, Curculionoidea, Silphidae, Catopidae. Souběžně byli určeni drobní zemní obratlovci (necílová složka), z nichž někteří mají vazbu k půdní a epigeické fauně.

Zástupci Chilopoda, Diplopoda a Isopoda: Oniscidea byli za období 2007 – 2009 determinováni ve spolupráci s RNDr. Mgr. Ivanem Hadrianem Tufem, Ph.D., a Mgr. Janou Tufovou, Ph.D. (Univerzita Palackého Olomouc), kde byl autor disertační práce proškolen pro samostatnou determinaci. Ostatní sběry byly determinovány samostatně autorem s případnými konzultacemi a revizemi.

Jako doplňující metoda sběru půdní fauny byla použita extrakce půdních bezobratlých metodou tullgrenů, kdy půdní vzorky odebrané ze sond 25×25×15 cm (4 sondy na porost, termín odběru aspekt jarní přelom V/VI a podzimní IX/X) byly uloženy v laboratorních podmínkách do tullgrenů a postupným vysoušením zeminy teplem žárovky (60 W) byla zachycena živočišná složka (Chilopoda, Symphyla, Lumbricidae,

Elateridae (larvy) s determinací na úrovni druhu, Symphyla, Protura, Diplura, Collembola, Oribatoidea, Staphylinidae zůstala kvantifikace početního zastoupení pro nereálnost determinace). Tullgrenův přístroj (Novák et al. 1969), přepracováno Tuf, Tvardík (2005) a upraveno Kula et al. (2004) pro potřeby řešeného projektu – selekční metoda.

Při třídění Chilpoda, Diplopoda a Isopoda: Oniscidea bylo rozlišeno značné množství juvenilních stadií s obtížnou a nepřesnou determinací. Proto nebyla tato metoda dále vyhodnocována.

#### **4.5. Metodika pedologického průzkumu**

K pedologickému průzkumu bylo užito půdních sond. Na každém stanovišti byla vykopána půdní sonda umožňující celkový popis půdního profilu, stanovení hloubky jednotlivých horizontů a odběr vzorků (IX/2009) na chemickou analýzu jednotlivých půdních horizontů dle Taxonomického klasifikačního systému půd České republiky (Němeček et al. 2001). Sondy byly situovány přibližně ve středu výzkumné plochy v dostatečné vzdálenosti od stromu. Půdní sondy byly kopány manuálně. Samotný popis půdních profilů a odběr vzorků provedl doc. Mgr. Aleš Bajer, Ph.D. (Mendelova univerzita v Brně). Chemická analýza půdních vzorků byla zpracována firmou Laboratoř MORAVA, s.r.o. Na základě výsledků analýz byly vybrány některé charakteristiky a sestaveny do širších skupin tak, aby jich bylo možno využít k vysvětlení vazby na epigeickou faunu. Vzhledem ke komplexnosti půdního chemismu byly vlastní výstupy analýz rozděleny do následujících skupin:

**Výměnné prvky (e)** – při chemické analýze byla stanovena koncentrace výměnného protonu  $H^+$ ,  $Al^+$  (metodou titrační potenciometrie), výměnné prvky  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$  (podle ČSN ISO 11260).

Obsah výměnných prvků jsme pro zjednodušení analýz CANOCO zařadili do kategorií. Výměnné prvky obsažené v půdním prostředí, které se vyskytují na koloidech, jsou dobře přístupné pro rostliny. Při analýze jsme je označili jako výměnný proton hliníku (eH), výměnný vápník (eCa), výměnný hořčík (eMg), výměnný draslík (eK), výměnný sodík (eNa)  $cmol^+.kg^{-1}$ .

**Přístupné prvky (pa)** – tvoří skupinu prvků, které jsou rozpustné v půdním roztoku a bezprostředně obklopují kořeny rostlin a těla živočichů. Stanoveny byly pomocí metody Mehlich III extrakcí výluhu z půdního roztoku. Skupinu tvoří přístupný oxid

fosforu (paP), přístupný oxid draslíku (paK), přístupný oxid vápníku (paCa), přístupný oxid hořčíku (paMg) mg.kg<sup>-1</sup>.

**Vázané prvky (t)** – jedná se o prvky obsažené v chemických vazbách, jsou těžko dostupné pro rostliny a živočichy, jejich uvolnění je často podmíněné procesem zvětrávání. Obsah těchto prvků byl stanoven metodou rozkladu ve 20 % HCl. Skupinu tvoří vázaný oxid železa (tFe), vázaný oxid hliníku (tAl), vázaný oxid manganu (tMn), obsah oxidovaných forem vápníku (tCa), obsah vázaných oxidů hořčíku (tMg), obsah vázaných oxidů draslíku (tK), vázaný oxid fosforu (tP) mg.kg<sup>-1</sup>.

Vliv jednotlivých skupin byl popsán pomocí komplexních statistických analýz a posléze publikován (Publikace V.). Kromě chemických vlastností půdy byly stanoveny také fyzikální vlastnosti. Z důvodu publikační činnosti proběhlo určení pomocí mezinárodně uznávaných klasifikací. Půdní typ na výzkumných lokalitách byl stanoven na základě skladby půdního horizontu metodikou podle WRB 2006 (The World Reference Base for Soil Resources), kde pro jednotlivé lokality byl určujícím proces probíhající v půdním profilu. Pro analytické zpracování bylo vymezeno osm hlavních půdních typů (Leptosols (RN); haplic Podzols (PZ); Stagnosols (PG); Histosols (OR); entic Podzols (KP); Cambisols (KA); Gleysols (GL); Fluvisols (FL)), které byly pomocí statistických metod porovnávány ve vztahu k jednotlivým druhům Myriapoda a Isopoda vyskytujícím se na výzkumných lokalitách. Souběžně byla stanovena forma půdního humusu (mor, moder, mull, tangl), kde byl pomocí statistických analýz stanoven vztah k epigeické fauně (Publikace IV.).

#### **4.6. Metodika měření klimatických faktorů**

Klimatické podmínky byly měřeny pomocí klimatických stanic MeteoUNI (dodáno společností Amet Velké Bílovice) sestavených z propojených dvou čidel teploty půdy, dvou čidel vlhkosti a jednoho čidla teploty vzduchu. K měření teploty vzduchu bylo použito teplotní čidlo PRO V2 uložené ve stínítku a instalované na kmen stromu ze zastíněné strany do výšky 2 m od povrchu země ve vzdálenosti 20 cm od kmene stromu. K měření půdní teploty byla použita dvě čidla, která byla vložena po odkrytí půdního profilu do středu sledované půdní vrstvy (Ah – horizont 1 a B – horizont 2), čidla byla zakryta prosátou zeminou, aby se vyloučil kontakt s kameny. Čidla byla napojena na dataloger MetoUNI, kde se ukládala měření v hodinovém intervalu. Půdní vlhkost byla stanovena měřením odporu půdy čidlem Virrib připojeným k datalogeru Virriblogger (Amet Velké Bílovice) meteorologické stanice. Jedno vlhkostní čidlo bylo umístěno

uprostřed humusové svrchní vrstvy půdy (horizont Ah) a druhé uprostřed vrstvy půdy (horizont B). Měření umožňuje stanovit 5 – 50 % objemové půdní vlhkosti, hodnoty byly snímány do datalogeru v 60 minutovém intervalu (4/2007–10/2014). Objemová půdní vlhkost představuje poměr obsahu vody v půdě k celkovému objemu měřené půdy. Průměrné denní hodnoty byly stanoveny jako aritmetické průměry ze souboru 24 měření v průběhu jednoho dne pro měřené veličiny. Celkově bylo instalováno 30 klimatických stanic z 38 výzkumných ploch. Instalace proběhla ve dvou etapách. V první etapě 27. 04. 2007 bylo umístěno 15 klimatických stanic. Ve druhé etapě 10. 04. 2008 bylo rozšířeno měření klimatických faktorů stanicemi na dalších 15 ploch. Vzhledem k potížím vzniklým během měření a udržení provozu tolika klimatických stanic došlo k několika výpadkům. Vzhledem k neustálému měření byly k publikaci vybrány pouze čtyři výzkumné plochy s nejucelenějšími daty (Publikace VI.).

#### **4.7. Fytocenologický průzkum**

Vzhledem k potřebě přesného určení fytocenózy byl na výzkumných plochách vykonán fytocenologický průzkum. V období 8. – 12. 07. 2010 byl na každé výzkumné ploše vykonán fytocenologický snímek se zaměřením na dřevinné a bylinné patro. Fytocenologický průzkum vykonal Ing. Michal Friedl (Mendelova univerzita v Brně). Byly určeny dominantní druhy a jejich pokryvnost jak v dřevinném patře, tak také v bylinném patře. Samotné výsledky byly zapsány v přehledné tabulce a jejich publikační využití bylo zapracováno do (Publikace VII.).

#### **4.8. Statistické zpracování**

Pro účely statistického zpracování byla samotná data získaná terénním šetřením sestavena do jedné databáze, kde na jedné straně byla matice nezávislých proměnných (v našem případě environmentální data) a na druhé straně matice závislých proměnných (v našem případě zastoupení druhů ve vzorcích). V prvním kroku byla provedena základní statistika určení postavení dat, zjištění středních hodnot rozptylu a určení odlehlých bodů. Vzhledem k velkému počtu environmentálních faktorů byla snaha určit faktory, které ovlivňují závislé proměnné s dostatečnou silou, což posloužilo k rozhodnutí o důležitosti environmentálních faktorů v dalších analýzách. Jako základní statistika bylo použito nemetrické mnohorozměrné škálování (nonmetric Multidimensional scaling, NMDS), podle statistického programu NCSS 10 Trial 7 day Verzion. NMDS analýzou se hledaly základní trendy a gradienty, u kterých je

soustředěno nejvíce variability, a zjišťovalo se, kolik ordinačních os vysvětluje minimálně 70 % proměnlivosti uspořádání proměnných v prostředí. Minimální stresová hodnota v NMDS a také minimální změna stresu mezi INTERACT byla nastavena na 0,00001. Byly použity pouze první tři osy (dimenze). Následně pomocí analýzy hlavních komponent (principal component analysis, PCA) byla sestavena matice korelačního koeficientu významných environmentálních faktorů.

K testování vlivu dvou souborů proměnných, kde na jedné straně stojí matice nezávislých proměnných dat, v našem případě environmentální proměnné (cov\_herb, EMG, ECA, FTG, Cala.aru, skel, SI\_inc, FVG, Expo), a na straně druhé matice závislých proměnných, v našem případě zastoupení druhů ve vzorcích. Byla použita canonical correspondence analysis CCA, která aplikuje mnohazměrnou regresi k určení lineární kombinace proměnných, která nejlépe vysvětluje inerci ordinačního skóre získaného ze závislých proměnných. K testování hypotéz v CCA byla použita síla permutačního testu. Samotná statistika byla provedena v softwaru CANOCO for Windows 4.5, který poskytuje možnost analýzy síly testu s použitím Monte – Carlo permutačního testu s 999 opakováními. K testování síly testu u jednotlivých environmentálních proměnných byla použita funkce „forward selection“, kde první skutečná cena je srovnávána s příslušnou statistikou získanou z náhodných permutací dat. Výsledkem CCA je ordinační diagram, ve kterém jsou druhy i vzorky znázorněny body.

V posledním kroku bylo cílem analýzy zjistit rozptyl odchycených druhů podle toho, na jakém souboru lesních typů se nacházely. Jelikož pomocí předchozích metod mnohonásobného porovnávání byl faktor souboru lesních typů FTG označen jako významný, byla použita jednofaktorová ANOVA, pro vyslovení hypotézy o nerovnosti rozptylu u jednotlivých měřených lokalit v softwaru STATISTICA 10.0. Vzhledem k statisticky významnému rozptylu bylo provedeno mnohonásobné srovnání homogenních skupin Tuckeyho HSD testem a následně i porovnáním hladiny významnosti. Výsledkem toho bylo srovnání variability rozptylu u jednotlivých FTG a určení statisticky významného.

Pro stanovení indikačních hodnot pro jednotlivé druhy centipedes, millipedes, isopods byla použita metoda IndVal (*Indicator value*) podle Dufrene a Legendre (1997). Tato metoda je postavená na kombinaci relativní abundance jednotlivých druhů s relativními frekvencemi výskytu na různých stanovištích. Index dosahuje svého maxima (100 %),

když se všichni jedinci daného druhu vyskytují ve všech plochách daného souboru lesního typu. Indikační hodnotu vypočteme kombinací specifity  $A_{ij}$  s mírou fidelity  $B_{ij}$ .

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

$$A_{ij} = N_{\text{individuals}_{ij}} / N_{\text{individuals}_i}$$

kde  $N_{\text{individuals}_{ij}}$  je průměrný počet jedinců druhu  $i$  ze všech ploch SLT  $j$ , zatímco  $N_{\text{individuals}_i}$  je suma průměrných počtů jedinců druhu  $i$  na všech SLT.

$$B_{ij} = N_{\text{sites}_{ij}} / N_{\text{sites}_j}$$

kde  $N_{\text{sites}_{ij}}$  je počet ploch SLT  $j$ , ve kterých je druh  $i$  přítomen, zatímco  $N_{\text{sites}_j}$  je celkový počet ploch SLT.

## 5. Získané výsledky a diskuse

### 5.1. Faunistický přehled odchycených druhů

Celkově v průběhu sledovaného období 2007–2013 bylo odchyceno 14 851 ex., které byly zastoupeny 39 druhy, z nichž Chilopoda tvořila 19 druhů, Diplopoda 12 druhů a Isopoda 8 druhů. Průměrné zastoupení jedinců v odebraném vzorku na jednu lokalitu představovalo 62,2 ex./zemní past, co po přepočtu na plochu 1 m<sup>2</sup> představuje odchyt 220,1 ex.m<sup>-2</sup>. Taková denzita populace je vzhledem na horské polohy (530–1220 m n. m.) dobře porovnatelná s poznatky z oblasti Slovinských výzkumů, kde průměrná denzita dosahovala 307,4 ex.m<sup>-2</sup> (Grgič et Kos 2005). Zjištěna struktura populace byla také porovnána s dosavadními poznatky z prostředí Moravsko-Slezských Beskyd, kde byly zjištěné práce od autorů Vališ (1904), Folkmanová (1954), Wytwer a Tajovský (2005). Porovnáním výsledků jednotlivých prací byla potvrzena struktura populace a došlo o rozšíření poznatků o druhy *Lithobius biunguiculatus* Loksa a *Lithobius pelidnus* Haase, které nebyly dosud pozorovány v oblasti Beskyd (Publikace I.). Také byl potvrzen výskyt 12 druhů Chilopoda a 4 druhy Isopoda s reliktními ekologickými nároky na svůj výskyt, což vytváří předpoklad na možnost jejich užití při identifikaci konkrétních ekologických podmínek prostředí.

### 5.2. Zjištění vlivu smrkových a bukových porostů

V průběhu výzkumu byla využita možnost porovnání vlivu smrkových a bukových porostů na velikost a rozmanitost populace vybraných druhů, vzhledem k dosavadním poznatkům od několika autorů (Schaefer a Schauer mann 1990, Scheu et al. 2003, Grgič a Kos 2003), kteří poukazují na zvýšenou abundanci v bukových porostech. Základním problémem je porovnání relativně stejných přírodních podmínek s různým mateřským porostem dřevin. Proto v naší síti lokalit bylo vybráno 5 párů lokalit, které se svými přírodními podmínkami velice podobaly, ale rostly na nich rozdílné porosty dřevin. Nejlepším příkladem jsou lokality 25 a 26, kde se nachází svahová lesní cesta rozdělující porost buku a smrku ve věku 90 let. Ze získaných výsledků po statistickém zpracování a porovnání byly zjištěny rozdíly ve složení populace. Porosty s výskytem smrku byly častěji a ve zvýšené míře obsazovány druhy Chilopoda. U populace druhů Diplopoda a Isopoda byla zaznamenána preference výskytu populace v bukových porostech (Publikace II.). Výsledky jsou srovnatelné s ekologickými poznatky



jednotlivých skupin sledovaných druhů. Chilopoda, jako predátoři, jsou ovlivněna nepřímo vegetací, která působí na strukturu a kvalitu opadu humusu, ale i podrostu, kde se rozvíjejí jejich potencionální zdroje potravy (Albert 1982, Fründ 1983, Poser 1990, Schäfer a Schauer mann 1990, Schatzmann 1990). Diplopoda a Isopoda se živí převážně odumřelým rostlinným materiálem a rozkládající se organickou hmotou prostoupenou bakteriemi, plísněmi a houbovými hyfami (Hopkin a Read 1992, Frankenberger 1959).

### **5.3. Chilopoda v korunové a kmenové fauně**

V rámci výzkumu korunové fauny v porostech náhradních dřevin v imisních oblastech Krušných hor a Děčínské vrchoviny byla disertační práce rozšířena o poznání arborikolních druhů stonožek. Získané druhy byly zachyceny při sklepávání mladších porostů borovice lesní, modřínu opadavého, smrku pichlavého, smrku ztepilého a také buku lesního. Cílem publikace bylo rozšířit poznání populace stonožek o arborikolní druhy. Šetřením byl potvrzen překvapivě hojný výskyt epigeické fauny na porostech náhradních dřevin ve věku od 15 do 30 let, která se nacházela na kmenech nebo v korunové části stromu. Po statistické analýze byly identifikovány druhy stonožek, které potvrdily arborikolní charakter (Publikace III.). Nejvýznamnějšími druhy byly *Lithobius pelidnus* Haase, *Lithobius borealis* Meinert a *Lithobius cyrtopus* Latzel, jejich výskyt byl potvrzen v průběhu celého vegetačního období. Z dosavadních poznatků víme, že některé druhy stonožek zimují v štěrbinách kůry (Spitzer et al. 2010), ale pravděpodobnější výskyt na kmenech je z důvodu vyhledávání potravy (Spelda 2005).

### **5.4. Půdní typ, forma nadložního humusu, nadmořská výška a jejich vliv na populaci**

Pomocí podrobného pedologického průzkumu bylo určeno 8 půdních typů. Nejčastěji se vyskytla kambizem (Cambisols), za ní následoval ranker (Leptosols), což svědčí o značně kamenitém typu půd s vysokým obsahem skeletu a balvanů vyčnívajících až na povrch půdy. Z celkového pohledu byl výskyt sledovaných skupin rozdělen podle kvality opadu. Diplopoda preferovala výskyt na cambisols s bukovým opadem bohatým na výskyt bakterií a hub, což také koresponduje se zjištěním z Publikace II. Chilopoda se hojně vyskytovala ve fluvizemi (Fluvisols) a oglejené půdě (Gleysols), předpokládáme, že to souvisí s dostatkem nadložního humusu, s čímž je spojen dostatek prostoru a potravy (Jabin 2008). Avšak některé významné druhy stonožek se hojně

vyskytovaly také na rankru (Leptosols), což také souviselo s dostatkem potravy a prostoru pro aktivní lov v půdních horizontech (Publikace IV.). Naproti tomu Isopoda v rámci celého výzkumu prokazují značnou závislost na vlhkosti, což potvrzuje také vázanost na půdní typ organozem (Hystosols), také v návaznosti na výskyt ve formách nadložního humusu, kde se mnohonožky často vyskytovaly ve formě moder, stonožky ve formě mor a stejnonožci ve formě tangl. Složení populace ve formě humusu tangl přináší nové poznatky, neboť dosud nebyla popsána v žádné práci. Z pohledu výškového rozložení byly lokality seskupeny do lesních vegetačních stupňů (4. – 7. LVS). Při porovnání výskytu sledovaných skupin epigeické fauny byla Isopoda rozložena svým výskytem v nižších vegetační stupních 4. – 5. LVS. Chilopoda svůj výskyt soustředila do středních až vyšších poloh 5. – 7. LVS a Diplopoda byla zaměřena na vyšší polohy 6. – 7. LVS. Takovéto výškové rozložení koresponduje s dosavadními poznatky, kde z Diplopoda řád Polydesmida vystupuje až do značných nadmořských výšek (Read a Golovatch 1994, Kime a Golovatch 2000, Mikhaljova 2000).

#### **5.5. Vliv skeletu, zrnitosti, půdní vlhkosti, půdní reakce a chemických vlastností půdy na velikost a rozmanitost populace**

Skeletnatost a zrnitost půdy byla určena na 16 lokalitách jako jeden z významných ekologických faktorů. Vyznačovala se zastoupením velikých kamenů (balvanů) v celém půdním profilu v rozsahu 44,0–64,9 % (průměr  $52,3 \pm 5,8$  %). Jednotlivé balvany vystupující nad půdní povrch tvoří bariéru pro růst bylinné vegetace. Tyto lokality byly zpravidla bez podrostu, maximálně s mechovým a lišejníkovým společenstvem na balvanech.

Takovéto podmínky překvapivě vyhovovaly některým zástupcům isopoda, druhy jako *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt) a *Protracheoniscus politus* (C. Koch) nacházely vhodné podmínky pod velikými balvany. Oproti tomu zástupci *Ligidium hypnorum* (Cuvier) a *Hyloniscus riparius* C. L. Koch vykazovali pozitivní vztah k půdám s nízkým obsahem skeletu a spíše osídlovali půdy s vysokým obsahem jílovitých částic.

Zástupci mnohonožek prokázali pozitivní korelaci s faktorem nižšího výskytu skeletu a zrnitosti ve frakci 0,01–0,05 mm (hrubý prach = gross dust), pomocí první osy ordinačního diagramu bylo vysvětleno až 90,4 % případů. Z druhů, které se vyskytovaly na lokalitách s vyšším obsahem jemných částic, to byly *Glomeris connexa* C. L. Koch,

*Glomeris pustulata* Latreille. Oproti tomu podstatná část druhů, z kterých *Leptoiulus trilobatus* (Verhoeff) a *Polydesmus complanatus* (Linnaeus) byly dominantní, vykazuje pozitivní vztah k lokalitám s vyšším podílem pískových částic. Zástupci stonožek vykazovali významnou korelaci s faktorem hrubších částic, od jemného písku až po hrubé balvany, druhy *Lithobius erythrocephalus* C. L. Koch, *Lithobius austriacus* Verhoeff a *Lithobius nodulipes* Latzel mají pozitivní vztah k lokalitám s vyšším obsahem skeletu.

## 5.6. Vlhkost půdy

Vzhledem k nedostatečně vyvinuté epikutikule a epidermis jsou Isopoda, Diplopoda a Chilopoda považována za druhy náchylné na vysychání (Curry 1974, Lewis 1981, Blower 1951, Mead-Briggs 1956). I když v poslední době několik prací přináší výsledky, že bezprostřední vlhkost není tak limitujícím faktorem pro tyto druhy (Blackburn et al. 2002, Jabin 2008, Lazorík a Kula 2015). Na druhé straně jsou však druhy, které jsou silně vázány na prostředí s vysokou hladinou spodní vody. V průběhu naší práce jsme zjistili, že druhy *Ligidium hypnorum* (Cuvier) a *Hyloniscus riparius* C. L. Koch jsou tak závislé na zamokřené půdy, že byly pomocí metody *Indicator value* (Dufrene a Legendre 1997) označeny jako bioindikátory zamokřených půd s rašelinným procesem. Oproti tomu existují druhy jako *Oniscus asellus* Linnaeus a *Porcellio scaber* Latreille, které se vyskytly na vysychavých stanovištích s vysokým obsahem skeletu. Protože se jich nepodařilo odchytnout dostatečné množství, je jejich bioindikační výsledek mírně zkreslený (Publikace VII.). Jedná se o synantropní druhy, u nichž předpokládáme zavlečení na lokality v blízkosti lidských obydlí.

## 5.7. Reakce půdy

Vliv půdní reakce se z počátku zdál být významným faktorem, ale po analýze jednotlivých dat se ukázalo, že hodnota pH/KCl je statisticky nevýznamná (Publikace V.). K podobnému závěru dospěli také autoři Blackburn et al. (2002) a Jabin (2008), i když s konstatováním, že je nedostatek poznatků o reakci půdních druhů na pH. Nezávisle na těchto poznatcích byl v naší práci zjišťován také vliv na obsah makroprvků Ca, Mg, které se ukázaly jako velice významné. Ačkoli se areál našeho výzkumu rozprostírá na flyšových pískovcích s převahou kyselých půd, je potřebné rozšířit poznatky o vápencové oblasti. Takovéto rozšíření výzkumu by mohlo přinést

druhy vázané na obsah Ca, Mg v půdě, což by významně rozšířilo bioindikační schopnost fauny.

### 5.8. Chemické vlastnosti půdy

Dosažené výsledky o chemických vlastnostech půdy ukazují na preferenci Chilopoda a Isopoda v lokalitách se zvýšeným obsahem vápníku a hořčíku, především druhy *Lithobius pelidnus* Haase, *Lithobius biunguitulatus* Loksa a *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt), *Oniscus asellus* Linnaeus, na rozdíl od Diplopoda. Zvýšený obsah vápníku a hořčíku příznivě ovlivňuje výskyt článkonožců s vápenatým exoskeletem (Hopkin a Read 1992, Jabin 2008). Dostupnost živin také hrála svoji roli, u diplopoda byla negativní reakce na přístupný Ca, Mg ve formě protonů prvků, které jsou dostupnější pro rostliny, jako výměnné ve formě oxidované. Také u chipoloda byla reakce na obsah jednotlivých prvků velice vyrovnaná, i když *Strigamia acuminata* (Leach) a *Lithobius microps* Meinert prokazovaly pozitivní vztah na výskyt Ca, Mg. U isopoda byla reakce už jednoznačnější, druhy *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt), *Oniscus asellus* Linnaeus a *Porcellio scaber* Latreille velice dobře reagovaly na zvýšený obsah Ca, Mg ve všech formách. Avšak druhy *Ligidium hypnorum* (Cuvier) a *Hyloniscus riparius* C. L. Koch potvrdily vztah k těžkým půdám svojí vázaností na Al, Na. Oproti tomu *Protracheoniscus politus* (C. Koch) reagoval velice dobře na zvýšený obsah K ve všech formách (Publikace V.). Tak podrobný přehled nebyl doposud popsán, proto nebylo možno srovnat získané poznatky s prací jiných autorů.

### 5.9. Vliv klimatických faktorů

Pomocí sítě klimatických meteorologických stanic v počtu 30 byly sledovány klimatické faktory, jako teplota vzduchu, teplota půdy, vlhkost půdy. Vzhledem ke značnému rozsahu získaných dat byly publikačně zpracovány čtyři lokality, které obsahovaly nejucelenější data. Přestože byl nepřetržitý provoz takovéto sítě meteorologických stanic složitá, docházelo k jednotlivým výpadkům měření a zaznamenávání průběhu sledovaných klimatických faktorů. Navzdory tomu se podařilo sestavit data zobrazující průběh teplot a vlhkostí ve zkoumaném regionu za posledních osm let. Podrobným zkoumáním byl zjištěn nárůst teploty vzduchu o +2,9 °C a snížení půdní vlhkosti průměrně o 4,49 %. Z pohledu vlivu počasí na populaci sledovaných druhů nebyl potvrzen statisticky významný vliv průběhu počasí na

dynamiku populace, což potvrzují také Blackburn et al. (2002) a Jabin (2008). Při zjišťování vlivu sezónního aspektu průběhu počasí na dynamiku populace byly zjištěny statisticky významné rozdíly v letním období (Summer). Samotný rozptyl výskytu druhů byl analyzován pomocí jednofaktorové ANOVA-y, kde hypotéza o shodnosti rozptylu středních hodnot základního souborů byla zamítnuta s testovým kritériem  $F = 6,3675$  a  $p = 0,00051$ . Pomocí Tukey HSD testu mnohonásobného porovnání byl statisticky významný rozdíl u skupiny Summer. Vzhledem k potřebě zjištění diverzity byl vypočten Shannon – Weaver index pro populaci odchycenou v Spring  $SW = 1,853$ ; Summer  $SW = 2,213$ ; Late summer  $SW = 2,113$ ; Autumn  $SW = 2,156$ . Zvyšující se teplota měla dopad na faunu, byl zjištěn nárůst synantropního druhu *Porcelio scaber*. Oproti tomu byl zaznamenán úbytek a migrace do výše položených míst u horských druhů stonožek *Lithobius tenebrosus*, *Lithobius borealis* (Publikace VI.).

#### **5.10. Zjištění bioindikační schopnosti stonožek, mnohonožek a stejnonožců v lesním prostředí**

K vysvětlení podobnosti environmentálních proměnných prostředí bylo užito nemetrické mnohorozměrné škálování (nonmetric multidimensional scaling – NMDS). Základem analýzy bylo nalézt smysluplné dimenze, pomocí kterých je možné vysvětlit podobnost mezi environmentálními proměnnými. Byly nalezeny gradienty umožňující diferencovat větší část proměnných prostředí. Dimenze 1 představuje gradient fytoecologického složení lesního porostu a bylinného podrostu. Dimenze 2 byla určena jako gradient půdního prostředí, kde je důležitá výška nadložního humusu, vlhkost půdy, s vyšším obsahem přístupného Ca a zásaditějším pH/KCl. Oproti tomu gradient klesal u půd s vyšším obsahem skeletu, s horším teplotním a vlhkostním režimem. Dimenze 3 vysvětluje gradient výživy půdy, kde hlavním ukazatelem je obsah uhlíku a dusíku v půdě. Následně byla pomocí kanonické korespondenční analýzy (CCA) určena významnost environmentálních proměnných, proměnné podílející se významně na struktuře živočišných společenstev byly stanovené výběrem „forward selection“, nejdůležitější byly proměnné pokryvnost bylinné etáže, obsah vápníku a hořčíku a gradient souborů lesních typů. Následně byl pomocí jednofaktorové ANOVA-y stanoven celkový rozptyl samotných druhů v jednotlivých skupinách souborů lesních typů. Naše výzkumné plochy představují 12 souborů lesních typů, pro každý soubor lesních typů byl analyzován konkrétní rozptyl populace. Statisticky významný rozptyl byl prokázán u *Lithobius erythrocephalus* C. L. Koch ( $F = 1,83$ ;  $p = 0,04$ ), pro který byl

podle testu mnohonásobného porovnání významný soubor lesních typů 4S (svěží bučina). Dalším významným druhem byl *Lithodius forficatus* Linnaeus, který prokázal významný rozptyl nejen pro skupinu 6S (svěží smrková bučina), ale byl také podle výsledků mnohonásobného porovnání přiřazen k homogenní skupině 4S a 5S. Také druh *Lithobius mutabilis* L. Koch se vyskytoval ve zvýšené míře v lokalitách se souborem lesních typů 6S. Ze zástupců mnohonožek byl významný *Glomeris connexa* C. L. Koch na 5B (bohatá jedlová bučina) a *Polydesmus complanatus* (Linnaeus) na 7S (svěží buková smrčina). Ze zástupců stejnonožců byl statisticky významný druh *Protracheoniscus politus* (C. Koch) na 5Y (skeletová jedlová bučina).

Tato metoda nezohledňuje celkovou variabilitu populace a je zaměřená pouze na velikost rozptylu, což zvýrazňuje význam střední hodnoty pouze v případě, že se vyskytuje dostatečný počet jedinců stejného druhu ve stejné lokalitě. Proto byla indikační analýza rozšířená o metodu indikační hodnoty (Indicator value IndVal) dle Dufrene a Legendre (1997), pro kterou je základním kritériem výběr bioindikačních druhů postavený na dostatečně častém výskytu v daném biotopu, ale s dosti vzácným výskytem v jiných biotopech. Nejvýznamnějším bioindikačním druhem byl *Lithobius nodulipes* Latzel na biotopu 5L (horská jasanová olšina). Tento druh byl rozšířen na deseti biotopech v celkovém počtu 176 ex., ale s nejvýznamnější indikační hodnotou na 5L (Publikace VII.). Tento druh je řazen mezi reliktní druhy žijící v jihovýchodní Evropě (Dobroruka 1959, Folkmanová et al. 1955). V naší práci dosáhl významné indikační hodnoty v biotopu horských potoků a pramenišť, což také potvrzuje Spitzer et al. (2007). Taktéž byl nalezen ve vrcholových partiích smrkových porostů na Šumavě (Tajovský 2001c). Dalším významným druhem byl *Lithobius pelidnus* Haase s indikační hodnotou na biotopu 5Y – skeletová jedlová bučina. Tento druh je vzácně nalézána stonožka v podhorských a horských polohách střední Evropy (Laška 2004, Tuf et Tufová 2008). S oblibou se zdržuje na kmenech a větvích stromů s členitou kůrou, kde byl nalezen v zimě, ale také ve vegetačním období (Summers et Uetz 1979, Spitzer et al. 2010, Kula et Lazorík 2014). Rovněž zajímavá je reakce *Glomeris connexa*, která se přiklání k vektorům 5A a 5B, což jsou střední polohy s bohatou výživou půdy a dostatkem vlhkosti v blízkosti horských potoků a údolí. Dalším zajímavým druhem je *Polyzonium germanicum*, který prokázal náklonnost k výskytu na souboru lesních typů 5L – horská jasanová olšina s výskytem *Alnus incana*. Tyto lokality jsou charakteristické záplavami z jarního tání a letních průtrží mračen. Ke stejným výsledkům dospěli ve své práci Sterzynska et al. (2015), pomocí zemních pastí odchytili

35 jedinců ve střední poloze s *Caltho-Alnetum* azonal forest stand s přírodním hydrickým režimem. Také zvýšený výskyt byl zaznamenán na zamokřené olšině v Białowieża Primeval Forest in Poland (Tajovský et Witwer 2009). Ze zástupců stejnonožců potvrdili svoji přítomnost *Hyloniscus riparius* C. L. Koch a *Ligidium hypnorum* (Cuvier) na rašelinných lokalitách 6O/R. Zajímavý výsledek poskytl druh *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt), který svými životními nároky na vlhkost obsazoval SLT 4Y, což jsou kamenitá vysychavá stanoviště. Ze zástupců mnohonožek potvrdil svoji vázanost na vyšší nadmořské polohy druh *Polydesmus complanatus* (Linnaeus), příbuzný druh *Polydesmus denticulatus* C. L. Koch se vyskytoval pouze na 7S (svěží buková smrčina), kde převládá vyšší vzdušná vlhkost. Tyto lokality jsou charakteristické výskytem mocné vrstvy nerozložené organické hmoty, na níž roste *Vaccinium myrtilus* a dlouhodobě se vyskytuje sněhová pokrývka. Tajovský (1997) našel tento druh v subalpinském pásmu v Hrubém Jeseníku Mts. ve výšce 1230–1290 m n.m.. Stašiov et al. (2012) jej uvádí pod porostem *Alnus incana* (L.) Moench, což je dřevina vlhkých horských žlabů.

## 6. Publikace I.

*Acta Mus. Beskid.*, 3: 55-63, 2011  
ISSN 1803-960X

### Contribution to the knowledge of centipedes and terrestrial isopods of the Moravskoslezské Beskydy Mts.

#### Příspěvek k poznání stonožek a suchozemských stejnonožců v Moravskoslezských Beskydech

Emanuel KULA<sup>1)</sup>, Martin LAZORÍK<sup>1)\*</sup> & Ivan Hadrián TUF<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Forest Protection and Wildlife Management, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University, Zemědělská 3, CZ-613 00 Brno,  
e-mails: kula@mendelu.cz, lazorik.martin@atlas.sk

<sup>2)</sup> Department of Ecology and Environmental Sciences, Faculty of Science, Palacky University, Svobody 26, CZ-772 00 Olomouc, e-mail: ivan.tuf@upol.cz

\* corresponding author

**Keywords:** faunistics, Chilopoda, Oniscidea, forests, Moravskoslezské Beskydy Mts., Beskydy, Czech Republic

**Abstract.** In 2007-2009, altogether 7,094 individuals of centipedes and terrestrial isopods were caught using the method of pitfall traps at 38 localities in the area of the mountain range of the Smrk and Kněhyně hills, the Čeladenka valley and Čeladná-Podolánky surroundings, the Moravskoslezské Beskydy Mts. Among 18 species of centipedes there are two species newly recorded for the territory, *Lithobius biunguiculatus* Loksa, 1947 and *Lithobius pelidnus* Haase, 1880. Our data present the first investigation of terrestrial isopods in this territory. Till this time, 32 species of centipedes and 7 species of terrestrial isopods were reported for the territory of the Moravskoslezské Beskydy Mts. and 33 centipede and 13 terrestrial isopod species of the Beskydy PLA.

#### INTRODUCTION

The Beskydy Protected Landscape Area (PLA) is the largest PLA in the Czech Republic (1,160 km<sup>2</sup>). It lies in the south-eastern part of the Moravian-Silesian and eastern part of the Zlín regions, on the border with Slovakia. The whole area belongs to the flysch Outer Western Carpathians and comprises most of the Moravskoslezské Beskydy Mts. Range, large part of the Vsetínské vrchy Range and Moravian part of the Javorníky Range. This area is covered by mainly cultural forests as well as species rich meadows and pastures. Within the forests, covering 71 % of the whole area, spruce forests predominate. Primeval fir-beech forests are conserved in the small fragments only.

Centipedes (Chilopoda) and terrestrial isopods (Oniscidea) are important part of soil fauna in forest ecosystems. Terrestrial isopods participate in decomposition of dead organic matter, while centipedes are important predators of soil mezofauna (potworms, springtails, etc.), which abundances are related to food resource (ALBERT 1979; SCHEU & SCHAEFER 1998). In the Czech Republic up today, the occurrence of 67 species of centipedes and 43 species of terrestrial isopods is known (TUF & TUFOVÁ 2008; WYTWER & TAJOVSKÝ 2005; SASKA 2007). In the past, both groups were studied in the recent Beskydy PLA, nevertheless only centipedes were collected from the Moravskoslezské Beskydy Mts. range yet. The occurrence of 31 centipede species was confirmed from this (FOLKMANOVÁ 1954; WYTWER & TAJOVSKÝ 2005).

Centipedes as well as terrestrial isopods are used as bioindicators for assessment of environment quality (BILTON 1996; VAN STRAALLEN 1998; PAOLETTI & HASSALL 1999; SOUTY-GROSSET et al. 2005). Data used in this publication were obtained as a part of the



project evaluating the possibility of centipedes and terrestrial isopods as bioindicators of investigated forest types. The aim of this paper is to contribute to the knowledge of the fauna of centipedes and terrestrial isopods of the Moravskoslezské Beskydy Mts. as well as the Beskydy PLA.

## MATERIAL AND METHODS

The centipedes and terrestrial isopods were collected using pitfall traps (standard glass jars, diameter 7 cm, 4% formaldehyde solution as killing and preserving agent). In total 190 pitfall traps were installed at 38 localities (5 traps per stand in span of 10 m, the minimum distance from the edge of the stand corresponded to the tree height). Traps were emptied each 6 weeks during May-October in the years 2007-2009. Material from 5 traps was taken together as aggregate sample, separately for each locality. Identification was carried out according to the keys of KOREN (1986, 1992), KACZMAREK (1979), FOLKMANOVÁ (1959), BROLEMANN (1930) and FRANKENBERGER (1959). Used nomenclature follows centipede webdatabase CHILOBASE (MINELLI et al. 2006) and Schmalfuss's woodlice catalogue (SCHMALFUSS 2003)

The network of the permanent research localities (38 spruce and beech stands) was established on the mountain range of the Smrk and Kněhyně Mt., the Čeladenka valley and Čeladná-Podolánky surroundings (Natural forest area 40 Moravskoslezské Beskydy Mts.; Forest Districts Čeladná and Podolánky). Overall study area belongs to the cool climatic zone. The microclimate of monitored area can be characterized by mean air temperature 6.2 °C and mean annual rainfall 1,250 mm. The vegetation season takes 100-140 days. Heavy rains are characteristic for the area (July and August) (TOLASZ et al. 2007). Additional characteristics of localities (geographic coordinates, altitude and percentage of dominant trees) are given in Tab. 1.

## RESULTS

Altogether 6,366 centipedes and 728 terrestrial isopods were collected using pitfall traps. Centipedes were represented by 18 species (Tab. 2, without 91 unidentifiable specimens of centipede larvae) and terrestrial isopods by 7 species (Tab. 3). Number of species at individual localities varied from 4 to 12 (mean 8.1) for centipedes and from 0 to 4 (mean 1.1) for terrestrial isopods. The localities inhabited by the highest number of centipede species (pure spruce localities numbers 4 and 17 with 12 and 11 species, respectively) differed from those localities with the highest number of terrestrial isopod species (beech forest at locality number 12 with 4 species; sycamore-beech locality number 25 with 3 species including two unique species, and spruce localities numbers 29 and 30, both with 3 species). The most frequent centipede species were *Lithobius cyrtopus*, *L. erythrocephalus*, *L. forficatus* and *L. mutabilis* (present at all localities). The most frequent terrestrial isopod was *Protracheoniscus politus* with occurrence at 24 localities.

The most remarkable localities with the highest number of rare species classified according to TUF & TUFOVÁ (2008) are localities numbers 4 and 25 (4 relic species). Whereas locality number 25 represents sycamore-beech wood type with 85 % dominance of beech (with records of *Lithobius burzenlandicus*, *Lepidoniscus minutus* and *Ligidium germanicum*), locality number 4 represents pure spruce wood (with relic species *Lithobius biunguiculatus*, *L. burzenlandicus* and *Geophilus insculptus*). Other species, presented rarely at studied localities, were *Lithobius piceus* and *Oniscus asellus*.

## DISCUSSION

The first report about centipedes of the wider territory of the Beskydy was published by VALIŠ (1904). He found 10 species of centipedes (Tab. 4), mainly in the surroundings of the towns of Rožnov pod Radhoštěm, Štramberk, Horní Bečva (including the Šipka cave and the Radhošť Mt.), i.e. in neighbouring area of the Vsetínské vrchy Hills. Fifty years later FOLKMANOVÁ (1954) published results of her intensive research about myriapod fauna

mainly from the Moravskoslezské Beskydy Mts. Folkmanová collected about 900 centipedes from spruce forests during the year 1941-1949 representing 27 species (Tab. 4), 19 of them were not found by Vališ in the Vsetínské vrchy Hills before. Next study dealing with centipedes of this territory was published by Wytwer and Tajovský next half a century later (WYTWER & TAJOVSKÝ 2005). They analyzed communities of centipedes sampled by pitfall traps and extracted from soil samples in the years 1988-1993 and 1996-1997 at five stands on the localities Bílý kříž and Kněhyně. WYTWER & TAJOVSKÝ (2005) confirmed distribution of *Schendyla nemorensis* (as *Schendyla furcidents* Kaczmarek, 1962, synonymized later by DÁNYI & WYTWER (2008)) in the Moravskoslezské Beskydy Mts., reported by VALIŠ (1904) from Vsetínské vrchy Hills, too. They added another two species to the FOLKMANOVÁ's (1954) list: *Lithobius nodulipes* and *Stenotaenia sorrentina* (as *Clinopodes linearis abbreviatus* (Verhoeff, 1925) synonymized later by BONATO & MINELLI (2008)).

Until our research, 30 species of centipedes were reported for the Moravskoslezské Beskydy Mts. (plus *Strigamia crassipes* in the neighbouring Vsetínské vrchy Hills). Although we did not confirmed distribution of some geophilomorphs in the studied area (because they inhabit deeper soil layers and are sampled by pitfall traps rarely, the best method for their collection is combination of hand collecting and extraction of soil samples), we found two species of lithobiomorphs newly. *Lithobius biunguiculatus* is rare species known from some Moravian localities from unpublished records (TAJOVSKÝ in litt.) and from the Bílé Karpaty PLA (PAVELKOVÁ 2008). *Lithobius pelidmus* is the mountain species known e.g. from northern Moravia from the Jeseníky Mts. (FOLKMANOVÁ 1947) or the Rychlebské Mts. (FOLKMANOVÁ & LANG 1960).

The occurrence of some species, recorded historically by FOLKMANOVÁ (1954) and missing in the study of WYTWER & TAJOVSKÝ (2005), was actually reconfirmed: *Lithobius erythrocephalus*, *L. piceus*, *L. tenebrosus*, *L. austriacus* and *L. micropodus*; last two species are smaller centipedes living mainly in soil layers.

Terrestrial isopods were not reported of the territory from the Moravskoslezské Beskydy Mts. yet. Nevertheless, they were studied in surroundings of the Vsetínské vrchy Hills (FRANKENBERGER 1942, 1944; FLASAROVÁ 1958). In the first paper (FRANKENBERGER 1942) five species of terrestrial isopods were reported only (Tab. 5). The most interesting records were the Carpathian species *Hyloniscus mariae* and the mountain Eastern European species *Ligidium germanicum* (FRANKENBERGER 1959). Two years later, FRANKENBERGER (1944) reported in his review of Bohemian and Moravian woodlice two another species collected in the Vsetínské vrchy Hills: *Porcellium conspersum* and *Protracheoniscus politus* (probably plus widely distributed eurytopic *Trachelipus ratzeburgii* and *Trachelipus rathkii* without concrete localities in Moravia). In following paper of FLASAROVÁ (1958) concerning of knowledge Moravian-Silesian woodlice, three small endogeic species were newly reported from the Vsetínské vrchy Hills: *Hyloniscus riparius*, *Trichoniscus pusillus* and *T. noricus*. Two species, *T. ratzeburgii* and *T. rathkii*, are mentioned without concrete localities as widespread species again. In our research, we found 7 species of terrestrial isopods in the Moravskoslezské Beskydy Mts., beside them reported from the surrounding Vsetínské vrchy Hills, *Oniscus asellus* was found at one locality (pure spruce stand No. 29). *O. asellus* is north-western European species inhabiting in Central and Eastern Europe mainly synanthropic habitats (FRANKENBERGER 1959); his presence in artificial spruce forest is probably caused by introduction with seedlings. Presence of *T. ratzeburgii* on nine localities is the first confirmation of distribution of this adaptable species in studied area. Summarising, the distribution of 12 species of terrestrial isopods (of possible 16) in the Beskydy PLA was confirmed.

## SUMMARY

Using the method of pitfall traps 7,094 individuals of 18 species of centipedes and 7 species of terrestrial isopods were recorded in 2007-2009 at 38 localities in the Moravskoslezské Beskydy Mts. Complementing previous studies, 32 centipede species and 7 species of terrestrial isopods are actually known from the Moravskoslezské Beskydy Mts. Based on our study we listed for the whole Beskydy PLA in total 33 species of centipedes and 13 species of terrestrial isopods, including 12 relic species of centipedes and 4 relic species of terrestrial isopods respectively.

**Acknowledgement.** This paper was prepared under the projects supported by the grants IGA 2/2010 and VZ MSM 6215648902.

## REFERENCES

- ALBERT A. M. 1979: Chilopoda as part of the predatory macroarthropod fauna in forests: abundance, life-cycle, biomass, and metabolism. In: CAMATINI M. (ed.): Myriapod Biology. Academic Press, London, pp. 215-231.
- BILTON D. T. 1996: Myriapods, isopods and molluscs – useful for environment assessment? In: EYRE M. D. (ed.): Environmental Monitoring, Surveillance and Conservation Using Invertebrates. Benton, EMS Publications, pp. 18-21.
- BONATO L. & MINELLI A. 2008: *Stenotaenia* Koch, 1847: a hitherto unrecognized lineage of western Palaearctic centipedes with unusual diversity in body size and segment number (Chilopoda: Geophilidae). Zoological Journal of the Linnean Society, 153: 253-286.
- BROLEMANN H. W. 1930: Éléments d'une faune des myriapodes de France. Chilopodes. Imprimerie Toulousaine, Paris, 424 pp.
- DÁNYIL. & WYTWER J. 2008: The true identity of *Schendyla furcidens* Kaczmarek, 1962. Peckiana, 6: 101.
- FLASAROVÁ M. 1958: K poznání moravskoslezských Oniscoideí. Časopis Slezského Muzea Opava (A), 7: 100-130.
- FOLKMANOVÁ B. 1947: Stonožky z Jeseníků. Entomologické Listy, 10: 75-81.
- FOLKMANOVÁ B. 1954: Příspěvek k poznání slezských stonožek z Beskyd. Přírodovědný Sborník Ostravského Kraje, 15: 194-219.
- FOLKMANOVÁ B. 1959: Stonožky – Chilopoda. In: KRATOCHVÍL J. (ed.): Klíč zvířeny ČSR III. NČSAV, Praha, pp. 49-66.
- FOLKMANOVÁ B. & LANG J. 1960: Příspěvek k poznání stonožek Rychlebských hor. Přírodovědný Časopis Slezský, 21: 355-372.
- FRANKENBERGER Z. 1942: Poznámky o českých Isopodech. III. Věda Přírodní, 21: 85-88, 119-121.
- FRANKENBERGER Z. 1944: Oniscoidea Čech a Moravy. Věstník Královské České Společnosti Nauk (třída matematicko-přírodovědná), 8: 1-28.
- FRANKENBERGER Z. 1959: Stejnonožci suchozemští – Oniscoidea. Fauna ČSR, 14. NČSAV, Praha, 216 pp.
- KACZMAREK J. 1979: Pareczniki (Chilopoda) Polski. Wydawnictwo naukowe UAM, Poznań, 102 pp.
- KOREN A. 1986: Die Chilopoden-Fauna von Kärnten und Osttirol. Teil 1. Geophilomorpha, Scolopendromorpha. Carinthia 2, 43: 1-88.
- KOREN A. 1992: Die Chilopoden-Fauna von Kärnten und Osttirol. Teil 2. Lithobiomorpha. Carinthia 2, 51: 1-140.
- MINELLI A., BONATO L., DIOGUARDI R. et al. 2006: Chilobase: a web resource for Chilopoda taxonomy [online]. Available from the WWW: <<http://chilobase.bio.unipd.it>> [cit. 15.IX.2011]
- PAOLETTI M. G. & HASSALL M. 1999: Woodlice (Isopoda: Oniscoidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. Agriculture, Ecosystems and Environment, 74: 157-165.
- PAVELKOVÁ K. 2008: Společenstva stonožek (Chilopoda) vybraných karpatských lokalit. [Master thesis]. Palacky University Olomouc, Faculty of Science, Department of Ecology and Environmental Science, 55 pp.
- SASKA P. 2007: *Philoscia muscorum* (Crustacea: Oniscoidea: Philosciidae), new species of terrestrial isopod for the Czech Republic. Bohemia Centralis, Praha, 28: 437-440.
- SCHEU S. & SCHAEFER M. 1998: Bottom-up control of the soil macrofauna community in a beechwood on limestone: manipulation of food resources. Ecology, 79: 1573-1585.
- SCHMALFUSS H. 2003: World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscoidea). Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde (Serie A), 654: 1-341.
- SOUTY-GROSSET C., BADENHAUSSER I., REYNOLDS J. D. & MOREL A. 2005: Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. European Journal of Soil Biology, 41: 109-116.

- TOLASZ R., MÍKOVÁ T., VALERIÁNOVÁ A. & VOŽENÍLEK V. 2007: Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha – Olomouc, 256 pp.
- TUF I. H. & TUFOVÁ J. 2008: Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality in Czech Republic. *Časopis Slezského Muzea Opava (A)*, 57: 37-44.
- VAN STRAALLEN N.M. 1998: Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, 9: 429-437.
- VALIŠ J. 1904: Předběžný přehled dosud z Moravy známých Myriapodů. *Věstník Královské České Společnosti nauk, Třída 2*, 28: 1-12.
- WYTWER J. & TAJOVSKÝ K. 2005: Centipedes in the spruce forests of the Moravskoslezské Beskydy Mountains, Czech Republic. In: TAJOVSKÝ K., SCHLAGHAMERSKÝ J. & PIŽL V. (eds.): *Contributions to Soil Zoology in Central Europe I*. ISB AS CR, České Budějovice, pp. 211-215.

Tab. 1. List of studied localities, with additional characteristics

Tab. 1. Seznam zkoumaných lokalit a jejich charakteristiky

No. of locality	Position	Dominant tree (%)	Altitude
1	49°30'47.5''N, 18°20'37.1''E	S (95)	600
2	49°30'10.7''N, 18°20'51.5''E	B (55)	815
3	49°29'02.5''N, 18°21'08.7''E	B (80)	880
4	49°29'01.9''N, 18°21'23.0''E	S (100)	890
5	49°29'02.0''N, 18°22'33.3''E	B (50)	850
6	49°29'04.5''N, 18°22'16.0''E	B (60)	915
7	49°29'42.6''N, 18°21'03.0''E	B (50)	855
8	49°30'10.9''N, 18°23'04.4''E	S (100)	1010
9	49°30'15.5''N, 18°23'02.0''E	S (100)	1045
10	49°30'13.5''N, 18°24'14.2''E	S (80)	845
11	49°31'08.6''N, 18°23'19.9''E	S (65)	840
12	49°30'57.1''N, 18°22'54.4''E	B (25)	835
13	49°30'55.0''N, 18°22'22.1''E	S (80)	850
14	49°31'03.9''N, 18°21'55.9''E	S (60)	830
15	49°31'19.1''N, 18°22'09.4''E	S (100)	780
16	49°30'31.7''N, 18°19'24.3''E	S (88)	785
17	49°29'55.2''N, 18°20'26.1''E	S (100)	560
18	49°28'57.0''N, 18°20'38.2''E	S (100)	610
19	49°28'07.0''N, 18°21'19.6''E	S (100)	680
20	49°27'56.5''N, 18°21'04.6''E	S (100)	660
21	49°28'44.6''N, 18°22'43.3''E	B (95)	730
22	49°28'36.2''N, 18°22'54.0''E	S (100)	695
23	49°28'24.6''N, 18°24'59.5''E	S (99)	530
24	49°28'28.4''N, 18°25'01.5''E	S (85)	540
25	49°29'29.3''N, 18°21'00.6''E	B (85)	870
26	49°29'27.8''N, 18°20'58.1''E	S (90)	825
27	49°30'32.6''N, 18°18'13.2''E	B (80)	1015
28	49°30'40.6''N, 18°18'10.7''E	B (85)	1025
29	49°31'38.5''N, 18°23'12.9''E	S (100)	620
30	49°31'17.1''N, 18°18'57.4''E	S (95)	630
31	49°29'45.2''N, 18°21'34.2''E	S (95)	1100
32	49°30'18.9''N, 18°22'14.8''E	S (100)	1190
33	49°30'17.4''N, 18°22'08.1''E	S (90)	1220
34	49°30'08.5''N, 18°22'20.6''E	S (85)	1100
35	49°31'09.6''N, 18°19'13.2''E	B (100)	635
36	49°28'46.6''N, 18°23'39.6''E	S (98)	620
37	49°28'19.5''N, 18°23'34.9''E	S (100)	645
38	49°31'13.5''N, 18°18'06.6''E	S (60)	635

Abbreviations/Zkratky: S – Norway spruce/smrk; B – beech (and their percentage of dominance)/buk (a jejich dominance)



Tab. 2. Numbers of trapped centipedes at individual localities. Last column summarizes number of species at each locality, last row summarizes number of localities where species was recorded  
 Tab. 2. Počty chycených stonožek na jednotlivých lokalitách. Poslední sloupec shrnuje počet druhů na každé lokalitě, poslední řádek počet lokalit, kde byl druh zaznamenán

No. of locality	<i>Lithobius austriacus</i>	<i>Lithobius biunguiculatus</i>	<i>Lithobius borealis</i>	<i>Lithobius burzenlandicus</i>	<i>Lithobius cyrtopus</i>	<i>Lithobius erythrocephalus</i>	<i>Lithobius forficatus</i>	<i>Lithobius microps</i>	<i>Lithobius mutabilis</i>	<i>Lithobius nodulipes</i>	<i>Lithobius pelidnus</i>	<i>Lithobius piceus</i>	<i>Lithobius tenebrosus</i>	<i>Geophilus flavus</i>	<i>Geophilus insculptus</i>	<i>Strigamia acuminata</i>	<i>Strigamia transsylvanica</i>	<i>Cryptops parisi</i>	Total number of species
1	71	-	-	-	28	69	49	4	42	4	4	-	5	-	-	2	-	-	10
2	-	-	-	-	32	10	65	1	75	13	-	-	-	2	-	2	-	1	9
3	-	-	-	-	19	12	76	9	36	2	-	-	-	-	-	4	-	-	7
4	-	1	-	1	25	38	155	4	66	2	-	-	10	-	1	3	-	3	12
5	2	-	-	-	5	63	152	6	61	-	-	-	-	-	-	20	-	-	7
6	-	-	-	-	7	18	72	2	122	-	-	1	-	-	-	10	-	1	8
7	-	-	-	-	15	10	18	4	30	-	-	-	-	1	-	6	-	-	7
8	-	-	-	-	13	49	141	2	87	4	-	-	1	-	-	-	-	2	8
9	-	-	-	-	2	57	126	1	79	3	-	-	-	-	-	-	-	1	7
10	-	-	-	-	15	28	151	5	141	4	-	-	-	-	-	2	-	3	8
11	-	-	-	-	9	79	100	5	21	3	-	-	-	1	-	-	-	-	7
12	-	-	-	-	1	4	41	3	64	8	-	-	-	1	-	2	1	1	10
13	-	-	-	-	7	53	70	2	40	4	-	-	2	1	-	3	-	1	10
14	-	-	1	-	4	2	6	-	75	-	5	-	6	-	-	2	-	-	8
15	-	-	-	-	15	20	21	12	39	1	-	-	-	-	-	4	-	-	7
16	-	-	-	-	9	62	23	2	33	1	2	-	2	-	-	5	-	-	9
17	-	-	2	-	13	16	29	3	27	3	1	-	3	1	-	-	-	2	11
18	-	-	-	-	12	11	12	7	43	-	-	-	-	3	-	-	1	-	7
19	-	-	-	-	1	25	11	4	10	-	-	-	-	-	-	1	-	-	6
20	-	-	-	-	3	7	2	1	19	-	3	-	3	-	-	-	-	-	7
21	-	-	-	-	2	51	74	9	69	3	-	-	-	-	-	4	-	2	8
22	22	-	-	-	3	40	29	1	81	-	-	-	-	1	-	4	-	2	9
23	1	1	-	-	2	8	6	7	15	2	-	-	-	-	-	1	-	-	9
24	1	-	-	-	5	37	4	18	61	4	-	-	-	1	-	-	-	-	8
25	-	-	-	1	15	18	44	-	71	6	-	-	-	1	-	6	-	-	8
26	-	-	-	-	5	32	37	3	45	5	2	-	1	-	-	10	-	-	9
27	1	1	-	-	14	1	109	5	109	1	-	-	-	1	-	4	-	-	10
28	-	-	-	-	18	14	74	9	83	2	1	-	-	1	-	1	-	1	10
29	-	-	-	-	8	21	32	2	15	3	-	-	-	-	-	6	-	-	7
30	-	-	-	-	24	29	96	7	43	-	2	-	-	-	-	1	-	-	7
31	-	-	-	-	25	30	125	3	61	4	-	-	-	-	-	-	-	-	6
32	-	-	-	-	11	32	52	5	38	-	1	-	-	-	-	1	-	1	8
33	-	-	-	-	32	12	25	6	38	-	-	-	-	1	-	4	-	-	7
34	-	-	-	-	7	10	42	-	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
35	-	-	-	-	3	2	39	5	38	-	-	-	3	-	-	1	-	2	8
36	3	-	1	-	6	13	10	-	17	-	-	-	-	1	-	1	-	1	9
37	5	-	-	-	3	19	29	-	33	-	-	-	-	1	-	-	-	1	7
38	-	-	2	-	3	59	63	5	54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
	8	3	4	2	38	38	38	33	38	22	9	1	10	15	1	27	2	16	

Tab. 3. Numbers of trapped terrestrial isopods at individual localities. Last column summarizes number of species at each locality, last row summarizes number of localities where species was recorded

Tab. 3. Počty chycených suchozemských stejnoonožců na jednotlivých lokalitách. Poslední sloupec shrnuje počet druhů na každé lokalitě, poslední řádek počet lokalit, kde byl druh zaznamenán

No. of locality	<i>Hyloniscus riparius</i>	<i>Lepidoniscus minutus</i>	<i>Ligidium germanicum</i>	<i>Ligidium hypnorum</i>	<i>Oniscus asellus</i>	<i>Protracheoniscus politus</i>	<i>Trachelipus rathburgii</i>	Total number of species
1	-	-	-	-	-	44	-	1
2	-	-	-	-	-	-	-	0
3	-	-	-	-	-	-	-	0
4	1	-	-	-	-	-	-	1
5	-	-	-	-	-	-	-	0
6	1	-	-	-	-	10	-	2
7	6	-	-	-	-	179	2	3
8	-	-	-	-	-	2	3	2
9	-	-	-	-	-	2	-	1
10	-	-	-	-	-	2	2	2
11	-	-	-	-	-	-	2	1
12	1	-	-	2	-	27	2	4
13	-	-	-	-	-	1	1	2
14	-	-	-	-	-	11	-	1
15	-	-	-	-	-	132	61	2
16	-	-	-	-	-	1	-	1
17	-	-	-	-	-	-	-	0
18	-	-	-	2	-	-	-	1
19	-	-	-	-	-	-	-	0
20	-	-	-	-	-	-	-	0
21	-	-	-	-	-	37	-	1
22	-	-	-	-	-	-	-	0
23	-	-	-	46	-	-	-	1
24	-	-	-	-	-	5	-	1
25	-	1	1	-	-	33	-	3
26	-	-	-	-	-	7	-	1
27	-	-	-	-	-	4	-	1
28	-	-	-	-	-	7	-	1
29	-	-	-	-	1	20	23	3
30	-	-	-	1	-	29	1	3
31	-	-	-	-	-	4	-	1
32	-	-	-	-	-	-	-	0
33	-	-	-	-	-	2	-	1
34	-	-	-	-	-	-	-	0
35	-	-	-	-	-	2	-	1
36	-	-	-	-	-	5	-	1
37	-	-	-	-	-	-	-	0
38	-	-	-	-	-	2	-	1
	4	1	1	4	1	24	9	

Tab. 4. Historical review of the knowledge of centipedes reported from the Beskydy PLA

Tab. 4. Historický přehled poznání stonožek v CHKO Beskydy

Species/Area	Ecological classification	VALIŠ 1904	FOLKMANOVÁ 1954	WYTWER & TAJOVSKÝ 2005	Current study
		VH	MSB	MSB	MSB
<i>Clinopodes flavidus</i> C.L.Koch, 1847	A	-	+	-	-
<i>Cryptops parisi</i> Brolemann, 1920	A	+	+	+	+
<i>Geophilus flavus</i> (DeGeer, 1778)	E	+	+	+	+
<i>Geophilus insculptus</i> Attems, 1895	A	-	+	+	+
<i>Geophilus proximus</i> C.L.Koch, 1847	R	+	+	-	-
<i>Lanyctes emarginatus</i> Newport, 1844	E	-	+	-	-
<i>Lithobius austriacus</i> Verhoeff, 1937	A	-	+	-	+
<i>Lithobius biunguiculatus</i> Loksa, 1947	R	-	-	-	+
<i>Lithobius borealis</i> Meinert, 1868	A	+	+	+	+
<i>Lithobius burzenlandicus</i> Verhoeff, 1934	R	-	+	+	+
<i>Lithobius cyrtopus</i> Latzel, 1880	R	-	+	+	+
<i>Lithobius erythrocephalus</i> C.L.Koch, 1847	E	-	+	-	+
<i>Lithobius forficatus</i> Linnaeus, 1758	E	+	+	+	+
<i>Lithobius lapidicola</i> Meinert, 1872	A	-	+	-	-
<i>Lithobius latro</i> Meinert, 1872	R	-	+	+	-
<i>Lithobius lucifugus</i> L.Koch, 1862	R	-	+	-	-
<i>Lithobius lusitanus</i> Verhoeff, 1925	R	-	+	-	-
<i>Lithobius macilentus</i> L.Koch, 1862	A	-	+	-	-
<i>Lithobius micropodus</i> (Matic, 1980)	A	-	+	-	+
<i>Lithobius mutabilis</i> L.Koch, 1862	E	+	+	+	+
<i>Lithobius muticus</i> C.L.Koch, 1847	A	+	+	-	-
<i>Lithobius nodulipes</i> Latzel, 1880	R	-	-	+	+
<i>Lithobius pelidnus</i> Haase, 1880	R	-	-	-	+
<i>Lithobius piceus</i> L.Koch, 1862	A	-	+	-	+
<i>Lithobius salicis</i> Verhoeff, 1925	R	-	+	-	-
<i>Lithobius schuleri</i> Verhoeff, 1925	R	-	+	+	-
<i>Lithobius tenebrosus</i> Meinert, 1872	A	-	+	-	+
<i>Pachymerium ferrugineum</i> (C.L.Koch, 1835)	A	-	+	-	-
<i>Schendyla nemorensis</i> (C.L.Koch, 1836)	E	+	-	+	-
<i>Stenotaenia sorrentina</i> (Attems, 1903)	R	-	-	+	-
<i>Strigamia acuminata</i> (Leach, 1814)	E	+	+	+	+
<i>Strigamia crassipes</i> (C.L.Koch, 1835)	A	+	-	-	-
<i>Strigamia transsilvanica</i> (Verhoeff, 1928)	A	-	+	+	+
<b>Number of species</b>		10	27	15	18
<b>Cumulative number of species in Beskydy PLA</b>		10	29	31	33

Abbreviations/Zkratky: VH – Vsetínské Hills/Vsetínské vrchy; MSB – Moravskoslezské Beskydy Mts./Moravskoslezské Beskydy; (+) – presence/přítomnost druhu; (-) – absence/nepřítomnost druhu; R – relic species/reliktní druh; A – adaptable species/adaptabilní druh; E – eurytopic species/eurytopní druh. Ecological classification sensu TUF & TUFOVÁ (2008)/Ekologická klasifikace podle práce TUF & TUFOVÁ (2008)

Tab. 5. Historical review of the knowledge of terrestrial isopods reported from the Beskydy PLA  
 Tab. 5. Historický přehled poznání suchozemských stejnonožců v CHKO Beskydy

Species/Area	Ecological classification	FRANKENBERGER 1942	FRANKENBERGER 1944	FLASAROVÁ 1958	Current study
		VH	VH	VH	MSB
<i>Armadillidium vulgare</i> (Latreille, 1804)	E	-	-	?	-
<i>Cylisticus convexus</i> (De Geer, 1778)	A	-	-	?	-
<i>Hyloniscus mariae</i> Verhoeff, 1908	R	+	+	+	-
<i>Hyloniscus riparius</i> (C.L. Koch, 1838)	E	-	-	+	+
<i>Lepidoniscus minutus</i> (C.L. Koch, 1838)	A	+	+	+	+
<i>Ligidium germanicum</i> Verhoeff, 1901	R	+	+	+	+
<i>Ligidium hypnorum</i> (Cuvier, 1792)	E	+	+	+	+
<i>Oniscus asellus</i> Linnaeus, 1758	E	-	-	-	+
<i>Porcellio scaber</i> Latreille, 1804	E	-	-	?	-
<i>Porcellium conspersum</i> (C.L. Koch, 1841)	A	-	+	+	-
<i>Protracheoniscus politus</i> (C.L. Koch, 1841)	A	-	+	+	+
<i>Trachelipus difficilis</i> (Radu, 1950)	R	+	+	+	-
<i>Trachelipus rathkii</i> (Brandt, 1833)	E	-	?	?	-
<i>Trachelipus ratzeburgii</i> (Brandt, 1833)	A	-	?	?	+
<i>Trichoniscus noricus</i> Verhoeff, 1917	R	-	-	+	-
<i>Trichoniscus pusillus</i> Brandt, 1833	E	-	-	+	-
<b>Number of species</b>		5	7	10	7
<b>Cumulative number of species in Beskydy PLA</b>		5	7	10	12

Abbreviations/Zkratky: VH – Vsetínské vrchy Hills/Vsetínské vrchy; MSB – Moravskoslezské Beskydy Mts./Moravskoslezské Beskydy; (+) – presence/přítomnost druhu; (-) – absence/nepřítomnost druhu; ? – probably present (see text)/pravděpodobný výskyt (viz text); R – relic species/reliktní druh; A – adaptable species/adaptabilní druh; E – eurytopic species/eurytopní druh. Ecological classification sensu TUF & TUFOVÁ (2008)/Ekologická klasifikace podle práce TUF & TUFOVÁ (2008)



## Comparison of Myriapoda in beech and spruce forests

E. KULA, M. LAZORÍK

*Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Brno, Czech Republic*

**ABSTRACT:** Pitfall traps were used to capture 3,550 individuals and 34 species of Myriapoda in five pairs of Norway spruce and beech stands in the Moravskoslezské Beskydy Mts. (Czech Republic). Differences in the occurrence of Chilopoda, Diplopoda and Isopoda on sites with spruce and beech were determined by *F*-test. Diplopoda and Isopoda preferred beech stands and Chilopoda spruce stands. The species *Protracheoniscus politus* (Koch) (Isopoda) indicated a positive relation to beech stands. Among Diplopoda, a strong linkage to beech was seen in *Glomeris hexasticha* (Brandt), while *Julus scandinavus* (Latzel), *Hassea flavescens* (Latzel) and *Brachyiulus bagnalli* (Curtis) tended to prefer the spruce forest environment. The highest variability was found in Chilopoda, of which the species dominating in beech stands are *Cryptops parisi* (Brölemann), *Strigamia acuminata* (Leach) and *Strigamia transsilvanica* (Verhoeff), while *Geophilus flavus* (DeGeer) and *Geophilus insculptus* (Attems) prevail in spruce stands. A wide spectrum of captured species of the order Lithobiomorpha differentiate in their relation to spruce [*Lithobius forficatus* (L.), *L. cyrtopus* Latzel, *L. erythrocephalus* C.L. Koch, *L. tenebrosus* Meinert, *L. austriacus* (Verhoeff), *L. biunguiculatus* (Loksa)] and beech [*Lithobius microps* (Meinert), *L. mutabilis* L. Koch, *L. burzenlandicus* Verhoeff, *L. micropodus* (Matic) and *L. nodulipes* Latzel]. Based on the findings, we can confirm increased incidence in beech forests, although the result is not unambiguous. Therefore, it is necessary to admit that the factor of the main tree species within a stand cannot be used as the single criterion and needs to be supplemented with additional conditions of the natural environment.

**Keywords:** Chilopoda; Diplopoda; Isopoda; Norway spruce; Beskydy Mts.

Study of natural patterns is an ongoing process that becomes even more significant due to globalization and climate changes. Disturbance of tree layer or species composition of a forest stand affects microclimate, soil conditions as well as fauna (GRGIC, KOS 2003; SCHEU et al. 2003; BARDGETT, WARDLE 2010). Forest management is linked to reactions of forest ecosystems, when changing tree species composition and spatial heterogeneity of stands elicit spatio-temporal development of species diversity and abundance of free-living animals (WIGLEY, ROBERTS 1994). In connection with development of new zoocoenoses, migration plays an important role (HANSKI 1998). Individual species react differently to direct site changes, depending mainly on the occurring abiotic and biotic factors (WIGLEY, ROBERTS 1994). Some authors presented the possibility to use Myriapoda as bioin-

dicators of forest environment and its changes over a relatively short monitoring period (CRASTON, TRUEMAN 1997; GRGIC, KOS 2003; TUE, TUPOVA 2008). GRGIC and KOS (2003) found marked differences in the abundance of Myriapoda in beech stands (Slovenia), with the highest abundance being observed in young beech stands. At the same time, active migration between sites based on suitability of conditions throughout the year was confirmed. SCHEU et al. (2003) reported the increased presence of Chilopoda in a 120-year-old beech stand in northern Germany and also determined a positive relation to thickness and quality of organic matter from litter, which provides better feeding opportunities for decomposers as well as their associated predators.

Representatives of the families Carabidae and Cantharidae and family Chilopoda correlate with

---

Supported by Mendel University in Brno, and by the Netex Ltd., Děčín, Nadace ČEZ Co. in Prague, Lafarge Cement Co. in Čížkovice.

the occurrence of Lumbricidae and larvae of Diptera (Mycetophilidae and Cecidomyiidae).

Chilopoda are predatory organisms, indirectly influenced by vegetation as it affects the structure, quality and other properties of litter, humus and also undergrowth, where their potential food sources develop (ALBERT 1982; FRÜND 1983; POSER 1990; SCHÄFER 1990; SCHÄFER, SCHAUERMANN 1990; SCHATZMANN 1990). Their abundance is reported in the range from 7 ind·m<sup>-2</sup> (beech mull) to 273 ind·m<sup>-2</sup> (beech humus) (AUERBACH 1951), but also between 1.8 and 648 ind·m<sup>-2</sup> in beech stands.

Diplopoda and Oniscoidea primarily feed on dead plant material and decomposing organic matter mixed with bacteria, moulds and fungal hyphae (FRANKENBERGER 1959; HOPKIN, READ 1992). Their diversity is directly linked to quality and quantity of litter, structure of top soil horizons, parent rock, soil chemistry and moisture (FUNKE 1971; SCHEU, SPRENGEL 1989; SCHAEFER 1990; SCHEU 1992; SCHEU, POSER 1996; BLACKBURN 2002). The aim of this contribution is to determine the differences in the structure of Myriapoda population living in litter and top humus layers in Norway spruce and beech stands in the mountain area of the Beskydy Mts. (Czech Republic).

## MATERIALS AND METHODS

**Methodology of research site selection.** Localities of the monitoring grid (38 sites) were selected within the altitudinal range of 540–1,220 m a.s.l. on the Smrk and Kněhyně Massif in the Moravskoslezské Beskydy Mts. The idea was to cover as wide spectrum of mezzo-climatic conditions as possible, with trophic conditions ranging from oligobasic soils (Entic Podzols and Podzols) up to eu-mesobasic soils (Cambisols, Leptosols), with a hydric range from soils without hydromorphic characteristics up to soils permanently affected by water (Organosols), with two microecologically markedly different stand types (beech – 11 stands and spruce – 27 stands aged 49–160 years and 60 to 259 years, respectively).

From the monitoring grid of permanent research plots, five pairs of spruce × beech stands located very close to each other were chosen, every pair with comparable altitude, similar exposition and site conditions (Table 1). Selection of these localities was aimed at a comparison of the diversity of Myriapoda coenoses in beech and spruce forest ecosystems.

**Natural characteristics.** Soil characteristics and soil type were determined from soil pits of 70–120 cm depth excavated on each locality. Content of available nutrients (P, Ca, Mg and K) was assessed by Mehlich III method of soil biochemical analysis and pH/KCl in an accredited laboratory (Laboratoře Morava s.r.o.). The phosphatase activity was determined according to the adapted methodology of REJŠEK (1991). The *p*-nitrophenylphosphate (PNP) was used as a substrate; resulting *p*-nitrophenol was determined after incubation by the means of a spectrophotometer. The phosphatase activity was expressed in following units: µg mol PNP·kg<sup>-1</sup> DM·h<sup>-1</sup>.

Microclimatic data (T1 – air temperature at 2 m above the soil surface in a forest stand, T2 – soil temperature in A horizon, T3 – soil temperature in B horizon, soil moisture of A and B horizons) were obtained by direct field measurements with Meteo-UNI meteorological stations with VIRRIB sensors (data recording interval: 60 min) between 2008 and 2009 (Table 1).

A phytocoenological survey provided data on stand canopy, degree of herb layer coverage and dominant plant species (Table 1).

**Animal sampling.** To collect the epigeic fauna, five four-litre pitfall traps filled with 4% formaldehyde were used in each of the stands. The traps were set in lines with 10 m spacing, covered with roofs and checked in six-week intervals in the period from 1<sup>st</sup> April to 30<sup>th</sup> October in the years 2007 to 2012. During each collection, a mixed sample was prepared from all five pitfall traps at the locality and preserved in 75% ethanol. Species were determined by Dr. I. H. Tuf and Dr. J. Tufová (Palacký University, Olomouc) and Ing. M. Lazorík (Mendel University in Brno).

**Statistical processing.** The significance level of the equality of means in two independent samples was tested by a two-sample *T*-test for independent samples, where two basic testing criteria exist for equal and unequal variances. Results of the *F*-test were either rejection or acceptance of the hypothesis on the equality of variance. In the *T*-test, a hypothesis  $H_0$  was set out that if the mean values of the analysed samples are equal, it can be presumed that the mean numbers of the individuals occurring in spruce stands are equal to the numbers of individuals occurring in beech stands. Subsequently, the *T*-test was performed separately for Diplopoda, Chilopoda and Isopoda.

To assess environmental variables that do not differ between structures, but are related to the myriapod turnover, we performed a Canonical Correspondence Analysis (CCA) in CANOCO 4.5



Table 1. Environmental characteristics of pair localities

Local- ity	Coordinates	Geo- graphic location	Tree species canopy	Herbst cover	Dominant species	Age	SoFT	Alti- tude (m)	Slope (°)	Soil type	Skel- eton (%)	Layer (cm)			pH/KCl			T (°C)			Dis- tance (m)			
												L	F	H	A	B	T1	T2	T3	A		B		
3	49°29'02.5"N 18°21'08.7"E	SW	B	98	25	<i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Athyrium filix-femina</i>	66	FA	880	10	CA	1	0_3	3_5	5_9	3.47	3.04	8.12	7.80	7.60	29.43	31.26	289	
4	49°29'01.9"N 18°21'23.0"E	E	S	65	45	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	94	FA	890	5	HP	0	0_2	2_6	6_11	3.02	3.12	8.07	7.70	7.45	27.48	29.09		
12	49°30'57.1"N 18°22'54.4"E	N	B	65	80	<i>Athyrium filix-femina</i>	124	FA	835	35	CA	1	0_4	4_5	5_9	x	3.31	8.88	8.21	8.12	32.02	32.98	653	
13	49°30'55.0"N 18°22'22.1"E	N	S	96	5	<i>Dryopteris expansa</i>	51	FA	850	30	RA	10_15	0_3	3_5	5_12	x	2.78	8.12	7.88	7.52	29.86	35.47		
21	49°28'44.6"N 18°22'43.3"E	SW	B	96	1	<i>Polytrichum formosum</i>	110	AF n. st.	730	26	CA	10	0_3	3_5	5_8	3.95	3.05	8.65	8.41	8.35	30.57	30.77	338	
22	49°28'36.2"N 18°21'54.0"E	S	S	65	2	<i>Avenella flexuosa</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i>	65	AF n. st.	695	6_10	CA	0	0_6	6_9	2.97	2.51	-	-	-	-	-	-	-	
25	49°29'29.3"N 18°21'00.6"E	W	B	70	30	<i>Calamagrostis arundinacea</i>	49	Fac n. st.	870	30	CA	5_10	0_2	2_7	7_14	4.11	x	8.32	8.23	8.00	24.75	25.78	150	
26	49°29'27.8"N 18°20'58.1"E	W	S	85	45	<i>Dryopteris dilatata</i>	88	Fac n. st.	825	35	RA	30	0_8	8_20	3.00	2.99	8.20	7.94	7.83	24.59	29.52			
35	49°31'09.6"N 18°19'13.2"E	NE	B	95	95	many species*	42	Ft, Fp	635	10	CA	0	0_2	0	2_7	4.04	x	9.64	8.79	8.61	25.99	29.03		
30	49°31'17.1"N 18°18'57.4"E	N	S	65	65	<i>Rubus hirtus</i>	90	Ft, Fp	630	10	CA	0	0_3	3_5	5_12	2.98	2.85	-	-	-	-	-	-	393

B – beech, S – Norway spruce, FA – Fresh fir beech, AF n. st. – Rich beech fir, Fac n. st. – Maple beech, Ft, Fp – fresh beech, CA – Cambisols, HP – haplic Podzols, RA – Ranker; \**Luzula luzuloides*, *Calamagrostis arundinacea*, *Carex sylvatica*, *Poa annua*, *Rubus hirtus*, *Prenanthes purpurea*, *Athyrium filix-femina*, *Oxalis acetosella*, *Dentaria bulbifera*, *Senecio ovatus*, *Dryopteris expansa*, *Galeobdolon montanum*, *Galeopsis perniofferi*; x – pH was not measured, the soil layer has not been created

(TER BRAAK, ŠMILAUER 2002). Densities were  $\log_{0.5(x+1)}$  transformed and rare species were down-weighted. We entered all environmental descriptors, used interspecies distances and Hill's scaling, and extracted the best-fitting seven environmental variables using the forward selection procedure with 999 Monte-Carlo permutations for significance testing.

The data that were shown by the great strength test were subjected to redundancy analysis (RDA). RDA method is a canonical form of the principal component analysis that uses linear regression to determine the maximum response of the dependent data set (samples) to the set of independent data (environmental factors). It results in determination of the maximum linear trends in the analysed data.

## RESULTS

### Natural environment

All of the localities within this study lie in the flysch zone (sandstones or clay slates), of which the cambic pedogenetic process and podzolization are typical. Oligotrophic localities prevail. Soils are very strongly to extremely acidic (in the surface soil, topsoil horizon A  $2.79-5.01 \pm 0.52$ , subsoil horizon B  $2.48-3.37 \pm 0.27$  and in the parent rock horizon C  $2.52-4.19 \pm 0.41$ ). Sorption complex saturation ranges from very low to low in most of the localities, not exceeding 30%. Phosphatase activity reached 23.5 to 200.6  $\mu\text{g}\cdot\text{mol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ dm}\cdot\text{h}^{-1}$ , overall mean  $96.95 \pm 35.89 \mu\text{g}\cdot\text{mol PNP}\cdot\text{kg}^{-1}\text{ dm}\cdot\text{h}^{-1}$ . Cation exchange capacity is on the level of 4.38–28.03  $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ ; overall mean  $14.73 \pm 6.21 \text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$  and the content of exchangeable bases is 0.36–22.51  $\text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ ; overall mean  $4.35 \pm 6.22 \text{cmol}^+\cdot\text{kg}^{-1}$ . Average content of base saturations is 3.6–88.7%.

A linear ordination method RDA was used for a comparison of environmental factors and their mutual relationship with spruce- and beech-dominated sites. The first axis of the RDA analysis explained 85.1% and the second axis accumulated 98.4% of the total variance. Results of global permutation tests for the estimation of significance of relationships between species and their environment with RDA, where the trace of all canonical axes is 0.078, which leads to the  $F$ -ratio of 2.159, and the resulting  $P$ -value 0.01 indicate that the relationship between the species and their environment is very significant. The factor of organic humus thickness in the top soil layer (Fig. 1) positively proved a correlation with spruce stands, of which the humus

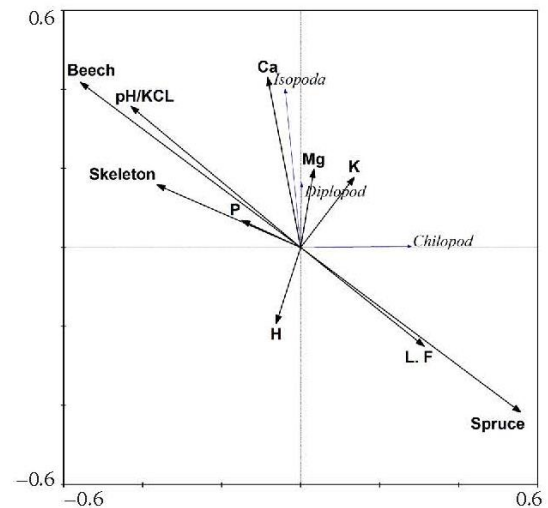


Fig. 1. Comparison of the main environmental variables in the environment of RDA ( $F = 2.159$ ;  $P = 0.015$ )

L.F – organic soil horizon, layer 0–8 cm; H – secondary organic soil horizon, layer 4–15 cm; P, Ca, Mg, K – major nutrients in the top soil; pH/KCl – pH factor in the soil; Skeleton – average content of soil skeleton in the soil layer

accumulation is typical. Besides, pH/KCl indicates higher values (more alkaline) in beech stands. Essential nutrients (P, Ca, Mg and K) in the top soil layer also indicate their higher content in beech stands, only K is slightly increased in spruce stands. By this analysis, we have confirmed the generally accepted processes in spruce and beech stands.

### Species diversity

The pitfall traps installed on the monitored localities (2007–2012) captured 3,550 individuals (Diplopoda 405 ind./11 species, Chilopoda 2844/17, Isopoda 301/6). The eudominant Diplopoda were represented by *Glomeris connexa* C.L. Koch (37%), *Leptoiulus trilobatus trilobatus* (Verhoeff) (17.3%), *Polydesmus complanatus* (L.) (15.1%) and *Tachypodoiulus niger* (Leach) (11.6%). *Glomeris verhoeffi fagivora* (Verhoeff) is considered rare. From the viewpoint of occurrence frequency, no significant difference was proved in the presence of individual species between spruce and beech stands (Table 2).

Chilopoda are the most abundant group of Myriapoda with the eudominant representatives being *Lithobius forficatus* (L.) (36.7%), *Lithobius mutabilis* L. Koch (33.4%) and *Lithobius erythrocephalus* C.L. Koch (17.1%). Despite the species diversity, the subrecedent species (9 species) occupied only an insignificant position (Table 2). The species *Geo-*

Table 2. Myriapoda in beech and spruce forests (pitfall traps, 2007–2012) in pair localities and structure diversity index

Species/Statistics	Abbrev	Locality* (tree species)										Total sum
		3(B)	4(S)	12(B)	13(S)	21(B)	22(S)	25(B)	26(S)	35(B)	3(S)	
<b>Diplopoda</b>												
<i>Brachyiulus bagnalli</i>	Br_bag						7.69					0.25
<i>Cylindroiulus nitidus</i>	Cy_nit			2.38								0.49
<i>Glomeris connexa</i>	Gl_con	7.41		34.52	31.58	57.89	38.46	84.62	23.81	22.22	16.67	37.04
<i>Glomeris hexasticha</i>	Gl_hex			34.52							3.70	7.65
<i>Glomeris verhoefi fagivora</i>	Gl_verfa									3.70		0.25
<i>Haasea flavescens</i>	Ha fla										20.37	2.72
<i>Julus scandinavicus</i>	Ju_scan	3.70		1.19	15.79				4.76	3.70	25.93	5.19
<i>Leptoiulus trilobatus</i>	Le_tri	25.93	22.73	16.67	36.84	7.89	7.69	8.97	61.90	14.81	7.41	17.28
<i>Ophiulus pilosus</i>	Oph_pil		4.55			2.63					12.96	2.47
<i>Polydesmus complanatus</i>	P_com	29.63	59.09	1.19	5.26	21.05	30.77			25.93	11.11	15.06
<i>Tachypodoiulus niger</i>	Ta_nig	33.33	13.64	9.52	10.53	10.53	15.38	6.41	9.52	29.63	1.85	11.60
Total		27	44	84	19	38	13	78	21	27	54	405
<b>Chilopoda</b>												
<i>Cryptops parisi</i>	C_par		1.20	1.12	0.36	0.74	0.62	0.36		1.44	0.21	0.60
<i>Geophilus flavus</i>	G fla				0.36		0.31	0.36	0.47			0.14
<i>Geophilus insculptus</i>	G_inst		0.24									0.04
<i>Lithobius austriacus</i>	L_aus		0.24				7.69					0.91
<i>Lithobius burzenlandicus</i>	L_bur							0.36				0.04
<i>Lithobius biunguiculatus</i>	L_biu		0.24									0.04
<i>Lithobius cyrtopus</i>	L_cyr	11.27	3.61	2.81	5.69	0.74	7.08	8.36	5.61	7.66	7.07	5.91
<i>Lithobius erythrocephalus</i>	L_eryt	9.31	21.15	2.25	26.33	18.45	23.69	12.73	24.77	4.78	16.27	17.09
<i>Lithobius forficatus</i>	L_for	48.53	46.15	35.96	33.81	36.53	16.00	27.64	23.36	34.93	52.46	36.74
<i>Lithobius micropodus</i>	L_mpod									0.48		0.04
<i>Lithobius microps</i>	L-mic	1.96	0.48	2.25	1.42	1.48	1.54		1.87	2.39	1.71	1.41
<i>Lithobius mutabilis</i>	L_mut	26.47	22.84	48.31	28.83	39.48	41.54	44.00	32.24	47.85	21.84	33.40
<i>Lithobius nodulipes</i>	L_nod	1.47	0.48	3.93	1.78	1.11		2.55	2.80			1.16
<i>Lithobius pelidnus</i>	L_pel								1.40		0.43	0.18
<i>Lithobius tenebrosus</i>	L_ten		2.40	0.56					0.93	1.44		0.56
<i>Strigamia acuminata</i>	S_acu	0.98	0.72	2.25	1.42	1.48	1.54	3.64	6.54	0.48	0.21	1.69
<i>Strigamia transsilvanica</i>	S_trans		0.24	0.56								
Total		204	416	178	281	271	325	275	214	209	467	2,844
<b>Isopoda</b>												
<i>Hyloniscus riparius</i>	H_rip			66	1	79	0	60	26	10	62	301
<i>Ligidium germanicum</i>	Li_ger			9.09				5.00				2.99
<i>Ligidium hypnorum</i>	L_hyp							1.67				0.33
<i>Porcellio scaber</i>	Pe_scab			1.52								0.33
<i>Protracheoniscus politus</i>	Pr_poli		100.00	83.33		100.00		91.67	100.00	80.00	96.77	94.35
<i>Tracheoniscus ratzeburgi</i>	T_ratb			6.06	100.00			1.67		20.00	1.61	1.66
<b>Statistics</b>												
<i>H'</i>		1.74	1.84	2.22	1.85	1.88	1.87	2.04	2.20	1.82	1.93	
<i>D</i>		0.26	0.24	0.15	0.22	0.19	0.22	0.17	0.14	0.26	0.23	
Evenness		0.67	0.62	0.71	0.66	0.69	0.67	0.71	0.79	0.62	0.63	
Total species		13	19	22	16	15	16	17	16	18	21	
Total sum		231	461	328	301	388	338	413	261	246	583	3,550

Abbrev – abbreviation see Fig. 5, Locality\* – see Table 1, B – beech, S – Norway spruce, *H'* – Shannon's index, *D* – Simpson's index

*phylus flavus* (De Geer), *Lithobius austriacus* (Verhoeff) and *Lithobius pelidnus* Haase were trapped more often in spruce stands (Table 2).

In the limited spectrum of species, Isopoda are represented by *Protracheoniscus politus* (Koch) (94.3%), with a higher number of individuals being trapped in



beech than in spruce stands (211:90) (Table 2). The highest species diversity was found on the locality with beech stand aged 124 years (Shannon-Weaver index  $H' = 2.22$  bit, 328 ex., 22 species) (Table 2).

### Myriapoda and Isopoda fauna in Norway spruce and beech stands

As the  $T$ -test failed to confirm the null hypothesis on the equality of means of the variance  $H_0$  ( $F = 1.682$ ,  $P = 2.85205 \text{ E-}06 < 0.05 \alpha$ ), a  $T$ -test for unequal variances ( $F = -2.242$ ,  $P = 0.01332 < 0.05 \alpha$ ) was performed, revealing that the mean values of numbers of individuals in the group of localities with spruce occurrence show a statistically significant difference compared to the mean values of numbers of individuals in the group of localities with beech occurrence. In view of the differences in the groups of Myriapoda estimated by the CCA method, differences were also tested in individual groups of Diplopoda, Chilopoda and Isopoda. A significant difference in the variance of mean values between the sites with beech and spruce stands favouring occurrence in beech stands was found only in Diplopoda (Fig. 2). Variances of mean values found in Chilopoda and Isopoda (Fig. 2) did not confirm the hypothesis that the species trapped in beech and spruce stands come from different initial communities. These results are partially biased due to the irregular distribution of individual species as there were higher numbers of *Protracheoniscus politus* (Koch) individuals found in beech stands. In spruce stands, however, there was higher diversity with the low abundance of individual species.

With the use of canonical correspondence analysis, the first and the second ordination axis explained 86.8% of the total variance (first axis 32.1%, second axis 54.7%). The results of global permutation tests for the estimation of significance of relationships between species and their environment via CCA, where the trace of all canonical axes is 0.635, leading to  $F$ -ratio 3.485 and the resulting  $P$ -value 0.001 indicate that the relationship between the species and their environment is very significant ( $P < 0.01$ ). The axes are evenly distributed due to the equal numbers of the monitored stands. The analysis revealed that the Isopoda group (black points), with the dominant species *Protracheoniscus politus* (Koch), is found only in the area closer to the axis of beech, which shows a positive relationship to this tree species in the Beskydy Mts. territory. Of the Diplopoda group (white circles), the most marked is the order Glom-

erida, where the closest link to beech was found in *Glomeris hexasticha* Brandt. On the other hand, *Julus scandinavicus* Latzel, *Hassea flavescens* (Latzel) and *Brachyiulus bagnalli* (Brölemann) incline towards the spruce forest environment. The highest variability was found in the Chilopoda group (triangles), which is also represented by a higher

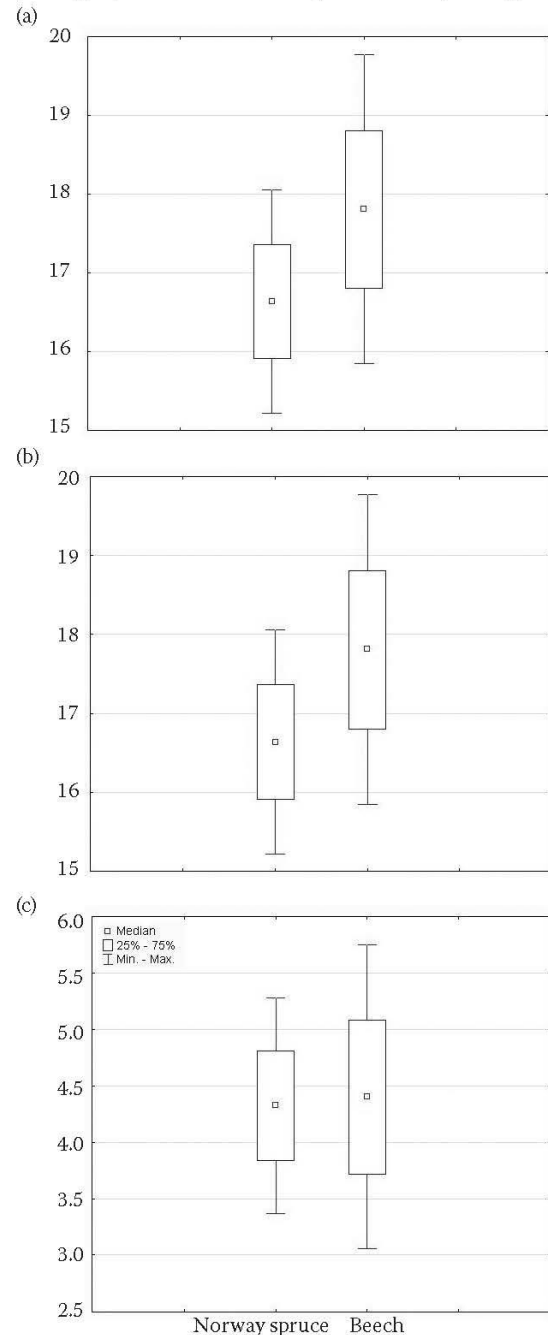


Fig. 2. Abundance of Diplopoda ( $F = 5.651$ ;  $P = 0.000$ ) (a), Chilopoda ( $F = 1.068$ ;  $P = 0.275$ ) (b), Isopoda ( $F = 0.088$ ;  $P = 0.928$ ) and (c) in beech and spruce stands

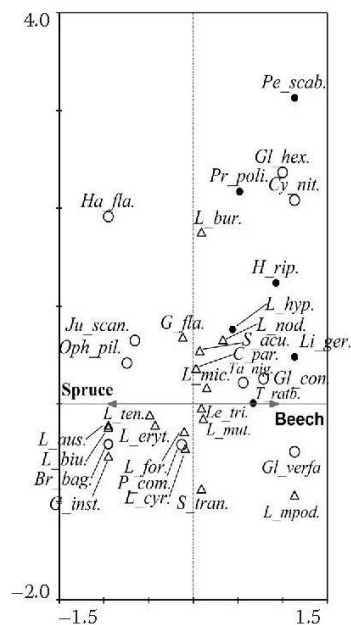


Fig. 5. Results of the CCA and the Myriapoda assemblage with the environmental variables (abbreviations see Table 2)

number of species with different environmental requirements. The only representative of the order Scolopendromorpha, *Cryptops parisi* (Brölemann), is found slightly above the axis of beech. Of the order Geophilomorpha, the species *Geophilus flavus* (DeGeer) and *Geophilus insculptus* (Attems) are linked to spruce stands, while *Strigamia acuminata* (Leach) and *Strigamia transsilvanica* (Verhoeff) to beech stands. In the wide spectrum of the trapped species from the order Lithobiomorpha, preference of spruce was observed in species *Lithobius forficatus* (L.), *L. cyrtopus* Latzel, *L. erythrocephalus* C.L. Koch, *L. tenebrosus* Meinert, *L. austriacus* (Verhoeff) and *L. biunguiculatus* (Loksa) and preference of beech stands in species *Lithobius microps* (Meinert), *L. mutabilis* L. Koch, *L. burzenlandicus* Verhoeff, *L. micropodus* (Matic) and *L. nodulipes* Latzel (Fig. 3).

## DISCUSSION

A hypothesis that forest stands affect the epigeic fauna, including Myriapoda as its significant component, via dominant tree species, was tested in selected spruce and beech production stands in the mountain part of the Moravskoslezské Beskydy Mts. Quality and quantity of litter in spruce stands is linked to organic matter accumulation that increases with stand age (NIHLGÅRD 1971; ULRICH

1987, 1994; KAZDA, PICHLER 1998). This accumulation is due to the high phenol content in coniferous litter, which strongly disadvantages detritivores in habitat colonization (ULRICH, SUMNER 1991; ULRICH 1994; GALLET, LEBRETON 1995; LORENZ et al. 2000). Beech litter is characterized by a higher content of nutrients; it is especially carbon that contributes to rapid decomposition and positively affects utilization of this environment by fungi, moulds, bacteria up to the predators such as Chilopoda (MARAUN, SCHEU 1995; BLAGODATSKAYA, ANDERSON 1998; SCHUE et al. 2003). Also the overall diversity  $H'$  of Myriapoda in beech stands was higher than in spruce stands (beech = 3.542 bit, spruce = 3.478 bit). Of the total number of 34 species, six were captured only in spruce stands and nine in beech stands. Significance of these species is lessened by the fact that they were mostly sole catches. On the other hand, some of the eudominant species inhabit both studied ecosystems. Of the Diplopoda class it was *Glomeris connexa* C.L. Koch, *Leptoiulus trilobatus* (Verhoeff), *Polydesmus complanatus* (L.) and *Tachypodoiulus niger* (Leach), representing 81% of the total number of captured individuals. Particularly *Glomeris connexa* C.L. Koch is associated with beech stands (83.3%). In *Leptoiulus trilobatus* (Verhoeff) the numbers were equal (50.0%) and in *Polydesmus complanatus* (L.) it represented only 39.3%, in *Tachypodoiulus niger* (Leach) 72.3% of the overall number of trapped individuals. These results support the previous findings that Diplopoda prefer sites with a sufficient amount of decomposing humus, bacteria, fungi and moulds (LANG 1954; BLOWER 1985; HOPKIN, READ 1992). The observed positive correlation between beech stands with mesotrophic litter and representatives of the families Julidae, Glomeridae and Craspedosomatidae is in agreement with the findings of other authors (SCHAEFFER, SCHAUERMANN 1990; DAVID et al. 1993). The prevailing species of the class Chilopoda were *Lithobius cyrtopus* Latzel, *Lithobius erythrocephalus* C.L. Koch, *Lithobius forficatus* (L.) and *Lithobius mutabilis* L. Koch, representing 93.1% of the total number of Chilopoda in the pitfall traps. In contrast to Diplopoda, Chilopoda occurred more often in spruce stands (*Lithobius cyrtopus* 58.9%, *Lithobius erythrocephalus* 75.7%, *Lithobius forficatus* 60.7% and *Lithobius mutabilis* 50.7%). SCHUE et al. (2003) reported the highest catch of Chilopoda from a beech stand aged 120 years, contrary to our finding in stands of spruce aged 51–94 years (Table 1). This discrepancy may have been caused by a collection method as SCHUE et al. (2003) applied

the method of extraction from soil while we used collection with pitfall traps during the whole vegetation season. Chilopoda are predators with very good mobility and increased resistance to low and high temperatures  $-7$  to  $+30^{\circ}\text{C}$ , reacting to a decrease of humidity less sensitively than Diplopoda and Isopoda. BLOWER (1955) pointed out the importance of integument permeability linked to the limited colonization of waterlogged sites as a result of the worse management of water uptake through endodermis. Due to this, during wet periods of the year, some Chilopoda hide under the bark of fallen trees or in some other well-drained places (BARBER 2004). The class Isopoda was represented by the species *Protracheoniscus politus* (Koch) (95.3%), of which 69.4% were found in beech stands, which corresponds to the results of SCHUE et al. (2003). Isopoda prefer decomposing material with a low content of the phenol component in their diet (NEUHAUSER, HARTENSTEIN 1978); this corresponds to our results showing its low occurrence in spruce stands. By confrontation of the Myriapoda fauna in spruce and beech ecosystems we were able to confirm that Diplopoda and Isopoda are strongly linked to an environment providing a sufficient amount of decomposing organic matter and a good moisture situation. On the other hand, we found out that Lithobiomorpha do not depend so closely on the site moisture and quality of decomposing organic matter, but are limited by food supply, reacting rapidly to its changes and migrating to other sites.

## References

- Albert A.M. (1982): Species spectrum and dispersion patterns of chilopods in three Solling habitats. *Pedobiologia*, 23: 337–347.
- Auerbach S.I. (1951): The centipedes of the Chicago area with special reference to their ecology. *Ecological Monographs*, 21: 97–124.
- Barber M.G. (2004): Millipedes (Diplopoda) and Centipedes (Chilopoda) (Myriapoda) as predators of terrestrial Gastropods. In: Barber M.G. (ed.): *Natural Enemies of Terrestrial Molluscs*: 405–425.
- Bardgett R.D., Wardle D.A. (2010): *Aboveground-belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes and Global Change*. New York, Oxford University Press: 301.
- Blackburn J., Farrow M., Arthur W. (2002): Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes. *Journal of Zoology*, 256: 221–232.
- Blagodatskaya E.V., Anderson T.H. (1998): Interactive effects of pH and substrate quality on the fungal-to-bacterial ratio and  $\text{qCO}_2$  of microbial communities in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1269–1274.
- Blower J.G. (1955): Millipedes and centipedes as soil animals. In: Kevan D.K.M. (ed.): *Soil Zoology*. London, Butterworths Scientific Publications: 138–151.
- Blower J.G. (1985): Millipedes. *Linnean Society Synopses of the British Fauna*, No. 35. London, Linnean Society: 242.
- Bornebusch C.H. (1930): *The Fauna of the Forest Soil*. Det forstlige Forsogsvaesen i Danmark, 11. Copenhagen, Lyng & Søn: 1–225.
- Craston P.S., Trueman J.W.H. (1997): 'Indicator' taxa in invertebrate biodiversity assessment. *Memorial Museum Victoria*, 56: 267–274.
- David J.F., Ponge J.F., Delecour E. (1993): The saprophagous macrofauna of different types of humus in beech forests of the Ardenne (Belgium). *Pedobiologia*, 37: 49–56.
- Frankeberger Z. (1959): *Stejnonožci suchozemští – Oniscoidea*. Fauna ČSR, 14. Praha, NČSAV: 216.
- Fründ H.C. (1983): *Untersuchungen zur Koexistenz verschiedener Chilopodenarten im Waldboden*. [Ph.D. Thesis.] Würzburg, University of Würzburg: 164.
- Funke W. (1971): Food and energy turnover of leaf-eating insects and their influence on primary production. *Ecology Studies*, 2: 81–93.
- Gallet C., Lebreton P. (1995): Evolution of phenolic patterns in plants and associated litters and humus of a mountain forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 157–166.
- Grgic T., Kos I. (2003): Centipede diversity in patches of different development phases in an unevenly-aged beech forest stand in Slovenia. *African Invertebrates*, 44: 237–252.
- Hanski I.A. (1998): Metapopulation dynamics. *Nature*, 396: 41–49.
- Hopkin S.P., Read H.J. (1992): *The biology of millipedes*. New York, Oxford University Press: 223.
- Kazda M., Pichler M. (1998): Priority assessment for conversion of Norway spruce forests through introduction of broadleaf species. *Forest Ecology Management*, 102: 245–258.
- Lang J. (1954): *Mnohonozky – Diplopoda*. Praha, Nakladatelství Československé akademie věd: 183.
- Lorenz K., Preston C.M., Raspe S., Morrison J.K., Feger K.H. (2000): Litter decomposition and humus characteristics in Canadian and German spruce ecosystems: information from tannin analysis and C-13 CPMAS NMR. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 779–792.
- Maraun M., Scheu S. (1995): Measurement of the microbial biomass in three different litter layers of a beechwood: influence of fragmentation and glucose concentration. *Biology Fertility Soils*, 19: 155–158.
- Nihlgård B. (1971): Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden. *Oikos*, 22: 302–314.
- Poser T. (1990): The influence of litter manipulation on the centipedes of a beech wood. In: Minelli A. (ed.): *Proceed-*



- ings of the 7<sup>th</sup> International Congress of Myriapodology. Brill, Leiden, July 19–24, 1987: 235–245.
- Rejšek K. (1991): Acid phosphomonoesterase activity of ectomycorrhizal roots in norway spruce pure stand exposed to pollution. *Soil Biology and Biochemistry*, 23: 667–671.
- Schafer M. (1990): The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget. *Oecologia*, 82: 128–136.
- Schafer M., Schauermann J. (1990): The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. *Pedobiologia*, 34: 299–314.
- Schatzmann E. (1990): Weighting of habitat types for estimation of habitat overlap-application to a collection of Swiss centipedes. In: Minelli A. (ed.): *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Congress of Myriapodology*. Brill, Leiden, July 19–24, 1987: 299–309.
- Scheu S., Sprengel T. (1989): Die Rolle der endogäischen Regenwürmer im Ökosystem Kalkbuchenwald und ihre Wechselwirkung mit saprophagen Makroarthropoden. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 17: 237–243.
- Scheu S. (1992): Automated measurement of the respiratory response of soil microcompartments: active microbial biomass in earthworm faeces. *Soil Biology and Biochemistry*, 24: 1113–1118.
- Schue S., Albers D., Alpei J., Buryn R., Klages U., Mígge S., Platner C., Salamon J.A. (2003): The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces. *Oikos*, 101: 225–238.
- Ter Braak C.J.F., Smilauer P. (2002): *CANOCO Reference Manual and Canodraw for Windows Users Guide: Software for Canonical Community Ordination Version 4.5*. Ithaca, Wageningen: 500.
- Tuf I.H., Tuřová J. (2008): Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality in Czech Republic. *Časopis Slezského Muzea Opava (A)*, 57: 37–44.
- Ulrich B. (1987): Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. In: Schulze E.D., Zwölfer H. (eds): *Potentials and limitations of ecosystem analysis*. Ecological Studies, 61: 11–49.
- Ulrich B., Sumner M.E. (1991): *Soil Acidity*. Berlin, Springer.
- In: Ulrich B., Mayer R., Khanna P.K., Seekamp G., Fassbender H.W. (1976): Input, output und interner Umsatz von chemischen Elementen bei einem Buchen- und einem Fichtenbestand. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Göttingen*. The Hague, Dr. W. Junk Publ.: 17–28.
- Ulrich B. (1994): Nutrient and acid-base budget of Central European forest ecosystems. In: Godbold D.L., Hüttermann A. (eds): *Effects of Acid Rain on Forest Processes*. New York, John Wiley & Sons: 1–50.
- Neuhauser E.F., Hartenstein R. (1978): Phenolic content and palatability of leaves and wood to soil isopods and diplopods. *Pedobiologia*, 18: 99–109.
- Scheu S., Poser G. (1996): The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. *Applied Soil Ecology*, 3: 115–125.
- Wigley T.B., Roberts T.H. (1994): Forest management and wildlife in forested wetlands of the southern Appalachians. *Water Air and Soil Pollution*, 77: 445–456.

Received for publication June 23, 2014  
Accepted after corrections May 29, 2015

---

*Corresponding author:*

Prof. Ing. EMANUEL KULA, CSc., Mendel University in Brno, Faculty of Forestry and Wood Technology, Department of Forest Management, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic; e-mail: kula@mendelu.cz

---

## 8. Publikace III.

ZPRÁVY LESNICKÉHO VÝZKUMU, 59, 2014 (3): 175-183

### CHILOPODA V KORUNOVÉ A KMENOVÉ FAUNĚ LESNÍCH DŘEVIN

#### CHILOPODA IN CROWN AND STEM FAUNA OF FOREST TREES

EMANUEL KULA  - MARTIN LAZORÍK

Mendelova univerzita v Brně, Lesnická a dřevařská fakulta, Zemědělská 3, CZ - 613 00 Brno

 e-mail: kula@mendelu.cz

#### ABSTRACT

Using a beating sheet method, Chilopoda individuals were collected from branches and stems of forest trees in the area of the Krušné hory Mts. (the Ore Mts.) and the Děčínská vrchovina Highland (Czech Republic). The survey confirmed arboricolous character of the Chilopoda representatives – *Lithobius pelidnus* (Haase, 1880), *L. borealis* (Meinert, 1868), *L. cyrtopus* (Latzel, 1880), facultative occurrence on stems of forest trees *L. forficatus* (Linnaeus, 1758), *L. mutabilis* (Koch, 1862), *L. microps* (Meinert, 1868), *L. lapidicola* (Meinert, 1872). In individual tree species, dominating Chilopoda species were identified: *Fagus* (*L. borealis*, *L. cyrtopus*), *Picea* (*L. pelidnus*), *Pinus* (*L. cyrtopus*), *Larix* (*L. pelidnus*, *L. borealis*). Occurrence on stems and branches throughout the whole vegetation season was determined in species *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, *L. forficatus*, *L. microps*. For the analysis of variance at a significance level  $\alpha = 0.05$ , non-parametric one-way ANOVA – Kruskal-Wallis test was used. Representation of the *Lithobius* genus in all studied Scots pine stands was equable with no statistically significant differences as a natural constituent of the fauna on Scots pine trunks with bark of medium thickness reaching up to a half of the trunk. As the most favorable to the occurrence of the genus *Lithobius* seems larch trunks formed with rough bark (Kruskal-Wallis test), a numerical representation decreases with altitude.

**Klíčová slova:** Chilopoda, *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, *Pinus sylvestris*, *Larix decidua*, *Picea pungens*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, sklepvání, Krušné hory

**Key words:** Chilopoda, *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, *Pinus sylvestris*, *Larix decidua*, *Picea pungens*, *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, beating sheet method, Ore Mts.

#### ÚVOD

Chilopoda jsou dravci s jedovými kusadly, ale není vyloučena konzumace mrtvých nebo rozkládajících se rostlin a živočichů. Jako dravci jsou stonožky nepřímo ovlivněny kvalitou vegetace, neboť na ní závisí potencionální struktura kořisti nacházející se v půdě a na vegetaci (ALBERT 1982; FRÜND 1983; POSER T. 1990; SCHAEFER 1990; SCHAEFER, SCHAUERMANN 1990). Příznivé podmínky nachází v blízkosti paty kmene stromů nebo pařezů (FRÜND 1987; POSER T. 1989; SCHEU, POSER 1996).

V oblastech mírného pásma zimují dospělci. Migrace je omezená a souvisí pouze s vyhledáváním potravy a pářením. V mírném pásmu stonožky vykazují maximální aktivitu na jaře (V/VI), kdy vrcholí reprodukční proces a poté na podzim diferencovaně ve vlhčích lesích (IX) a na suchých stanovištích (X/XI). Stonožky se chrání před nízkými zimními teplotami vstupem do hlubších půdních vrstev. Arboricolní druhy mohou přezimovat v půdě (SPELDA 1999). Sezónní změny stanovišť vyvolané průběhem počasí zmiňují AUERBACH (1951) a ROBERTS (1957), ale nebyly potvrzeny v německých lesích (FRÜND 1987; POSER T. 1989). NEWPORT (1844) považuje Lithobiidae za predátory žeroucí larvy Oniscidea. PLATEAU (1878) zjistil, že *Lithobius forficatus* nevyhledává běžně se vyskytující druhy na stanovišti během dne, ale aktivně loví mouchy v noci, podle JACKSONA (1914) i slimáky a BRITTEN (1920) upřesnil vazbu na píďalkovitě a můry. Pavouci jsou rovněž významnou součástí potravy (BRADE-BIRKS 1929). SIMON (1960) specifikoval potravní nabídku (*Musca domestica* L., *Sarcophaga* spp., pavouci Lycosidae a Salticidae,

*Lumbricus* a Collembola větších velikostí). Collembola (*Folsomia quadrioculata* (Tullberg), *Isotoma viridis* (Bourlet), *Tomocerinus minor* (Lubbock), *Orchesella cincta* (L.) a *Lepidocyrtus cyaneus* Tullberg) vyhledává *Lithobius variegatus* Leach. Pavouci, pravděpodobně Linyphiidae, jsou potravou pro *L. variegatus*, dále roztoči (*Pergamasus crassipes* (L.)), sekáči, měkkýši (Mollusca). Pancířníci a parazitické formy roztočů vyhledává *Lithobius lapidicola* Meinert (BRITTEN 1920; CLOUDSLEY-THOMPSON 1945). ALBERT (1976) prokázal negativní korelaci mezi biomasou druhu *Lithobius curtipes* C.L. Koch a pavouků. Podle ROBERTSE (1956) zástupci rodu *Lithobius* mohou nahradit predáční vliv drabčků a pavouků.

Zonální distribuce byla studována v evropských listnatých lesích (FRÜND 1987, 1991; POSER T. 1989; POSER G. 1990; SCHEU, POSER 1996; SPELDA 1999; JABIN et al. 2007). Morfologicky velmi podobné druhy stonožek mohou být odděleny charakterem mikrostanoviště jako je kmen stromu (*Lithobius pelidnus* Haase, *L. valesiacus* Verhoeff, *L. piceus* L. Koch), půdní prostředí (*L. mutabilis* L. Koch) nebo trouchnivější pařezy (*L. macilentus* L. Koch, *L. crassipes* L. Koch, který je i na kmenech stromů).

*L. mutabilis* vyhledává kořist v opadu bukovém (ALBERT 1976). *L. forficatus* osidluje bukový, dubový, březovo-olšový opad a proniká i do půdy (ROBERTS 1956; WIGNARAJAH 1968).

O arboricolních zástupcích Chilopoda existují pouze dílčí informace (LLOYD 1963; SPELDA 2005; ROBERTS 1956; BRITTEN 1920; CLOUDSLEY-THOMPSON 1945; SPITZER et al. 2010). *L. melanops* Newport byl zjištěn pod kůrou stromů (VERHOEFF 1937) a *L. crassipes* L. Koch se



nachází v trouchnivějícím dřevě v hrabance a na kmenech (FRÜND 1987) a pod kůrou (ANDERSSON 1983).

Cílem příspěvku je vymezit faunu Chilopoda na kmenech a větvích některých dřevin v minulosti imisemí narušeném území Krušných hor a Děčínské vrchoviny a stanovit jejich sezónní dynamiku.

## MATERIÁL A METODIKA

V letech 2007–2013 se uskutečnilo šetření zaměřené na korunovou faunu bezobratlých vybraných dřevin (*Picea pungens* Engelm. 2007, *Picea abies* (L.) Karsten 2007, *Sorbus aucuparia* 2008, *Ainus glutinosa* (L.) Gaertn. 2009, *Larix decidua* (Mill.) 2010, *Pinus sylvestris* (L.) a *Fagus sylvatica* L. 2011–2013), které tvoří především porosty náhradních dřevin v imisním území Krušných hor a Děčínské vrchoviny.

Zvolena byla metoda sklepávání u *P. pungens* (20–25 let, tři lokality) a *P. abies* (10 let, jedna lokalita) z jednotlivých větví. Pod větev k zemi zavěšených smrků byla vložena plachta napnutá na kovovém rámu  $0,5 \times 1$  m a úder do větve bylo dosaženo opadu živočišné složky (larvy a imaga). Jeden vzorek tvořil sběr z 20 větví. Na každé lokalitě bylo v daném termínu vytvořeno 10 vzorků (= 200 větví) v šesti kontrolních termínech ( $\Sigma$  1200 větví) v průběhu vegetačního období (17.5., 15.6., 14.7., 15.8., 15.9., 15.10.2007). Výběr větví byl náhodný z profilu stromu 0,7 až 2,5 m nad zemí. K usmrcení a konzervaci zachycené fauny byl užít 75% etanol. Ze získaných vzorků byly vytřídění zástupci Chilopoda a minoritně se vyskytující druhy Diplopoda a Isopoda.

U ostatních dřevin (*Larix*, *Pinus*, *Fagus*), protože se jednalo o porosty ve věku 15–30 let, se uskutečnilo sklepávání celých stromů. Čtyři plachty, každá o rozměru  $2 \times 2$  m ( $\Sigma$  16 m<sup>2</sup>), byly rozloženy pod průmět koruny stromu a úder palicí (hmotnost 4 kg) na kmen bylo dosaženo opadu přítomných zástupců.

Sklepávání modřínu opadavého probíhalo na 30 lokalitách v průběhu dvou až tří dnů jedenkrát měsíčně (4.–6.5., 28.–30.5., 25.–27.6., 23.–25.7., 20.–22.8., 21.–23.9. a 15.–17.10.2010). Na každé lokalitě byl v daném termínu odběr vytvořen jediný směsný vzorek sklepaním náhodně vybraných pěti jedinců modřínu opadavého, a pokud nebylo zachyceno v úhrnu 100 jedinců korunové a kmenové fauny, byl počet sklepaných stromů navýšen.

Při sklepávání borovice lesní a buku lesního v letech 2011–2013 byl zvolen stejný postup jako u modřínu, ale pouze na šesti lokalitách od každé dřeviny v termínech 18.5., 16.6., 15.7., 15.8., 20.9., 16.10.2011; 2.5., 1.6., 2.7., 5.8., 7.9., 5.10.2012; 17.5., 15.6., 12.7., 15.8., 19.9., 18.10.2013.

Vzhledem k nesternej velikosti stromu jsou porovnávány dominance jednotlivých druhů charakterizující faunu Chilopoda dle druhu sledované dřeviny. K vymezení dynamiky výskytu v průběhu vegetačního období nebyla dřevina zohledněna.

K analýze sezónní a meziroční dynamiky nejpočetněji zastoupených druhů rodu *Lithobius* (Chilopoda) v kmenové a korunové fauně vybraných lesních dřevin byl použit program STATISTICA 10 (StatSoft CR, s. r. o.). Shapiro-Wilksův test stanovil, že se většina analyzovaných datových souborů odchýlila od normálního rozdělení. Proto byla k analýze souzpytlu na hladině významnosti  $\alpha = 0,05$  použita neparametrická jednofaktorová ANOVA – Kruskal-Wallisův test. Při zamítnutí nulové hypotézy ( $H_0$ ; všechny analyzované výběry pochází ze stejného rozložení) jsme uplatnili Dunnův test mnohonásobného porovnání, který vymezil dvojice výběrů se signifikantní odchylkou. V případech, kdy nebyly závažně porušeny podmínky pro metodu ANOVA, jsme touto metodou Kruskal-Wallisův test doplnili. Při použití metody ANOVA a zamítnutí  $H_0$  jsme dále postupovali mnohonásobným porovnáním (Fisherův LSD test).

## Oblast šetření

Fauna smrků pichlavého a smrku ztepilého byla sledována ve třech lokalitách: Boleboř a Dlouhá louka (typická stanoviště náhorních poloh Krušných hor) a Sněžník na území Děčínské vrchoviny (KULA et al. 2013; KULA 2014). Porosty modřínu ke studiu fauny byly situovány na území Děčínské vrchoviny (7), Krušných hor (22) a do podkrušnohorské pánve (1). Porosty borovice lesní a buku lesního (6 + 6 porostů) se nacházely na Děčínské vrchovině (tab. 1).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

### Korunová a kmenová fauna

V korunách na větvích a na kmenech stromů bylo zachyceno osm druhů rodu *Lithobius*, přičemž z hlediska faunistického lze považovat některé druhy za obecně rozšířené ve studovaném území (*Lithobius pelidnus* Haase, *L. borealis* Meinert, *L. cyrtopus* Latzel). Zcela v minoritním postavení byli zástupci Diplopoda a Isopoda (tab. 2).

Buk, který hladkou borkou nevytváří atraktivní prostředí, se profiloval pouze dvěma zástupci (*L. borealis*, *L. cyrtopus*) ve shodném rozsahu. Jednoduchou faunu vykazuje smrk pichlavý, jehož větve osidloval výhradně *L. pelidnus* se sporadickým zastoupením *L. lapidicola*. Stejně lze charakterizovat faunu smrku ztepilého, i když s výrazně nižší abundancí. Na borovici lesní byl eudominantním *L. cyrtopus* doprovázen druhem *L. borealis*. Další druhy byly recedentní až subrecedentní. Nejbohatší fauna stonožek byla vázána na modřín a mezi profulující zástupce se řadil *L. pelidnus*, *L. borealis* (tab. 3).

Z výše uvedeného se potvrzuje arborikolní charakter druhu *L. pelidnus*, *L. borealis* a *L. cyrtopus* při subrecedentním postavení druhů doprovodných. Do zemních pastí situovaných v porostech břízy, smrku ztepilého, borovice lesní a modřínu opadavého (KULA nepubl.) na území Děčínské vrchoviny v r. 2010 nebyl zachycen *L. pelidnus*. Jestliže v borových a modřínových porostech byl v zemních pastech ojedinělý výskyt (3 ex.) obou arboricolních zástupců (*L. borealis* a *L. cyrtopus*), ve smrkovém porostu měli zvýšené zastoupení *L. cyrtopus* (19,49 %), *L. borealis* (7,63 %), ze kterého může vyplývat vyšší aktivita k sestupu z kmene na půdu, případně migrace při změně kmenové nily. Stonožky rodu *Lithobium* byly zastoupené na kmenech a korunách po celé vegetační období, přičemž se neprojevila zásadní změna v početním zastoupení, pouze u druhu *L. borealis* byla stanovena vyšší dominance v začátku a konci vegetační doby (tab. 4).

Zastoupení rodu *Lithobius* bylo ve všech sledovaných porostech borovice vyvážené bez statisticky významných rozdílů (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 53) = 0,0913$ ,  $p = 0,9554$ ) jako přirozená složka kmenové fauny borovice se středně silnou borkou do poloviny kmene. Výše uvedené potvrzuje obecné postavení eudominantního druhu *L. cyrtopus* na borovici (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 54) = 0,6387$ ,  $p = 0,7266$ ). V borových porostech se zástupci rodu *Lithobius* nacházeli ve vyváženém zastoupení v průběhu celé vegetační doby, statistická odchylka nebyla stanovena (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 53) = 6,1260$ ,  $p = 0,2942$ ) (obr. 1), i když test vícenásobného porovnání, provedený při doplňkové ANOVě ( $F(5,47) = 1,3071$ ,  $p = 0,27720$ ), připouští přítomnost statisticky významné odchylky mezi stavem (četností druhu) v květnu a říjnu (LSD test:  $p < 0,037$ ).

Třileté sledování fauny *Lithobius* spp. borových porostů naznačilo statisticky významnou početní změnu (kontinuální pokles) (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 53) = 9,7227$ ,  $p = 0,0077$ ; Dunnův test:  $p < 0,007$ ) mezi roky 2011–2013 (obr. 2) a ve shodě je i reakce druhu *L. cyrtopus* (obr. 3) (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 54) = 10,8486$ ,  $p = 0,0044$ ; Dunnův test:  $p < 0,004$ ).

V území Krušných hor a Děčínské vrchoviny bylo sledováno 30 porostů modřínu a přes širší druhového spektra stonožek se odchýlily se statistickou významností pouze dvě lokality (16 a 18) situované

Tab. 1.

Charakteristika lokalit s výskytem stonožek (Krušné hory – Děčínská vrchovina)

Characteristics of localities with centipede (Chilopoda) (Ore Mts. – Děčínská vrchovina Highland)

Číslo lokality/ Locality No.	Lokalita/ Localities	Katastrální území/ Cadastral area	Nadm. výška/ Altitude [m]	Souřadnice/ Location		Dřeviny/ Tree species	ČFM/ SFM
				GPS	GPS		
1	Orasín 1	Orasín	590	N50 31.324	E13 23.822	MD	5446
2	Orasín 2	Orasín	610	N50 31.387	E13 23.583	MD	5446
3	Mezihoří 1	Mezihoří	690	N50 32.061	E13 21.774	MD	5446
4	Mezihoří 2	Blatno	815	N50 32.264	E13 19.607	MD	5446
5	Blatno 1	Blatno	790	N50 31.611	E13 19.854	MD	5446
6	Blatno 2	Blatno	770	N50 31.778	E13 19.721	MD	5446
7	Blatno 3	Blatno	785	N50 31.952	E13 19.485	MD	5446
8	Blatno 4	Blatno	700	N50 31.359	E13 19.017	MD	5446
9	Blatno 5	Blatno	795	N50 31.995	E13 19.644	MD	5446
10	Kalek vodárenská cesta	Kalek	770	N50 34.960	E13 22.492	MD	5446
11	Kalek u bývalé školky	Kalek	800	N50 34.207	E13 21.243	MD	5446
12	Na výsypkách	Jirkov	260	N50 30.881	E13 31.421	MD	5447
13	Telnice	Telnice	385	N50 43.469	E13 58.765	MD	5249
14	Hřebíkovka-Sněžník	Sněžník (u Děčína)	490	N50 48.797	E14 06.353	MD	5150
15	U Celnice	Sněžník (u Děčína)	530	N50 48.343	E14 04.012	MD	5150
16	U Letadla - Sněžník	Sněžník (u Děčína)	490	N50 47.701	E14 07.786	MD	5250
17	Vysoký Sněžník	Sněžník (u Děčína)	710	N50 47.713	E14 06.110	MD	5250
18	Sněžník-Tisá-plato	Sněžník (u Děčína)	590	N50 47.309	E14 03.928	MD	5250
19	Rájec u křížku	Tisá	540	N50 47.672	E14 01.478	MD	5250
20	Tisá vojenský prostor	Tisá	570	N50 45.989	E14 01.059	MD	5250
21	U požární stanice	Krásný les	720	N50 45.227	E13 56.743	MD	5249
22	Krásný les	Krásný les	525	N50 47.437	E13 56.606	MD	5249
23	Komáří výžka	Cínovec	870	N50 43.266	E13 47.372	MD	5249
24	Cínovec	Cínovec	840	N50 43.653	E13 48.121	MD	5248
25	Lom	Litvínov Loučná	450	N50 37.269	E13 38.911	MD	5347
26	Dlouhá louka	Litvínov Loučná	600	N50 37.434	E13 39.746	MD	5347
27	osada Vlašťovka	Český Jiřetín	765	N50 42.268	E13 34.016	MD	5247
28	Fláje	Fláje	765	N50 41.530	E13 33.751	MD	5347
29	Fláje-zámeček	Fláje	840	N50 40.832	E13 33.806	MD	5347
30	Fláje za hájenkou	Fláje	795	N50 41.903	E13 35.157	MD	5347
31	Sněžník-Tisá-plato	Sněžník (u Děčína)	580	N50 47.260	E14 04.338	SMP	5250
32	Dlouhá louka	Dlouhá louka	868	N50 38.596	E13 38.081	SMP	5347
33	Boleboř	Boleboř	862	N50 33.331	E13 22.310	SMP	5446
34	Sněžník-Tisá-plato	Sněžník (u Děčína)	576	N50 47.304	E14 04.423	SMZ	5250
35	Sněžník 1	Sněžník (u Děčína)	590	N50 47.193	E14 03.573	BK	5250
36	Sněžník 2	Sněžník (u Děčína)	547	N50 47.000	E14 06.126	BK	5250
37	Sněžník 3	Sněžník (u Děčína)	538	N50 48.070	E14 05.407	BK	5150
38	Sněžník 4	Sněžník (u Děčína)	592	N50 47.171	E14 04.014	BK	5250
39	Maxičky 5	Maxičky	460	N50 49.465	E14 10.259	BK	5151
40	Sněžník 1	Sněžník (u Děčína)	581	N50 47.260	E14 04.294	BO	5250
41	Vičák 2	Sněžník (u Děčína)	475	N50 48.337	E14 08.190	BO	5150
42	Sněžník 3	Sněžník (u Děčína)	536	N50 48.222	E14 05.095	BO	5150
43	Ostrov 4	Ostrov	572	N50 47.384	E14 03.300	BO	5250
44	Maxičky 5	Maxičky	443	N50 50.057	E14 10.366	BO	5151
45	Maxičky 6	Maxičky	463	N50 49.402	E14 10.314	BO	5151

ČFM/SFM – Čtverec faunistického mapování/Square for faunistic mapping

MD – *Larix*; SMP – *Picea pungens*; SMZ – *Picea abies*; BK – *Fagus sylvatica*; BO – *Pinus sylvestris*



do Děčínské vrchoviny ( $F(29, 180) = 6,4240, p = 0,000$ ; LSD test:  $p < 0,047$ ). Z hlediska vegetační doby nevykázalo zastoupení druhů rodu *Lithobius* statistickou odchylku (Kruskal-Wallis test:  $H(6, N = 196) = 11,9289, p = 0,0636$ ).

Struktura borky může ovlivnit podmínky pro výskyt stonožek na kmenu, případně snížit účinnost metody sklepvání. Z tohoto pohledu porosty mladší s hladkou borkou vykázaly nižší zastoupení stonožek než v jiných případech (Kruskal-Wallis test:  $H(3, N = 210) = 16,7957, p$

$= 0,0008$ ; Dunnův test:  $p = 0,003$ ). Jako nejpříznivější se jeví kmeny s vytvořenou hrubší borkou ve spodní části kmene (Kruskal-Wallis test:  $H(3, N = 210) = 16,7957, p = 0,0008$ ).

Porosty modřínů (30) byly zařazeny podle nadmořské výšky (A < 550, B 550–750, C > 750 m n. m.) a byla stanovena statistická odchylka ve výskytu stonožek mezi střední a vysokou polohou, kde byl zaznamenán nižší počet jedinců rodu *Lithobius* (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 210) = 10,3347, p = 0,0057$ ).

Tab. 2.

Podíl Chilopoda na utváření korunové fauny vybraných skupin bezobratlých (Krušné hory – Děčínská vrchovina, metoda sklepvání)  
Proportion of Chilopoda in shaping the crown fauna of selected groups of invertebrates in the Ore Mts. – Děčínská vrchovina Highland (a beating sheet method)

Druh/Species	Děčínská vrchovina/Highland			Krušné hory/Ore Mts.				
	5150	5151	5250	ČFM/SFM				
				5248	5249	5347	5446	5447
<i>Julus scandinavius</i> (Latzel, 1884)						x		
<i>Megaphyllum projectum</i> (Verhoeff, 1894)			x					
<i>Lithobius borealis</i> (Meinert, 1868)	x	x	x		x	x	x	
<i>Lithobius cyrtopus</i> (Latzel, 1880)	x	x	x			x	x	
<i>Lithobius forficatus</i> (Linnaeus, 1758)	x		x		x	x		
<i>Lithobius lapidicola</i> (Meinert, 1872)			x				x	
<i>Lithobius microps</i> (Meinert, 1868)			x		x			
<i>Lithobius mutabilis</i> (Koch, 1862)								x
<i>Lithobius pelidnus</i> (Haase, 1880)	x	x	x	x	x	x	x	x
<i>Lithobius tenebrosus</i> (Meinert, 1872)								x
<i>Armadillidium vulgare</i> (Latreille, 1804)								x
<i>Tracheoniscus rathkei</i> (Brandt, 1833)					x			
<i>Tracheoniscus ratzeburgii</i> (Brandt, 1833)	x		x	x		x	x	
Počet jedinců/Number of individuals	341	92	401	3	30	190	69	1
Počet druhů/Number of collected species	5	3	8	2	5	6	7	1
Počet druhů ČFM/Number of SFM species	23	13	29	2	5	40	8	1

ČFM/SFM - Čtverec faunistického mapování/Square for faunistic mapping

Tab. 3.

Podíl Chilopoda z vybraných skupin bezobratlých na větvích a kmenech lesních dřevin (Krušné hory a Děčínská vrchovina) [%]  
Proportion of Chilopoda from selected groups of invertebrates on the branches and trunks of forest trees (Ore Mts. and Děčínská vrchovina Highland) [%]

Druhy/Species	Třída/Class	Čeď/Family	EC	<i>Fagus</i>	<i>P. abies</i>	<i>P. pungens</i>	<i>Pinus</i>	<i>Larix</i>	Celkem/In total
<i>Julidae sp.</i>	Diplopoda	Julidae						0,4	0,1
<i>Julus scandinavius</i>	Diplopoda	Julidae	E					0,4	0,1
<i>Lithobius borealis</i>	Chilopoda	Lithobiidae	A	41,2			17,2	20,9	14,3
<i>Lithobius cyrtopus</i>	Chilopoda	Lithobiidae	R	44,1			78,2	4,3	42,3
<i>Lithobius forficatus</i>	Chilopoda	Lithobiidae	E				0,9	2,2	0,9
<i>Lithobius lapidicola</i>	Chilopoda	Lithobiidae	A		3,2	0,8			0,3
<i>Lithobius microps</i>	Chilopoda	Lithobiidae	E				0,2	4,3	1,0
<i>Lithobius mutabilis</i>	Chilopoda	Lithobiidae	E					0,4	0,1
<i>Lithobius pelidnus</i>	Chilopoda	Lithobiidae	R		96,8	99,2	1,2	49,1	35,6
<i>Lithobius sp.</i>	Chilopoda	Lithobiidae					2,4	8,7	3,0
<i>Lithobius tenebrosus</i>	Chilopoda	Lithobiidae	A					1,7	0,4
<i>Armadillidium vulgare</i>	Isopoda	Armadillidae	E					0,4	0,1
<i>Tracheoniscus rathkei</i>	Isopoda	Trachelipodidae	E					0,4	0,1
<i>Tracheoniscus ratzeburgii</i>	Isopoda	Trachelipodidae	A	14,7				6,5	1,8
Celkem/In total				34	31	252	577	230	1124

EK/EC - Ekologická kategorie/Ecological category (TUF, TUFOWA 2009): R - reliktní/relic; A - adaptabilní/adaptable; E - eurytopní/eurytopic

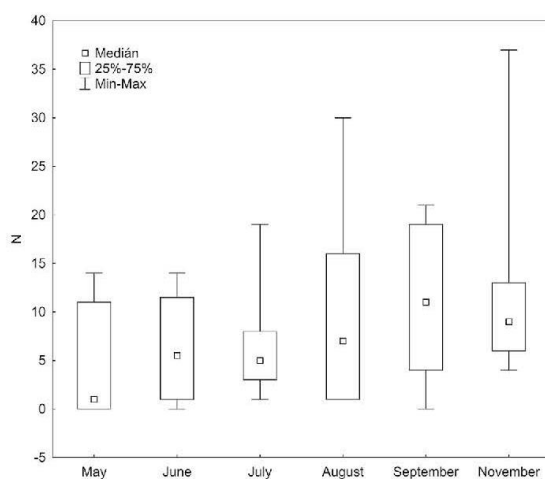
Fauna stonožek smrku pichlavého, zahrnující prakticky jediný druh (*L. pelidus*) ve třech od sebe izolovaných lokalitách (Janov - Dlouhá louka - Sněžník) se statisticky významně liší (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N=120) = 29,4937, p = 0,0000$ ; Dunnův test:  $p < 0,032$ ). Zásadní byl rozdíl mezi stanovištěm Dlouhá louka a Janov, porosty leží ve stejné nadmořské výšce a příčina rozdílu může být diferencovaná potravní nabídka, neboť se jedná o predátory. Střední zastoupení charakterizuje lokalitu Sněžník v nízké poloze (obr. 4).

Frekvence výskytu *L. pelidus* při kontrolním odběru v průběhu vegetační doby dosahovala na Dlouhé louce 70–100%, na Sněžníku 20–100% a Janově 30–70%. Nejvyšší míra pravděpodobnosti odchyty byla v září. Během vegetační doby se počty odchycených jedinců měnily. Od jara do pozdního léta se projevil pokles a v září vzestup. Statisticky významné rozdíly (Kruskal-Wallis test:  $H(3, N = 120) = 17,7019, p = 0,0005$ ) byly mezi sběrem v červnu a září (Dunnův test:  $p = 0,02575$ ), srpnu a září, (Dunnův test:  $p = 0,0005$ ) (obr. 5); kulminace mohou

Tab. 4.

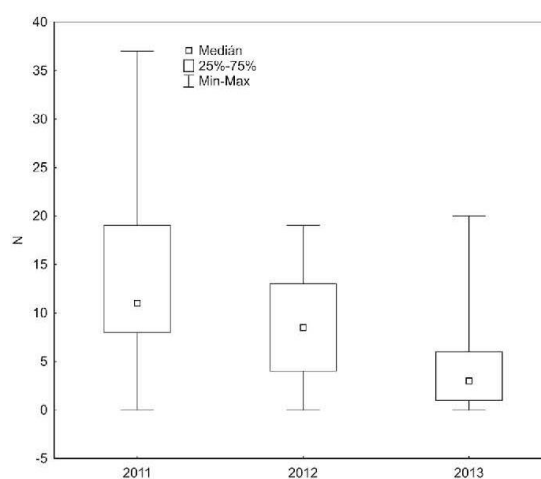
Podíl Chilopoda z vybraných skupin bezobratlých na dynamice výskytu kmenové fauny ve vegetačním období [%]  
Proportion of Chilopoda from selected groups of invertebrates on the dynamics of stem fauna occurrence in the vegetation period [%]

Druhy/Species	Měsíc/Month					
	V	VI	VII	VIII	IX	X
<i>Julidae</i> sp.	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<i>Julus scandinavicus</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
<i>Lithobius borealis</i>	23,49	7,65	8,19	12,21	10,89	25,52
<i>Lithobius cyrtopus</i>	42,95	32,24	29,24	54,65	34,24	63,02
<i>Lithobius forficatus</i>	0,00	1,09	0,58	1,74	0,78	1,04
<i>Lithobius lapidicola</i>	0,00	0,00	0,58	0,00	0,78	0,00
<i>Lithobius microps</i>	1,34	2,73	1,17	1,16	0,00	0,00
<i>Lithobius mutabilis</i>	0,00	0,00	0,58	0,00	0,00	0,00
<i>Lithobius pelidus</i>	27,52	51,37	52,05	19,19	52,14	4,69
<i>Lithobius</i> sp.	2,68	4,37	1,75	5,23	0,39	4,69
<i>Lithobius tenebrosus</i>	0,00	0,00	0,00	2,33	0,00	0,00
<i>Megaphyllum projectum</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00
<i>Tracheoniscus rathkei</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52
<i>Tracheoniscus ratzeburgi</i>	1,34	0,55	5,85	3,49	0,39	0,00
Celkem/In total	149	183	171	172	257	192



Obr. 1. Sezónní dynamika stonožek rodu *Lithobius* na borovici (Děčínská vrchovina, 2011–2013)

Fig. 1. Seasonal dynamics of *Pinus* stems centipedes *Lithobius* spp. (Děčínská vrchovina Highland, 2011–2013)



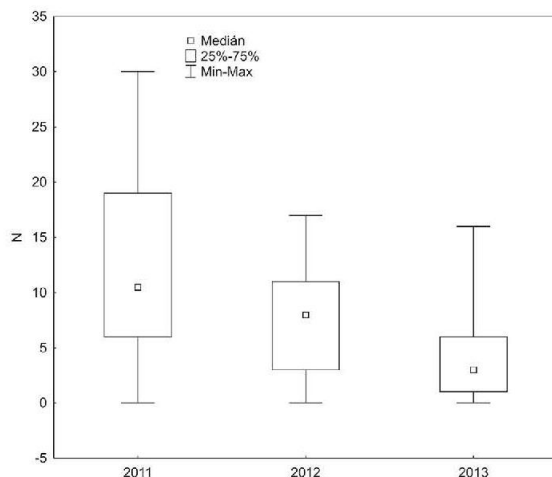
Obr. 2. Populační dynamika stonožek rodu *Lithobius* na borovici v letech 2011–2013 (Děčínská vrchovina)

Fig. 2. Population dynamics of *Pinus* stems centipedes *Lithobius* spp. (Děčínská vrchovina Highland, 2011–2013)

souviset s procesem rozmnožování v jarním období (SPELDA 1999) a podzimní aktivitou při vyhledávání potravy před zimováním. Tato aktivita souvisí s teplotou 12–22 °C (GRGIC, KOS 2002) pro středoevropské zástupce Lithobiidae a vysokou vlhkostí (FRÜND 1987).

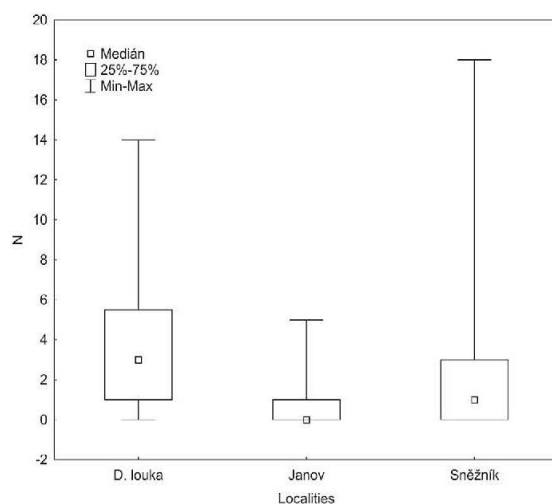
#### Arborikolní chování stonožek *Lithobius* spp

V zimující fauně bezobratlých kmene jedle bělokore byly z třídy stonožky (Chilopoda) zastoupeny v relativně vyrovnané abundanci pou-



Obr. 3. Populační dynamika druhu *Lithobius cyrtopus* na borovici v letech 2011–2013 (Děčínská vrchovina)

Fig. 3. Population dynamics of *Pinus* stems centipede *Lithobius cyrtopus* (Děčínská vrchovina Highland, 2011–2013)



Obr. 4. Výskyt druhu *Lithobius pelidnus* v území Krušné hory a Děčínská vrchovina (smrk pichlavý, 2007)

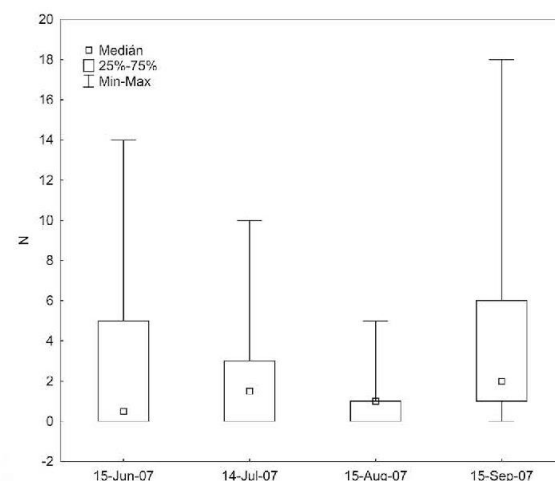
Fig. 4. Occurrence of *Lithobius pelidnus* on the territory of the Ore Mts. and the Děčínská vrchovina Highland (*Picea pungens*, 2007)

ze dva druhy čeledi Lithobiidae, a to *L. pelidnus* (23 ex., 1,11 %) a *L. borealis* (27 ex., 1,30 %) (SPITZER et al. 2010). Z našich pozorování vyplývá přítomnost těchto druhů na kmenech modřínu během vegetačního období a lze předpokládat, že ve štěrbinách borky mohou zimovat. Populace nacházející se na větvích smrku pichlavého a na kmenech buku pravděpodobně zimují v půdním prostředí. Naproti tomu může rozpraskanou borku kmene borovic využít dominantní druh *L. cyrtopus* k zimování.

Některé druhy z čeledi Geophilidae jsou dobře adaptovány k přežití v období periodických záplav lesních porostů tím, že vylézají na kmenné stromů (ADIS et al. 1996; MORAIS et al. 1997; FODDAI et al. 2002). Arborikolní charakter druhů *L. lusitanus* Verhoeff, *L. pelidnus*, *L. borealis*, *L. valesiacus* potvrdil odchyt do stromových eklektorů (SPELDA 1999). Vystupují za potravou na kmenné stromů v noci (SPELDA 2005) a v létě a na podzim setrvávají na kmenech po celou noc s kulminací početnosti před půlnocí (ROBERTS 1956; BRITTEN 1920; CLOUDSLEY-THOMPSON 1945). LLOYD (1963) uvádí, že *L. variegatus* opouští větve buku a vstupuje do detritu v období nepříznivého počasí. Z uvedených druhů potvrzujeme arborikolní vazbu druhu *L. pelidnus* (*Larix*, *Picea pungens*, *P. abies*), *L. borealis* (*Fagus*, *Pinus*, *Larix*).

Naproti tomu *L. forficatus* je široce rozšířený a často se nachází v městském prostředí a v důsledku toho opouští místo výskytu (úkrytu) v noci, vstupuje do domů (EASON 1964). V sadech je *L. forficatus* uváděn pod nebo v blízkosti kmene stromů bezprostředně po roztátí sněhu. Při opuštění kmenů byl loven do zemních pastí mezi stromy pokud oschl půdní povrch, mimo období od poloviny června do srpna. Při dešti a nižší teplotě se nachází na stromech, kde je aktivní až do zimních mrazů. Silný déšť, přímý sluneční svit nebo horké a suché dny u něj iniciují opuštění kmene a vstup do půdy (MONTEITH 1976). Nevýznamné zastoupení jsme zachytili pouze na *Larix* a *Pinus*, ale běžně se nacházel ve sledovaném území v zemních pastech. Nelze vyloučit pouze fakultativní arborikolní charakter této stonožky.

*Lithobius borealis* je vzácně nalézáná stonožka, v ČR např. v Poodří, Polabí, Beskydech a severozápadních Čechách a na březích Labe v Děčíně (LAŠKA 2004). Podle FOLKMANOVÉ (1954) je glaciálním reliktem.



Obr. 5. Sezónní dynamika druhu *Lithobius pelidnus* na smrku pichlavém (2007)

Fig. 5. Seasonal dynamics of *Lithobius pelidnus* on *Picea pungens* (2007)



V rámci ČR je považovaný za reliktní druh podhorských a horských lesů (TUĚ, TUFOVÁ 2008). Historické nálezy jsou problematické vzhledem k taxonomické blízkosti s druhem *L. lapidicola* (BARBER 2009). Jedná se o druh středoevropský, ale zasahuje do Středozeší i Skandinávie. Zjištěn byl jako zimující na jedli bělokoré vyváženě uvnitř a na okraji porostu (SPITZER et al. 2010). SUMMERS, UETZ (1979) zmiňují jeho vazbu na kůru a horské louky. Je druhem osídlujícím kmeny stromů (SPELDA 1999).

Z Děčínské vrchoviny a Krušných hor nebyl uváděn. Hojně je jeho zastoupení na kmenech modřínu opadavého a borovice lesní, méně na buku (tab. 3) po celé vegetační období s dlíčkím nárůstem zastoupení v říjnu (tab. 4) a snížením odchyt do zemních pastí může podpořit spíše arborikolní postavení této stonožky.

*Lithobius cyrtopus* se vyskytuje ve střední Evropě (TUĚ, LAŠKA 2005) a je vázán na podhorské a horské oblasti (Brdy, Krkonoše, Rychlebské hory etc.) (TAJOVSKÝ 2001a; LAŠKA 2004). Rovněž DÁNYI, KORSÓS (2002) a MATIC (1966) jej uvádí z horské oblasti Maďarska a Rumunska. Podle TAJOVSKÉHO (2000) je druhem charakteristickým pro vrcholkové horské partie s arko-alpínskou tundrou a je obecně rozšířený v Krkonoších, současně jej TAJOVSKÝ (2001b) vymezil i pro oblast Šumavy. Mezi obecně zastoupené jej v Beskydech řadí KULA et al. (2011).

Doposud nebyl zaznamenán jeho výskyt v území Děčínské vrchoviny, kde se ovšem běžně vyskytoval na některých dřevinách. Obecně využíval kmen borovice lesní, zatímco na modřínu byl méně zastoupeným druhem. Na buku byl detekován ve shodě s druhem *L. borealis*. V průběhu celého vegetačního období byl přítomen na kmenech stromů s tím, že v srpnu se jeho výskyt zvýšil a poté kulminoval v říjnu (tab. 4). Ze zjištění jeho přítomnosti na řadě druhů dřevin lze odvodit jeho zařazení mezi arborikolní zástupce a vysoký podíl v závěru vegetačního období naznačuje, že na kmenech může i zimovat.

*Lithobius pelidnus* je vzácněji nalézaná stonožka, u nás dosud převážně v pohraničních pohoří, jako jsou Lužické hory, Jizerské hory, Krušné hory (TUĚ nepubl.), Labské pískovce, Rychlebské hory, Žofínský prales, ale i na jiných extrémnějších stanovištích (Mohelenská hadcová step, Podjívě; LAŠKA 2004). Druh s těžištěm areálu ve střední Evropě, v rámci České republiky je považovaný za reliktní druh podhorských a horských poloh (TUĚ, TUFOVÁ 2008). Zjištěn byl jako zimující převážně na kmenech jedle bělokoré uvnitř porostu, méně často na okraji porostu (SPITZER et al. 2010). SUMMERS, UETZ (1979) zmiňují jeho vazbu na kůru a horské louky.

Jedná se o významně arborikolní druh osídlující kmeny modřínu, méně často borovice lesní. Je výhradní zástupce na větvích smrku pichlavého, s dlíčkím výskytem na větvích smrku ztepilého (tab. 3). V korunové fauně byl po celé vegetační období s kulminací VI–VII a IX (tab. 4).

*Lithobius microps* je evropským druhem (TUĚ, LAŠKA 2005) osídlujícím uvolněná stanoviště (VOIGTLÄNDER, DUNGER 1992), vyskytuje se na přirozených, ale i v antropogenně narušených lokalitách (WYTWER 1995; ZYCH 1989). SUMMERS, UETZ (1979) zmiňují jeho vazbu na luční porosty a opad. Jeho výskyt, který lze považovat za příležitostný, byl vázán na *Pinus* a *Larix*. V zemních pastech nebyl podchyten.

*Lithobius mutabilis* je obecně rozšířená hojná stonožka v lesních ekosystémech východní Evropy (TUĚ, TUFOVÁ 2004). Preferuje stanoviště se zvýšenou (100%) vlhkostí (JABIN et al. 2007). Lze souhlasit s jejím zařazením do skupiny druhů obývajících humus v lesních porostech (SUMMERS, UETZ 1979). Přítomnost na stromech (*Larix*) byla příležitostná.

*Lithobius tenebrosus* Meinert je považován za významný druh Šumavy (TAJOVSKÝ 2001b), kde byl zachycen na kmenech živých jehličnanů. Naše sporadické odchty na *Larix* a absence na *Fagus*, *Pinus*, *Picea* nekoresponduje se závěry SCHATZMANN (1990), který považuje jeho stromovou vazbu za obecnější.

Mimo jiné byl zaznamenán výskyt tří zástupců Isopoda (*Armadillidium vulgare* (Latr.) 1 ex., *Tracheoniscus rathkei* (Brandt) 1 ex. a *Tracheoniscus ratzeburgi* 20 ex.) a dvou zástupců Diplopoda (*Megaphyl- lum projectum* (Verhoeff) 1 ex., *Julus scandinavus* Latzel 1 ex.).

## ZÁVĚR

Šetření potvrdila arborikolní charakter zástupců Chilopoda – *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, fakultativní výskyt na kmenech lesních dřevin *Lithobius forficatus*, *L. mutabilis*, *L. microps*, *L. lapidicola*. Nepotvrdila se výraznější arborikolní vazba druhu *L. tenebrosus*, *L. mutabilis*. Nebyla stanovena přítomnost arborikolních stonožek *L. lusitanus*, *L. valesiacus*, *L. piceus*, *L. variegatus*.

Fauna Chilopoda jednotlivých dřevin se profilovala dominantním druhem: *Fagus* (*Lithobius borealis*, *L. cyrtopus*), *Picea* (*Lithobius pelidnus*), *Pinus* (*Lithobius cyrtopus*), *Larix* (*Lithobius pelidnus*, *L. borealis*).

Výskyt na kmenech a větvích po celé vegetační období byl stanoven u druhů *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, *L. forficatus*, *L. microps*.

## Poděkování:

Výzkum byl podporován výzkumným záměrem MSM6215648902 a regionálními akciovými společnostmi a firmami – Netex, s. r. o., Děčín, Skupina ČEZ, a. s., Praha, Lafarge cement, a. s., v Čížkovicích. Determinace sběru ze smrku pichlavého provedl dr. I. H. Tuř, zbývající jedince determinoval Ing. M. Lazorič s revizí dr. Tuřa, kterému za pomoc děkujeme.

## LITERATURA

- ADIS J., MINELLI A., MORAIS J.W. DE, PEREIRA L.A. 1996. On abundance and phenology of Geophilomorpha (Chilopoda) from central Amazonian upland forests. *Ecotropica*, 2: 165–175.
- ALBERT A.M. 1976. Biomasse von Chilopoden in einem Buchenaltbestand des Solling. In: Müller, P. (ed.): *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Göttingen 1976. Dordrecht, Springer: 93–101.
- ALBERT A.M. 1982. Species spectrum and dispersion patterns of chilopods in three Solling habitats. *Pedobiologia*, 23: 337–347.
- ANDERSSON G. 1983. Post-embryonic development of *Lithobius curtipes* C.L. Koch (Chilopoda: Lithobiidae). *Entomologica Scandinavica*, 14: 387–394.
- AUERBACH S.I. 1951. The centipedes of the Chicago area with special reference to their ecology. *Ecological Monographs*, 21: 97–124.
- BARBER A.D. 2009. Centipedes: keys and notes for identification of the British species. Shrewsbury, Field Studies Council: 228 s. Synopses of the British Fauna (New Series), No. 58.
- BRADY-BIRKS S.G. 1929. Notes on Myriapoda. 33: The economic status of Diplopoda and Chilopoda and their allies, especially of forms occurring in the British Isles, particularly those of importance in agriculture and horticulture. *Journal of the South-Eastern Agricultural College*, Wye, Kent, 26: 178–216.
- BRITTEN H. 1920. Food hunting habits of *Lithobius forficatus*. *Lancashire and Cheshire Naturalist*, 13: 118.
- CLOUDSLEY-THOMPSON J.L. 1945. Behaviour of the common centipede *Lithobius forficatus*. *Nature*, 156: 537–538.
- DÁNYI L., KORSÓS Z. 2002. *Lithobius cyrtopus* (Chilopoda: Lithobiomorpha, Lithobiidae), a magyar faunára új százlábú a Zemplénbél. [*Lithobius cyrtopus* (Chilopoda: Lithobiomorpha, Lithobiidae) from the Zemplén Mts new to the fauna of Hungary]. *Folia Entomologica Hungarica*, 63: 186–188.



- EASON E.H. 1964. Centipedes of the British Isles. London, Frederick Warne: 294 s.
- FODDAI D., PEREIRA L.A., MINELLI A. 2002. Geophilomorpha. In: Llorente-Bousquets, J., Morrone, J.J. (eds.): Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. México, Universidad Nacional autónoma de México, 3: 417–427.
- FOLKMANOVÁ B. 1954. Příspěvek k poznání slezských stonožek z Beskyd. Přírodovědný sborník Ostravského kraje, 15: 194–219.
- FRÜND H.C. 1983. Untersuchungen zur Koexistenz verschiedener Chilopodenarten im Waldboden. Würzburg, Univ., Diss.: 164 s.
- FRÜND H.C. 1987. Räumliche Verteilung und Koexistenz der Chilopoden in einem Buchen-Altbestand. Pedobiologia, 30: 19–29.
- FRÜND H.C. 1991. Zur Biologie eines Buchenwaldbodens 14. Die Hundertfüßer (Chilopoda). Carolea, 49: 83–94.
- GRGIC T., KOS I. 2002. Centipede biodiversity on patches of different developmental phases in uneven-aged beech forest stand. In: Hammer, M. (ed.): Myriapodology in the new millennium. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Congress on Myriapodology, South Africa, July 2002. Mtunzini, 29 July–2 August 2002. Pietermaritzburg, Council of the Natal Museum: 5.
- JABIN M., TOPP W., KULEAN J., ZACH P. 2007. The distribution pattern of centipedes in four primeval forests of central Slovakia. Biodiversity and Conservation, 16: 3437–3445.
- JACKSON A.R. 1914. A preliminary list of the Myriapoda of the Chester district. Lancashire and Cheshire Naturalist, 6: 450–450
- KULA E., LAZORÍK M., TUF I.H. 2011. Contribution to the knowledge of centipedes and terrestrial isopods of the Moravian-Silesian Beskids. Acta Musei Beskidensis, 3: 55–63.
- KULA E., KAJFOSZ R., POLÍVKA J. 2013. Development of cambioxylophagous insect fauna on blue spruce after chemical thinning. Beskydy, 6 (2): 117–126.
- KULA E. 2014. Změny ve společenstvu půdních pancířníků (Oribatida) porostů břizy ovlivněných vápnitým dolomitem. Zprávy lesnického výzkumu, 59: 1–10.
- LAŠKA V. 2004. Atlas rozšíření stonožek (Chilopoda) České republiky. Bakalářská práce. Olomouc, Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta: 87 s.
- LLOYD M. 1963. Numerical observations on movements of animals between beech litter and fallen branches. Journal of Animal Ecology, 32: 157–163.
- MATIC Z. 1966. Classe Chilopoda, Subclasse Anamorpha. Fauna RSR, (6)1: 1–272. Bucuresti, ARSR.
- MONTEITH L.G. 1976. Field studies of potential predators of the apple magot *Rhagoletis pomonella* (Diptera; Tephritidae) in Ontario. Proceedings of the Entomological Society of Ontario, 107: 23–30.
- MORAIS J.W. DE, ADIS J., BERTI-FILHO E., PEREIRA L.A., MINELLI A., BARBIERI F. 1997. On abundance, phenology and natural history of Geophilomorpha from a mixedwater inundation forest in Central Amazonia (Chilopoda). Entomologica Scandinavica, Suppl. 51: 115–119.
- NEWPORT G. 1844. Monograph of the class Myriopoda, order Chilopoda; with observations on the general arrangement of the Articulata. Transaction of the Linnean Society of London, 19: 265–302, 349–439.
- PLATEAU F. 1878. Recherche sur les phenomenes de la digestion et sur la structure de l'appareil digestif chez les Myriapodes de Belgique. The Royal Academy of Science, Letters of Belgium, 42: 1–91.
- POSER G. 1990. Die Hundertfüßer (Myriapoda, Chilopoda) eines Kalkbuchenwaldes: Populationsökologie, Nahrungsbiologie und Gemeinschaftsstruktur. Göttingen, Forschungszentrum Waldökosysteme: 211 s.
- POSER T. 1989. Resource partitioning within the Chilopoda community of a limestone beechwood – the function of fauna in a mull b. In: Schaefer, M. (ed.): 17. Jahrestagung Göttingen. Göttingen, Gesellschaft für Ökologie: 279–284. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 17.
- POSER T. 1990. The influence of litter manipulation on the centipedes of a beech wood. In: Minelli A. (ed.): Proceedings of 7th International Congress of Myriapodology. Vittorio Veneto, Italy, 1987. Leiden, Brill: 235–245.
- ROBERTS H. 1956. An ecological survey of the arthropods of a mixed beech-oak deciduous woodland, with particular reference to the Lithobiidae. Thesis. University of Southampton: 217 s.
- ROBERTS H. 1957. An ecological survey of the arthropods of a mined beech-oak woodland with particular reference to the Lithobiidae. Ph. D Thesis. University of Southampton.
- SCHAEFER M. 1990. The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget. Oecologia, 82: 128–136.
- SCHAEFER M., SCHAUERMANN J. 1990. The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and moder forest. Pedobiologia, 34: 299–314.
- SCHATZMANN E. 1990. Weighting of habitat types for estimation of habitat overlap – application to a collection of swiss centipedes. In: Minelli A. (ed.): Proceedings of 7th International Congress of Myriapodology. Vittorio Veneto, Italy, 1987. Leiden, Brill: 299–309.
- SCHEU S., POSER G. 1996. The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. Applied Soil Ecology, 3: 115–125.
- SIMON H.R. 1960. Zur Ernährungsbiologie von *Lithobius forficatus*. Zoologischer Anzeiger, 164: 19–26.
- SPELDA J. 1999. Ökologische Differenzierung südwestdeutscher Steinläufer (Chilopoda: Lithobiida). Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, 29: 389–395.
- SPELDA J. 2005. Improvements in the knowledge of the myriapod fauna of southern Germany between 1988 and 2005 (Myriapoda: Chilopoda, Diplopoda, Pauropoda, Symphyla). Peckiana, 4: 101–129.
- SPITZER L., KONVIČKA O., TROPEK R., ROHÁČOVÁ M., TUF I.H., NEDVĚD O. 2010. Společenstvo členovců (Arthropoda) zimujících na jedli bělokoré (*Abies alba*) na Valašsku (okr. Vsetín, Česká republika). Časopis Slezského Muzea Opava (A), 59: 217–232
- SUMMERS G., UETZ G.W. 1979. Microhabitats of woodland centipedes in a streamside forest. American Midland Naturalist, 102: 346–352.
- TAJOVSKÝ K. 2000. Stonožky (Chilopoda) Krkonoš (Centipedes (Chilopoda) of Krkonoše Mts.). Opera Concorctica, 37: 385–389.
- TAJOVSKÝ K. 2001a. Centipedes (Chilopoda) of the Czech Republic. Myriapodologica Czecho-Slovaca, 1: 39–48.
- TAJOVSKÝ K. 2001b. Dosavadní poznatky o mnohonožkách (Diplopoda) a stonožkách (Chilopoda) na území Šumavy. In: Mánek J. (ed.): Aktuality šumavského výzkumu. Sborník z konference, Srní 2.–4. dubna 2001. Vimperk, Správa NP a CHKO Šumava: 173–175.
- TUF I.H., TUFOVÁ J. 2004. Stonožky a mnohonožky (Myriapoda: Chilopoda et Diplopoda) lesů Bílých Karpat. In: 4. seminář českých a slovenských myriapodologů. Východná, 14.–18. September 2004. Abstrakty referátov: 11.
- TUF I.H., LAŠKA V. 2005. Present knowledge on centipedes in the Czech Republic: a zoogeographic analysis and bibliography 1820–2003. Peckiana, 4: 143–161.

- TUF I. H., TUFOVÁ J. 2008. Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality in Czech Republic. *Časopis Slezského Muzea Opava (A)*, 57: 37–44.
- VERHOEFF K.W. 1937. Oberklasse: Opisthogoneata. Klasse Hundertfüßler, Chilopoda. In: Brohmer P. et al. (eds.): *Die Tierwelt Mitteleuropas, Ergänzungsbände*. Leipzig, Quelle & Meyer: 91–120.
- WIGNARAJAH S. 1968. Energy dynamics of centipede populations (*Lithobiomorpha* – *L. crassipes* and *L. forficatus*) in woodland ecosystems. Ph.D. thesis. University of Durham: 168 s. Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/8729/>
- VOIGTLÄNDER K., DUNGER W. 1992. Long-term observations of the effects of increasing dry pollution on the myriapod fauna of the Neißer Valley (East Germany). In: Meyer, E. et al. (eds): *Advances in myriapodology. Proceedings of the 8th International Congress of Myriapodology*. Innsbruck, 15–20 July 1990. Innsbruck, Universitätsverlag Wagner: 251–256. *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins in Innsbruck, Suppl.* 10.
- WYTWER J. 1995. Faunistic relationships between Chilopoda of forest and urban habitats in Mazowia. *Fragmenta Faunistica*, 38: 87–133.
- ZYCH M. 1989. Remarks on the appearance of *Lithobius microps* Meinert chilopoda lithobiomorpha. *Przegląd Zoologiczny*, 33 (2): 333–336.

## CHILOPODA IN CROWN AND STEM FAUNA OF FOREST TREES

### SUMMARY

Centipedes (Chilopoda) are predacious, they chase spiders, slugs, insects, and live under the bark of trees, under stones or wood, in the soil or in the forest litter, being active at night. They prefer moist sites. Their reproduction potential is low, maximum activity in spring and then in autumn in moist forests. There are only partial data on the arboricolous representatives of Chilopoda in the literature (LLOYD 1963; SPELDA 2005; ROBERTS 1956; BRITTEN 1920; CLOUDSLEY-THOMPSON 1945; SPITZER et al. 2010).

The paper aims at a determination of the fauna of Chilopodes on trunks and branches of some woody plants growing in the territory of the Ore Mts. (Krušné hory Mts.) and the Děčínská vrchovina Highland (Czech Republic), which was affected by air pollution in the past, and their seasonal dynamics.

In 2007–2013, a survey took place focused on the crown fauna of the invertebrates on selected tree species (*Picea pungens* Engelm. 2007, *Picea abies* (L.) Karsten 2007, *Larix decidua* (Mill.) 2010, *Pinus sylvestris* (L.), and *Fagus sylvatica* L. 2011–2013).

In blue spruce and Norway spruce, branches were shaken off onto a canvas stretched on a metal frame (0.5 m × 1 m). As for other species, whole trees were shaken off by club strokes on the trunk and the insects were caught onto four canvasses (total size 16 m<sup>2</sup>) stretched on the ground under the tree crown projection.

Programmes employed for data analysis were STATISTICA 10 (StatSoft CR, Ltd.), and distribution-free single-factor ANOVA – Kruskal-Wallis test.

On branches in the crowns and on tree trunks we caught eight species of the *Lithobius* genus, of which some can be considered in faunal terms as commonly occurring in the studied territory (*Lithobius pelidnus* Haase, *L. borealis* Meinert, *L. cyrtopus* Latzel (Tab. 2). As a smooth-bark tree species, beech profited itself with only two representatives of *L. borealis* and *L. cyrtopus* at equal amounts. Blue spruce exhibited a simple fauna, with its branches being colonized exclusively by *L. pelidnus*. The fauna of Norway spruce can be characterized in a similar way although with a much lower abundance. On Scots pine, the eudominant species of *L. cyrtopus* was accompanied by *L. borealis*. The most abundant fauna of centipedes was bound to larch and the profiling representatives were *L. pelidnus* and *L. borealis* (Tab. 3).

The above facts demonstrate the arboricolous character of *L. pelidnus*, *L. borealis* and *L. cyrtopus* species. Chilopoda of the *Lithobium* family were represented on the trunks and in the crowns during the entire growing season with no essential change in their abundance with an exception of *L. borealis*, which exhibited a higher dominance at the beginning and towards the end of the vegetation period (Tab. 4).

The representation of the *Lithobius* genus in all studied Scots pine stands was equable with no statistically significant differences (Kruskal-Wallis test:  $H(2, N = 53) = 0.0913, p = 0.9554$ ) as a natural constituent of the fauna on Scots pine trunks with bark of medium thickness reaching up to a half of the trunk.

As for larch, the structure of bark influenced conditions for the occurrence of centipedes on the trunk. Larch stands of higher altitudes showed a lower representation of centipedes.

Our research corroborated the arboricolous character of Chilopoda representatives – *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, facultative occurrence of *Lithobius forficatus*, *L. mutabilis*, *L. microps* and *L. lapidicola* on the trunks of forest trees. More distinctive arboricolous bond of *Lithobius tenebrosus* and *L. mutabilis* was not demonstrated. The presence of arboricolous chilopoda *Lithobius lusitanus*, *L. valesiacus*, *L. piceus* and *L. variegatus* was not ascertained.

The fauna of Chilopoda on the respective woody plants profited itself by the dominant species of *Lithobius borealis* and *L. cyrtopus* on *Fagus*, *Lithobius pelidnus* on *Picea*, *Lithobius cyrtopus* on *Pinus*, and by *Lithobius pelidnus* and *L. borealis* on *Larix*.

The occurrence on tree trunks and branches throughout the entire vegetation season was demonstrated for *Lithobius pelidnus*, *L. borealis*, *L. cyrtopus*, *L. forficatus* and *L. microps*.



# Relationship Between Soil Type, Humus Form and Macrofauna Communities (Myriapoda and Isopoda) in Forests of the Moravskoslezské Beskydy Mountains, Czech Republic

*Emanuel Kula, Martin Lazorík*

Department of Forest Protection and Wildlife Management, Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 3, CZ-61300 Brno, Czech Republic, e-mail: kula@mendelu.cz, lazorik.martin@atlas.sk

**Abstract:** The effect of soil type, form of humus and altitude on the species composition and density of soil invertebrate communities was studied. Pitfall traps was used to examine diversity of selected epigeic invertebrate groups, i.e. Diplopoda, Chilopoda and Isopoda. A total of 40 species of these groups were captured in traps in a set of 38 sites in forests of Beskydy Mountains, Czech Republic, and monitored for 2007-2012. Overall findings showed the presence of species with wide tolerance to the soil type. High numbers of species were found on Cambisols and Leptosols; Histosols and Stagnosols exhibited smaller number of species and lower abundance. Regarding the form of humus, most abundant populations occurred in soils with Moder humus. Sites with Mor humus were dominated by representatives of the Chilopoda (Lithobiomorpha). Soils with Mull humus were characterised with the presence of species resistant to drying. Sites with Tangl humus were characterised by the presence of *Hylomiscus ryparius* (Isopoda). The altitudinal analysis revealed the preference of Isopoda to lower altitudes, Chilopoda to middle and Diplopoda to middle and high altitudes.

**Key words** Diplopoda, Chilopoda, Isopoda, type of soil, form of soil humus, altitude

## Introduction

Forest communities are strongly dependent on soil types and the peculiarities of their humus (KAUZ, TOPP 1998, SCHUE *et al.* 2003), elevation and slope position (MUDRICK *et al.* 1994, PONGER *et al.* 1997) and chemical characteristics of soil (SCHAEFER, SCHAUERMANN 1990). The structure of the soil and the composition of the epigeic invertebrate communities reflect qualitative changes of the soil and are sensitive to local endogenous and exogenous factors (BLACKBURN *et al.* 2002, JABIN 2008). Several groups of invertebrates have great importance as bioindicators for the soil quality, i.e. Aranea (BUCHAR 1983), Oribatoidea (CURRY 1978), Carabidae (HŮRKA *et al.* 1996) and Staphylinidae (BOHÁČ 1990). Recent studies have demonstrated the bioindicative value of Myriapoda and Isopoda (TUF, TUFOVA 2008). The knowledge of ecological preferences of various in-

vertebrates contributes to their assessment as bioindicators. The strong connection of invertebrates to the soil characters requires further examinations of site conditions in relation to the usefulness of various groups as bioindicators (SCHEU, POSER 1996, BLACKBURN *et al.* 2002, JABIN 2008, TUF, TUFOVA 2008, DUNGER, VOIGTLÄNDER 2009).

The subphylum Myriapoda includes invertebrates predominantly dwelling in soil (KAUTZ, TOPP 1998, HOPKIN, READ 1992, SCHEU *et al.* 2003, GOLOVATCH, KIME 2009, MUDRICK *et al.* 1994, Ponge *et al.* 1997). Its class Chilopoda is the prevailing group in relation to the biomass; although known as carnivores, intake of detritus is not uncommon in centipedes (LEWIS 1965, GUNN, CHERRETT 1993). Organic matter containing bacteria, fungi and moulds is the main food resource for diplopods and isopods (STEPHEN

1992, LANG 1954, FRANKENBERGER 1959). FERLIAN *et al.* (2012) reported some species of Lithobiomorpha [*Lithobius crassipes* L. Koch 1862, *L. mutabilis* L. Koch 1862] as consumers of fungi, along with hunting collembolans and oribatids (MARAUN *et al.* 2003, 2011, CHAHARTAGHI *et al.* 2005).

In forest ecosystems, the relationship between soil conditions and the epigeic fauna was recently analysed (BLACKBURN *et al.* 2002, SCHAEFER, SCHAUERMANN 1990, JABIN 2008, SCHEU, POSER 1996, SCHEU, SETÁLA 2002). Experimental evidence suggested that, in natural ecosystems, where several species co-occurred in close temporal and spatial proximity, there were interactions between the different types of litter decomposition (BLAIR *et al.* 1990, McTIERNAN *et al.* 1997, WARDLE *et al.* 1997, HOORENS *et al.* 2003, SMITH, BRADFORD 2003).

Important factors of soil environment affecting myriapods include the height of accumulated humus, the nutrient component of soil-forming processes, soil moisture, pH, and contents of skeleton and air (SCHEU, POSER 1996, BLACKBURN *et al.* 2002, JABIN 2008). SCHREINER *et al.* (2012) have shown a significant influence of successional change defined by the stand age on the communities of diplopods and chilopods. *Julus scandinavicus* Latzel, 1884 was a species that indicated successional changes in deciduous forests (TOPP 1998), while SCHEU, SCHULZ (1996) revealed the different responses of soil invertebrates to successional changes as per trophic group. TOPP *et al.* (1992) observed links between synanthropic and eurytopic members of diplopods in woodlands. Decrease in the number of species and the number of subjects was studied in urban, rural and suburban areas. It has been shown a decrease of the impact of urbanization on the diversity and the expansion of synanthropic species (BOGYÓ *et al.* 2015). Changes in the water regime influenced communities of isopods and millipedes in forested montane wetlands (STERZYŃSKA *et al.* 2015). Altitude was also recorded as a factor limiting the distribution of isopods and millipedes (TAJOVSKY 1997, STERZYŃSKA *et al.* 2015). Impact of tree species has been studied in the Arboretum Borová Hora (Slovakia), where there were significant differences in the composition of millipedes under various tree species (STAŠIOV *et al.* 2012).

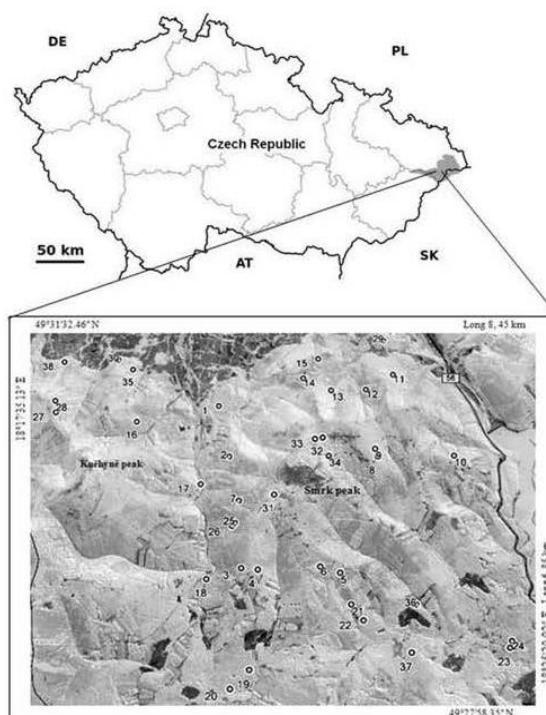
In the context of above-described knowledge of soil invertebrate communities and their dependence on various factors in forest ecosystems, the aims of the present study are (1) to characterise the structure of communities of Diplopoda, Chilopoda and Isopoda under the conditions of different soil types in a selected mountain areas; (2) to examine whether the form of humus can influence these communities; and (3) to

test whether myriapods can be used as bioindicators for undisturbed forest soils in mountain zones.

## Material and Methods

### The study area

We used 38 plots being sites of a monitoring grid (Fig. 1) and representing a broad range of mesoclimatic conditions of the massifs of Smrk and Kněhyně in the Moravskoslezské Beskydy Mountains, Czech Republic. The altitudinal gradient of plots was 540-1220 m. The diversity of soils included from oligobasic soils (Cryptopodzols and Podzols) to eumesobasic soils (Cambisols, Leptosols); their hydric range varied from soils without hydromorph influence to such permanently affected by water (Histosols), with microecologically significantly differing stand types of beech (11 stands) and spruce (27 stands). The stand age was between 49 to 160 years and 60 to 259 years, respectively. The climate of the area is characterised by av. annual precipitation 690-934 mm, av. annual temperature 2.6°C, with the mini-



**Fig. 1.** Location of sites in the mountains Moravskoslezské Beskydy in the massifs Smrk and Kněhyně and along the Čeladenka river. A ring of the number represents the location of the site. The coordinates for the corners of the viewport indicate the position of the upper left and lower right corner of the viewport. Length is a real length field

**Table 1.** Habitat characteristics of permanent research plots (Beskydy, 2007–2012)

Localities	GPS localities	Type of soil	Tree species	Altitude (m)	Form of humus
1	N 49°30'47.5'' E18°20'37.1''	Leptosols (LP)	S	600	Mor
2	N 49°30'10.7'' E18°20'51.5''	Leptosols (LP)	B	815	Mor
3	N 49°29'02.5'' E18°21'08.7''	entic Podzols (eP)	B	880	Moder
4	N 49°29'01.9'' E18°21'23.0''	haplic Podzols (haZ)	S	890	Mor
5	N 49°29'02.0'' E18°22'33.3''	haplic Podzols (haZ)	B	850	Moder
6	N 49°29'04.5'' E18°22'16.0''	Cambisols (CM)	B	915	Moder
7	N 49°29'42.6'' E18°21'03.0''	Leptosols (LP)	B	855	Mor
8	N 49°30'10.9'' E18°23'04.4''	haplic Podzols (haZ)	S	1010	Mor
9	N 49°30'15.5'' E18°23'02.0''	Cambisols (CM)	S	1045	Moder
10	N 49°30'13.5'' E18°24'14.2''	Leptosols (LP)	S	845	Mor
11	N 49°31'08.6'' E18°23'19.9''	Leptosols (LP)	S	840	Mor
12	N 49°30'57.1'' E18°22'54.4''	entic Podzols (eP)	B	835	Moder
13	N 49°30'55.0'' E18°22'22.1''	Leptosols (LP)	S	850	Moder
14	N 49°31'03.9'' E18°21'55.9''	Cambisols (CM)	S	830	Moder
15	N 49°31'19.1'' E18°22'09.4''	Leptosols (LP)	S	780	Mor
16	N 49°30'31.7'' E18°19'24.3''	Leptosols (LP)	S	785	Moder
17	N 49°29'55.2'' E18°20'26.1''	Fluvisols (FL)	S	560	Moder
18	N 49°28'57.0'' E18°20'38.2''	Fluvisols (FL)	S	610	Moder
19	N 49°28'07.0'' E18°21'19.6''	Gleysols (GL)	S	680	Tangel
20	N 49°27'56.5'' E18°21'04.6''	Histosols (HS)	S	660	Tangel
21	N 49°28'44.6'' E18°22'43.3''	Cambisols (CM)	B	730	Moder
22	N 49°28'36.2'' E18°22'54.0''	Cambisols (CM)	S	695	Moder
23	N 49°28'24.6'' E18°24'59.5''	Histosols (HS)	S	530	Tangel
24	N 49°28'28.4'' E18°25'01.5''	Stagnosols (ST)	S	540	Mor
25	N 49°29'29.3'' E18°21'00.6''	entic Podzols (eP)	B	870	Moder
26	N 49°29'27.8'' E18°20'58.1''	Leptosols (LP)	S	825	Mor
27	N 49°30'32.6'' E18°18'13.2''	Cambisols (CM)	B	1015	Moder
28	N 49°30'40.6'' E18°18'10.7''	Cambisols (CM)	B	1025	Moder
29	N 49°31'38.5'' E18°23'12.9''	Leptosols (LP)	S	620	Mor
30	N 49°31'17.1'' E18°18'57.4''	Cambisols (CM)	S	630	Moder
31	N 49°29'45.2'' E18°21'34.2''	Cambisols (CM)	S	1100	Mor
32	N 49°30'18.9'' E18°22'14.8''	Leptosols (LP)	S	1190	Mor
33	N 49°30'17.4'' E18°22'08.1''	haplic Podzols (haZ)	S	1220	Mor
34	N 49°30'08.5'' E18°22'20.6''	haplic Podzols (haZ)	S	1100	Moder
35	N 49°31'09.6'' E18°19'13.2''	Cambisols (CM)	B	635	Mull
36	N 49°28'46.6'' E18°23'39.6''	Cambisols (CM)	S	620	Moder
37	N 49°28'19.5'' E18°23'34.9''	Cambisols (CM)	S	645	Moder
38	N 49°31'13.5'' E18°18'06.6''	haplic Podzols (haZ)	S (Fir)	635	Moder
Note: Tree species: S-spruce, Norway spruce, B-beech					

mum in January (-6.1°C) and the maximum in July (11.7°C), the absolute minimum -30.9°C and the absolute maximum (29.5°C) (weather station: Lysá hora, 1323 m a.s.l.).

#### Sampling methods

To capture epigeic fauna, five pitfall traps filled with formalin (4% formaldehyde) were placed in each of the 38 stands studied (Table 1). Pitfall traps were set in working condition every year at the end of April.

The volume of each trap was 4 litres, and the diameter of the trap mouth was 93 mm. The traps were sheltered with metal roofs and installed linearly within each stand, with a space of 10 m between the traps. The traps were collected every six weeks (15 June, 31 July, 15 September and 30 October) in 2007–2012.

#### Soil types and forms of humus

A soil probe was used at each site to allow describing the soil profile, determining the depths of the in-

dividual horizons and taking a sample (September 2009) to carry out the chemical analyses of the overlying humus layer (horizon H) and the soil (horizon Ah). The soil analysis followed the methodology of the Taxonomic Soil Classification System of the Czech Republic (NĚMEČEK *et al.* 2001). For determining the type of soil and humus forms, an analysis was performed on one sample. Changes in the soil environment were not studied.

The soil type was determined at the research sites based on the soil horizon structure using the methodology according to WRB 2006 (The World Reference Base for Soil Resources), which involves a two-stage system of soil classification with 32 major soil groups ("Reference Base") and over 120 clearly defined traits to describe the specific properties of the soil. Eight main soil types were defined on the monitored sites (Table 1): Leptosols (LP), Haplic Podzols (haZ), Entic Podzols (eP), Stagnosols (ST), Histosols (HS), Cambisols (CM), Gleysols (GL) and Fluvisols (FL).

Simultaneously, the form of soil humus was determined, i.e. Mor, Moder, Mull and Tangle (Table 1). While characteristic of the Mor form is the accumulation of non-humified dead organic matter on the soil surface, low pH and combined cold and wet mesoclimate, the Mull form features a rapid humification process, decaying organic matter, a rich herb layer and activity of actinomycetes and bacteria; the Moder form represents a transition between Mor and Mull. Finally, Tangle as a separate form of humus is characterised by intense accumulation of undecomposed organic matter on wet sites (peat bogs).

#### Altitudinal vegetation zones (AVZ)

Four altitudinal vegetation zones were recognised: 530-700 m, 701-875 m a.s.l., 876-1050 m and 1050-1220 m. The comparison was performed by using canonical correspondence analysis (CCA) after log-transformation and with downweighted rare data. CCA results are presented as an ordination diagram of vectors axis shows the distribution of the environmental variables (AVZ) and illustrating the position of species.

#### Statistical processing

The module of basic characteristics was applied to determine the position of data relative to normal distribution (STATISTICA 10). Subsequently, the data were tested in the environment of the CANOCO 4.5 program using Detrended Canonical Analysis (DCA), where suitability of subsequent analyses was determined on the basis of the resulting eigenvalues. To assess environmental variables that do not differ

between structures, but are related to myriapod turnover, we performed a Canonical Correspondence Analysis (CCA) or Redundance Analysis (RDA) in CANOCO 4.5 (ter BRAAK, ŠMILAUER 2002, LEPŠ, ŠMILAUER 2003). Densities were log transformed ( $x+1$ ) and rare species were downweighted. We entered all environmental factors, used interspecies distances, Hill's scaling, and extracted seven best-fitting environmental variables using the forward selection procedure with 999 Monte-Carlo permutations for significance testing. In cases where the input data were evaluated as linear combination, we used redundancy analysis (RDA); this method was used for defining the relationship of each myriapod and isopod species to the form of humus.

## Results

### Impact of soil type

Eight soil types were characterised in the set of 38 stands monitored on the basis of morphological traits found in the soil probes. Cambisols (CM; 12 sites) and Leptosols (LP; 10 sites) were the predominant types. The soil environments were diverse, ranging from dystic to mesotrophic scree subtypes. A group of soils showing processes of podzolisation (11 sites), including the soil types of Entic Podzols (eP), Haplic Podzols (haZ) and Stagnosols (ST), were also recorded; these soils indicate acidification and nutritional deterioration of soil humus with a deceleration process.

Isopods were clearly connected to sites with a high content of undecomposed organic matter with Histosols (HS) (Fig. 2A). Diplopods were more frequent on Cambisols (CM), and chilopods were rather common on Fluvisols (FL) and Gleysols (GL) (Fig. 2A).

From the Chilopoda, several species such as *Lithobius forficatus* L., 1758, *L. mutabilis* L. Koch, 1862, *L. cyrtopus* Latzel, 1880 and *L. erythrocephalus* C.L. Koch, 1847 colonised Cambisols and Leptosols, i.e. soils that provide good moisture conditions (Fig. 2B). In contrast, *Lithobius pelidmus* Haase, 1880, *L. austriacus* Verhoeff, 1937, *L. tenebrosus* Meinert, 1872 and *L. micropodus* (Matic, 1980) favoured Leptosols (LP), i.e. the soil type with a high content of skeleton and reduced moisture. Cambisols (CM) suited to *Lithobius burzenlandicus* Verhoeff, 1934. *Geophilus insculptus* (Attems, 1895) and *Lithobius biunguiculatus* Loksa, 1947 exhibited clear preference to Haplic Podzols and Entic Podzols, respectively. *Lithobius forficatus* L., 1758 a very common species, was recorded to a wide range between Haplic Podzols and Cambisols (Fig. 2B).



A wide range of diplopod species, *Leptoiulus trilobatus* (Verhoeff, 1894), *Ophiulus pilosus* (Newport, 1842), *Tachypodoiulus niger* (Leach, 1815), *Cylindroiulus nitidus* (Verhoeff, 1891), *Brachyiulus bagnalli* (Curtis, 1845) and *Julus terrestris* L., 1758, showed a positive relationship with Leptosols (LP) (Fig. 2C). *Glomeris hexasticha* Brandt, 1833 was mostly found on Entic Podzols, where the process of podzolisation only occurs in the deeper soil layers. *Glomeris connexa* C. L. Koch, 1847 and *Haasea flavescens* (Latzel, 1884) have colonised Cambisols (CM), a soil which ranks among types rich in nutrients. The species prevailing in water-influenced soils was *Julus scandinavicus* Latzel, 1884; its presence, however, was not as significant as that of *Glomeris pustulata* Latreille, 1804. Out of isopods, *Hyloniscus riparius* (C. Koch, 1838) was strongly bound to Histosols (HS). *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt, 1833), *Porcellio scaber* Latreille, 1804 and *Oniscus asellus* L., 1758 were species that preferred Haplic Podzols (haZ) (Fig. 2D). *Protracheoniscus politus* (Koch, 1841) was found most frequently on Cambisols (CM) and *Ligidium germanicum* Verhoeff, 1901 mostly occurred on Entic Podzols (eP).

#### Impact of humus form

The Moder was the most frequently found form of overlying humus in the stands monitored (20 stands). At these stands, not all the horizons were fully developed, some of them being greatly reduced or absent. The Mor form was predominant at 14 sites, as a result of low pH and slow soil-forming processes; at these sites, all the horizons were present and the total overlying humus was accumulating to a depth of 15–18 cm. Only a single site (No. 35) was recorded to contain the Mull humus. By contrast, three sites contained the Tangle form (No. 19, 20 and 23) where overlying humus was extending to a depth of 60 cm (Table 1).

The form of the overlying humus considerably influenced various myriapod groups (Fig. 3A). For the Diplopoda, a positive correlation with the Moder form was registered for *Glomeris verhoeffi fagivora* (Verhoeff, 1906), *Glomeris hexasticha* Brandt, 1833, *Polyzonium germanicum* Brandt, 1837 and *Haasea flavescens* (Latzel, 1884). *Julus scandinavicus* Latzel, 1884, *Brachyiulus bagnalli* (Curtis, 1845), *Leptoiulus trilobatus* (Verhoeff, 1894) and *Ophiulus pilosus* (Newport, 1842) were the species found to a variable extent on the sites with Mor and Moder humus forms (Fig. 3B). Species with a positive response to Mor and Tangle included *Brachydesmus superus* Latzel, 1884, *Cylindroiulus nitidus* (Verhoeff, 1891),

*Tachypodoiulus niger* (Leach, 1815), *Polydesmus denticulatus* C.L. Koch, 1847, *Glomeris pustulata* Latreille, 1804 and *Polydesmus complanatus* (L., 1761).

The Chilopoda was the group found mainly on sites with Mor and Moder humus. *Lithobius austriacus* Verhoeff, 1937, *L. erythrocephalus* C. L. Koch, 1847, *L. cyrtopus* Latzel, 1880, *L. nodulipes* Latzel, 1880, *L. pelidmus* Haase, 1880, *Geophilus insculptus* Attems, 1895 and *Strigamia acuminata* (Leach, 1814) occurred at sites with a predominance of the Mor form (Fig. 3C). A positive relationship with Moder was revealed for *Geophilus flavus* (DeGeer, 1778) and *Lithobius biunguiculatus* Loksa, 1947. *Lithobius borealis* Meinert, 1868 was the only species that exhibited a slightly increased occurrence on sites with the Tangle humus form.

Isopods were abundant on sites with Mor and Tangle humus forms. While *Ligidium hypnorum* (Cuvier, 1792) and *Hyloniscus riparius* (C. L. Koch, 1844) showed a positive connection to the Tangle form (Fig. 3D), *Protracheoniscus politus* (C. Koch, 1841), *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt, 1833) and *Oniscus asellus* L., 1758 occurred at sites with a predominance of the Mor form. *Ligidium germanicum* Verhoeff, 1901 was confirmed to have a positive relationship to the Moder form, when the vector axis is nearly identical to that of the gradient. In Moder, 52% of individuals were caught using pitfall traps (33 species), while Tangle uncovered 4% of captured individuals (21 species), which could have been caused, to some extent, by the location of sites in valleys or migration. For most of the species, only several individuals were trapped.

#### Impact of altitude

We used canonical correspondence analysis to examine the impact of altitude on abundance of millipedes, centipedes and isopods. To simplify the analysis, the altitude was presented as four altitudinal vegetation zones (AVZ). Axis 1 explained 24.5% of the variance ( $p = 0.001$ ) and Axis 2 explained 12.6% ( $p = 0.001$ ). According to the ordination diagram (Fig. 4), diplopods occurred in all four AVZ. Significant abundance was revealed for *Polydesmus denticulatus* and *P. complanatus* (Fig. 4); these two species represented 19.8% of the total number of captured millipede individuals. Another important species is *Glomeris connexa*, which is more common in AVZ 5. Representatives of the Chilopoda occurred in AVZ 4 and AVZ 5 representing altitudes of 530–875 m. Several frequent species such *Lithobius forficatus*, *L. erythrocephalus*, *L. mutabilis* and *L. cyrtopus* did not show pronounced differentiation along the altitude

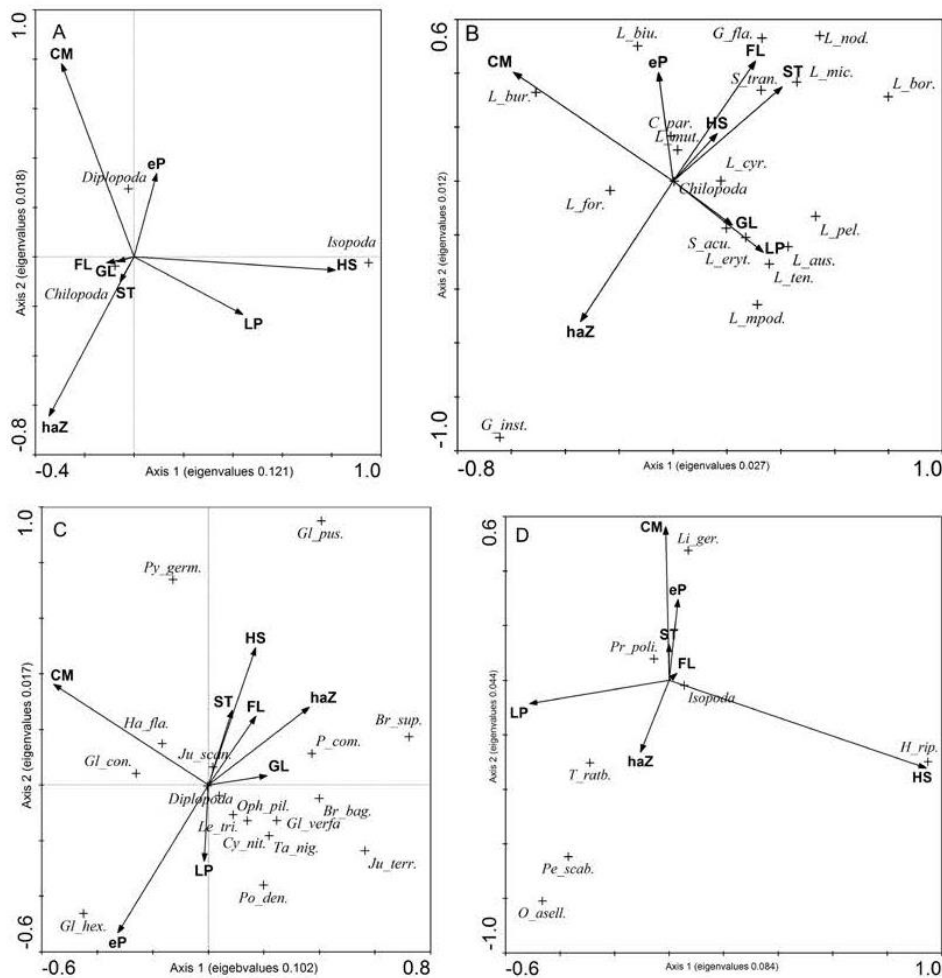


Fig. 2. Ordinations of species data for one animal groups (section A) and three animal groups (B – Chilopoda C – Diplopoda, D – Isopoda) by species using the CCA analysis, where the arrows represent the dominant ecological relationships together. The values listed on the species itself are marked with a cross. Generic points and key together reflect the distribution of species on each environmental variable

range. However, species such as *Lithobius austriacus*, *L. borealis* and *L. micropodus* occurred mainly in lower zones (Fig. 4). Isopods occurred mostly in zones lower than the altitude of 850 m; the most abundant representative *Protracheoniscus politus* occurred at the transition between AVZ 4 and AVZ 5.

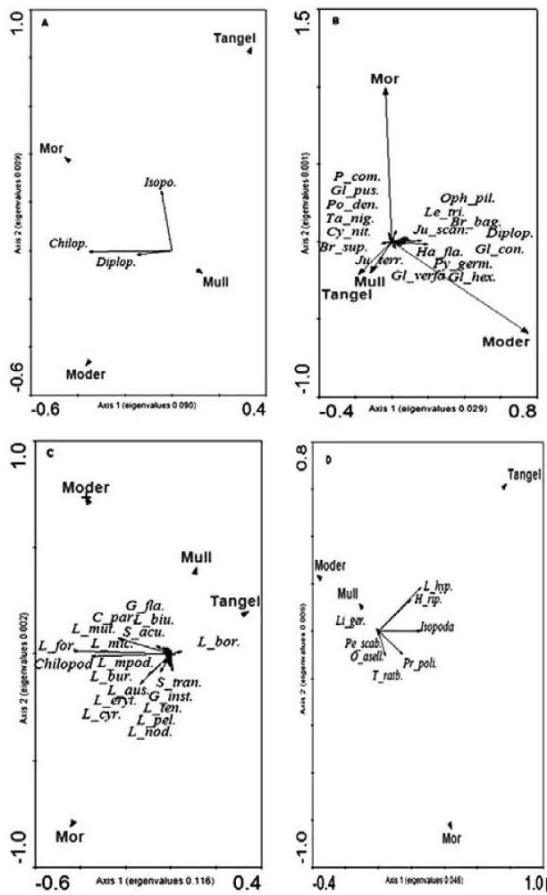
## Discussion

### Impact of soil type

We studied the effect of different soil conditions on the distribution of the soil macrofauna of three groups, i.e. millipedes, centipedes and isopods. The overall distribution of the individual species substantially varied. The most abundant group was the Chilopoda, especially in Cambisols and Leptosols. This corresponds to the results of Jabin (2008) on areas with

Dystric Cambisols in Germany as well as to the observations on soils with good aerobic regimes and with sufficient free living space (KLEBER, JAHN 2007, JABIN *et al.* 2006). When comparing the occurrence of individual species in the studied area, we found an increased proportion of the Lithobiomorpha (*Lithobius pelidmus*, *L. austriacus*, *L. tenebrosus*, *L. micropodus*, *L. erythrocephalus*) and Geophilomorpha (*Strigamia acuminata*) on ranker soils. Leptosols are characterised by the presence of stones, aeration and good permeability, which favours the occurrence of the Chilopoda. The ground traps in localities with high skeleton and lower humidity have captured mostly species (*Lithobius pelidmus*, *L. tenebrosus*) characterised by a strong link to trunks of trees (SUMMERS, UETZ 1979, SCHATZMANN 1990, SPITZER *et al.* 2010, KULA, LAZORIK 2014). Members of the genus *Lithobius* (*L.*

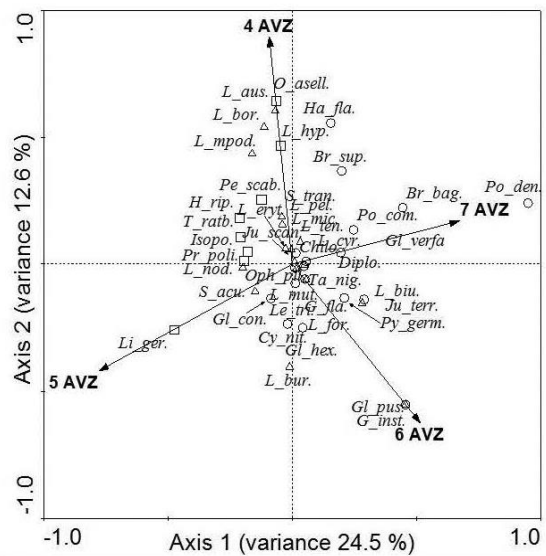




**Fig. 3.** Ordinations of species data for one animals groups (section A) and three animal groups (B – Chilopoda C – Diplopoda, D – Isopoda) by species using RDA analysis, where the triangles represent the dominant ecological relationships of soil humus forms. Other values listed themselves are indicated by arrows. Generic arrows reflect relationships to soil humus forms

*borealis*, *L. nodulipes* and *L. microps*) and *Strigamia acuminata* are represented in soils with suitable moisture regime, which is consistent with the data of BARBER, KEAY (1988). While *Lithobius borealis*, *L. microps* and *Strigamia acuminata* are connected to habitats affected by high levels of water, the peat species *Lithobius nodulipes* may occur mostly near springs (SPITZER *et al.* 2007).

Diplopods occur mostly at locations with Cambosols and Leptosols. However, the most numerous records were on Entic Podzols and Haplic Podzols. These soils are characterized by a reduction in pH, slowing the process of humification and accumulation of forest litter. On the prevalent soil type, Cambisols, the dominating species are *Glomeris connexa* and *Hassea flavescens*. In partic-



**Fig. 4.** Ordination diagram showing the distribution of the Diplopoda, Chilopoda and Isopoda in relation to the altitude (CCA). Two predetermined axes explaining 24.5% and 12.6%, respectively. The vector shows the altitude vegetation zone. Circle, Diplopoda; triangle, Chilopoda; square, Isopoda

ular, *G. connexa* is defined in relation to the habitat as eurythermic to thermophilic, indifferent to bed-rock (STAŠIOV *et al.* 2007) or as eurytopic woodland species, with preference to xeric shrub communities (VOIGTLÄNDER 2011). Soils affected by water were dominated by *Julus scandinavicus*, which is considered among the representatives adapted to multi-level habitats with vegetation and different humidity (VOIGTLÄNDER 2011). As diplopods occurring in soils with lower levels of moisture are *Ophyiulus pilosus* and *Brachyiulus bagnalli* (Fründ, Ruzskowski 1989) while *Julus terrestris* is characteristic for inundated habitats (BOGYÓ *et al.* 2012, JEDRYCZKOWSKY 1992). The occurrence of *Tachypodoiulus niger*, being a species resistant to drought, in skeletal soils is in accordance with previous data (HAACKERT 1968).

Isopods are recorded in Histosols representing environment with the necessary levels of moisture. However, *Protracheoniscus politus* and *Trachelipus ratzeburgii* are captured on stony Leptosols. In addition, Cambisols also provide suitable habitats for the occurrence of these species. Notably, *Hylomiscus riparius* and *Lygidium hypnorum* occur to some extent at all locations but the most significant numbers of them are on Histosols.

We can confirm that representatives of diplopods, chilopods and isopods are suitable for bioindication of soil habitats. However, it is necessary to

extend the knowledge of their ecological requirements and responses to a wider range of soil characteristics.

### Impact of humus form

The humus layer involves a border area, in which there is contact between plants, animals and microbial organisms. Significant biological processes are underway as part of the woodland ecosystem (PONGE 2003), resulting in humus forms (RUSEK 1975, KUBIENA 1955) that in turn influence terrestrial plant and animal communities (PONGE *et al.* 1997, PONGE, 1999, HOOPER *et al.* 2000). The Mull form is characterised by (i) rapid decomposition of tree litter as a result of operating animal decomposers and white-rot fungi, and (ii) soil fertility (PONGE 2003). The presence of macrofauna, particularly Lumbricidae, may transform the form of humus, e.g. Mull to Moder, thus creating variations in the Myriapoda coenose (SCHEU, POSER 1996). PETERSEN, LUXTON (1982) report that acidification of the soil results in the different soil fauna of the Moder form (mesofauna – Acari, Collembola) compared with the Mull form (macrofauna – Lumbricidae, millipedes, isopods). Increased acidity reduces fragmentation of beech litter mass and its decomposition and results in the formation of Mull due to the limited representation of macrofauna decomposers (SCHEU, WOLTERS 1991).

The effect of humus forms on the myriapod fauna was studied in a broader area with relatively similar habitat characteristics (O'NEILL, REICHEL 1979, PETERSEN, LUXTON 1982, BORNEBUSCH 1930, SCHAEFER, SCHAUERMANN 1990, DAVID *et al.* 1993).

The area of the mountains of Moravskoslezské Beskydy was affected by acid rain in the past. Predominant in the middle zones with occurrence of spruce stands is Moder (overlying humus with moderate accumulation of undecomposed organic matter and the onset of mineralisation processes, increased carbon content and a higher C to N ratio along with low pH). The decrease in the rate of mineralisation and decomposition arrives with the stand's age (45-95 years), while the metabolic activity and microbial activity recede (CHAUVE *et al.* 2005) and the fungal biomass increases. The monitored stands of spruce and beech in the mountains of Moravskoslezské Beskydy were older than 60 years and correspond to this stage of the soil process. The Mull form is reported from a spruce forest (BERNIER, PONGE 1994) only at the stage of senescence.

Moder (33 myriapod species) primarily profiled through eurytopic species (*Lithobius forficatus*, *L. mutabilis*, *L. erythrocephalus*), through adaptive species (*Glomeris connexa*, *Leptoionulus trilobatus*) and the rel-

ict *Lithobius cyrtopus*. Mor (34 species of Myriapoda) can be described with the range of adaptable species such as *Protracheoniscus politus*. Mull created unfavourable conditions for the Myriapoda (11 species), with the shares of the eurytopic members *Lithobius mutabilis*, *L. forficatus* and *L. cyrtopus* being the most distinct. Tangle (21 species) can be characterised by *Hyloniscus riparius*, a species that was in fact absent in other forms of humus. The density and species diversity of Chilopoda, especially Geophilomorpha, and saprophagous macrofauna (Diplopoda, Isopoda) is reported to be higher in the Mull form of a restored stand compared with the Moder form of an adult spruce stand (SALMON *et al.* 2008), which is in accordance with the data of ATHIAS-BINCHE (1982), SCHAEFER (1991B), DAVID *et al.* (1993), LAVELLE, SPAIN (2001), SCHAEFER, SCHAUERMANN (1990) and PONGE (2003). Generally, the species diversity is higher in dys-moder and amphi-mull of young woodland than in the dys-moder and amphi-mull forms of old stands (SALMON *et al.* 2008).

An elevated layer of undecomposed litter mass creates space for movement and provides a source of prey for predatory species of lithobiid centipedes (SCHEU, POSER 1996). Similar findings are presented by DAVID *et al.* (1993) from beech stands with increased carbon content. The increase in the Diplopoda abundance in the Moder form may be caused by the onset of fungal decomposers in the organic matter serving as food (SCHAEFER, SCHAUERMANN 1990).

The Mor form is recorded to have an increased presence of *Lithobius austriacus*, *L. erythrocephalus*, *L. cyrtopus*, *L. nodulipes*, *L. pelidmus*, *Geophilus insculptus* and *Strigamia acuminata*. The common factor for most of the listed species is their preference to soils with a thick layer of undecomposed organic matter with low pH, located in cold mountain and foothill areas (JABIN 2008, TUF, TUFOVÁ 2008, TAJOVSKÝ, WYTWER 2009, POSER 1990, BLACKBURN *et al.* 2002, TAJOVSKÝ 2001, GRGIČ, KOS 2005, VOIGTLÄNDER 2005). Higher abundance of the Chilopoda in the Mor form with a thicker layer of overlying humus has been demonstrated by SCHAEFER, SCHAUERMANN (1990) due to ease movement in corridors formed by the Lumbricidae and food supply. For the Isopoda, DAVID *et al.* (1993) have reported a higher representation in the Moder form, which is not confirmed in the present study. Our results show higher proportions of Isopoda in the Mor and Tangle humus forms, where soil moisture is the limiting factor as demonstrated by moisture measurements. The Chilopoda are reported by JABIN (2008) as occurring in soils with wood decaying on the soil surface, suitable microclimate conditions and the occurrence of natural prey.

### Impact of altitude

Comparing the abundance of diplopods, chilopods and isopods from various altitudes, it is possible to find some significant differences. Previous studies (TAJOVSKY 1997, STERZYŃSKA *et al.* 2015) have demonstrated this for mountain wetlands in relation to populations of diplopods and isopods. As prominent representatives of the Diplopoda occurring at high altitudes, we can mention *Brachyiulus bagnalli*, *Polydesmus complanatus* and *P. denticulatus*, which have been recorded in high mountains (Read, GOLOVATCH 1994, ŠPELDA 1996, KIME, GOLOVATCH 2000, MIKHALJOVA 2000). The total trend can be detected that isopods occur at lower altitudes, chilopods are frequent in middle altitudes, while diplopods are adapted to medium and higher altitudes.

### Conclusions

According to our results, the soil type, the form of humus and the altitude are important factors for the distribution and abundance of epigeic species of

Diplopoda, Chilopoda and Isopoda in forest soils in Beskydy Mountains. Cambisols and Leptosols contain more abundant macrofaunal communities, while Histosol and Stagnosols are the poorest soil types in relation to abundance of these three groups. The Moder humus form provides favourable conditions for the abundance and species diversity of myriapods and isopods. Mor humus form is also suitable for myriapods and isopods, with its thick layer of decomposed organic matter enabling shelter and food availability as well as providing conditions for mobility within the soil. Mull humus form is inhabited mostly by species tolerant to dry habitats. Tangel form is characterised by high accumulation of organic matter and good moisture regime, which is suitable for *Hyloniscus riparius* (Isopoda), which is suggested to be used as a bioindicator for wet soils.

**Acknowledgements:** The study was supported by the companies Nadace ČEZ, a.s. Prague, Netex s.r.o. Děčín, and Lafarge cement a.s., Čížkovice.

### References

- ATHIAS-BINCHE F. 1982. Ecologie des Uropodes édaphiques (arachnides: parasitiformes) de trois écosystèmes forestiers. 3. Abondances et biomasses des microarthropodes du sol; facteurs du milieu, abondances et distributions spatiales des Uropodides. – *Vie et Milieu*, **32**: 47-60.
- BARBER A.D., A.N. KEAY 1988. Provisional atlas of the centipedes of the British Isles. Huntingdon: Biological Records Centre/NERC, 127 pp.
- BERNIER N., J.F. PONGE 1994. Humus form dynamics during the sylvogenetic cycle in a mountain spruce forest. – *Soil Biol. Biochem.*, **26**: 183-220.
- BLAIR J.M., R.W. PARMELEE, M.H. BEARE 1990. Decayrates, nitrogen fluxes, and decomposer communities of single- and mixed-species foliar litter. – *Ecology*, **71**: 76-85.
- BLACKBURN J., M. FARROW, A. WALLACE 2002. Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes. – *Journal of Zoology*, **256**: 221-232.
- BOHÁČ J. 1990. Numerical estimation of the impact of terrestrial ecosystem by using the staphylinid beetles communities. – *Agrochemistry and Soil Science*, **39**: 565-568.
- BOGYÓ D., Z. KORSÓS, E. LAZÁNYI, G. HEGYESSY 2012. Millipedes from the Zemplén Mts., NE Hungary. – *Opuscula Zoologica, Budapest*, **43**: 131-145.
- BOGYÓ D., T. MAGURA, E. SIMON, B. TÓTHMÉRÉSZ 2015. Millipede (Diplopoda) assemblages alter drastically by urbanisation. – *Landscape and Urban Planning*, **133**: 118-126
- BORNEBUSCH C.H., 1930. The Fauna of the Forest Soil. Det forstlige Forsogsvaesen i Danmark, 11. Copenhagen, Lyngse & Son, 1-225
- BUCHAR J. 1983. Klasifikace druhů pavoučí zvířeny Čech jako pomůcka k bioindikaci kvality životního prostředí. – *Fauna Bohemiae Septentrionalis*, **8**: 119-135.
- CURRY J. P. 1978: Relationships between microarthropod communities and soil and vegetational types. – *Scientific Proceedings, Royal Dublin Society*, Ser. A, 6: 131-141.
- DAVID C., C.S. Fishburn, F.J. Monsma, Jr., D.R. Sibley, S. FUCHS 1993. Synthesis and processing of D2 dopamine receptors. – *Biochem.*, **32**: 8179-8183.
- DUNGER W., K. VOIGTLÄNDER 2009. Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil ecosubsystem development in post-mining sites of Eastern Germany a review. – *Soil Organisms*, **81**: 1-51.
- FERLIAN O., S. SCHUE, M.M. POLLIERER, 2012. Trophic interactions in centipedes (Chilopoda, Myriapoda) as indicated by fatty acid patterns: Variations with life stage, forest age and season. – *Soil Biology & Biochemistry*, **52**: 33-42.
- FRANKENBERGER Z. 1959. Stejnonožci suchozemští-Oniscoidea (In Czech). Fauna ČSR, NČSAV, Prague.
- FRÜND H.-C., B. RUSZOWSKI 1989. Untersuchung zur Biologie städtischer Böden. 4. Regenwürmer, Asseln und Diplopoden. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, **18**: 193-200.
- GOLOVATCH S. I., R.D. KIME 2009. Millipede (Diplopoda) distributions: A review. – *Soil Organisms*, **81**: 565-597
- GRGIĆ T., I. KOS 2005. Influence of forest development phase on centipede diversity in managed beech forests in Slovenia. – *Biodiversity and Conservation*, **14**: 1841-1862.
- GUNN A., J.M. CHERRETT 1993. The exploitation of food resources by soil meso and macroinvertebrates. – *Pedobiologia*, **37**: 303-320.
- HAACKER U. 1968. Deskriptive, experimentelle und vergleichende Untersuchungen zur Autökologie rhein-mainischer Diplopoden. – *Oecologia*, **1**: 87-129.
- HOOPER D.U., D.E. BIGNELL, V.K. BROWN, L. BRUSSAARD, J.M. DANGERFIELD, D.H. WALL, D.A. WARDLE, D.C. COLEMAN, K.E. GILLER, P. LAVELLE, W.H. VAN DER PUTTEN, P.C. DE RUITER, J. RUSEK, W.L. SILVER, J.M. TIEDJE, V. WOLTIERS 2000. Interactions between aboveground and belowground

- biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. – *BioScience*, **50**: 1049-1061.
- HOORENS B., R. AERTS, M. STROETENGA 2003. Does initial litter chemistry explain litter mixture effects on decomposition? – *Oecologia*, **442**: 78-86.
- HOPKIN, S. P., H. J. READ 1992. *The Biology of Millipedes*. – Oxford University Press, Oxford, 223 pp.
- HŮRKA K., P. VESELÝ, J. FARKAČ 1996: Využití střevlikovitých (Coleoptera, Carabidae) k indikaci kvality prostředí. – *Klapalekiana*, **32**: 15-26.
- CHAHARTAGHI M., R. LANGEL, S. SCHEU, L. RUESS 2005. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. – *Soil Biology & Biochemistry*, **37**: 1718-1725.
- Chauve G., L. Heux, R. Arouini, K. Mazeau 2005. Cellulose poly (ethylene – co-vinyl acetate) nanocomposites studied by molecular modeling and mechanical spectroscopy. – *Biomacromolecules*, **6**: 2025-2031.
- JABIN M. 2008. Influence of environmental factors on the distribution pattern of centipedes (Chilopoda) and other soil arthropods in temperate deciduous forests. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 102 pp.
- JABIN M., E. GUILHERME, W. TOPP 2006. Sind historische Meilerplatten ‚hot spots‘ für die Bodenfauna von Buchenwäldern? – *Entomologie heute*, **18**: 45-53.
- JEDRYCZKOWSKI W.B. 1992. The distribution and ecology of the millipedes in Poland. – *Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins in Innsbruck, Suppl.*, **10**: 385-391.
- KAUTZ G., W. TOPP 1998. Nachhaltige waldbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität. – *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, **117**: 23-43.
- KIME R.D., S.I. GOLOVATCH 2000. Trends in the ecological strategies and evolution of millipedes (Diplopoda). – *Biological Journal of the Linnean Society of London* **69**: 333-349.
- KLEBER M., R. JAHN 2007. Andosols and soils with andic properties in the German soil taxonomy. *Journal of Plant – Nutrition and Soil Science*, **170**: 317-328.
- KUBIENA W.L. 1955. Animal activity in soils as a decisive factor in establishment of humus forms. – In: KEVAN D.K.McE (Ed.): *Soil Zoology*. Butterworths Scientific Publications, London.
- KULA E., M. LAZORIK 2014. Chilopoda v korunové a kmenové fauně lesních dřevin (Chilopoda in crown and stem fauna of forest trees, in Czech, English summary). – *Zprávy lesnického výzkumu*, **59** (3): 175-183.
- LANG J. 1954. Mnohonožky – Diplopoda (In Czech) Nakl. Československé akademie věd, Praha.
- LAVELLE P., A.V. SPAIN 2001. – *Soil ecology*. Amsterdam: Kluwer Scientific Publications, 654 p.
- LEPŠ J., P. ŠMLAUER 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. – Cambridge University Press, London.
- LEWIS J.G.E., 1965. The food and reproductive cycles of the centipedes *Lithobius variegatus* and *Lithobius forficatus* in a Yorkshire woodland. – *Proceedings of the Zoological Society of London*, **144**: 269-283.
- MARAUN M., G. ERDMANN, B.M. FISCHER, M.M. POLLIERER, R.A. NORTON, K. SCHNEIDER, S. SCHEU 2011. Stable isotopes revisited: their use and limits for oribatid mites trophic ecology. – *Soil Biology & Biochemistry*, **43**: 877-882.
- MARAUN M., H. MARTENS, S. MIGGE, A. THEENHAUS, S. SCHEU 2003. Adding to „the enigma of soil animal diversity“: fungal feeders and saprophagous soil invertebrates prefer similar food substrates. – *European Journal of Soil Biology*, **39**: 85-95.
- McTIERNAN K.B., P. INESON, P.A. COWARD 1997. Respiration and nutrient release from tree leaf litter mixtures. – *Oikos*, **78**: 27-38.
- MIKHALJOVA E.V. 2000. Review of the millipede family Diplomaragnidae (Diplopoda: Chordeumatida). – *Arthropoda Selecta*, **8**: 153-181.
- MUDRICK D.A., M. HOOSEIN, JR. R.R. HICKS, E.C. TONWSEND 1994. Decomposition of leaf litter in an Appalachian forest: effects of leaf species, aspect, slope position and time. *Forest – Ecology and Management*, **68**: 231-250.
- NĚMEČEK J. et al. 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky (Taxonomic classification system of soils of the Czech Republic. ČZU Praha. (In Czech, English summary).
- O'NEILL R.V., D.E. REICHLER 1979. Dimensions of ecosystem theory. In ANALYSIS, R. H. WARING (Ed.): *Forests, Fresh Perspectives from Ecosystem*. Proceedings of the 40th annual biology colloquium, Oregon State University Press, Corvallis, Oregon, 11-26.
- PETERSEN H., M. LUXTON 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition process. – *Oikos*, **39**: 288-388.
- PONGE J.F. 1999. Interaction between soil fauna and their environment. In: RASTIN N. and J. BAUHUS (eds.), *Going underground. Ecological studies in Forest Soils*. – *Research Signpost, Trivandrum*, 45-76.
- PONGE J.F. 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to diversity. – *Soil Biol. Biochem.*, **35**: 935-945.
- PONGE J.F., P. ARPIN, F. SONDAG, F. DELECOUR 1997. Soil fauna and site assessment in beech stands of the Belgian Ardennes. – *Can. J. For. Res.*, **27**: 2053-2064.
- POSER T. 1990. The influence of litter manipulation on the centipedes of a beech wood. In: MINELLI A. (ed.), *Proceedings of the International Congress of Myriapodology*. Brill, Leiden, New York, Kobenhaven, Köln, 235-245.
- READ H.J., S.I. GOLOVATCH 1994. A review of the Central Asian millipede fauna. – *Bulletin of the British Myriapod Group*, **10**: 59-70.
- RUSEK J. 1975. Die bodenbildende Funktion von Collembolen und Acarina. – *Pedobiologia*, **15**: 299-308.
- SALMON S., N. ARTUŠI, L. FRIZZERA, R. ZAMPEDRI 2008. Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation. *Soil – Biology & Biochemistry*, **40**: 1707-1715.
- SCHAEFFER M. 1991b. The animal community: diversity and resources. – In: RÖHRIG E. and ULRICH B. (Eds.): *Ecosystems of the World, vol. 7. Temperate Deciduous Forests*. Elsevier, Amsterdam, 51-120.
- SCHAFFER M., J. SCHAUERMANN 1990. The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. – *Pedobiologia*, **34**: 299-314.
- SCHATZMANN E. 1990. Weighting of habitat types for estimation of habitat overlap – application to a collection of swiss centipedes. – In: MINELLI A. (Ed.): *Proceedings of 7th International Congress of Myriapodology*. Vittorio Veneto, Italy, 1987. Leiden, Brill, 299-309.
- SCHEU S., G. POSER 1996. The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beech wood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. – *Applied Soil Ecology*, **3**: 115-125.
- SCHEU S., E. SCHULZ 1996. Secondary succession, soil formation



- and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. – *Biodivers. Conserv.*, **5**: 235-250.
- SCHOU S., V. WOLTERS 1991. Buffering of the effect of acid rain on decomposition of C-14-labelled beech leaf litter by saprophagous macroinvertebrates. – *Biol. Fertil. Soils*, **11**: 285-289.
- SCHOU S., D. ALBERS, J. ALPHEI, R. BURYŇ, U. KLAGES, S. MIGGE, C. PLATNER, J.A. SALAMON 2003. The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces. – *Oikos*, **101**: 225-238.
- SCHOU S., H. SETÄLÄ 2002. Multitrophic interactions in decomposer food webs. Multitrophic Interactions in Terrestrial Systems (Ed. by T. Tschamtké & B. A. Hawkins), – *Cambridge University Press*, 223-264.
- Schreiner A., P. Decker, K. Hannig, A. Schwerek 2012. Millipede and centipede (Myriapoda: Diplopoda, Chilopoda) assemblages in secondary succession: variance and abundance in Western German beech and coniferous forests as compared to fallow ground, – *Web Ecol.*, **12**, 9-17.
- SMITH V.C., M.A. BRADFORD 2003. Do non-additive effects on decomposition in litter-mix experiments result from differences in resource quality between litters?, – *Oikos*, **102**: 235-242.
- SPELDA J., 1996. Millipedes as aids for the reconstruction of glacial refugia. – *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, **169**: 151-161.
- SPITZER L., O. KONVIČKA, R. TROPEK, M. ROHÁČOVÁ, I.H. TUŇ, O. NEDVĚD 2010. Společenstvo členovců (Arthropoda) zimujících na jedli bělokoré (*Abies alba*) na Valašsku (okr. Vsetín, Česká republika) [Assemblage of overwintering arthropods on white fir (*Abies alba*) in the Moravian Wallachia region (West Carpathians, Czech Republic) In Czech, English summary]. – *Časopis Slezského Muzea Opava*, (A) **59**: 217-232.
- SPITZER L., I.H. TUŇ, J. TUFOVÁ, R. TROPEK 2007. Příspěvek k poznání fauny epigeických bezobratlých dvou přírodních jedlobukových lesů ve Vsetínských vrších (Česká republika) [Contribution to the knowledge of epigeic invertebrates of two seminatural fir-beech deciduous woodlands in the Vsetínské vrchy Hills, Western Carpathians (Czech Republic) In Czech, English summary]. – *Práce a Stud. Muz. Beskyd* (Přir. vědy), **19**: 71-82.
- STAŠIOV S., L. HAZUCHOVÁ, J. BEŇO, K. KOČÍK, V. VICIAN 2007. Vplyv formy obhospodarovania agroekosystémov na štruktúru spoločenstiev mnohonôžok (Diplopoda) [Influence of forms of management of agro-ecosystems to communities Diplopoda. In Slovak, English summary]. – In: DANŠ D. (ed.), Vplyv foriem obhospodarovania poľnohospodárskej krajiny na základné zložky agroekosystémov vo vzťahu k optimalizácii využívania krajiny. Zborník vedeckých prác spracovaných v nadväznosti na grant VEGA č. 1/2379/05. Čižmárová, J. PARTNER, Poniky, 56-66.
- STAŠIOV S., A. STAŠIOVÁ, M. SVITOK, E. MICHÁLKOVÁ, B. SLOBODNÍK, I. LUKÁČÍK 2012. Millipede (Diplopoda) communities in an arboretum: Influence of tree species and soil properties. – *Biologia Section Zoology*, **67**: 945-952.
- STERZYŇSKA, M., K. TAJOVSKÝ, P. NÍCIA 2015. Contrasting response of millipedes and terrestrial isopods to hydrologic regime changes in forested montane wetlands. – *European Journal of Soil Biology*, **68**: 33-41.
- STEPHEN A.R. 1992. A-Morphous Morphology. Cambridge: Cambridge University Press.
- SUMMERS G., G.W. UETZ 1979. Microhabitats of woodland centipedes in a streamside forest. – *American Midland Naturalist*, **102**, 346-352.
- TAJOVSKÝ K., 1997. Distribution of millipedes along an altitudinal gradient in three mountain regions in the Czech and Slovak Republics (Diplopoda). – In: ENGHOFF, H. (Ed.): Many-legged animals – A collection of papers on Myriapoda and Onychophora, – *Entomologica Scandinavia*, Suppl. **51**: 225-234.
- TAJOVSKÝ K. 2001. Dosavadní poznatky o mnohonôžkách (Diplopoda) a stonožkách (Chilopoda) na území Šumavy (Actual knowledge about Diplopoda and Chilopoda in the Šumava area. In Czech, English summary). – In: MÁNEK J. (Ed.): Aktuality šumavského výzkumu. Sborník z konference, Srní 2.-4. dubna 2001. Vimperk, Správa NP a CHKO Šumava, 173-175.
- TAJOVSKÝ K., J. WITWER 2009. Millipedes and centipedes in wetland alder stands in north-eastern Poland. – *Soil Organisms*, **81**: 761-772.
- TER BRAAK C. J. F., P. SMILAUER 2002. CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows users guide: Software for canonical community ordination version 4.5, (Ithaca, NY, USA), 500 pp.
- TOPP W. 1998. Der Einfluss von Rekultivierungsmaßnahmen auf die Bodenfauna, in: Braunkohlentagebau und Rekultivierung – Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz, edited by: Pflug W., Springer, Berlin, 325-336.
- TOPP W., O. GEMESI, C. GRUNING, P. TASCH, H.Z. ZHOU 1992. Colonization of soil fauna in afforested coal mined areas in the Rhineland. – *Zool. Jb. Syst.*, **119**: 505-533.
- TUŇ I. H., J. TUFOVÁ 2008. Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality in Czech Republic. – *Časopis Slezského Muzea Opava* (A), **57**: 37-44.
- VOIGTLÄNDER, K. 2005. Habitat preferences of selected Central European Centipedes. – In: VOIGTLÄNDER, K. (Ed.): Myriapoda in Europe. Habitats and Biodiversity. Contributions to the Colloquium of European Myriapodologists. Peckiana 4: 163-179.
- VOIGTLÄNDER K. 2011. Preferences of common Central European millipedes for different biotope types (Myriapoda, Diplopoda) in Saxony-Anhalt (Germany). – In: MESIBOV R. and SHORT M. (Eds.): Proceedings of the 15th International Congress of Myriapodology, 18-22 July 2011, Brisbane, Australia. International Journal of Myriapodology, **6**: 61-83.
- WARDLE D.A., K.I. BONNER, K.S. NICHOLSON 1997. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. – *Oikos*, **79**: 247-58

Received: 18.03.2015

Accepted: 13.08.2015

## 10. Publikace V.

© Entomologica Fennica. 15 February 2016

# Centipedes, millipedes, terrestrial isopods and their relationships to physical and chemical properties of forest soils

Emanuel Kula & Martin Lazorík

Kula, E. & Lazorík, M. 2016: Centipedes, millipedes, terrestrial isopods and their relationships to physical and chemical properties of forest soils. — Entomol. Fennica 27: 33–51.

The quality of soil environment in forest ecosystems of mountain zones was characterised by skeleton content and particle size as well as soil moisture and chemistry and used for deepening the knowledge of ecological requirements of centipedes, millipedes and terrestrial isopods. Soil skeleton and size of the particles were significant environmental factors, with *Lithobius austriacus*, *Lithobius erythrocephalus* and *Lithobius nodulipes* preferring stony soils. The isopods *Ligidium hypnorum* and *Hyloniscus riparius* were closely bound to heavy soils with a high clay content, which was related to increased soil moisture and indication of waterlogged soils. Soil reaction (pH/KCl) was less associated with the occurrence of the studied invertebrates. The soils with higher skeleton content and a favourable moisture regime containing more Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> were more attractive to some centipedes (*Strigamia acuminata*, *Lithobius microps*) and isopods (*Trachelipus ratzeburgii*, *Oniscus asellus*, *Porcellio scaber*).

E. Kula & M. Lazorík, Department of Forest Protection and Game Management, Faculty of Forestry and Wood Technology Zemědělská 3, CZ-61300 Brno; E-mail: kula@mendelu.cz, lazorik.martin@atlas.sk

Received 30 June 2015, accepted 26 December 2015

## 1. Introduction

Knowledge of interactions between the soil environment and soil fauna forms an important background for objective assessment of other factors affecting the complex of relationships such as impacts of climate change (Briones *et al.* 1997, Dollery *et al.* 2006, David & Handa 2010), changes in species composition of woody plants in native stands (Schreiner *et al.* 2012), differences in the setting of ravines (Schlaghamerský *et al.* 2014) or reforestation of grasslands (Carpenter *et al.* 2012). Earlier observations also suggest the possibility of occurrence of different soil in-

vertebrates based on different characteristics of soil environment (Scheu & Schulz 1996).

To understand the differences in behavior of invertebrates, it is necessary to know the basic characteristics of soils in forest ecosystems. Soil is based on the soil-forming substrate (Bedrna 1977, Němeček *et al.* 1990), which affects through its quality of the edaphon (Mařan & Káš 1948) that consequently influences the ongoing soil-forming processes. Soil chemistry affects weathering of the parent rock, and thus also particle size and skeleton content. Soil texture is the most stable characteristic of the soil environment, influencing to a critical extent the porosity, air

and water regimes, infiltration and humus formation processes and fertility of soil (Brady & Weil 2008). Knowledge of soil chemistry is a precondition of the possibility to study the manifestations of soil invertebrates.

Diplopoda and Lumbricidae play an important role in transformations of the soil environment of the ecosystem (Schaefer 1991) and fulfil the criterion as suitable individual invertebrates for the bioindication of the soil quality and in this context of global climate change (Blackburn *et al.* 2002, Tuf & Tuřová 2008, Dunger & Voigtländer 2009). Soil properties and their influence on the distribution and presence of the species of the orders Lithobiomorpha and Geophilomorpha were studied by Scheu & Poser (1996), Blackburn *et al.* (2002) and Jabin (2008). Blackburn *et al.* (2002) and Jabin (2008) suggested that assessing the soil environment using solely the chemical composition of the soil may not estimate some of the soil properties correctly. The results so far show only a minor importance of soil reaction for Lithobiomorpha, in contrast to soil moisture. Some partial results defining the relationship of soil environment and individual centipede, millipede and terrestrial isopod species have been published but no conclusive data exists so far.

Faunistic data on centipedes, millipedes and terrestrial isopods of the Moravian-Silesian Beskyds were published by Kula *et al.* (2011). This study aimed at assessing the preferences of soil-epigeic centipedes, millipedes and terrestrial isopods along the gradients of chemical and physical properties of soil. The presence of centipedes, millipedes and terrestrial isopods was monitored using pitfall traps in 2007–2012 over each year's growing season.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study area

The sites forming the monitoring grid (38 plots, Fig. 1) encompass a broad spectrum of meso-climatic conditions of the massifs of Smrk and Kněhyně mountains of the Moravian-Silesian Beskyds (the Czech Republic). They are situated within the altitudinal range of 540–1,220 m above the sea level. The climate is characterised

by average annual precipitation of 690–934 mm and average annual temperature of 2.6 °C with the minimum in January (–6.1 °C) and maximum in July (11.7 °C), the absolute minimum and maximum temperatures being –30.9 °C and 29.5 °C, respectively (weather station: Lysá hora, 1,323 m a. s. l.). For other details, see Kula *et al.* (2011).

The network of research plots covers an area of 58 km<sup>2</sup>, where the distances between the most remote locations are 8.45 km in east-west direction and 6.85 km in north-south direction (Fig. 1). The average distance between the plots is 1.2 km. All study sites are located on soils covered with forests that have been used for forestry for a long time. Close-to-natural forest management is realised in the studied territory.

### 2.2. Collecting the invertebrates

To capture epigeic fauna, five pitfall traps (glass round-neck-shaped jars with the diameter of 93 mm and overall height of 263 mm), each with 4,000 ml of formaline (4% formaldehyde) as a fixative solution were set on each study site. The traps were sheltered with roofs and situated along a transect with 10 m spacing. The traps were inspected every six weeks from 1 April to 30 October in 2007–2012. Mixed samples were formed by pooling the material from all the five traps at each site on each of the inspection dates and were kept in 75% ethanol. In the years 2007–2009, the invertebrates were determined under the direct supervision of RNDr. & Mgr. Ivan Hadrian Tuf, Ph.D. and Mgr. Jana Tuřová, Ph.D. (Faculty of Science, Palacký University Olomouc) while the material from the years 2010–2013 was determined by one of the authors (M. L.).

### 2.3. Soil sampling

A rectangular soil pit was excavated at each site (August 2009) allowing us to describe the soil profile, determine the depth of the individual horizons and carry out the chemical analysis in line with the Taxonomic Soil Classification System of the Czech Republic (Němeček *et al.* 2001). The pit must be deep enough (70–120 cm) to uncover all the soil horizons. The width × length was 70 ×

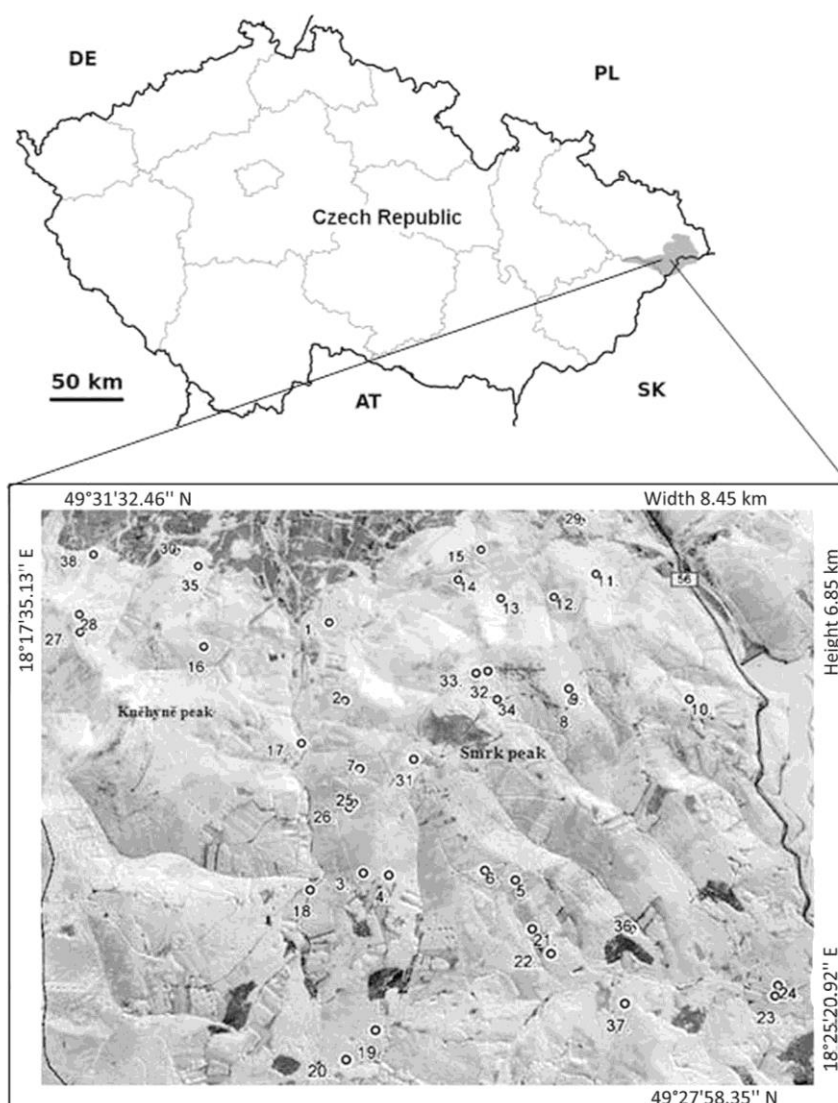


Fig. 1. Locations of study sites in the mountains Beskids massifs in the Spruce and Kněžyně and along the river Čeladenka. A ring beside the number represents the location of the site. Shown is an area of 58 km<sup>2</sup>.

100 cm, The excavation of the soil pits was performed manually with spades, shovels and pick-axes. In flat terrains, the back side of the soil pit was oriented to the north. On the slopes, the back-side of the pit must be oriented against the slope, which means that the longitudinal axis of the pit was perpendicular to the contour. The face, back side and the two side edges were vertical (perpendicular to the ground of the pit).

To determine the physical properties and characteristics of water and air regime of the soil, we collected undisturbed soil samples in the so-called Kopecky cylinders. The cylinders are made of stainless steel, capacity of 100 cm<sup>3</sup> and the height of 5 cm (Čurlík & Šurina 1998, Jandák 2003).

#### 2.4. Skeleton content and particle size

Skeleton content was defined as the weight percentage of solid particles larger than 2 mm. Soil samples were taken from each horizon of the soil pit, the sample specific weight being 500 g. Each sample was washed through sieves with mesh sizes gradually decreasing to 2 mm. The skeleton sample was then dried at 105 °C and weighed. The weight percentage of the skeleton was determined as the proportion of dry weight of the skeleton and weight of a 500 g sample converted to dry matter under ČSN ISO 11464 (1998).

Particle size was determined by the standard sedimentation method where each of the fine-earth fractions was converted to the percentage of



Table 1. Characterization of study sites. Site numbers refer to those in Fig. 1.

A. Type of top soil layers (horizons A and B) with ionic concentrations (cmol <sup>+</sup> /kg) and pH.								
Site	Soil type	Al <sup>2+</sup>	H <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>2+</sup>	pH/KCl
1	Leptosols	12.40	7.26	2.48	0.81	1.17	0.23	2.80
2	Leptosols	2.61	3.82	11.66	2.27	1.42	0.10	3.50
3	entic Podzols	2.63	3.90	11.15	1.94	1.72	0.20	3.47
4	haplic Podzols	7.25	4.85	3.82	0.84	1.04	0.15	3.02
5	haplic Podzols	2.09	5.02	8.11	1.53	1.87	0.09	3.32
6	Cambisols	1.11	1.04	24.03	3.08	1.50	0.22	4.29
7	Leptosols	1.64	2.24	18.16	2.46	1.46	0.10	3.75
8	haplic Podzols	7.99	8.59	4.64	0.75	0.86	0.18	2.99
9	Cambisols	10.80	2.18	1.35	0.43	0.52	0.09	2.74
10	Leptosols	11.12	2.97	4.62	0.78	0.72	0.12	3.15
11	Leptosols	9.44	5.20	4.28	0.95	0.87	0.21	2.95
12	entic Podzols	7.40	0.96	5.04	0.71	0.65	0.08	3.31
13	Leptosols	6.98	2.22	1.23	0.49	0.49	0.08	2.78
14	Cambisols	10.08	1.30	4.47	0.91	0.93	0.10	3.41
15	Leptosols	1.09	0.47	38.88	14.71	1.04	0.14	4.43
16	Leptosols	6.22	6.10	7.89	1.02	1.15	0.09	3.11
17	Fluvisols	9.24	4.11	4.45	0.91	1.08	0.10	3.07
18	Fluvisols	13.33	3.98	2.17	1.15	1.16	0.09	3.13
19	Gleysols	11.89	8.22	3.67	2.05	1.88	0.55	3.03
20	Histosols	0.73	0.11	50.66	4.03	0.19	0.35	5.01
21	Cambisols	2.47	4.44	17.01	2.34	2.29	0.12	3.95
22	Cambisols	7.53	11.19	4.48	0.95	1.11	0.12	2.97
23	Histosols	7.60	1.36	13.27	4.10	0.17	0.18	3.77
24	Stagnosols	23.49	3.47	3.05	1.44	1.70	0.22	3.34
25	entic Podzols	1.76	1.10	18.63	2.59	1.14	0.15	4.11
26	Leptosols	10.70	4.41	9.50	2.26	0.99	0.18	3.00
27	Cambisols	7.86	1.43	4.88	1.02	0.81	0.07	3.18
28	Cambisols	9.56	1.74	6.28	2.02	0.96	0.09	3.29
29	Leptosols	8.00	4.59	9.01	1.08	0.99	0.09	3.05
30	Cambisols	9.73	5.19	6.93	1.14	1.01	0.09	2.98
31	Cambisols	12.86	2.98	2.55	0.82	0.75	0.11	2.74
32	Leptosols	7.72	9.03	5.16	1.67	2.75	0.18	3.14
33	haplic Podzols	12.61	7.13	3.17	1.09	1.01	0.17	2.79
34	haplic Podzols	7.36	5.52	5.26	1.04	1.45	0.17	3.00
35	Cambisols	1.37	1.72	16.67	2.36	1.16	0.08	4.04
36	Cambisols	10.41	4.69	3.41	1.21	1.39	0.14	3.09
37	Cambisols	9.66	5.27	5.27	1.20	1.14	0.10	2.87
38	haplic Podzols	8.01	7.92	5.62	1.15	1.20	0.07	3.12

B. Soil moisture (in soil horizons A and B) (%) and composition (%) as well as altitude (m) and main tree species (S – Norway spruce; B – beech).

Site	Moisture		Composition <sup>#</sup>			Alt.	Trees	
	HA	HB	Clay	f.dust	g.dust			f.sand
1	–	–	6.5	7.4	26.1	60.0	600	S
2	28.45	28.77	1.0	11.4	26.4	61.2	815	B
3	29.43	31.26	1.9	7.5	33.7	56.9	880	B
4	29.09	27.48	3.6	6.9	39.1	50.4	890	S
5	25.96	31.08	16.7	15.5	26.8	41.0	850	B
6	29.57	39.15	0.0	9.2	41.7	49.1	915	B
7	–	–	1.5	10.1	21.3	67.1	855	B
8	–	–	2.2	5.8	33.7	58.3	1,010	S
9	40.87	37.91	2.4	11.3	22.3	64.0	1,045	S
10	19.87	23.36	13.1	17.1	26.1	43.8	845	S

Table 1, continued

11	–	–	6.0	11.9	22.8	59.3	840	S
12	32.98	32.02	0.8	9.4	29.3	60.6	835	B
13	29.86	35.47	0.0	9.1	16.6	74.3	850	S
14	24.36	30.14	11.0	25.3	39.8	23.9	830	S
15	–	–	1.9	4.7	15.3	78.1	780	S
16	20.86	15.30	20.0	22.2	36.4	21.3	785	S
17	–	–	12.2	8.2	16.6	62.9	560	S
18	29.87	24.34	7.9	8.0	15.3	68.8	610	S
19	42.53	49.41	22.0	21.6	35.1	21.4	680	S
20	48.05	49.34	–	–	–	–	660	S
21	30.77	30.57	18.6	15.5	24.5	41.1	730	B
22	–	–	15.2	17.4	31.4	36.0	695	S
23	49.85	48.69	27.1	17.0	20.1	35.8	530	S
24	38.17	39.54	1.0	13.9	46.4	39.7	540	S
25	24.75	25.78	0.4	8.4	32.1	59.1	870	B
26	29.52	24.59	–	–	–	–	825	S
27	33.52	31.93	8.9	18.4	28.4	44.3	1,015	B
28	–	–	11.2	13.2	37.4	38.2	1,025	B
29	17.40	21.9	3.5	12.8	25.5	58.3	620	S
30	–	–	4.9	9.9	23.1	62.0	630	S
31	27.10	29.32	1.5	10.0	30.1	58.3	1,100	S
32	–	–	1.3	8.3	12.9	77.5	1,190	S
33	33.72	34.32	0.4	10.1	16.8	72.7	1,220	S
34	33.06	34.06	11.6	11.5	16.6	60.3	1,100	S
35	29.03	25.49	12.7	30.6	37.8	18.9	635	B
36	26.61	23.11	16.6	19.1	33.1	31.1	620	S
37	22.67	21.74	2.6	11.1	15.9	70.4	645	S
38	29.76	26.98	20.2	17.2	23.1	39.5	635	S

# f.dust: fine dust, g.dust: gross dust, f.sand: fine sand.

the total weight of each sample collected. The classification scale by Casagrande (1948) was used for the fractions:

- Clay < 0.002 mm,
- Fine dust (f.dust) 0.002–0.01 mm,
- Gross dust (g.dust) 0.01–0.05 mm,
- Fine sand (f.sand) 0.05–2 mm.

## 2.5. Soil moisture

Soil moisture was determined by measuring soil resistivity at hourly intervals using the Virrib sensor that was attached to the Virrib data logger (Amet Velké Bílovice). The Virrib Sensor has two concentric rings of stainless steel, connected to the sensor body. The sensor body is a mechanically fixed mass, which prevents water from penetrating to the electronic part. The diameter of the outer ring is 280 mm and its measuring capacity is from 15 to 20 l of soil. The function of the sensor is based on the principle of electromagnetic wave

propagation in the environment. The power supply of the sensor is 12–20 V from an external source. The sensor operates on the principle of the current loop, where an electric pulse is sent between the circles of the sensor at set intervals. Consequently, the size of the output current is proportional to the percentage of moisture. Volumetric soil moisture is the water content of total soil volume. At each study site, two Virrib sensors were installed in the middle of the transect from where the invertebrate samples were collected (by the third pitfall trap); one sensor was placed in the centre of the top layer of the A horizon and another one in the centre of the organo-mineral layer of the B horizon. The measuring range was 5–50% of volumetric soil moisture. The data were recorded from April 2008 to October 2009.

To classify the levels of soil moisture, the scale by Kutílek (1971) was used:

- Dry (DryHA, DryHB) < 25%,

- Moist (MoistHA, MoistHB) 25.1–35%,
- Wet (WetHA, WetHB) 35.1–45%,
- Slush (SlushHA, SlushHB) 45.1–50%,  
wherein the target soil layer is identified in the humus horizon (HA) and in the organo-mineral horizon (HB).

## 2.6. Exchangeable soil reaction

Exchangeable soil reaction depends on the activity of aqueous hydrogen ions bound to soil colloidal complex (solid part of the soil). The activity of hydrogen ions causes alkaline reaction of soil. Soil reaction strongly influences the process of formation and development of soil. Exchangeable soil reaction was measured for each soil pit and its horizons under laboratory conditions by potentiometer in a suspension formed of a 1 M of KCl solution (2.5 parts) and soil (1 part) within one hour (Zbíral 2002).

## 2.7. Chemical properties of soil

A subsample of each soil sample was taken from each soil horizon. After removal of undecomposed parts of plant and coarse skeleton, the sample was turned into a fine fraction by crushing. The sample was sifted using a screen of the mesh size of 2 mm and analysed as described below.

### 2.7.1. Exchangeable elements (*e*)

The chemical analysis determined the concentration of exchangeable protons  $H^+$  and  $Al$  (by titration potentiometer) and exchangeable elements  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  and  $Na^+$  in the humus horizon (HA and HB combined) after extraction by the method according to Göhler (Soukup *et al.* 1987) and in the organo-mineral horizon (HA) after extraction by the method according to Mehlich III (Mehlich 1984, Zbíral 1997) under ČSN ISO 11260 (1998).

The exchangeable elements present in the soil environment bound in colloids are easily accessible to plants and were included as a part of the analyses in this study: exchangeable hydrogen proton ( $eH$ ), exchangeable calcium ( $eCa$ ), mag-

nesium ( $eMg$ ), potassium ( $eK$ ) and sodium ( $eNa$ ) ( $cmol^+ \times kg^{-1}$ ).

### 2.7.2. Accessible elements (*pa*)

Accessible elements form a group of elements soluble in soil solution, immediately surrounding the roots of plants and bodies of animals. They were determined using the Mehlich III method by extracting the leachate from the soil solution (Mehlich 1984). The group includes of accessible phosphorus oxide ( $paP$ ), accessible potassium oxide ( $paK$ ), accessible calcium oxide ( $paCa$ ) and accessible magnesium oxide ( $paMg$ ) ( $mg \times kg^{-1}$ ).

### 2.7.3. Bound elements (*t*)

Bound elements are engaged in chemical bonds and they are hard to be accessed by plants and animals. Their release often depends on the weathering process. The content of these elements was determined by the technique of decomposition in 20% HCl. The group consists of bound iron oxide ( $tFe$ ), bound aluminium oxide ( $tAl$ ), bound manganese oxide ( $tMn$ ), and the content of oxidised forms of calcium ( $tCa$ ), bound magnesium oxide ( $tMg$ ), bound potassium oxide ( $tK$ ) and bound phosphorus oxide ( $tP$ ) ( $mg \times kg^{-1}$ ).

## 2.8. Data analysis

The correlations of environmental variables were analysed along with the occurrence of invertebrates using redundancy analysis (RDA) or canonical correspondence analysis (CCA). A suitable analysis was selected by Detrended Canonical Analysis (DCA). The DCA results of eigenvalues formed the basis for determining the use of RDA or CCA. If all canonical eigenvalues in DCA are less than 3.0, it is more appropriate to use RDA, while if they are over 3.0, CCA is more appropriate. RDA is closely linked to Multivariate linear regression, and is used in cases where a linear relationship is expected whereas CCA allows nonlinearity. Distances split-plot and permutation of the Monte Carlo test (999 permutations) for CANOCO were applied in the CCA or RDA analyses. Data were  $\log(y+1)$  transformed and rare species were down

Table 2. Mean and total number of specimens of different species of Diplopoda, Chilopoda and terrestrial Isopoda in 38 study sites, and number of sites with specimens.

Species	Abbrev.	Mean no.	Total no.	No. of sites
<b>Chilopoda</b>				
<i>Cryptops parisi</i> Brölemann, 1920	C_par.	2.1	44	21
<i>Geophilus flavus</i> (DeGeer, 1778)	G fla.	1.5	32	21
<i>Geophilus insculptus</i> Attems, 1895	G_inst.	1.0	1	1
<i>Lithobius austriacus</i> Verhoeff, 1937	L_aus.	13.7	123	9
<i>Lithobius biunguiculatus</i> Loksa, 1947	L_biu.	1.0	1	1
<i>Lithobius borealis</i> Meinert, 1868	L_bor.	1.7	7	4
<i>Lithobius burzenlandicus</i> Verhoeff, 1934	L_bur.	1.0	2	2
<i>Lithobius cyrtopus</i> Latzel, 1880	L_cyr.	19.6	747	38
<i>Lithobius erythrocephalus</i> C.L.Koch, 1847	L_eryt.	50.8	1,931	38
<i>Lithobius forficatus</i> Linnaeus, 1758	L_for.	111.0	4,219	38
<i>Lithobius micropodus</i> (Matic, 1868)	L_mpod.	2.0	6	3
<i>Lithobius microps</i> Meinert, 1868	L_mic.	5.6	186	33
<i>Lithobius mutabilis</i> L.Koch, 1862	L_mut.	99.0	3,761	38
<i>Lithobius nodulipes</i> Latzel, 1880	L_nod.	6.1	158	26
<i>Lithobius pelidnus</i> Haase, 1880	L_pel.	2.0	28	14
<i>Lithobius piceus</i> L.Koch, 1862	L_pic.	1.0	1	1
<i>Lithobius tenebrosus</i> Meinert, 1872	L_ten.	2.8	54	19
<i>Strigamia acuminata</i> (Leach, 1814)	S_acu.	5.9	170	29
<i>Strigamia transsilvanica</i> (Verhoeff, 1928)	S_tran.	1.2	5	4
<b>Diplopoda</b>				
<i>Brachydesmus superus</i> Latzel, 1884	Br_sup.	1.3	8	6
<i>Brachyiulus bagnalli</i> (Curtis, 1845)	Br_bag.	1.4	7	5
<i>Cylindroiulus nitidus</i> (Verhoeff, 1891)	Cy_nit.	1.5	6	4
<i>Glomeris connexa</i> C.L.Koch, 1847	Gl_con.	25.3	785	31
<i>Glomeris hexasticha</i> Brandt, 1833	Gl_hex.	7.3	51	7
<i>Glomeris pustulata</i> Latreille, 1804	Gl_pus.	1.0	1	1
<i>Haasea flavescens</i> (Latzel, 1884)	Ha fla.	6.0	12	2
<i>Julus scandinavicus</i> Latzel, 1884	Ju_scan.	2.8	67	24
<i>Julus terrestris</i> Linnaeus, 1761	Ju_terr.	1.7	5	3
<i>Leptoilulus trilobatus</i> (Verhoeff, 1894)	Le_tri.	8.6	318	37
<i>Ophiulus pilosus</i> (Newport, 1842)	Oph_pil.	2.8	42	15
<i>Polydesmus complanatus</i> (Linnaeus, 1761)	Po_com.	10.5	379	36
<i>Polydesmus denticulatus</i> C.L.Koch, 1847	Po_den.	3.0	3	1
<i>Polyzonium germanicum</i> Brandt, 1831	Py_germ.	1.6	8	5
<i>Tachypodoiulus niger</i> (Leach, 1815)	Ta_nig.	5.3	179	34
<b>Isopoda</b>				
<i>Protracheoniscus politus</i> (C.Koch, 1841)	Pr_poli.	38.3	1,110	29
<i>Hyloniscus riparius</i> (C.Koch, 1838)	H_rip.	21.2	170	8
<i>Lepidoniscus minutus</i> (C.Koch, 1838)	L_min.	1.0	1	1
<i>Ligidium germanicum</i> Verhoeff, 1901	Li_ger.	1.0	1	1
<i>Ligidium hypnorum</i> (Cuvier, 1792)	Li_hyp.	12.7	51	4
<i>Oniscus asellus</i> Linnaeus, 1758	O_asell.	1.0	1	1
<i>Trachelipus ratzeburgii</i> (Brandt, 1833)	T_ratb.	9.6	163	17
<i>Porcellio scaber</i> Latreille, 1804	Pe_scab.	2.0	6	3

weighted (Ter Braak & Šmilauer 2002, Lepš & Šmilauer 2003).

To assess the significance of the association of different invertebrates with soil skeleton, the study localities were divided into two groups. The first group consisted of locations with high

skeleton content (>40%, Ske. H.) and the second group of sites with low skeleton content (<40%, Ske. L.). Based on the results of DCA and RDA the relationships between the two groups of the skeleton content and the occurrence of individual species were compared.

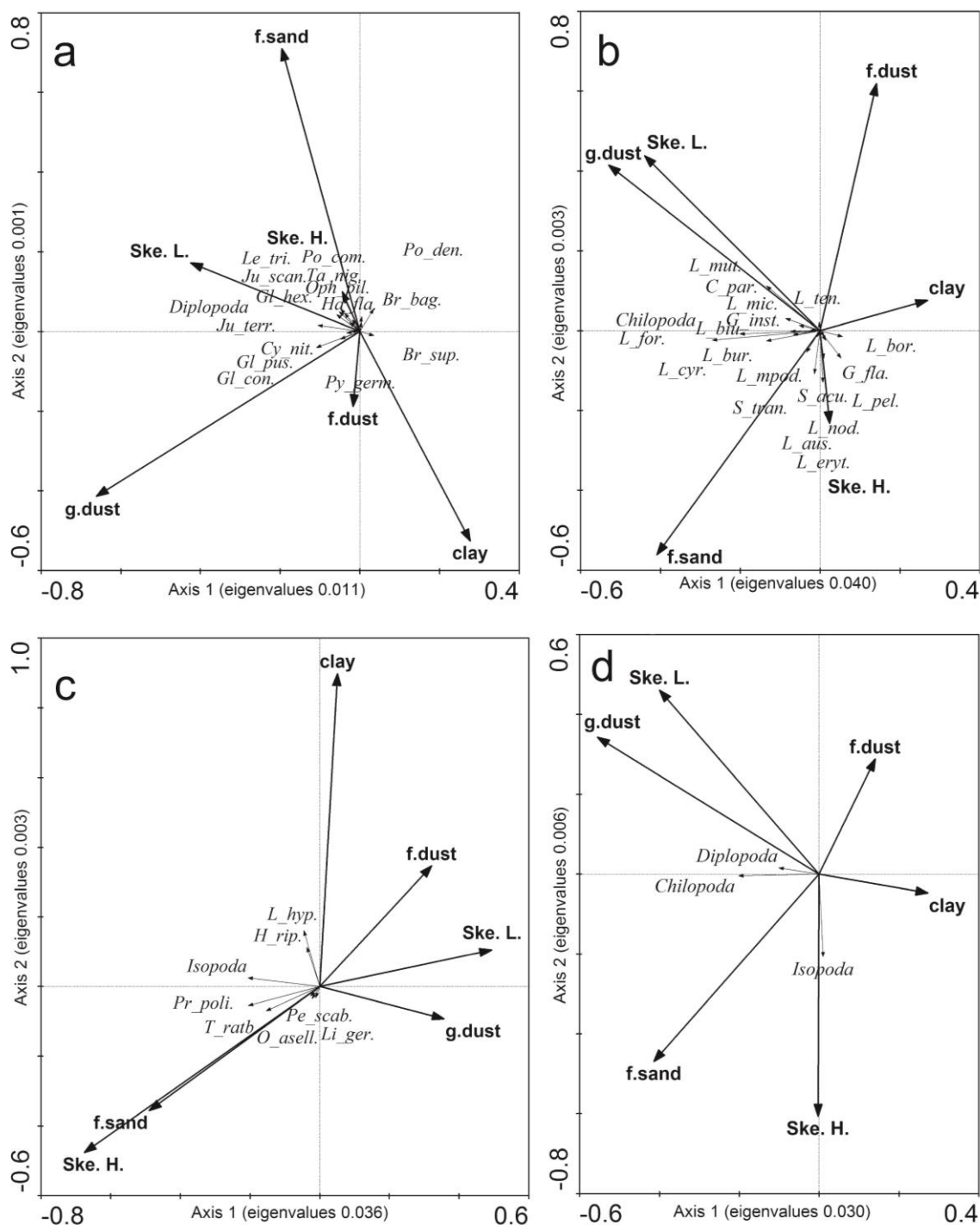


Fig. 2. Results of redundancy analysis ordination of invertebrate assemblages with the environmental skeleton content and particle size of soil. – a. Millipedes. – b. Centipedes. – c. Terrestrial isopods. – d. All species of each group combined. Abbreviations: Ske. H – skeleton high, Ske. L – skeleton low, f.dust – fine dust, g.dust – gross dust, f.sand – fine sand. For abbreviations of species, see Table 2.

CCA was used to find the links between the occurrence of individual soil arthropod species and each of the following environmental vari-

ables: soil moisture, soil reaction and chemical properties. For soil reaction, the input data were split into two categories: pH-katA (soil reaction



with a value of <3.5 pH/KCl – a very strongly acidic soil reaction) and pH-katB (soil reaction with a value of >3.5 pH/KCl – a strongly acidic soil reaction), while the highest measured pH reached 5.1 (acidic). The input data of chemical properties were divided into three groups (exchangeable, accessible, bound elements).

The level of significance was set at  $p < 0.05$  for all testing procedures. Statistical analyses were performed by the STATISTICA Cz software, version 9.2 (StatSoft, Inc.).

### 3. Results

Overall information on the soil properties and numbers of specimens of different species trapped in the 38 study sites is provided in Table 1 and 2, respectively.

#### 3.1. Skeleton content and particle size

At 16 sites, soil skeleton content and particle size were classified to be the major site-specific factors, meaning that large stones (boulders) were represented throughout the soil profile, the range being 44.0% to 64.9% (for the 16 sites, mean  $\pm$  S.D.: 52.3%  $\pm$  5.8%). In these sites, individual boulders protruding above the soil surface formed barriers for growth of herbaceous vegetation. The sites were also generally lacking undergrowth, at best, moss and lichen communities were found on the boulders.

In these sites, mainly terrestrial isopods occurred, representing 97.9% of the dominant species; *Trachelipus ratzeburgii* and *Protracheoniscus politus* demonstrate this finding (Fig. 2c). In contrast, the isopods *Ligidium hypnorum* and *H. riparius* showed a positive relationship to the soils with low skeleton content, colonising particularly soils with high content of clay particles. *Porcellio scaber* and *Oniscus asellus* were indifferent in relation to these environmental factors (Fig. 2c).

Millipedes had a positive correlation with the factor of lower presence of skeleton and particle size in the 0.01–0.05 mm fraction (gross dust), where axis 1 represents 90.4% and axis 2 represents 97.9% of all cases of occurrence of milli-

pedes (Fig. 2a). The species *Glomeris connexa*, *Glomeris pustulata* and *Cylindroiulus nitidus* were positively correlated to the particle size fraction 0.01–0.05 mm (gross dust) (Fig. 2a). In contrast, a portion of the species, dominated by *Leptoiulus trilobatus* and *Polydesmus complanatus*, showed a positive relationship to the sites with a higher share of skeleton and the particle size fraction of 0.05–2 mm (fine sand).

Chilopods showed a significant correlation with the factors of coarse dust and fine sand, and accordingly, their vector forms an acute angle with the skeleton low vector (Fig. 2b, d). From this we can conclude that centipedes were more abundant in the locations with lower content of the skeleton. The individual species are dispersed between the Skeleton Low and Skeleton High vector, of which *Lithobius mutabilis* has a positive relationship to the sites with low skeleton content, while *L. erythrocephalus* has a positive relationship to the sites with a higher content of skeleton (Fig. 2b).

#### 3.2. Moisture

The sites were divided into two groups of which the one comprising sites with lower volumetric moisture was found to be predominant, while the other one consisted of three heavily waterlogged sites (No. 19, 20 and 23, Table 1B).

Situated in flat terrain and being the richest in terms of moisture, the site No. 23 showed an average volumetric moisture (Table 1B) and low incidence of soil arthropod fauna (415 individuals). At this site, millipedes featured sporadic representation in terms of both species and numbers (27 ind.), with *P. complanatus* accounting for a half of them (13 ind.). The highest species diversity occurred in centipedes (16 species), which was represented by nine species. Of these, *L. mutabilis* (42%) and *Lithobius forficatus* (19%) prevailed. The relict species, *Lithobius biunguiculatus*, was represented by one individual. The largest numbers were those of Isopoda (279 ind.) that were represented by only three species, *H. riparius* (54%), *P. politus* (30%) and *L. hypnorum* (16%).

Another site (No. 20), a peat bog, had also a notable and permanent groundwater level. It was

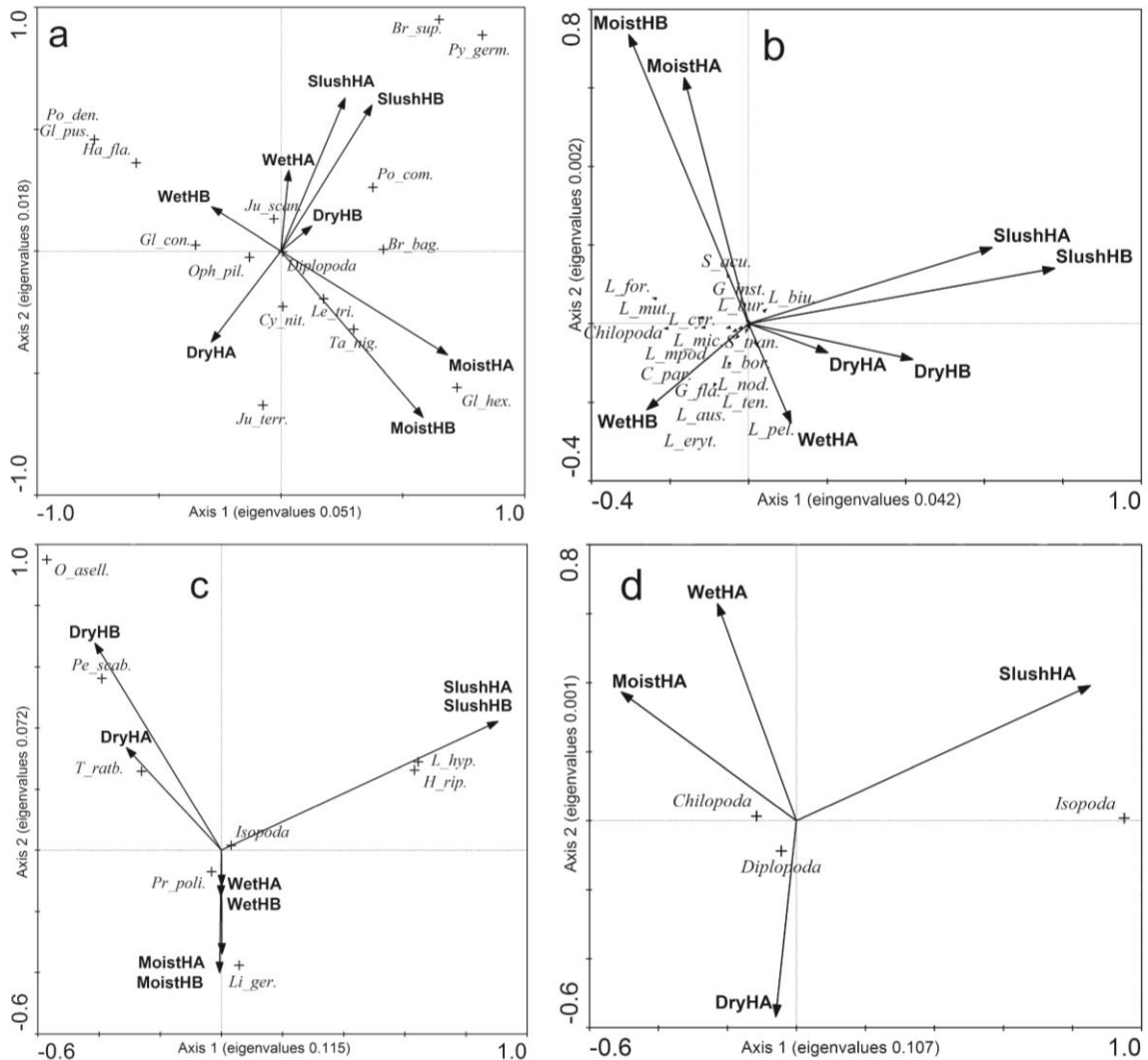


Fig. 3. Results of canonical correspondence analysis ordination of invertebrate assemblages with soil moisture. – a. Millipedes. – b. Centipedes. – c. Terrestrial isopods. – d. All species of each group combined. Abbreviations: DryHA – dry soil in horizon A, DryHB – dry soil in horizon B, WetHA – wet soil in horizon A, WetHB – wet soil in horizon B, MoistHA – moisture soil in horizon A, MoistHB – moisture soil in horizon B, SlushHA – slush soil in horizon A, SlushHB – slush soil in horizon B. For abbreviations of species, see Table 2.

characterised by consistency of the average value of volumetric soil moisture in both upper ( $48.05 \pm 1.01\%$ ) and lower ( $49.34 \pm 0.56\%$ ) soil layer and, just like the site No. 23 above, a low occurrence of soil arthropods (45 ind.). Millipedes were represented only by *P. complanatus* (5 ind.) and centipedes by six species: *L. mutabilis* (25 ind.), *L. erythrocephalus* (6 ind.), *Lithobius cyrtopus* (3 ind.), *Lithobius tenebrosus* (3 ind.), *L. forficatus* (3 ind.) and *L. microps* (1 ind.). Terrestrial isopods absented here.

In the third site (No. 19) influenced by water,

the average volumetric moisture reached  $42.53 \pm 2.45\%$  in the upper and  $49.41 \pm 0.21\%$  in the lower layer of the soil, with occasional drop of the groundwater level during the summer. The latter fact was not reflected in rising abundance of individual species compared with the above-mentioned sites more strongly influenced by water. The population of millipedes was very low (13 ind.): *L. trilobatus* (15%), *P. complanatus* (62%) and *Tachypodoiulus niger* (23%). Centipedes were more numerous (74 ind.): *L. mutabilis* (49%), *L. erythrocephalus* (39%), *L. forficatus*

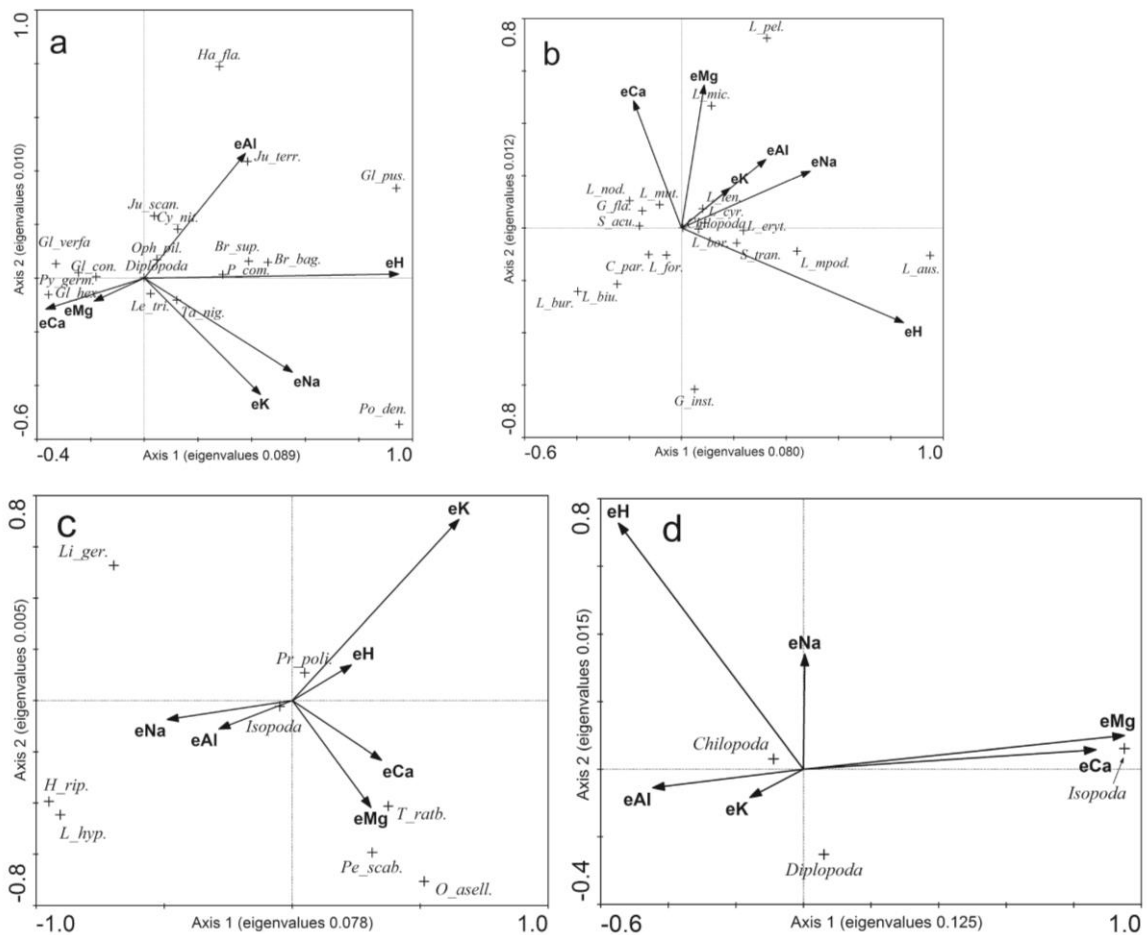


Fig. 4. Results of canonical correspondence analysis ordination of invertebrate assemblages with exchangeable macroelements in soil. – a. Millipedes. – b. Centipedes. – c. Terrestrial isopods. – d. All species of each group combined. For abbreviations of species, see Table 2.

(3%), *L. cyrtopus* (3%), *L. tenebrosus* (1%) and *S. acuminata* (1%).

For Chilopoda, CCA analysis was applied. The chilopod vector passes between those of moist soil (MoistHA, MoistHB) and wet soil (WetHA, WetHB) with a slight tendency to the wet soil (Fig. 3d). This means that centipedes were associated with sites of moist soil. Between the WetHA and WetHB vectors, there is a noticeable difference in moisture, which is related to the difference in the skeleton content in the soil.

*Lithobius erythrocephalus* and *L. austriacus* (Fig. 3b) are different from the rest of the centipede species due to their association with increased soil moisture in the lower layers and lower moisture content in the top part of the soil. *Strigamia acuminata* is a species that almost follows the gradient vector of moist soil (MoistHB)

with higher content of soil moisture in the lower layers, confirming its ecological niche. *Lithobius biunguiculatus* suggests to some extent a bond to the sites with strong waterlogging and groundwater level projecting as far as the upper layers of soil throughout the year. The vector of dry soil (DryHA, DryHB) lacked any species, which confirms the necessity of soil moisture for the success of centipede representatives in forest soil.

The individual millipede species are so adaptable that they clustered into the centre of all the gradient vectors of CCA, making determination of any precise correlations impossible. However, some tendencies are worth of mentioning. *Cylindroiulus nitidus* and *Ophiulus pilosus* (Fig. 3a) are species tending towards the vector of dry soil (DryHA), while *L. trilobatus*, *Julus terrestris* and *Tachypodoiulus niger* rather showed associa-



tions with the vector of moist soil in the lower layers (MoistHB). *Glomeris hexasticha* and *Brachyiulus bagnalli* had a positive relationship with moisture in the upper soil layers (Moist HA). Species recorded at wet sites (WetHB), where primarily the lower layer of soil was moist, involved *Julus scandinavicus*, *G. connexa*, *G. pustulata*, *Haasea flavescens* and *Polydesmus denticulatus*. Slush sites (WetHA) with water often rising up to the ground level, were colonised by *Brachydesmus superus* and *Polyzonium germanicum* (Fig. 3a).

For the community of terrestrial isopods, only a weak correlation in CCA with the gradient axis of slush soil (SlushHA, SlushHB) was detected when taking into account all the species. *Ligidium hypnorum* and *H. riparius* showed positive correlation with slush soils. In contrast, *P. scaber* and *O. asellus* occurred in dry areas (DryHB), where drying was extending as far as the lower soil layer (Fig. 3c). *Porcellio scaber* (6 ind.) and *O. asellus* (1 ind.) were captured at the site no. 29, which is a dry habitat. *Trachelipus ratzeburgii* occurred most frequently at the sites where soil moisture in the upper layers was low (DryHA). *Protracheoniscus politus* and *Ligidium germanicum* were recorded on the wet sites (WetHA, WetHB) with values of soil moisture very similar to those measured at the moist sites (MoistHA, MoistHB).

### 3.3. Soil reaction

Soil reaction was determined in all the horizons of the soil profile down to the parent rock level. The study sites had very low pH, fully equalling that of sites in mountainous/sub-mountainous spruce stands (Table 1A). The average pH/KCl value reached  $3.29 \pm 0.46$  (min. 2.48 at site No. 1, max. 5.01 at site No. 20). As regards soil reaction and the presence of individual species, CCA confirmed that there were no statistically significant relationships of the studied invertebrate species with the range of the observed soil pH values (results not shown). With generally no relationship of chilopods to soil pH in this study, we even found a tendency to a positive one with *Lithobius burzenlandicus* and *Ligidium germanicum*, while other studies have found, if any, negative rela-

tionship of chilopods with soil pH (Blackburn *et al.* 2002, Jabin 2008).

### 3.4. Macroelements in soil

Soil analysis determined the contents of individual elements and their oxides that are usually important with respect to flora, while their relationships with fauna are not generally defined. Since mostly a negative relationship with the content of individual elements in the soil was determined for centipedes, millipedes and terrestrial isopods, which was manifested in a regular distribution of the individual species with respect to all the elements monitored, each species was evaluated separately for its relationship to macroelements in soil.

*Lithobius pelidnus* indicated a strong bond to calcium and magnesium, both the exchangeable (eCa, eMg, Fig. 4b) and accessible (paCa, paMg, Fig. 5b) form. The relationship with Mg was even more distinct in *L. microps*, which followed the gradient vector of soil magnesium (Mg) in both its accessible and exchangeable form (Figs. 4b, 5b). A positive correlation appeared also for Ca and Mg in five other species of Chilopoda (*S. acuminata*, *Geophilus flavus*, *L. biunguiculatus*, *L. nodulipes* and *L. tenebrosus*), in four species of Diplopoda (*G. hexasticha*, *G. pustulata*, *J. terrestris* and *P. germanicum*), and in three species of Isopoda (*O. asellus*, *P. scaber* and *T. ratzeburgii*). Interestingly, along with the change in the forms (exchangeable, accessible, bound) of oxides of Ca and Mg, there was no change of the species relationships with those elements. The chilopods *Cryptops parisi* and *G. flavus*, colonising deeper soil layers, exhibited a correlation with the content of bound iron (tFe) (Fig. 6b), which, due to strongly acidic pH, occurred in substantial quantities (site No. 14;  $39,000 \text{ mg} \times \text{kg}^{-1}$  of Fe oxide). *Lithobius cyrtopus*, *L. erythrocephalus*, *L. austriacus* and *Lithobius borealis* correlated with the increased content of accessible, oxidised phosphorus (paP) in the soil (Fig. 5b).

Although most of the millipede species showed a negative association to all the elements monitored, *P. denticulatus* had a strong positive association to accessible potassium (paK, Fig. 5a) and exchangeable sodium (eNa, Fig. 4a). *Julus terrestris* and *H. flavescens* occurred in the soils

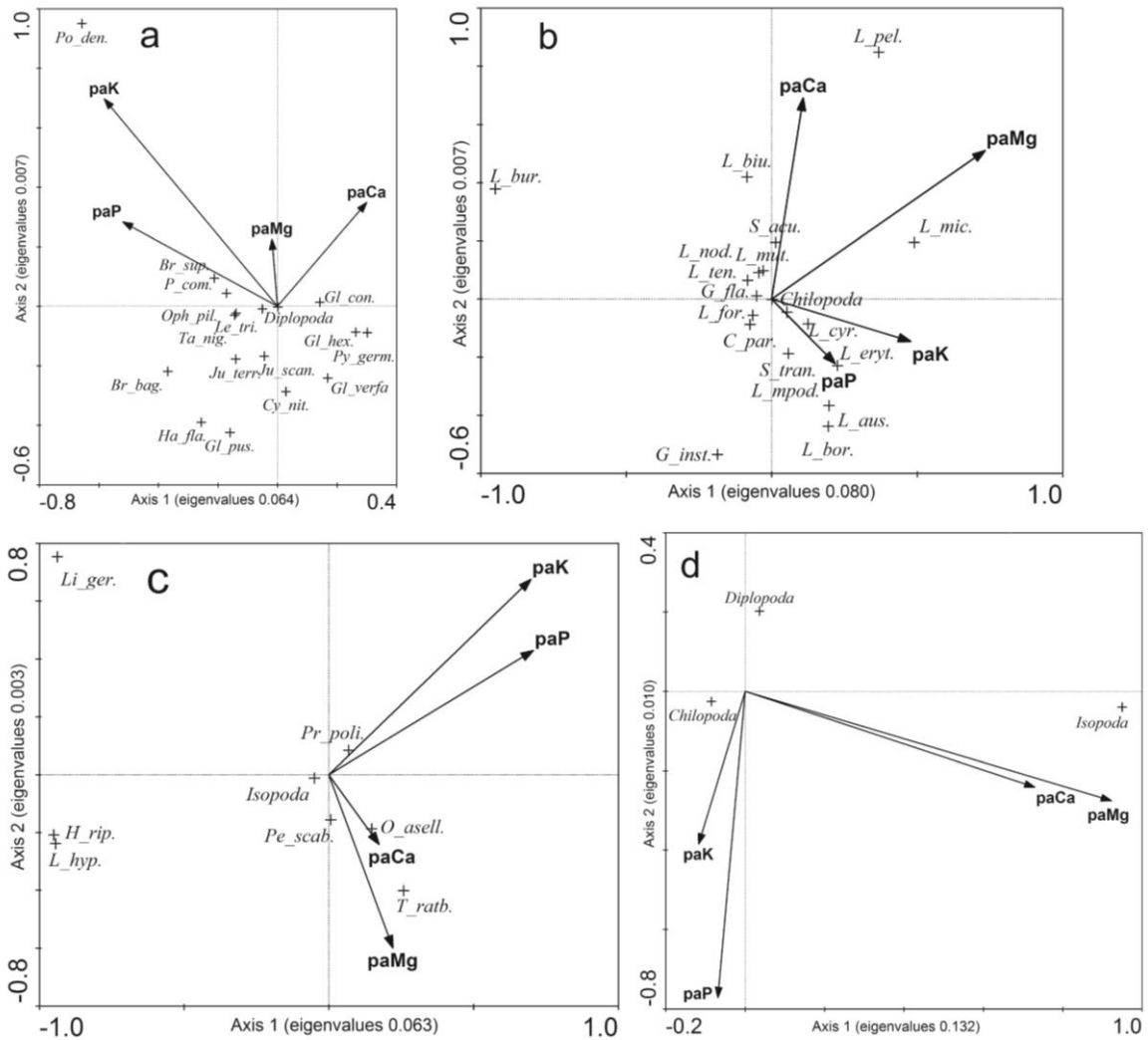


Fig. 5. Results of canonical correspondence analysis ordination of invertebrate assemblages with accessible macroelements in soil. – a. Millipedes. – b. Centipedes. – c. Terrestrial isopods. – d. All species of each group combined. For abbreviations of species, see Table 2.

with increased content of exchangeable aluminium (eAl) (Fig. 4a), indicating soils with high contents of clay particles and acidic soil reaction. The species such as *G. connexa*, *G. hexasticha* and *P. germanicum* were found in soils with increased content of exchangeable calcium and magnesium (eCa, eMg) (Fig. 4a), with the maximum contents of exchangeable calcium and magnesium being recorded at the sites No. 20 ( $50.66 \text{ cmol}^+ \times \text{kg}^{-1}$ ) and No. 1 ( $14.71 \text{ cmol}^+ \times \text{kg}^{-1}$ ), respectively.

Terrestrial isopods were slightly negative in their relation to the content of potassium, magnesium and calcium in all forms, but they showed more frequent associations with heavy soils of

acidic reaction and increased content of aluminium (eAl). *Ligidium hypnorum* and *H. riparius* were significantly associated with the content of both exchangeable (eAl, Fig. 4c) and bound aluminium (tAl, Fig. 6c). The most frequently occurring isopod species, *P. politus*, had a positive relationship with the soils rich in potassium in all forms (eK, paK, tK), indicated by the fact that the vector spacing distance to the vector (K) was balanced in all forms of the element (Figs. 4c, 5c, 6c). The sites with a high content of calcium and magnesium supported *T. ratzeburgii*, *P. scaber* and *O. asellus*. They occurred mostly in the presence of exchangeable calcium and magnesium (eCa, eMg, Fig. 4c) which are

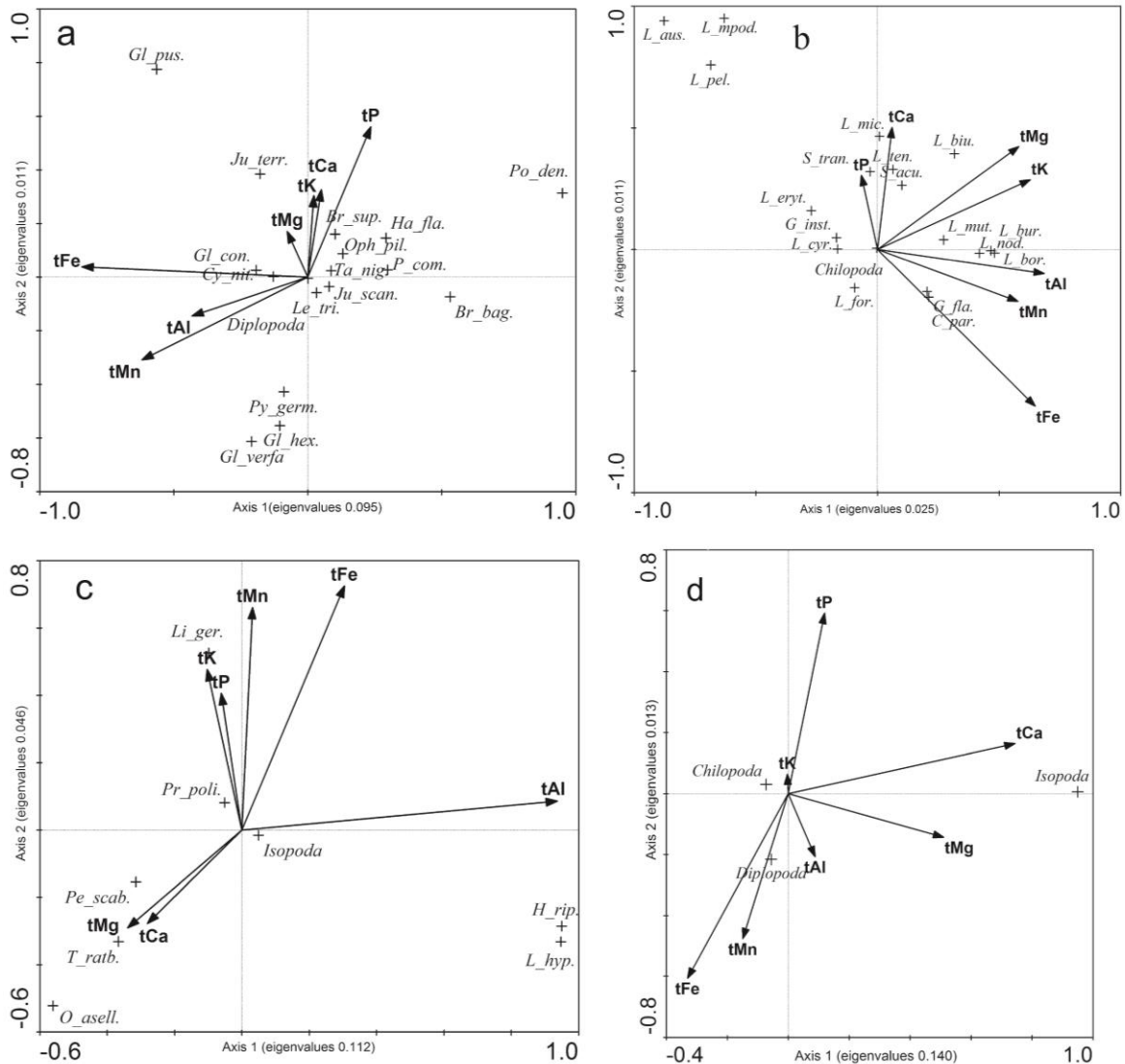


Fig. 6. Results of canonical correspondence analysis ordination of invertebrate assemblages with bound macroelements in soil. – a. Millipedes. – b. Centipedes. – c. Terrestrial isopods. – d. All species of each group combined. For abbreviations of species, see Table 2.

part of the soil solution on the surface of colloids and immediately affect the habitat of organisms. In contrast, *L. hypnorum* had a negative association to the presence of both accessible and exchangeable calcium and magnesium (eCa, paCa, eMg, paMg, Figs. 4c, 5c) and was indistinctively positive in its relation to bound potassium (tK, Fig. 6c).

#### 4. Discussion

Soil environment as the basis for an ecosystem has not been comprehensively analysed in terms

of the relationships between pedological characteristics and epigeic fauna (Schaefer & Schauer-mann 1990, Scheu & Poser 1996, Blackburn *et al.* 2002, Scheu & Setälä 2002, Jabin 2008). The relationship between the amount of organic matter and the pH of soil is variable (Salamon *et al.* 2008, Fierer *et al.* 2009) and influences the biomass of fungi and bacteria, and thus the food supply for the consumer level. It has been shown that Lithobiomorpha (*Lithobius crassipes* L. Koch 1862, *L. mutabilis*), according to the content of fatty acids, are consumers of fungi and also hunters of springtails and oribatid mites feeding on fungi (Maraun *et al.* 2003, Chahartaghi *et al.*



2005, Maraun *et al.* 2011, Ferlian *et al.* 2012). The members of Geophilomorpha (*S. acuminata*, *Geophilus ribauti* Brölemann, 1908) prefer bacteria eaters (Ferlian *et al.* 2012).

In order to shed light on relationships between the soil environment and representatives of Chilopoda, Diplopoda and Isopoda, a detailed account of soil variables and abundance of the above mentioned invertebrates was undertaken in this study in the area of the mountains of Moravian-Silesian Beskyds. Among the major factors of soil environment for centipedes, millipedes and terrestrial isopods are the nutritional components of soil-forming processes, soil moisture, pH, the level of skeleton content as well as the height of accumulated humus, and soil air content, of which the two latter ones were not included in this study.

#### 4.1. Skeleton content and particle size

Centipedes have been recorded in corridors formed by members of Lumbricidae or those left by rotted roots of trees (Albert 1982). Jabin (2008) mentioned the direct influence of airspace in soil on the presence of epigeic Lithobiomorpha and Geophilomorpha. However, soil skeleton content and particle size have not been studied to the extent that would allow us to link gained knowledge to the occurrences of the individual soil arthropod species. These factors, however, are significant for changes in soil moisture, air capacity, soil fertility and associated soil chemistry, which is related to the content of colloidal solutions. In this study, centipedes, millipedes and terrestrial isopods were associated with the sites with increased skeleton content and they were less abundant on soils with high content of clay (Fig. 2d). Centipedes do not colonise clayey soils with reduced interstitial air volume (Attems 1926, Albert 1982). Therefore, it is assumed that soil aeration is an important factor influencing the presence of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in the soil profile. *Porcellio scaber* and *O. asellus* were indifferent in their relation to skeleton content and particle size (Fig. 2c), which could be due to the low representation of these species. Therefore, it was not possible to establish any indisputable relationships with the individual

environmental factors. The finest soil particles, clay, had no connection with the occurrence of species, which means that centipedes, millipedes and isopods prefer places with aerated soil profile. However, information on underground species would be required.

#### 4.2. Moisture

Moisture is an important soil property for the distribution of epigeic fauna. For example, Schlaghamerský *et al.* (2014) found the greatest species diversity of centipedes, millipedes and isopods, in wet sites on the bottom of ravines, i.e. in the places offering favourable conditions in winter in addition to other seasons. In accordance, since the mountains of Moravian-Silesian Beskyds are characterised by high precipitation (average annual total of >1,200 mm), there were no sites with a dry soil profile, which contributed to the wide range of the species caught. Myriapoda are among the organisms particularly sensitive to drying (Curry 1974, Lewis 1981) due to the weak epicuticular wax layer on the epidermis (Blower 1951, Mead-Briggs 1956). Albert (1983) mentions preference of moist habitats by myriapods with close to 100% relative humidity, with Lithobiomorpha preferring relative humidity above 96% (Fründ 1987). They are able to find even a very small soil niche with increased moisture (Weil 1958). Centipedes occur abundantly on wet soil surface and increase activity in the rain (Zapparoli 1997). However, they are not always able to survive periods of flooding (Zerm 1997). According to Cloudsley-Thompson and Crawford (1970), there is no evidence of centipedes taking up moisture from saturated air.

Overall, centipedes preferred freshly moist sites (Moist HA, Fig. 3d) with the volumetric moisture of the soil never decreasing below 25%. The increased presence of Lithobiomorpha and Geophilomorpha in moist habitats is related to the availability of food, because in moist habitats, molds are more abundant than bacteria due their better moist resistance (Bardgett *et al.* 2005, Gordon *et al.* 2008). According to Jabin (2008), *S. acuminata*, *L. mutabilis* and *L. forficatus* show a greater drought resistance compared to smaller centipedes, such as *L. microps* or *L. austriacus*.

*Brachydesmus superus*, *P. germanicum* and *G. connexa* were the diplopod species colonising sites with waterlogged soil (Fig. 3a). *Cylindroiulus nitidus* and *O. pilosus* appeared to be quite resistant to drying (Fig. 3a). These species were found on drying soils as well as on the others, because some species are more drought resistant than other ones. However, it is not clear how some species can survive periods of short-term drought in the course of the growing season.

Terrestrial isopods require moist soil, too (Vasconcellos *et al.* 2013). Accordingly, increased numbers of members of this group on agricultural, all-year-round irrigated soils, were confirmed by Morón-Rios *et al.* (2010). In this study, association to wet soils was found in two other species, *L. hypnorum* and *H. riparius* that were closely bound to waterlogged soils (Fig. 3c).

#### 4.3. Soil reaction (pH)

As regards soil reaction, there was no significant differentiation in respect to the study sites in the studied species spectrum of Diplopoda, Chilopoda and terrestrial Isopoda in this study. Similar conclusion for chilopods was reached by Jabin (2008). In general, information on soil arthropods in relation to soil reaction is not sufficient. However, Blackburn *et al.* (2002) found a strong link of the chilopod *Brachygeophilus truncorum* (Bergsoë & Meinert, 1886) to acidic soils. This is due to the availability of food, i.e. fungi are more abundant in an acid medium than bacteria (Francis 1986).

In the study by Scheu and Poser (1996), soil pH affected the macrofauna near tree trunks, with the importance of pH decreasing with increasing distance from the trunks. Increased acidity was preferred by the centipede *S. acuminata*, while the abundance of *G. insculptus* was reduced in the same setting (Scheu & Poser 1996). In another study, the millipede *Mycogona germanica* (Verhoeff, 1892) colonised an acidic environment (Ellenberg *et al.* 1986). In our study, the habitat conditions were mainly acidic (pH/KCl 2.74 to 5.01), providing suitable environment for a wide range of centipedes, millipedes and terrestrial isopods.

#### 4.4. Soil chemistry

Soil chemistry affects soil-forming processes and, indirectly, the quality of soil as a source of food for soil fauna through the development of microbial activity (Wardle 1992, Blackburn *et al.* 2002).

Scheu and Schaefer (1998) found high contents of phosphorus, nitrogen and carbon to be the limiting factors for soil microorganisms. Increased acidification reduces the diversity and generally increases the abundance of mesofauna in forest soils through high representation of some of the dominant species (Hågvar & Kjøndal 1981, Hågvar 1984, Baas & Kuiper 1989).

The results of the present study indicate preference of sites with increased levels of calcium and magnesium in centipedes, particularly *L. pelidnus* and *L. biunguiculatus* and in the terrestrial isopods *T. ratzeburgii* and *O. asellus*, in contrast to millipedes. This may be related to the finding that increased calcium and magnesium contents have a favourable influence on the occurrence of arthropods with calcium-based exoskeletons (Hopkin & Read 1992, Jabin 2008).

The availability of nutrients can be a limiting factor. Millipedes were found to respond negatively to accessible Ca and Mg (Fig. 5d) in the proton forms, which are better accessible for plants than their exchangeable, oxidized forms. Centipedes showed no associations to the level of individual elements, except for *S. acuminata* and *L. microps*, the species with a positive link to the presence of Ca and Mg (Figs. 4b, 5b, 6b). In terrestrial isopods, the response was clear with *T. ratzeburgii*, *O. asellus* and *P. scaber* having positive responses to increased content of Ca and Mg in all forms (Figs. 4c, 5c, 6c). *Ligidium hypnorum* and *H. riparius* confirmed the relationship to heavy soils through their bond to Al and Na (Figs. 4c, 6c). *Protracheoniscus politus* preferred the sites with increased levels of K in all forms (Figs. 4c, 5c, 6c).

#### 5. Conclusion

The study indicated how millipedes, centipedes and terrestrial isopods are affected by selected soil characteristics. Soil skeleton content and par-

ticle size were indicated as important factors. The sites with the most boulders on the soil surface have a favourable hydric regime of soil associated with high representation of centipedes and terrestrial isopods. Species like *L. austriacus*, *L. erythrocephalus* and *L. nodulipes* occurred specifically in areas with increased content of boulders. Of these, *L. nodulipes* reached increased incidence especially in valleys where mountain streams expose boulders on the soil surface and where soil moisture regimes are good. Influence of soil reaction (pH / KCl) did not show a significant trend. The most marked response to nutrient levels was shown in isopods *T. ratzeburgii*, *O. asellus* and *P. scaber*, i.e. in species with a tendency to seek increased content of Ca and Mg. The isopods *L. hypnorum* and *H. riparius* were associated to heavy soils with high levels of Al. In contrast, the chemical composition of soil did not show a significant link to the occurrence of centipedes and millipedes in the soil environment.

General understanding of the ecological demands of individual centipede, millipede and terrestrial isopod species is insufficient, although with their living habits, they form an important part of nutrient cycling in the ecosystem. Such lack of general knowledge disallows any deeper confrontation of the results of this study with those of other studies.

*Acknowledgements.* This study was supported by the Ministry of Education of the Czech Republic (VZ MSM 6215648902) and Mendel University in Brno, and by the Netex Ltd., Děčín, Nadace ČEZ Co. in Prague, Lafarge Cement Co. in Čížkovice.

## References

- Albert, A. M. 1982: Species spectrum and dispersion patterns of chilopods on three Solling habitats. — *Pedologia* 23: 335–345.
- Albert, A. M. 1983: Characteristics of two populations of Lithobiidae (Chilopoda) determined in the laboratory and their relevance with regard to their ecological role as predators. — *Zoologischer Anzeiger* 34: 214–226.
- Attems, C. 1926: Myriapoda: 1–6. — In: Kükentbal, W. (Ed.), *Handbuch der Zoologie*. Berlin, Leipzig, Viertes Band, Erste Hälfte. 892 pp.
- Baas, R. & Kuiper, D. 1989: Effects of VAM infection and phosphate on *Plantago major* ssp. *pleiosperma* in relation to internal cytokinin concentrations. — *Physiologia Plantarum* 76: 211–215.
- Bardgett, R. D., Yeates, G. W. & Anderson, J. M. 2005: Patterns and determinants of soil biological diversity: 100–118. — In: Bardgett, R. D., Usher, M. B. & Hopkins, D. W. (eds), *Biological Diversity and Function in Soils*. Cambridge University Press, Cambridge. 411 pp.
- Bedrna, Z. 1977: Pôdotvorné procesy a pôdne režimy [Soilforming processes and soil regimes]. — Veda, SAV, Bratislava, 132 pp. [In Slovak.]
- Blackburn, J., Farrow, M. & Wallace, A. 2002: Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes. — *Journal of Zoology* 256: 221–232.
- Blower, J. G. 1951: A comparative study of the chilopod and diplopod cuticle. — *Quarterly Journal of Microscopical Science* 92: 142–161.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. 2008: *The nature and properties of soil*. 14th edition. — Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio. 990 pp.
- Briones, M. J. I., Ineson, P. & Pearce, T. G. 1997: Effects of climate change on soil fauna; responses of enchytraeids, Diptera larvae and tardigrades in a transplant experiment. — *Applied Soil Ecology* 6: 117–134.
- Casagrande, A. 1948: Classification and identification of soils. — *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 113: 901–930.
- Carpenter, D., Hammond, M. P., Sherlock, E., Lidgett, A., Leigh, K. & Eggleton, P. 2012: Biodiversity of soil macrofauna in the New Forest: a benchmark study across a national park landscape. — *Biodiversity and Conservation* 21: 3385–3410.
- Chahartaghi, M., Langel, R., Scheu, S. & Ruess, L. 2005: Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. — *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1718–1725.
- Cloudsley-Thompson, J. L. & Crawford, C. S. 1970: Water and temperature relations, and diurnal rhythms of scolopendromorph centipedes. — *Entomologia Experimentalis et Applicata* 13: 187–193.
- ČSN ISO 11260/1998: Kvalita půdy – Stanovení kationtové výměnné kapacity při pH půdy a výměnných kationtů za použití roztoku chloridu barnatého [Soil quality – Determination of effective cation exchange capacity and base saturation level using barium chloride solution.] — 20 pp. [In Czech.] 1998 The International Standard ISO 11260 has the status of a Czech Standard.
- ČSN ISO 11464/1998: Kvalita půdy – Příprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozborů. [Soil quality – Preparation of samples for physical and chemical analysis.] — 16 pp. [in Czech.] 1998 The International Standard ISO 11464 has the status of a Czech Standard.
- Curry, A. 1974: The spiracle structure and resistance to desiccation of centipedes. — *Symposia of the Zoological Society London* 32: 365–382.
- Čurlík, J. & Šurina, B. 1998: *Handbook of field survey and mapping of soils*. — Research Institute of soil fertility. Bratislava. 134 pp. [In Slovak.]
- David, J. F. & Handa, I. T. 2010: The ecology of saprophag-



- gous macroarthropods (millipedes, woodlice) in the context of global change. — *Biological Reviews* 85: 881–895.
- Dollery, R., Hodkinson, I. D. & Jónsdóttir, I. S. 2006: Impact of warming and timing of snow melt on soil microarthropod assemblages associated with *Dryas*-dominated plant communities on Svalbard. — *Ecography* 29: 111–119.
- Dunger, W. & Voigtländer, K. 2009: Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil ecosubsystem development in post-mining sites of Eastern Germany – a review. — *Soil Organisms* 81: 1–51.
- Ellenberg, H., Mayer, R. & Schauer mann, J. 1986: Ökosystemforschung – Ergebnisse des Sollingprojektes. — Ulmer, Stuttgart. 507 pp.
- Ferlian, O., Scheu, S. & Pollierer, M. M. 2012: Trophic interactions in centipedes (Chilopoda, Myriapoda) as indicated by fatty acid patterns: variations with life stage, forest age and season. — *Soil Biology & Biochemistry* 52: 33–42.
- Fierer, N., Strickland, M. S., Liptzin, D., Bradford, M. A. & Cleveland, C. C. 2009: Global patterns in below-ground communities. — *Ecology Letters* 12: 1238–1249.
- Francis, A. J. 1986: Acid rain effects on soil and aquatic microbial biomass. — *Experientia* 42: 455–465.
- Fründ, H. C. 1987: Raumlische Verteilung und Koexistenz der Chilopoden in einem Buchen-Altbestand. — *Pedobiologia* 30: 19–29.
- Gordon, H., Haygarth, P. M. & Bardgett, R. D. 2008: Drying and rewetting effects on soil microbial community composition and nutrient leaching. — *Soil Biology & Biochemistry* 40: 302–311.
- Haacker, U. 1968: Deskriptive, experimentelle und vergleichende Untersuchungen zur Autökologie rhein-mainischer Diplophen. — *Oecologia* 1: 87–129.
- Hågvar, S. & Kjøndal, B. R. 1981: Effects of artificial rain on the microarthropod fauna in decomposing birch leaves. — *Pedobiologia* 22: 409–422.
- Hågvar, S. 1984: Six common mite species (Acari) in Norwegian coniferous forest soils: Relations to vegetation types and soil characteristics. — *Pedobiologia* 27: 355–364.
- Hopkin, S. P. & Read, H. 1992: The biology of millipedes. — Oxford University Press, Oxford, New York, Tokyo. 233 pp.
- Jabin, M. 2008: Influence of environmental factors on the distribution pattern of centipedes (Chilopoda) and other soil arthropods in temperate deciduous forests. — Cuvillier Verlag, Göttingen, University of Cologne, Köln. 128 pp.
- Jandák, J. 2003: Cvičení z půdoznalství. — Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 92 pp. [In Czech.]
- Kula, E., Lazorič, M. & Tuf, I. H. 2011: Contribution to the knowledge of centipedes and terrestrial isopods of the Moravian-Silesian Beskids. — *Acta Musei Beskiden-sis* 3: 57–65.
- Kutílek, M. 1971: Ekologická klasifikace půdní vlhkosti [Ecological classification of soil moisture]. — *Vodní hospodářství* 9: 250–256. [In Czech.]
- Lepš, J. & Šmilauer, P. 2003: Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO. — Cambridge University Press, London, 299 pp.
- Lewis, J. G. E. 1981: The biology of centipedes. — Cambridge University Press, Cambridge, 476 pp.
- Maraun, M., Martens, H., Migge, S., Theenhaus, A. & Scheu, S. 2003: Adding to “the enigma of soil animal diversity”: fungal feeders and saprophagous soil invertebrates prefer similar food substrates. — *European Journal of Soil Biology* 39: 85–95.
- Maraun, M., Erdmann, G., Fischer, B. M., Pollierer, M. M., Norton, R. A., Schneider, K. & Scheu, S. 2011: Stable isotopes revisited: Their use and limits for oribatid mites trophic ecology. — *Soil Biology & Biochemistry* 43: 877–882.
- Mařan, B. & Káš, V. 1948: Biologie lesa I. Pedologie a mikrobiologie lesních půd [Forestry biology I. Pedology and microbiology of forest soils]. — Melantrich, Praha, 596 pp. [In Czech.]
- Mead-Briggs, A. R. 1956: The effect of temperature upon the permeability to water of arthropod cuticles. — *Journal of experimental Biology* 33: 737–749.
- Mehlich, A. 1984: Mehlich III Soil Test Extractant: A modification of Mehlich 2 Extractant. — *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(12): 1409–1416.
- Morón-Ríos, A., Rodríguez, M. Á., Pérez-Camacho, L. & Rebollo, S. 2010: Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. — *European Journal of Soil Biology* 46: 91–96.
- Němeček, J., Smolíková, L. & Kutílek, M. 1990: Pedologie a paleopedologie [Soil science and paleopedology]. — Academia, Praha, 546 pp. [In Czech.]
- Němeček, J., Macků, J., Vokoun, J., Vavříček, D. & Novák, P. 2001: Taxonomický klasifikační systém půd České republiky [Taxonomic classification system of soils of the Czech Republic]. — ČZU, Praha, 94 pp. [In Czech.]
- Schaefer M. 1991: Secondary production and decomposition: 175–218. — In: Röhrig, E. & Ulrich, B. (eds), *Temperate Deciduous Forests. Ecosystems of the world 7*. Elsevier. 635 pp.
- Schaefer, M. & Schauer mann, J. 1990: The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. — *Pedobiologia* 34: 299–314.
- Scheu, S. & Poser, G. 1996: The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beech wood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. — *Applied Soil Ecology* 3: 115–125.
- Scheu, S. & Schaefer, M. 1998: Bottom-up of the soil macrofauna community in a beechwood on limestone: manipulation of food resources. — *Ecology* 79: 1573–1585.
- Scheu, S. & Schulz, E. 1996: Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of

- oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. — *Biodiversity Conservation* 5: 235–250.
- Scheu, S. & Setälä, H. 2002: Multitrophic interactions in decomposer food webs: 223–264. — In: Tschamtko, T. & Hawkins, B. A. (eds), *Multitrophic level interactions*. Cambridge University Press, Cambridge. 274 pp.
- Schlaghamerský, J., Devetter, M., Háněl, L., Tajovský, K., Starý, J., Tuf, I. H. & Pižl, V. 2014: Soil fauna across Central European sandstone ravines with temperature inversion: From cool and shady to dry and hot places. — *Applied Soil Ecology* 83: 30–38.
- Schreiner, A. & Decker, P., Hannig, K., Schwerk, A. 2012: Millipede and centipede (Myriapoda: Diplopoda, Chilopoda) assemblages in secondary succession: variance and abundance in Western German beech and coniferous forests as compared to fallow ground. — *Web Ecology* 12: 9–17.
- Soukup, J., Fuchsová, K., Pospíšilová, N., Salát, L. & Zeman, P. 1987: Vyšetřování zahradnických půd a substrátů. [Investigation horticultural soil and substrates]. — *Aktuality Výzkumného a šlechtitelského ústavu okrasného zahradnictví v Průhonicích*, 62 pp. [In Czech.]
- Ter Braak, C. J. F. & Smilauer, P. 2002: *CANOCO Reference manual and CanoDraw for Windows Users guide: Software For Canonical Community Ordination verzion 4.5*, (Ithaca, NY, USA), 500.
- Tuf, I. H. & Tufová, J. 2008: Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality in Czech Republic. — *Časopis Slezského Muzea Opava (A)* 57: 37–44.
- Vasconcellos, L. F. R., Segat, J. C., Bonfim, J. A., Baretta, D. & Cardovo, J. B. N. 2013: Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. — *European Journal of Soil Biology* 58: 105–112.
- Wardle, D. A. 1992: A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. — *Biological Reviews* 67: 321–358.
- Weil, E. 1958: *Zur Biologie der einheimischen Geophiliden*. — *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 42:173–209. [In German.]
- Zapparoli, M. 1997: Urban development and insect biodiversity of the Rome area, Italy. — *Landscape Urban Planning* 38: 77–86.
- Zbírál, J. 1997: *Jednotné pracovní postupy, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský [Standard operational procedures]*. — Brno. Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture. 199 pp. [In Czech.]
- Zbírál, J. 2002: *Analyza půd I. Jednotné pracovní postupy. [Soil analysis I. Integrated work procedures]*. — Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno, 28–54. [In Czech.]
- Zerm, M. 1997: Die Fauna der Tausend-, Hundert- und Zwergfüßer (Myriapoda: Diplopoda, Chilopoda, Symphyla) sowie der Landasseln (Isopoda: Oniscidea) im Unteren Odertal, unter besonderer Berücksichtigung des Standortfaktors Überschwemmung. — *Zoologische Beiträge* 38 (1): 97–134. [In German.]



### Impact of weather and habitat on the occurrence of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in mountain spruce forests

Martin Lazorik, Emanuel Kula\*

Department of Forest Protection and Game Management, Faculty of Forestry and Wood Technology,  
Mendel University Brno, Zemědělská 3, 613 00 Brno, Czech Republic

#### Abstract

LAZORÍK, M., KULA, E., 2015. Impact of weather and habitat on the occurrence of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in mountain spruce forests. *Folia Oecologica*, 42: 103–112.

Microclimatic factors (air temperature, soil temperature and moisture in the Ah and B horizons) were determined using AMET weather stations and VIRRIB sensors on four sites in the Moravian-Silesian Beskids (Czech Republic) in 2007–2014. Simultaneously, pitfall traps were installed to monitor epigeic activity of myriapoda (Diplopoda and Chilopoda) and terrestrial isopods (Oniscidea). No statistically significant relationship was found between the occurrence of epigeic macrofauna and the microclimate of the studied forest stands. A linear curve was fitted to the data, demonstrating an increase in air temperature by 2.9 °C and a decrease in moisture by 4.49% over the eight years of monitoring. In this period, the catch of the studied groups of macrofauna decreased while the diversity of the monitored communities increased. Increasing temperature led to the occurrence of synanthropic species *Porcellio scaber* and the decline of montane centipede species such as *Lithobius tenebrosus* and *Lithobius borealis*.

#### Keywords

Chilopoda, Diplopoda, forest soil, moisture, Moravian-Silesian Beskids Mts, Oniscidea, temperature

#### Introduction

In the past few decades, the course of weather has been regarded as a factor of the environment which is undergoing global change affecting the ecosystems. These changes are quantified on the basis of direct measurement of climatic factors and indirectly through the response of fauna and flora. The influence of climate on soil fauna was monitored through myriapods and terrestrial isopods, which are known to react sensitively to developing site conditions – both to changes in temperature and decreasing moisture (AUERBACH, 1949; FRÜND, 1987; BLOWER, 1951; LEWIS, 1981). The abundance and diversity of edaphic zoocenosis depends on soil moisture content as affected by thick-

ness of the surface humus (JABIN, 2008) or by snow cover depth (TEMPLER et al., 2012). It is presumed that the rising temperature may not only increase the abundance of invertebrates but also extend their distribution area and the ability to reproduce (RODENHOUSE et al., 2009; LADANYI and HORVATH, 2010). The influence of snow cover on the centipede community in the permafrost conditions of the northern parts of the USA was described by TEMPLER et al. (2012). Myriapods are confirmed to have a wide temperature tolerance (0–32 °C) (PFLEIDERER-GRUBER, 1986), allowing the representatives of centipedeto remain at the temperature –3 °C for the period of 7 days (LAVY and VERHOEF, 1996). Some species require low temperature limits to develop larval stages (between –6 and +3 °C) (TOPP, 1994). Low snow

\*Corresponding author:  
e-mail: kula@mendelu.cz

depth or late arrival of snow cause freezing of the upper soil layers, which can induce changes in the quantity of edaphic macrofauna (BALE and HAYWARD, 2010). Changes in the quantity of edaphic macrofauna may be related to deviations in the amount of carbon and its cycle or the nutrient content in forest soils, since the majority of its representatives significantly contribute to the decomposition of organic matter (TEMPLER et al., 2012). Invertebrates increase the degree of decomposition (SEASTEDT and CROSSLEY, 1983; HÄTTENSCHWILER and GASSER, 2005; WALL et al., 2008; ROUIFIED et al., 2010) and mineralisation (VERHOEF and BRUSSAARD, 1990) and stimulate microbial respiration (HANLON and ANDERSON, 1979; KANEDA and KANEKO, 2008).

Using long-term measurements of microclimatic data and simultaneous monitoring of the epigeic part of soil macrofauna in four sites located in forest stands with different site conditions, we tested some hypotheses of the effect of weather on soil fauna via statistical methods.

Questions to be solved: (\*) Is it possible to use the basic linear trend evident from the climatic data for 2007–2014 for simple determination of increase or decrease in temperature and moisture in the studied soil environment?

(\*) Is there any correlation between the catch rate of epigeic macrofauna and the climatic factors?

(\*) What impact do climatic factors have on the course of temperature and moisture in the soil environment in complex with other factors of the environment?

## Material and methods

### Study area and sites

In the northeastern part of the Czech Republic in the Moravian-Silesian Beskids (1,160 km<sup>2</sup>), permanent research areas were set up in the Smrk and Kněhyně massifs and along the Čeladenka mountain river. A specific feature of the area is the homogenous, moderately rich bedrock consisting of sandstones and slates of the external flysch and the Magura flysch. On the abnormally thick layer of weathered parent material, there are soils with a trophic range from oligo-basic (Cryptopodsols and Podsols) to eu-mesobasic soils (Cambisols, Ranker) and with a hydric range from soils without hydromorphic influence to soils permanently affected by water (Histosol). Steep slopes (14–15° on average) predominate and the whole area is under the influence of high precipitation (>1,000 mm). The climate and the soil types present strongly affect the hydrological situation of the area (the average outflow rate 20–30 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>). The climate is characterised by average annual precipitation of 690–934 mm, mean annual temperature of 2.6 °C, temperature minimum in January (–6.1 °C) and maximum in July (11.7 °C), with absolute temperature minimum –30.9 °C and absolute temperature

maximum 29.5 °C (Lysá hora weather station of CHMI, 1,323 m asl).

The Pěkná forest site (49°29′01.9″N; 18°21′23.0″E) is characterised by a two-storey forest stand, with the upper layer consisting of Norway spruce of 98 yrs and with 95% canopy closure. The understorey consists of six-year-old beech (80%) and of four-year-old fir (20%). The studied area is located below a forest road on a gentle mountain ridge in the central part of the Smrk massif that reaches the maximum altitude of 1,276 m asl. The soil environment is characterised by Haplic Podzols with mor humus form, the height of the soil profile is 70 cm. The parent rock is flysch fine-grained muscovite sandstone (Table 1).

The Stolová ridge site (49°30′31.7″N; 18°19′24.3″E) is located on a steep mountain ridge above the Korabský stream, which continues across the territory of the Malá Stolová mountain (1,009 m asl). The forest stand consists of 88% spruce with admixed beech, larch and birch aged 89 with full canopy closure. The soil environment is characterised by Leptosols with moder humus form, with the soil profile reaching 80 cm in depth. The parent rock is flysch sandstone with 10–30% of the area covered by boulders forming a talus field (Table 1).

The Čeladenka valley site (49°29′55.2″N; 18°20′26.1″E) represents the alluvium of the main stream “Čeladenka”, where the vegetation consists of single-storey forest stand with spruce aged 70 yrs. The site gets flooded sporadically, after prolonged rainfall (2011). The soil is characterised by Fluvisols with moder humus form, with the soil profile reaching 80 cm in depth. The parent rock consists of alluvial sediment currently reaching up to 4 m above the water level in the stream (Table 1).

The Skalka mound site (49°31′38.5″N; 18°23′12.9″E) is located on an isolated conical elevation reaching 613 m asl and situated in the main valley of the mountain massif. The forest stand is formed of spruce monoculture aged 95 yrs. The soil environment is characterised by Leptosols with mor humus form, with the soil profile reaching 60 cm in depth. The parent rock is flysch quartziferous sandstone with 50–70% of the area covered by boulders forming a talus field (Table 1).

### Sampling of epigeic macrofauna

Epigeic macrofauna was captured using five pitfall traps per site (4,000 ml glasses, 263 mm height, 93 mm hole diameter, covered by a tin roof, 4% solution of formaldehyde) situated in a line within each stand with 10 m spacing. After installation of the traps (1 May), the catch was monitored at six-week intervals for seven successive seasons (15 June, 31 July, 15 September and 28 October, from 2007 to 2013). On each of the dates, a mixed sample was obtained by combining specimen from all five traps on the site. The sample was preserved

Table 1. Environmental factors characterising the model sites in 2007–2014

Environmental factor		Pěkná forest	Stolová ridge	Čeladenka valley	Skala mound
Temperature air	°C	7.2	7.9	8.2	8.6
Temp. max	°C	30.6	30.4	34.1	32.1
Temp. min	°C	-21.0	-31.5	-15.9	-17.8
Temp. soil 1	°C	6.62	7.07	7.61	8.23
Temp. soil 1_max	°C	17.1	22.5	15.8	16.3
Temp. soil 1_min	°C	-1.4	-3.6	-0.4	-0.3
Temp. soil 2	°C	6.74	7.06	7.86	8.61
Temp. soil 2_max	°C	18.4	16.6	17.0	19.9
Temp. soil 2_min	°C	-2.3	-3.6	-1.6	-2.4
Moisture 1	%	26.85	14.26	26.62	21.35
Moisture 1_max	%	38.1	27.5	49.2	36.4
Moisture 1_min	%	15.2	5.5	12.6	6.1
Moisture 2	%	24.74	20.27	21.16	17.09
Moisture 2_max	%	41.7	25.5	42.6	26.5
Moisture 2_min	%	10.6	6.8	12.9	6.4
Exposition		E	E	NE	SE
Depth of sensors HA	cm	10	15	12	20
Depth of sensors HB	cm	25	40	18	30
Altitude	m	880	800	560	600
Type of soil		Haplic Podzols	Leptosols	Fluvisols	Leptosols
Skeleton	%	29.2	53.7	11.7	54.6
Trees			Norway spruce		

in 75% ethanol. Subsequently, it was processed in a laboratory where the representatives of myriapods and isopods were determined to the species level. For the analysis of the effect of climate, total annual sums of specimen trapped at each site were used.

Seasonal activity of the myriapoda and terrestrial isopod communities was evaluated for each of the seasons studied. The diversity was expressed by the Shannon–Weaver index for individual seasonal phases (spring 1 May–15 June, summer 16 June–31 July, late summer 1 August–15 September, autumn 1 October–31 November).

#### Microclimatic factors

Air temperature was measured by a PRO V2 temperature sensor placed under a shade and installed onto a shaded side of a tree trunk at the height of 2 m above ground (Fig. 1), at a distance of 20 cm from the trunk. To measure soil temperature, two sensors were used which were inserted into the centre of the monitored soil layer (Ah – horizon 1 and B – horizon 2) after exposing the soil profile. The sensors were covered with sifted soil to eliminate contact with stones (Fig. 1). The depth of the individual sensors ranged between 10 and 50 cm. The sensors (air temp., TEPH1, TEPH2) were

connected to a MetoUNI datalogger where the measured values were recorded at hourly intervals.

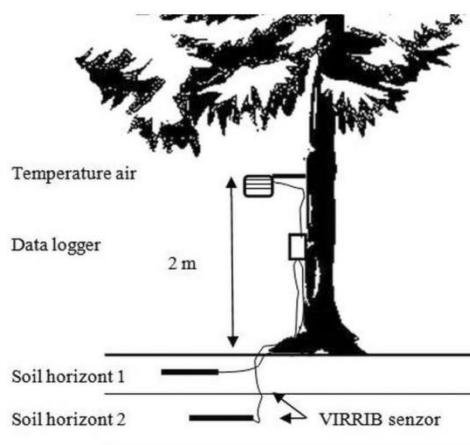


Fig. 1. Technical implementation of installation of AMET weather station with air temperature, soil temperature and soil moisture measurement.

Soil moisture was determined by measuring the resistance of soil by a Virrib sensor (Amet Velké Bí-

lovice) of the weather station. One moisture sensor was located in the centre of the organomineral topsoil (Ah horizon), the other one in the centre of the subsoil layer (B horizon) (Fig. 1). The measurement allows to determine the volumetric soil moisture content in the range 5–50%. The values were recorded by the datalogger at 60 minute intervals (4/2007–10/2014). Volumetric soil moisture represents the ratio between the water content in soil and the total volume of the measured soil.

Average daily values were determined as arithmetic averages from a set of 24 measurements over the course of one day for the measured quantities (air temp., TEPH1, TEPH2, Moist1, Moist2). From a network of 30 stations, four representative areas were selected (based on integrity of measurement and site conditions).

### Data analysis

ALA Connect software allowed download of the measured data from the weather station. Daily averages from the individual sensors were processed in Excel. Mutual correlation between the measured temperatures, soil moisture and capture rate of individual representatives of millipedes, centipedes and terrestrial isopods in pitfall traps was tested. To determine the trends in the obtained data, linear regression was used. Statistically significant similarity of the environmental data with the occurrence of macrofauna representatives was sought based on a correlation matrix.

Seasonality of the macrofauna occurrence was evaluated via one-way ANOVA based on the degree of variance. A hypothesis on the inequality of variance in individual monitored sites was expressed via STATISTICA 10.0 software. The Shannon-Weaver diversity index, calculated for each site and season separately, was used to describe the population. Due to the statistically significant variance, a multiple comparison Tukey's HSD test of homogenous groups was performed. The result was estimation of the variability of variance in individual sites and the differentiation of groups with different values of soil moisture.

The significance of the individual environmental factors was compared via principal component analysis (PCA). The basic principle of the analysis is substitution of the original variables by a set of new (hypothetical) variables summarising variance of the original variables. The new variables are called the principal components and are a linear combination of the original variables. The principal components are determined via sequential search for the highest variability with the highest explanation of variance. The result of the PCA is a matrix of covariance coefficients with the determination of eigenvalues and the associated eigenvectors of the matrix (HARUŠTIAKOVÁ et al., 2012). We have analysed environmental variables associated with the microclimate of the soil environment (air temp.,

TEPH1, TEPH2, Moist1, Moist2, exposition, altitude, ToS, Skel., aspect).

The influence of two sets of variables was tested. The matrix of independent variables of ecological data – environmental variables (air temp., TEPH1, TEPH2, Moist1, Moist2, exposition, altitude, ToS, Skel., aspect) and the matrix of dependent variables represented by species captured in pitfall traps. A canonical correspondence analysis (CCA) was applied which uses multidimensional regression to determine the linear combination of variables that best explain the inertia of the ordination scores obtained from the dependent variables (LEPŠ and ŠMILAUER, 2003). The testing of hypotheses in CCA was performed using the strength of the permutation test. The statistics were carried out in CANOCO for Windows 4.5 software which allows for the analysis of test strength using the Monte-Carlo permutation test with 999 repetitions. The test strength testing with the individual environmental variables was done using a “forward selection” function, where the first eigenvalue is compared with the appropriate statistic obtained from random permutations of the data. The result of the CCA is an ordination diagram in which the species and samples are indicated by individual points (HARUŠTIAKOVÁ et al., 2012).

Abbreviations: Air temp., air temperature measured at 2 m above the ground; TEPH1, soil temperature in the central depth of Ah horizons; TEPH2, soil temperature in the central depth of B horizons; Moist1, volumetric soil moisture in the central depth of Ah horizons; Moist2, volumetric soil moisture in the central depth of B horizons; Exposition, exposition of the research area; Altitude, height above sea level; ToS, type of soil according to WRB, 2006 (The World Reference Base for Soil Resources); Skel., percentage content of soil skeleton in the topsoil with particle size of >2 mm; Aspect, seasonal occurrence of the captured species; SW, Shannon-Weaver diversity index.

## Results

### Climatic factors 2007–2014

During the reporting period, the mean air temperature was 7.97 °C, the difference between the lowest and the highest situated study site being 1.4 °C. The lowest temperature (–31.5 °C) was measured at the Stolová ridge site (20 December 2009, 21:00), after previous eight days of frost with subsequent slight warming. The highest temperature (34.1 °C) was measured at the Čeladenka valley site (8 August 2013, 14:00) during 10 days of warm weather in late July/early August (Table 1). The soil temperature in topsoil (Ah horizon) did not fluctuate as widely when compared to air temperature. The mean soil temperature of 6.62–8.23 °C was 0.6–0.83 °C higher than the average air temperature.

The lowest temperature in the topsoil was measured at the Stolová ridge site along with the lowest air temperature. The highest soil temperature (22.5 °C) was determined at the Stolová ridge site (15 July 2010, 16:00). The mean soil temperature (6.74–8.61 °C) in the subsoil (B horizon) was higher by 0.12–0.38 °C when compared to the topsoil (Ah). The lowest temperature ranged between –3.6 and –1.6 °C [Pěkná forest –2.3 °C (8 March 2011), Stolová ridge –3.6 °C (23 February 2011), Čeladenka valley –1.6 °C (8 March 2011) and Skalka mound –2.4 °C (26 February 2011)]. The highest temperatures in the subsoil (B) were within the range of 19.9 and 16.6 °C.

The sites differed significantly by their maximum values of volumetric soil moisture (27.5–49.2%) from the measured average volumetric soil moisture (14.26–26.85%). The highest value was recorded at the Čeladenka valley site (49.2%, 24 June 2014). During the studied seven-year period, the mean annual air temperature increased by 2.9 °C.

#### Influence of weather on soil macrofauna

Mutual comparison allowed to calculate a correlation matrix for the individual sites to define the relationship between air temperature, soil temperature, soil moisture and the capture rate of macrofauna in pitfall traps. A correlation between air and soil temperature was confirmed ( $r = 0.923$  to  $r = 0.991$ ). With increasing temperature, soil moisture decreased. Fitting of the individual curves of weather development and capture rate of macrofauna did not reveal a statistically significant relationship to the course of temperature. Visual comparison revealed a slight similarity in the development of soil moisture and increase in the occurrence of macrofauna, but with a partial time delay after the period of increased moisture. Only at the Čeladenka valley site, there was a correlation between the captured macrofauna and air temperature ( $r = 0.437$ , Table 2) and soil temperature in the topsoil (Ah) layer ( $r = 0.416$ ) and the subsoil (B) layer ( $r = 0.397$ ).

#### Seasonality effect

Due to the course of weather throughout the year, when the changing temperature delineates a curve similar

to a sinusoid, an influence of the seasonal aspect on the development of soil macrofauna population was found. The variance of occurrence of a species was analysed by one-way ANOVA where the hypothesis of equality of variance in mean values of the basic dataset was rejected by a test criterion ( $F = 6.3675$  and  $p = 0.00051$ , Fig. 2). Using a Tukey's HSD test of multiple comparisons, a statistically significant difference was detected in the Summer set. Species diversity was determined in parallel (Shannon-Weaver index) for the population captured in spring (SW = 1.853), summer (SW = 2.213), late summer (SW = 2.113) and autumn (SW = 2.156). The highest species diversity was detected in the summer season.

#### The effect of environmental variables

The determination of the effect of individual environmental variables was performed via PCA which was explained using four canonical axes. Based on the fact that axis 1 explained 79.33% of the variance in the original data matrix, we can consider only the first component. Axis 2 explained 8.72% of the variance, followed by axis 3 with 7.21% and axis 4 with 4.74% of the variance of the original data. From the values of explained variance from the correlation matrix it follows that the important components are altitude ( $r = 0.389$ ) and type of soil ( $r = 0.304$ ). Another significant component was soil moisture, where the moisture in the subsoil (B horizon) was more significant ( $r = 0.229$ ) than in the topsoil (Ah horizon) ( $r = 0.153$ ). Soil and air temperature reached only very low values of explained variance.

The relationship between the representation of the captured centipede, millipede and terrestrial isopod species in the samples and the environmental variables was analysed using canonical correspondence analysis. In the ordination space, the first canonical axis explained 12.9% of total variability (Fig. 3), which was statistically significant ( $F = 2.185$ ,  $p = 0.001$ ), since the first axis was very well correlated with the environmental data ( $r = 0.829$ ). In our case, the first canonical axis can be interpreted as a gradient of the site, from eastern exposition ( $r = 0.608$ ) with skeleton content ( $r = 0.457$ ) and slightly higher air temperature ( $r = 0.180$ ) to the site with lower altitude ( $r = -0.579$ ), more favourable fluvisol conditions ( $r = -0.518$ ) and higher soil moisture

Table 2. Correlation coefficients between the environmental factors and the occurrence of macrofauna

Variable	Pěkná forest	Stolová ridge	Čeladenka valley	Skalka mound
Temperature	-0.0692	0.1906	<b>0.4372</b>	0.1326
Temp. soil 1	-0.0337	0.2791	<b>0.4159</b>	0.1161
Temp. soil 2	-0.0387	0.3244	<b>0.3968</b>	0.1289
Moisture 1	0.0635	-0.2220	-0.0343	0.0892
Moisture 2	0.0289	-0.1006	-0.2089	0.0663



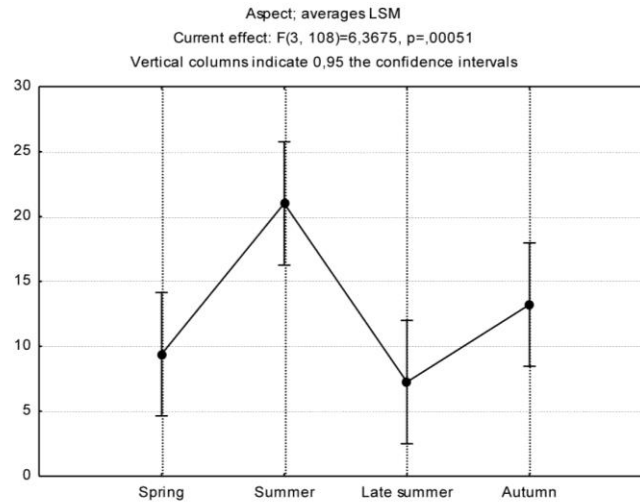


Fig. 2. Significance of congruence of median variance of the basic set of samples expressed via the seasonal aspect factor.

( $r = -0.382$ ). The gradient of the second canonical axis best characterises correlations with the soil moisture ( $r = 0.396$ ) and the type of soil ( $r = 0.377$ ) variables. The selected environmental variables explain 22.24% of the total inertia of species data. The environmental variables which significantly influence the variability of animal communities were determined via forward selection, the most significant variables being exposition, altitude and type of soil while temperature, moisture and seasonality were of reduced significance (Table 3).

As regards the studied species of the Chilopoda group, they occur more frequently on sites with lower content of skeleton and good hydrologic regime in medium and higher positions (Fig. 3). As regards the relation to temperature, Chilopoda are more resistant to lower temperatures and do not suffer from frost. In

contrast, Diplopoda occurred in medium and lower altitudes on soils with higher content of humus and higher temperatures as well as with a good hydric regime (Fig. 3). The Isopoda were more frequent on sites with southeastern exposure with soil type Leptosols and with boulders on the surface. This site was characterized by warm climate but good hydric conditions (Fig. 3).

## Discussion

### Weather course

Climatic factors were measured under a mature spruce stand. Therefore, the general patterns of temperature and moisture course in a forest ecosystem must

Table 3. Environmental variables driving animal communities: percentages of explained variability, significance and inclusion in manual forward selection (FW). CCA ordination of log-transformed and body size-weighted data

Variable	Variability explained (%)	F	P	FW selection
Exposition	18.34	7.471	0.001	+
Altitude	16.91	6.887	0.001	+
Type of soil	15.36	6.254	0.001	+
Skeleton	11.95	4.867	0.001	+
Moist 2	11.82	4.812	0.001	+
Temp. air	6.63	2.700	0.001	+
Moist 1	6.09	2.482	0.005	+
TEPH2	4.85	1.974	0.008	
Aspect	4.81	1.960	0.117	
TEPH1	3.24	1.319	0.197	

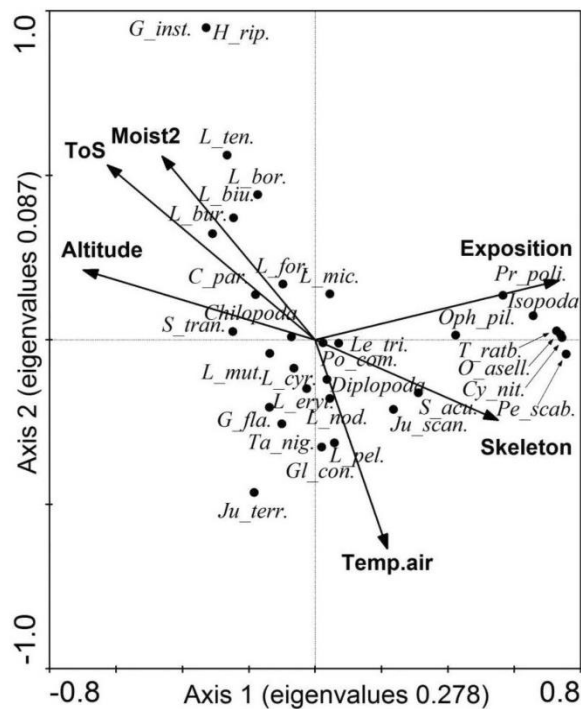


Fig. 3. Effectiveness of environmental variables depending on the capture rate, substantiated by canonical correspondence analysis in the ordination diagram.

be characterised. Temperature stratification of the atmosphere in the forest stand changes throughout the day and the season. Due to the broken surface of the stand, the effect of air flow is subdued and absorption of photoactive radiation affects the temperature in the stand (ARYA, 2001). Total moisture of the stand also increases due to soil moisture as well as moisture released during transpiration of plants when compared to open areas (forest-free areas) (HAYASHI, 1983; HURTALOVÁ et al., 2003). Based on the measured climatic factors, we can assert an increase of the average temperature at the local scale by up to 2.9 °C over the period of seven years, which is in accordance with the generally reported global trend of warming (WARDLE et al., 2004; TEMPLER et al., 2012). As expected, when comparing the air temperature and soil temperature in both soil horizons, a positive correlation was demonstrated, even though the amplitude in soil temperature was smaller than in air temperature. This was the case especially in winter seasons when the continuous snow layer acts as thermal insulation. Soil moisture content changed inversely proportional to the course of air temperature. Therefore, over the course of the study, an increase in average air temperature was detected, followed logically by a decrease in moisture of the soil environment. The increase in temperature led to a gradual increase in the occurrence of synanthropic species of soil macrofauna

*Porcellio scaber*. *Porcellio scaber* is a species with wide ecological valence occurring in sites under anthropogenic influence (TUF and TUFOVÁ, 2008). Simultaneously, a decreased occurrence of the species inhabiting montane and submontane areas (*Lithobius tenebrosus*, *Lithobius borealis*) was observed. *Lithobius tenebrosus* has been described as a species associated with trunks of coniferous trees (SCHATZMANN, 1990; TAJOVSKÝ, 2001; KULA and LAZORÍK 2014). *Lithobius borealis* is a species typical of montane and submontane spruce stands linked to tree bark (SUMMERS and UETZ, 1979; SPELDA, 1999; BLACKBURN et al., 2002; KULA and LAZORÍK, 2014).

#### Effects of microclimatic factors on macrofauna

The effects of weather on the occurrence of macrofauna communities are reported on by AUERBACH (1949, 1951) and FRÜND (1987). Positive relationship to moisture has been established for representatives of centipedes, millipedes and especially terrestrial isopods based on the understanding of their morphology, mainly their epicuticle structure (LEWIS, 1981; HOPKIN and READ, 1992; WIRKNER and PASS, 2002). If the top wax layer of the epicuticle is noticeably missing (BLOWER, 1951; MEAD-BRIGGS, 1956) and the breathing spiracula are not sufficiently formed, evaporation increases (LEWIS,



1963; CURRY, 1974). Our results are in agreement with a number of studies which demonstrate a relationship between invertebrates and sites with increased soil moisture (ALBERT, 1983; FRÜND, 1987; CLOUDSLEY-THOMPSON and CRAWFORD, 1970; JABIN, 2008).

For centipedes in the temperate zone, a very wide temperature valence and tolerance was reported (ALBERT, 1983). *Lithobius forficatus* showed activity in a temperature range between 0–32 °C (PFLIEDERER-GRUBER, 1986), and even survived frost of –3 °C for one week without any damage (LAVY and VERHOEF, 1996). Temperature tolerance is confirmed by results of laboratory breeding (JABIN, 2008), where the abundance of centipedes did not correlate with temperature data. Since no temperature threshold of activity has been defined for individual centipede species, a sum of effective temperatures could not be used. Therefore, their activity was assessed only as a sum of the numbers of their occurrences at a site in the reference growing season. The seasonal aspect was observed, which defined the summer period (June–July) as the most appropriate for the activity of centipedes, since it also features the highest rainfall. Extreme temperatures have no effect on the abundance of macroarthropods (JABIN, 2008). It was found out that millipedes (DAVID et al., 1996), isopods (TANAKA and UDAGAWA, 1993) and rove beetles (TOPP, 1978) can survive hypothermia at the temperature between –4 and –5 °C. In our study sites, soil freezing down to a depth of 12 cm was detected only in 2011 when no snow cover formed even at higher elevations. Therefore, an increased mortality in soil arthropods cannot be ruled out, since snow cover fulfils an insulating function (BALE, 1991). Certain limited level of activity of macroarthropods cannot be excluded even under the snow cover.

To demonstrate the impact of climatic factors, we used the principal component analysis (PCA), where the basic environmental factors affecting soil environment were monitored. Based on a correlation matrix with verification of the regression analysis test using the Monte-Carlo test, it was found out that the factor of the type and location of the soil environment has a more significant effect than the climatic factors. We can conclude that microclimatic factors do not have a statistically significant influence on the distribution of the individual soil macrofauna species. Exposition, altitude, type of soil and soil skeleton content, i.e. factors determining the quality of the soil were confirmed to be important factors. It follows from the data that the occurrence of species is closely related to the quality of the environment and not to the temperature or moisture. It should be stressed that the presented results are of a smaller scale i.e. represent a regional assessment. At the global scale, significantly higher abundances were found in warmer areas compared to colder areas (BLACKBURN et al., 2002).

## Conclusions

A direct effect of microclimatic factors of the soil environment (temperature, moisture) on the dynamics of the communities of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in mountain spruce forests has not been proven.

Nevertheless, an indirect effect of environmental factors, such as exposition, altitude and soil skeleton content was found. An increase in average air temperature by +2.9 °C and decrease in soil moisture by –4.49% may be a cause for the decline in montane and submontane species (*Lithobius borealis*, *Lithobius tenebrosus*) and an increase in the numbers of synanthropes (*Porcellio scaber*, *Ophiulus pilosus*) with wide ecological valence at the expense of relict species.

## Acknowledgements

This study was supported by the Ministry of Education of the Czech Republic (VZ MSM 6215648902) and by the Netex, Ltd., Děčín, Nadace ČEZ, Co., Prague, Lafarge cement, Co, in Čížkovice.

## References

- ALBERT, A.M., 1983. Characteristics of two populations of Lithobiidae (Chilopoda) determined in the laboratory and their relevance with regard to their ecological role as predators. *Zoologischer Anzeiger*, 34: 214–226.
- ARYA, P.S., 2001. *Introduction to micrometeorology*. N.Y.: Academic Press. 420 p.
- AUERBACH, S.I., 1949. A preliminary ecological study on certain deciduous forest centipedes. *American Midland Naturalist*, 42: 220–227.
- AUERBACH, S.I., 1951. The centipedes of the Chicago area with special reference to their ecology. *Ecological Monograph*, 21: 97–124.
- BALE, J.S. 1991. Insects at low temperatures: a predictable relationship? *Functional Ecology*, 5: 291–298.
- BALE, J.S., HAYWARD, S.A.L., 2010. Insect overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology*, 213: 980–994.
- BLACKBURN, J., FARROW, M., WALLACE, A., 2002. Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes. *Journal of Zoology*, 256: 221–232.
- BLOWER, J.G., 1951. A comparative study of the chilopod and diplopod cuticle. *Quarterly Journal of Microscopical Science*, 92: 142–161.
- CLOUDSLEY-THOMPSON, I.L., CRAWFORD, E.S., 1970. Water and temperature relations, and diurnal

- rhythms of scolopendromorph centipedes. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 13: 187–193.
- CURRY, A., 1974. The spiracle structure and resistance to desiccation of centipedes. *Symposium of the Zoological Society London*, 32: 365–382.
- DAVID, I.F., CELERIER, M.L., VANNIER, G., 1996. Overwintering with a low level of cold-hardiness in a temperate millipede *Polydesmus angustatus*. *Acta Oecologia*, 17: 393–404.
- FRÜND, H.C., 1987. Räumliche Verteilung und Koexistenz der Chilopoden in einem Buchen-Altbestand. *Pedobiologia*, 30: 19–29.
- HANLON, R.D.G., ANDERSON, J.M., 1979. The effects of collembolan grazing on microbial activity in decomposing leaf litter. *Oecologia*, 38: 93–99.
- HARUŠTIKOVÁ, D., JARKOVSKÝ, J., LITNEROVÁ, S., DUŠEK, L., 2012. Vícerozměrné statistické metody v biologii [Multivariate statistical methods in biology]. Brno: Akademické nakladatelství CERM. 110 p.
- HAYASHI, Y., 1983. *Aerodynamical properties of air layer affected by vegetation*. Environmental Research Center papers, 3. Ibaraki (Japan): Environmental Research Centre, University of Tsukuba. 54 p.
- HÄTTENSWILER, S., GASSER, P., 2005. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. *Proceedings of the National Academy Sciences*, 5: 1519–1524.
- HOPKIN, S.P., READ, H., 1992. *The biology of millipedes*. Oxford, New York, Tokyo: Oxford University Press, 231p.
- HURTALOVÁ, J., MATĚJKA, F., JANOUŠ, D., ROŽNOVSKÝ, J., 2003. Influence of a spruce forest stand on the flowing and air temperature and moisture vertical stratification. In ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (eds). *Seminář Mikroklima porostů*. Brno, 26. března 2003, p. 66–79.
- JABIN, M., 2008. *Influence of environmental factors on the distribution pattern of centipedes (Chilopoda) and other soil arthropods in temperate deciduous forests*. Göttingen: Cuvillier Verlag. 128 p.
- KANEDA, S., KANEKO, N., 2008. Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities. *Biology and Fertility Soils*, 44: 435–442.
- KULA, E., LAZORÍK, M., 2014. Chilopoda v korunové a kmenové fauně lesních dřevin [Chilopoda in crown and stem fauna of forest trees]. *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 59: 175–183.
- LADANYI, M., HORWATH, L., 2010. A review of the potential climate change impact on insect populations – general and agricultural aspects. *Applied Ecology Environmental Research*, 8: 143–152.
- LAVY, D., VERHOEF, H.A., 1996. Spatiotemporal variation in body composition and cold tolerance of soil arthropods. *Pedobiologia*, 40: 529–540.
- LEPŠ, J., ŠMILAUER, P., 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. London: Cambridge University Press. 282 p.
- LEWIS, J.G.E., 1963. On the spiracle structure and resistance to desiccation of four species of geophilomorph centipedes. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 6: 89–94.
- LEWIS, J.G.E., 1981. *The biology of centipedes*. Cambridge: Cambridge University Press. 488 p.
- MEAD-BRIGGS, A.R., 1956. The effect of temperature upon the permeability to water of arthropod cuticles. *Journal of Experimental Biology*, 33: 737–749.
- PFLIEDERER-GRUBER, M., 1986. *Ökophysiologische Studien an Chilopoda in Tirol*. Innsbruck: O.K. Druck. 84 p.
- RODENHOUSE, N.L., CHRISTENSON, L.M., PARRY, D., GREEN, L.E., 2009. Climate change effects on native fauna of northeastern forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 249–263.
- ROUFIED, S., HANDA, I.T., DAVID, J.F., HÄTTENSWILER, S., 2010. The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter. *Oecologia*, 163: 247–256.
- SCHATZMANN, E., 1990. Weighting of habitat types for estimation of habitat overlap – application to a collection of swiss centipedes. In MINELLI A. (ed.). *Proceedings of 7th international congress of myriapodology. Vittorio Veneto, Italy, 1987*. Leiden: Brill, p. 299–309.
- SEASTEDT, T.R., CROSSLEY, D.A., 1983. Nutrients in forest litter treated with naphthalene and simulated throughfall: a field microcosm study. *Soil Biology and Biochemistry*, 15: 159–165.
- SPELDA, J., 1999. Ökologische Differenzierung südwestdeutscher Steinläufer (Chilopoda: Lithobiida). *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, 29: 389–395.
- SUMMERS, G., UETZ, G.W., 1979. Microhabitats of woodland centipedes in a streamside forest. *American Midland Naturalist*, 102: 346–352.
- TAJOVSKÝ, K., 2001. Colonization of colliery spoil heaps by millipedes (Diplopoda) and terrestrial isopods (Oniscidea) in the Sokolov region, Czech Republic. *Restoration Ecology*, 9: 365–369.
- TANAKA, K., UDAGAWA, T., 1993. Cold adaptation of the terrestrial isopod, *Porcellio scaber*, to subnivean environments. *Journal of Comparative Physiology B*, 163: 439–444.
- TEMPLER, P.H., SCHILLER, A.F., FULLER, N.W., SOCI, A.M., DRAKE, J.E., KUNZ, T.H., 2012. Impact of a reduced winter snowpack on litter arthropod abundance and diversity in a northern hardwood forest ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 48: 413–424.

- TOPP, W. 1994. Seasonal time partitioning and polymorphism in the developmental cycles of sympatric Staphylinidae (Coleoptera) living in an unstable environment. In DANKS, H. V. (ed.). *Insect life-cycle polymorphism*. Dordrecht: Kluwer, p. 277–312.
- TUŘ, I.H., TUŘOVÁ, J., 2008. Proposal of ecological classification of centipede, millipede and terrestrial isopod faunas for evaluation of habitat quality in Czech Republic. *Časopis Slezského Muzea Opava (A)*, 57: 37–44.
- VERHOEF, H.A., BRUSSAARD, L., 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry*, 11: 175–211.
- WALL, D.H., BRADFORD, M.A., ST. JOHN, M.G., TROFYMOW, J.A., BEHAN-PELLETIER, V.M., BIGNELL, D.E., DANGERFIELD, J.M., PARTON, W.J., RUSEK, J., VOIGT, W., WOLTERS, V., GARDEL, H.Z., AYUKE, F.O., BASHFORD, R., BELJAKOVA, O.I., BOHLEN, P.J., BRAUMAN, A., HENSCHEL, J.R., JOHNSON, D.L., JONES, T.H., KOVÁŘOVÁ, M., KRANABETTER, J.M., KUTNY, L., LIN, K.-C., MARYATI, M., MASSE, D., POKARZHEVSKII, A., RAHMAN, H., SABARA, M.G., SALAMON, J.-A., SWIFT, M.J., VARELA, A., VASCONCELOS, H.L., WHITE, D., ZOU, X., 2008. Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Global Change Biology*, 14: 2661–2677.
- WARDLE, D.A., BARDGETT, R.D., KLIRONOMOS, J.N., SETIILA, H., VAN DER PUTTEN, W.H., WALL, D.H., 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science*, 304: 1629–633.
- WIRKNER, C.S., PASS, G., 2002. The circulatory system in Chilopoda: functional morphology and phylogenetic aspect. *Acta Zoologica*, 83, 193–202.

Received November 19, 2015  
Accepted February 3, 2016

## **12. Publikace VII. – Nepublikovaný rukopis**

### **Centipedes, millipedes and terrestrial isopods as possible bioindicators of forest sites in the Moravian-Silesian Beskids (Czech Republic)**

**Kula Emanuel, Lazorík Martin**

<sup>a</sup>Faculty of Forestry and Wood Technology, Mendel University Brno, Zemědělská 3, Brno, Czech Republic

#### **Abstract**

In forest management, forest typology is often used in long-term planning. Its basic unit is forest site, which represents a relatively permanent biocoenosis with phytocoenological similarity. Some animal species respond to changes in the ecosystem faster than flora and therefore can be used as bioindicators of ecosystem development and stability.

In the network of 38 localities covering 12 forest site complexes (FSC), occurrence of millipede, centipede and terrestrial isopods was investigated (a method of pitfall traps, 14.851 ex., 42 species). In order to specify the environmental characteristics, data from 30 weather stations were used, detailed pedological research including soil chemistry and phytocoenological research were carried out. Obtained data were processed by MNDS, PCA and CCA analyses. The most significant factors were coverage by herbaceous vegetation and contents of Ca and Mg in soil. Distribution of the individual species in relation to different forest site complexes was determined by CCA analysis. All three studied groups of species, i.e. millipedes, centipedes and terrestrial isopods, were evaluated as significant for bioindication within the forest ecosystems. Centipedes and millipedes enabled us to associate each FSC with a specific species. Terrestrial isopods indicated well the localities with high groundwater level and the process of peat formation.

**Keywords:** centipede, millipede, terrestrial isopods, forest site complex, Moravian-Silesian Beskids Mts.

#### **1. Introduction**

Forest typology (Zlatník 1956, Plíva 1971) is based on recognition of autochthonous and changed groups of biocoenoses and their development stages including their environment, biocoenoses developmentally close to each other according to their phytocoenological similarity. The basis is knowledge of the undergrowth synusia (plant component) complemented with ecological (habitat) characteristics (Buček and Lacina 1999). Animals react sensitively to changes in development of ecologic factors in the ecosystem. For example, Carabidae (Hůrka et al. 1996), Staphylinidae (Boháč 1988, 1990, Boháč et al. 2006), Curculionidae (Strejček 2001, Stejskal 2006), Diptera (Frouz 1999, Povolný and Šustek 1983a, 1983b), Psocoptera (Holuša 2003), Thysanoptera (Pelikán 1996), Aranea (Buchar 1983) are purposefully used for bioindication in connection with the soil environment. Similarly, centipedes, millipedes and terrestrial isopods represent an important component of soil fauna suitable for evaluation of

biotope quality (Bilton 1996, Paoletti and Hassall 1999, Souty-Grosset et al. 2005, Tajovský 2001a, 2001b, Flasarová 2000, Tuf and Laška 2005, Tuf and Tufová 2008).

A general review of the species of centipedes, millipedes and terrestrial isopods occurring in the studied area of the Moravian-Silesian Beskids is presented in Kula et al. (2011). These species are closely tied to the soil environment by their vital signs. In case of centipedes, preference of food – prey (Collembola, Enchytraeidae), which was dependent on occurrence of fungi (Ferland et al. 2012) was observed. Abundance of terrestrial isopods increased on year-round irrigated areas (Morón-Ríos et al. 2010). In case of millipedes, there is a significant relationship between nutrients in soil and microbial activity, macro fauna facilitates mineralization of nutrients and release of accessible nutrients for plants (Lavelle et al. 1994, Vasconcelos et al. 2013). Humidity is not the only significant factor influencing density of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in a landscape. Slope inclination (Mudrick et al. 1994), different chemical properties of soil (Schaefer and Schauer mann 1990, Kula and Lazorík 2016), altitude (Ponge et al. 1997, Tajovský 1997, Sterzyńska et al. 2015) different types of forest (Kautz and Topp 1998, Scheu et al. 2003) and level of urbanization (Bogyó et al. 2015) also contribute to differences in their occurrence.

Our work is based on the classification of forest ecosystems developed by Plíva (1987) and modified for application by ÚHUL (2003), which used as a basis for forest management in the Czech Republic. The basic units of classification are forest sites, which are grouped into forest site complexes according to an altitude and tree species representation, soil type and composition of herbaceous cover (undergrowth synusia) (Viewegh et al. 2003, Viewegh 2004). Based on this classification, basic and long-term frameworks of forest management with respect to natural processes have been developed.

The objective of the study was to evaluate differences in composition of communities of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in individual forest site complexes and their potential usage. A classification unit – forest site complex – is characterized by climatic, pedologic and altitudinal conditions and by composition of plant community (Viewegh et al. 2003).

## **2. Material and methods**

### ***2.1. Study area and sites***

Permanent research plots (38) were established in forests of the Smrk and Kněhyně massifs along the mountain river Čeladenka in the Moravian-Silesian Beskids Mts. (1.160 km<sup>2</sup>) in the northeast part of the Czech Republic. The area is specific by homogenous medium rich geological subsoil of sandstone and slates of the external and the Magura flysch. The layer of weathered parent material is considerably thick. From the pedological perspective, the area is characterized by a trophic range from oligo-basic soils (Cryptopodzols and Podzols) to eu-mesobasic soils (Cambisol, Rankers) and with a hydric range from soils without hydromorphic influence to soils permanently affected by water (Organosols). The area is typical with high annual precipitation sum (>1,000 mm) that, in synergy with the above mentioned soil types, creates significantly different hydrological situation (the average outflow rate 20–30 m<sup>3</sup>·s<sup>-1</sup>). The climate is

characterized by the average annual precipitation of 690–934 mm, the mean annual temperature of 2.6 °C with the minimum in January (–6.1 °C) and the maximum in July (11.7 °C), the absolute temperature minimum (–30.9 °C) and the absolute temperature maximum (29.5 °C) (Lysá hora weather station, 1,323 m a. s. l.). Significantly inclined slopes (average 14–15°) are common. Coherent forest complexes cover up to 70% of the mountain area. Dominant tree species are Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karsten) covering 76% and European beech (*Fagus sylvatica* L.) covering 22% of the area; Silver fir (*Abies alba* Mill.) shows low representation of 1% and Sycamore maple (*Acer pseudoplatanus* L.), Silver birch (*Betula pendula* Roth) and European larch (*Larix decidua* Mill.) are interspersed.

## **2.2. Sampling of epigeic macrofauna**

In order to catch epigeic fauna the method of pitfall traps was used. At each research area, five 4,000 ml jars were placed (glass round-neck-shaped jars with the diameter of 90 mm and the active perimeter for trapping of 283 mm) containing 4% solution of formaldehyde. The whole pitfall trap was buried so that the top edge of the neck was level with the terrain and it was covered with a tin roof (200 × 200 mm) blocking dirt and rainfall. The pitfall traps were set up at the beginning of the vegetation period (1<sup>st</sup> May) linearly through the middle of the forest with ten meter spacing and subsequently checked in six-week intervals until the end of the vegetation period (30<sup>th</sup> October) in the years 200–2014. During each check-up, a mixed sample was created of all insects found in the five traps and preserved in 75% ethanol. In the laboratory, the sample was separated into systematic groups and the species were determined. In the years 2007 and 2008, Chilopoda, Diplopoda and terrestrial Isopoda were determined by Ing. Martin Lazorík with professional assistance of RNDr. Mgr. Ivan Hadrián Tuf, Ph.D. and Mgr. Jana Tufová, Ph.D. from the Palacky University in Olomouc. The rest of the samples (2009–2013) were determined by M. Lazorík with necessary consultations. Nomenclature of the determined species was modified according to Tuf, Tajovský (2016) and Tajovský, Tuf (2016).

## **2.3. Environmental data**

In order to determine the basic environmental variables used for characteristics of forest communities (Forest site complex – FSC), it was necessary to obtain climatic, pedological and phytocoenological data from the studied research areas. Climatic data are from automatic microclimatic stations MeteoUNI (30 pcs) with temperature sensors and soil moisture sensors VIRRIB. Weather stations were mounted on trees in the middle of the line of pitfall traps. Each station measured air temperature (2 m above ground), soil temperature in the A horizon and the B horizon and soil moisture in the A horizon as well as in the B horizon at 60 min intervals (Lazorík and Kula 2015).

The A horizon is the topmost mineral horizon, often referred to as the 'topsoil'. This layer generally contains enough partially decomposed (humified) organic matter to give the soil a colour darker than that of the lower horizons. The B horizons form below an A horizon and they have undergone sufficient changes during soil genesis, such that the properties of their original parent material are no longer discernible. The B horizon is



commonly referred to as the "subsoil". In humid regions, B horizons are the layers of maximum accumulation of materials such as silicate clays, iron (Fe) and aluminium (Al) oxides, and organic material.

Weather stations were in operation during the whole research period (4/2007 – 20/2015). The pedological research was carried out in the year 2010. A soil pit was excavated at each locality in order to determine the type of soil; at the same time, soil samples were collected from the individual horizons for laboratory analyses (Mehlich III). Complete phytocoenological research (species spectrum and coverage of undergrowth synusia) of all localities was performed in 2011.

Explanation of abbreviations: Abund – abundance, Year – year of sampling, Alti – altitude, Expo – exposition, Sl\_inc – slope incline, Skel – skeleton content, FSC – forest site complex, FVZ – forest vegetation zone, ToS – type of soil, Hum\_F – humus form, TEMP.Air – air temperature 2 m above ground, TEMP.Soil – soil temperature in the A horizon, Moist.Soil – soil moisture in the A horizon, pH/KCl – soil reaction determined in KCl solution, (eAl, eH, eCa, eMg, eK, eNa) – content of exchangeable elements in soil, Mn – content of manganese oxide in soil, C – carbon content, N – nitrogen content, C/N – ratio of carbon content and nitrogen content, cov\_tree – coverage of trees, cov\_herb – coverage of herbs, Vac.myrt – coverage of *Vaccinium myrtillus*, Cala.aru – coverage of *Calamagrostis arundinacea*, Dry.expa – coverage of *Dryopteris expansa*, Spruce – coverage of *Picea abies*, Beech – coverage of *Fagus sylvatica*.

#### **2.4. Characteristics of forest site complexes**

Due to the extensity and complexity of forest site complexes (FSC) characteristics, only the FSC occurring at the research localities on the territory of the Moravian-Silesian Beskids were described. Individual FSC are characterized by undergrowth synusia (herbaceous layer) and tree species representation (Viewegh et al. 2003). The total captured population was spread in 12 groups of forest site complexes. Further, we added possible threats to stability of the studied ecosystems, which may also influence the animals (Table 1).

Tab. 1: Characteristics of the selected forest site complexes

FSC	Name	Latin name	Natural tree species	Target tree species	Majör herbal species	Distribution	Factor threat
4S	Nutrient-medium Beech	<i>Fagetum mesotrophicum</i>	beech 80 %, silver	spruce 70 %, beech 20 %, larch 10 %, db+ admix., jd+admix.	<i>Galium rotundifolium</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Luzula luzuloides</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Dentaria bulbifera</i> , <i>Poa nemoralis</i> , <i>Epilobium montanum</i> , <i>Polytrichum fomosum</i> , <i>Viola reichenbachiana</i> .	Plains, slopes, ravines; on various rocks, often with weak clay overlays; higher uplands, highlands	insignificant
5S	Nutrient-medium Fir-Beech	<i>Abieto-Fagetum mesotrophicum</i>	silver fir 50 %, beech 50 %, sycamore maple+admix.	spruce 70 %, silver fir 10 %, beech 20 %, larch+admix.	<i>Athyrium filix femina</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Milium effusum</i> , <i>Avenella flexuosa</i> <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Polytrichum fomosum</i> , <i>Prenanthes purpurea</i> .	In upper parts as well as in bases of slopes, mostly fresh ravines, alternatively mountain-ridges; various sub-soil of poor rocks; area of highlands and lower mountain areas	Significantly by wind and snow (Norway spruce); medium by weed (impossibility of natural rejuvenation)
6S	Nutrient-medium Spruce-Beech	<i>Piceeto-Fagetum mesotrophicum</i>	spruce 30 %, beech 40 %, silver fir 30 %	spruce 70 %, silver fir 20 %, beech 10 %, larch+admix.	<i>Luzula luzuloides</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Luzula pilosa</i> , <i>Calamagrostis villosa</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Melica nutans</i> , <i>Plagiomnium affine</i> , <i>Hieracium murorum</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> .	Upper and lower parts of slopes; ridges and hollows; highlands and mountain areas; various sub-soils	Medium by weed, significantly by wind and snow
7S	Nutrient-medium Beech-Spruce	<i>Fageto-Piceetum mesotrophicum</i>	spruce 70 %, beech 20 %, silver fir 10 %, sycamore maple+admix.	spruce 80 %, silver fir 10 %, beech 10 %, sycamore maple+admix.	<i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Calamagrostis villosa</i> <i>Polytrichum fomosum</i> , <i>Avenella flexuosa</i> , <i>Dryopteris dilatata</i> <i>Senecio nemorensis</i> , <i>Festuca altissima</i> <i>Vaccinium myrtillus</i> , <i>Luzula sylvatica</i> , <i>Gentiana asclepiadea</i> , <i>Huperzia selago</i> .	Mostly on slopes, less on plains; in mountain areas, exceptionally also in the highest highlands; on various sub-soils	Medium by weed, significantly by wind and ice
4Y	Skeletal Beech	<i>Fagetum saxatile</i>	beech 60 %, sessile oak(stunted) 20 %, silver fir 10 %, (scots pine, silver birch)10 %	scots pine 70 %, beech 30 %, spruce + admix.	<i>Avenella flexuosa</i> , <i>Luzula luzuloides</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Mycelis muralis</i> , <i>Veronica officinalis</i> .	Over-pressed only exceptionally at uplands and at sunny slopes of highlands	Strongly by erosion, significantly by weed
5Y	Skeletal Fir-Beech	<i>Abieto-Fagetum saxatile</i>	beech 70 %, silver fir 20 %, silver birch 10 %, scots pine+admix., spruce+admix.	spruce 50 %, beech 30 %, silver fir 10 %, silver birch 10 %	<i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Luzula luzuloides</i> , <i>Avenella flexuosa</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Dicranum scoparium</i> , <i>Poa nemoralis</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>Polytrichum fomosum</i> , <i>Dryopteris dilatata</i> , <i>Rubus fruticosus</i> agg., <i>Vaccinium myrtillus</i> .	In highlands, foothills also in lower mountain locations on boulder, rubble slopes, rock rock lumps and on ridges	Strongly by erosion, medium by snow, mildly by soil degradation
5A	Stony-colluvial Sycamore-Beech	<i>Acereto-Fagetum lapidosum</i>	beech 50 %, silver fir 30 %, sycamore maple 20 %, smooth elm+admix., european ash+admix.	spruce 50 %, silver fir 10 %, beech 20 %, sycamore maple 10 %, smooth elm 10 %.	<i>Hedera helix</i> , <i>Poa nemoralis</i> , <i>Hordelymus europaeus</i> , <i>Rubus hirtus</i> , <i>Melica uniflora</i> , <i>Rubus idaeus</i> , <i>Mercurialis perennis</i> , <i>Senecio ovatus</i> , <i>Oxalis acetosella</i> , <i>Stachys sylvatica</i> , <i>Actea spicata</i> , <i>Symphytum tuberosum</i> , <i>Dentaria glandulosa</i> , <i>Urtica dioica</i> .	Alluvial levees of mountain areas (floods from spring snow melting and summer cloudbursts) and spring with flowing water	Strongly by erosion, significantly by weed
5L	Montane Ash-Alder	<i>Fraxinetum-Alnetum montanum</i>	speckled alder 80 %, spruce 20 %, sycamore maple+admix. (nižší polohy red alder+admix., european ash+)	speckled alder 80 %, spruce 20 %, silver fir+admix.	<i>Mentha longifolia</i> , <i>Petasites albus</i> , <i>Myosotis palustris</i> , <i>Stellaria nemorum</i> , <i>Ranunculus flammula</i> , <i>Aconitum variegatum</i> , <i>Ranunculus platanifolius</i> , <i>Circaea alpina</i> , <i>Ranunculus repens</i> , <i>Stachys sylvatica</i> .	In highlands and lower mountain locations; on rich and medium rich sub-soil; slopes, ridges, ravines	By periodic floods, erosion, strongly by snow, ice, weed
5F	Slope-stony Fir-Beech	<i>Abieto-Fagetum lapidosum mesotrophicum</i>	beech 60 %, silver fir 40 %, sycamore maple+admix., smooth elm+admix.	spruce 70 %, silver fir 10 %, beech 10 %, sycamore maple 10 %, smooth elm+admix.	<i>Impatiens noli-tangere</i> , <i>Carex sylvatica</i> <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Dentaria bulbifera</i> , <i>Dentaria glandulosa</i> , <i>Polygonatum verticillatum</i> , <i>Dryopteris carthusiana</i> , <i>Rubus hirtus</i> , <i>Dryopteris filix mas</i> , <i>Senecio ovatus</i>	Shadowy rocky slopes and ridges in areas of highlands; valley slopes and ravines in higher uplands	Slightly by wind (blowdowns), medium by snow (breaks) and weed, significantly by erosion
5B	Nutrient-rich Fir-Beech	<i>Abieto-Fagetum eutrophicum</i>	beech 60 %, silver fir 40 %, sycamore maple+admix., spruce+admix.	spruce 70 %, silver fir 10 %, beech 20 %, sycamore maple+admix.	<i>Petasites albus</i> , <i>Carex sylvatica</i> , <i>Rubus hirtus</i> , <i>Dentaria bulbifera</i> , <i>Sanicula europaea</i> , <i>Dentaria enneaphyllos</i> , <i>Senecio ovatus</i> , <i>Dryopteris filix mas</i> , <i>Senecio nemorensis</i> , <i>Festuca altissima</i> , <i>Solidago virgaurea</i> , <i>Galeobdolon luteum</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Galium odoratum</i> , <i>Vinca minor</i>	Highlands (in inversion locations and lower); basis of slopes and plains; overlays of clay on various sub-soils	Strongly by weed, snow (blowdowns and breaks), wind blowdowns (disproportion of crown and roots)
6O	Nutrient-medium Spruce-Fir	<i>Piceeto-Abietum variohumidum mesotrophicum</i>	beech 20 %, silver fir 50 %, spruce 30 %	spruce 70 %, silver fir 30 %, beech+admix.	<i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Homogyne alpina</i> , <i>Vigna brizoides</i> , <i>Maianthemum bifolium</i> , <i>Deschampsia caespitosa</i> , <i>Mycelis muralis</i> , <i>Dryopteris dilatata</i> , <i>Pleurozium schreberi</i> , <i>Soldanella montana</i> , <i>Vaccinium myrtillus</i> .	From highlands to foothills and mountain areas; on slopes and plains with various (most often) rich sub-soils	Strongly by wind, significantly by snow, waterlogging, grassy weed
6O/R	Nutrient-medium Peat Spruce	<i>Piceetum turfosum mesotrophicum</i>	spruce 100 %, silver fir+admix., alder+admix.	spruce 100 %, alder(fir)+admix.	<i>Impatiens noli tangere</i> , <i>Calamagrostis villosa</i> , <i>Luzula pilosa</i> , <i>Caltha palustris</i> <i>Luzula sylvatica</i> , <i>Vigna remota</i> <i>Lycopodium annotinum</i> , <i>Circaea alpina</i> , <i>Dicranum scoparium</i> <i>Equisetum sylvaticum</i>	In mountains and highlands (700 – 1150 m above the sea level) in flat ravines and lowlands, on spring slopes and slope breaks	Strongly by waterlogging, wind, medium to strongly by weed, ice, medium by snow

## **2.5. Statistical analysis**

For the purpose of statistical processing, data obtained by field research were input into a database in a matrix shape of independent variables (environmental data) and a matrix of dependent variables (representation of captured species). Firstly, basic data were tested for statistical processing, mean values of variance and outliers were determined. Considering the high number of environmental factors, the objective was to determine those factors that influence the dependent variables with sufficient power (weight). This was used for decision about significance of environmental factors in the follow-up analyses. Non-metric multidimensional scaling (NMDS) according to NCSS 10 Trial 7 day Version software was used as a basic statistical analysis. Basic trends and gradients, along which the determinative variability is concentrated, were searched by the NMDS analysis (Haruštiaková et al. 2012). A number of ordination axes was determined, explaining at least 70% of the variability of environmental variables. The minimal stress value in NMDS and also the minimal changes of stress between the relationships were set to 0.00001. Only the first three axes (dimensions) were used. Subsequently, using the principal component analysis (PCA), a correlation coefficient matrix of important environmental factors was generated.

During testing of influence of two sets of variables, data in the matrix of independent environmental variables (e.g. cov\_herb, EMG, ECA, FSC, Cala.aru, Skel, Sl\_inc, FVZ, Expo) and in the matrix of dependent variables are confronted. The canonical correspondence analysis (CCA) was applied, which uses multidimensional regression in order to determine the linear combination of variables, which best explains inertia of the ordination score obtained from dependent variables. Power of a permutation test was used in order to test hypotheses in CCA. The statistics itself was realized by the software CANOCO for Windows 4.5, which offers an option of test power analysis using the Monte-Carlo permutation test with 999 permutations (Lepš and Šmilauer, 2003). The function “forward selection” was used in order to test power of the test in individual environmental variables, where the first eigenvalue is compared with corresponding statistics obtained from random data permutations. The results of CCA is an ordination diagram, in which species as well as samples are represented by points.

The final objective of the analysis was to determine the variance of the trapped species according to the forest site complex in which they were found. Since the factor of the forest site complex was classified as significant by the previously applied methods of multidimensional comparison, single-factor ANOVA was used for the stated hypothesis about inequality of variance of individual measured localities in the software STATISTICA 10.0. Considering statistically significant variance, multiple comparison by the Tuckey HSD test of homogenous groups was carried out and subsequently also comparison of the level of significance. The result was a comparison of the variability of variance in the individual FSC and determination of the statistically significant FSC.

## **2.6. Indicator value**

In order to determine indicator values for individual species of centipedes, millipedes and terrestrial isopods, the method IndVal (*Indicator value*) according to Dufrene et Legendre (1997) was used. This method is based on combination of relative abundance

of individual species with relative frequencies of occurrence at different sites. The index reaches its maximum (100%) when all individuals of a given species occur at all sites with a specific forest site complex. The indicator value is calculated as a combination of specificity  $A_{ij}$  with the level of fidelity  $B_{ij}$ .

$$\text{IndVal}_{ij} = A_{ij} \times B_{ij} \times 100$$

$$A_{ij} = N_{\text{individuals}_{ij}} / N_{\text{individuals}_i}$$

where  $N_{\text{individuals}_{ij}}$  is an average number of individuals of a species  $i$  from all areas of FSC  $j$ , while  $N_{\text{individuals}_i}$  is a sum of average quantities of individuals of the species  $i$  at all FSC.

$$B_{ij} = N_{\text{sites}_{ij}} / N_{\text{sites}_j}$$

where  $N_{\text{sites}_{ij}}$  is a number of areas of FSC  $j$ , in which a species is present, while  $N_{\text{sites}_j}$  is the total number of areas of FSC.

### 3. Results

#### 3.1. Importance of environmental variables

In order to explain similarity of environmental variables, the non-metric multidimensional scaling (NMDS) was used. The aim of the analysis was to find such meaningful dimensions that would allow us to explain similarity between the objects. Gradients enabling to delimit arrangement of a major part of the environmental variables were found. The analysis gives evidence of the fact that environmental variables are not arranged completely randomly but they are structured in space according to certain gradients with various levels of significance (Cumulative percentage). Many factors concurrently influence the arrangement of environmental factors. Therefore, further gradients are not results of definite influence of separate variables but of whole groups of variables, often acting in synergy at random. 74.26% of variability arrangement is ordered according to eight axes (Table 2). Generally, objects cannot be ordered so that in the reduced area, the distances between them would be the same as the summed values of distance (dissimilarity). Therefore a rate is introduced, which, as a simple number, expresses how well explained is the value of objects in the reduced area. The rate is called “stress function” and in our dimensions it is set by the span 0.44–0.12 (Table 3). The result of the analysis was also comparison of dissimilarity of the studied environmental factors. The highest similarity exists between TEMP\_Air and TEMP\_Soil ( $f = 0.111$ ) and the least similar were Spruce and Beech ( $f = 1.937$ ), which is well visible on the spatial arrangement (Table 4).



It is possible to explain distribution of environmental variables in a reduced area only to some extent. Therefore, three gradient axes were selected, by which the environmental variables are defined. Axis 1 (Dim 1) explains 17.71% of variability. We can characterize it as a gradient of spruce forests in higher altitudes with occurrence of *Vaccinium myrtillus*, with higher content of aluminium oxide and higher herbaceous coverage. The value of the gradient decreases towards beech forests with dense canopy of tree layer with occurrence of *Luzula luzuloides* and *Calamagrostis arundinacea*. Generally, it is possible to state that Dim 1 represents a gradient of phytocoenological composition of a forest stand and herbaceous layer (Fig. 1).

Axis 2 (Dim 2) appears to be a gradient of the soil environment where height of surface humus is important, which is linked to the occurrence of *Sphagnum sp.* and the soil type Histosols. 13.36% of variability is explained by this gradient. Soil moisture with higher content of accessible Ca and with more alkaline pH/KCL is also important. In contrast to that, the gradient decreases at soils with higher content of skeleton and with worse temperature and moisture regime (Fig. 2). Axis 3 (Dim 3) explains a gradient of soil nutrition, where the main indicator is the content of carbon and nitrogen in soil. The gradient increases from lower activity of soil biota to higher activity. This axis explains 12.15% of variables, giving the activity of soil biota important position within the forest ecosystem. The assumption is significant position in the food chain, where microflora community is a basic element, from which the whole coenosis of the ecosystem is derived.



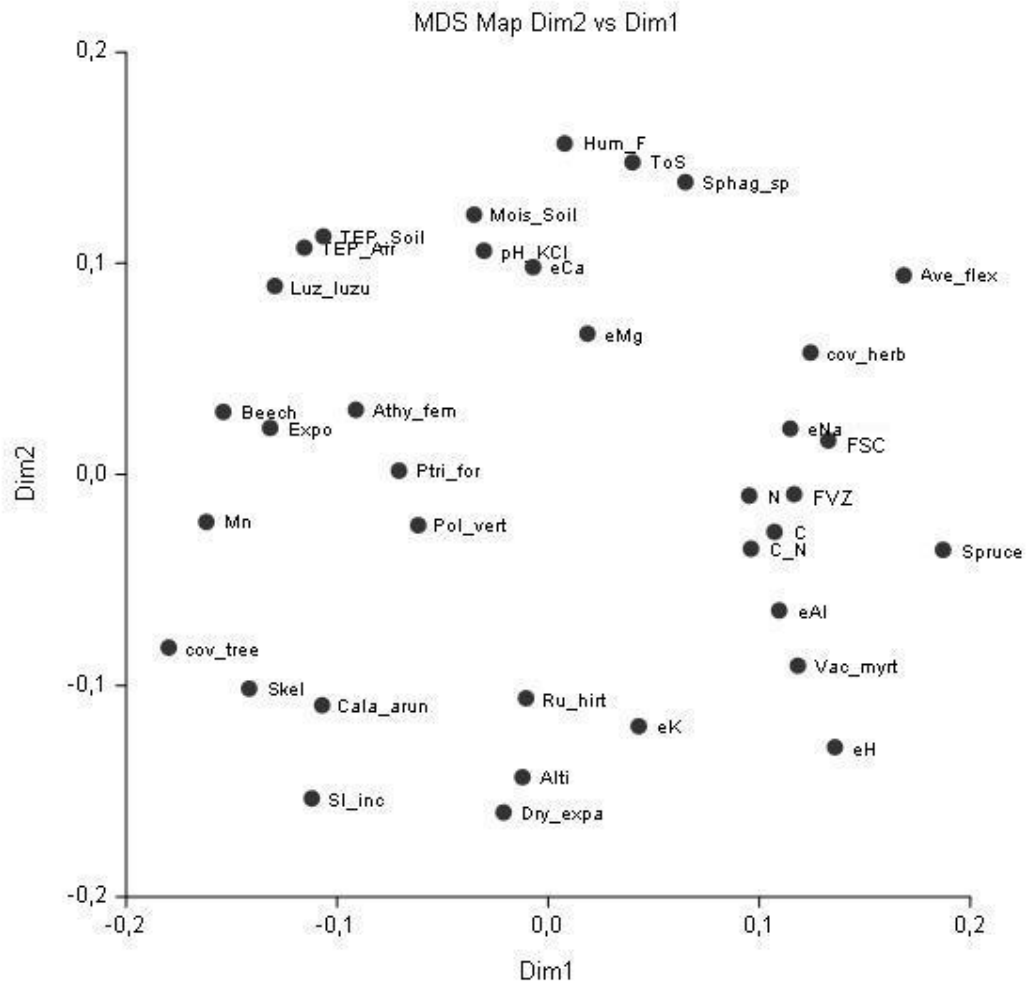


Fig. 1: Ordination diagram of environmental variables - comparison of Dim1 vs. Dim2, where Dim1 represent the dimension of tree species (transition from beech to spruce) and Dim2 quality of soil.

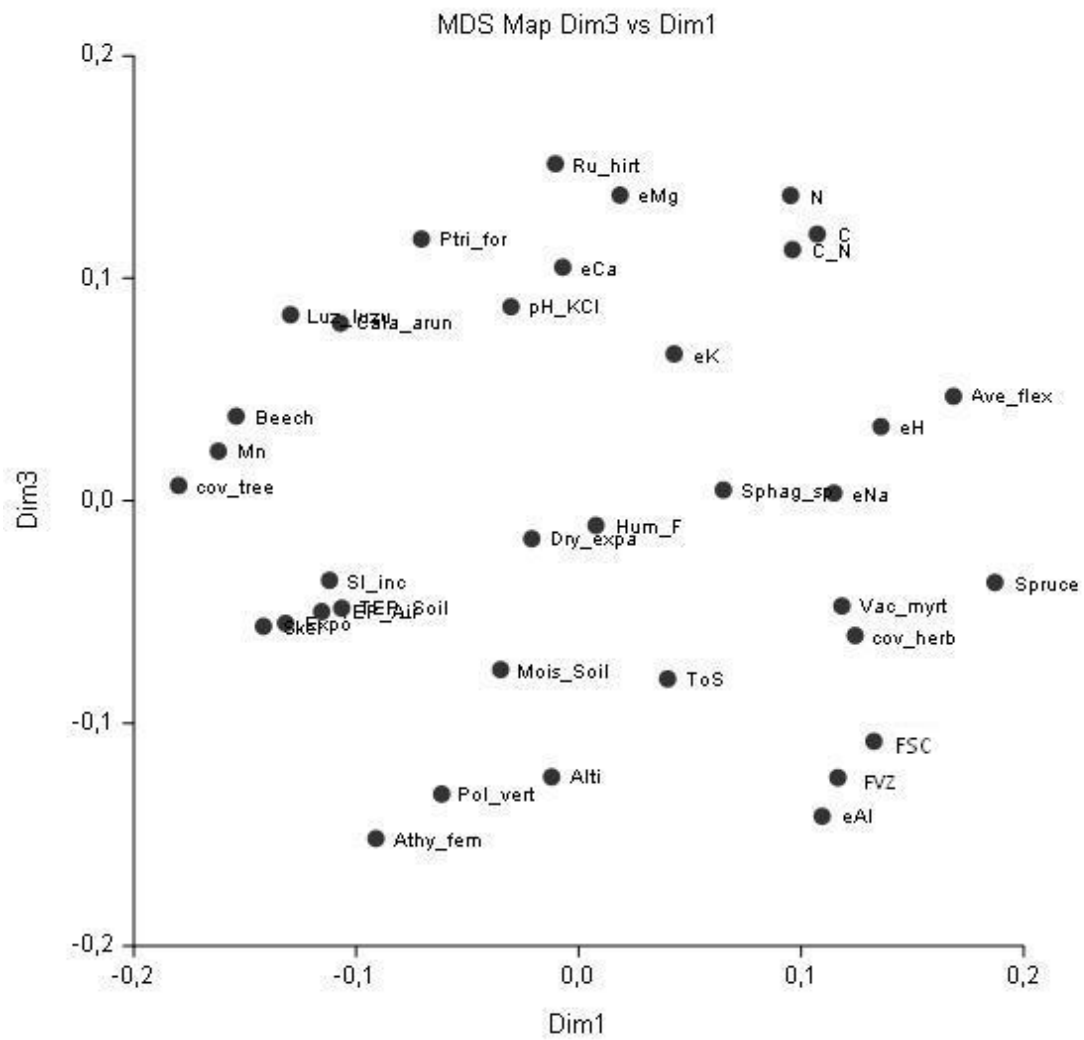


Fig. 2: Ordination diagram explaining the change of the forest site complex (Dim1), soil nutrition and chemistry of soil (Dim3).

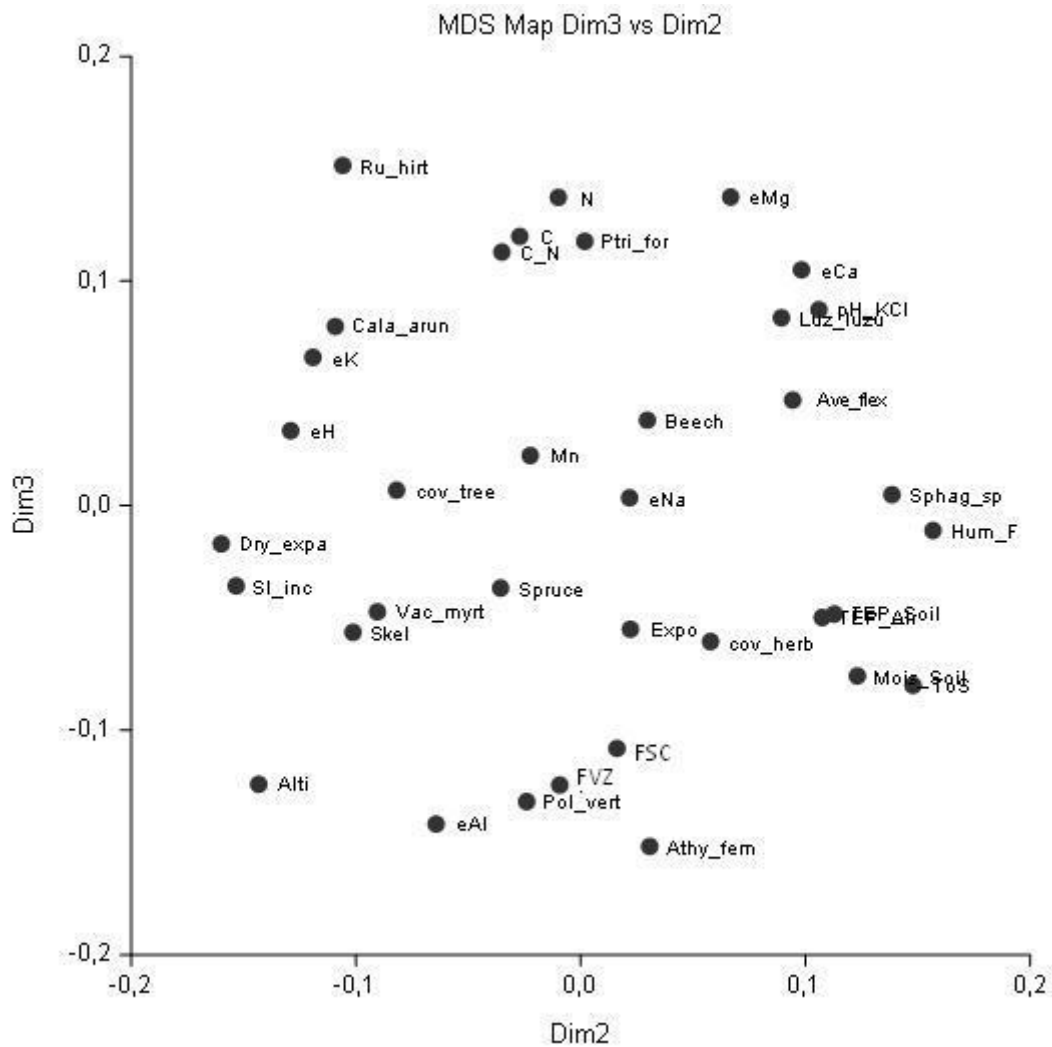


Fig. 3: Ordination diagram of the relationship between soil quality (Dim2) and soil nutrition (Dim3).

### 3.2. Selection of main components of the final model

Based on the information obtained by the NMDS analysis, relationships between the environmental characteristics and the occurrence of millipedes, centipedes and terrestrial isopods were tested by the principal component analysis (PCA). All of the monitored environmental characteristics in which we assume a link to size of population and their mutual interaction were tested. The final order of correlation coefficients was determined based on the first two axes (SPEC AXIS 1, SPEC AXIS 2), which explain the total of 81.01% of all variables (AXIS1 = 55.15%, AXIS2 = 25.86%) from the total eigenvalue 0.932 (Table 5). From the set of environmental characteristics, 9 main components were chosen (Expo., SI\_inc., Skel., FSC, FVZ, ECA, EMG, cov\_herb, Cala.aru), which were used for further evaluation.

Tab. 5: Correlation matrix of selected environmental variables tested by the principal component analysis PCA.

\*\*\*\* Correlation matrix \*\*\*\*

	SPEC AX1	SPEC AX2	SPEC AX3	SPEC AX4	
Abund	-0.4796	0.6950	-0.0543	0.0105	
Year	0.3487	-0.3427	0.1707	0.4878	
Alti	-0.3870	-0.0737	0.1047	0.0290	
Expo	0.6762	0.2597	0.1064	-0.0027	
Sl_inc	0.5023	0.2708	0.3078	0.0238	
Skel	0.4890	0.1124	0.3576	-0.0124	
FSC	-0.6096	-0.2161	-0.2352	0.0203	
FVZ	-0.3646	-0.0099	-0.0145	0.0408	
ToS	-0.1902	-0.1994	0.4321	-0.0127	
Hum_F	-0.1617	-0.2352	0.3063	-0.0170	
TEMP.Air	-0.2687	-0.3701	0.0762	-0.0428	
TEMP.Soil	-0.2664	-0.3696	0.0859	-0.0432	
Moist.Soil	-0.2718	-0.3417	0.1287	-0.0268	
pH/KCl	0.3960	0.1104	0.3891	-0.0292	
eAl	-0.4147	-0.1197	-0.1851	0.0266	
eH	-0.4148	-0.0291	-0.3658	0.0171	
eCa	0.4552	0.1594	0.3963	-0.0229	
eMg	0.4597	0.1432	0.3647	-0.0257	
eK	0.2716	0.0320	0.0447	-0.0286	
eNa	-0.1852	-0.0721	0.2927	-0.0273	
Mn	0.1345	-0.0189	0.4870	-0.0341	
C	0.0606	0.1128	-0.1993	-0.0088	
N	-0.0250	0.0472	-0.1757	-0.0146	
C/N	0.2329	0.1597	-0.1121	-0.0170	
cov_tree	0.0273	-0.0349	0.4140	-0.0056	
cov_herb	0.5477	0.2694	-0.1490	0.0009	
Vac.myrt	-0.3252	0.0756	-0.0998	0.0271	
Cala.aru	0.6286	0.3095	-0.0850	0.0035	
Dry.expa	-0.1360	-0.0881	0.0815	0.0244	
Spruce	-0.3646	-0.0657	-0.3574	0.0279	
Beech	0.1396	-0.0717	0.3529	-0.0360	
	axis 1	axis 2	axis 3	axis 4	Total
Eigenvalues	0,514	0,241	0,103	0,074	0,932
% Variables	55,15	25,86	11,06	7,93	100

### 3.3. Effect of environmental gradient on millipedes, centipedes a terrestrial isopods

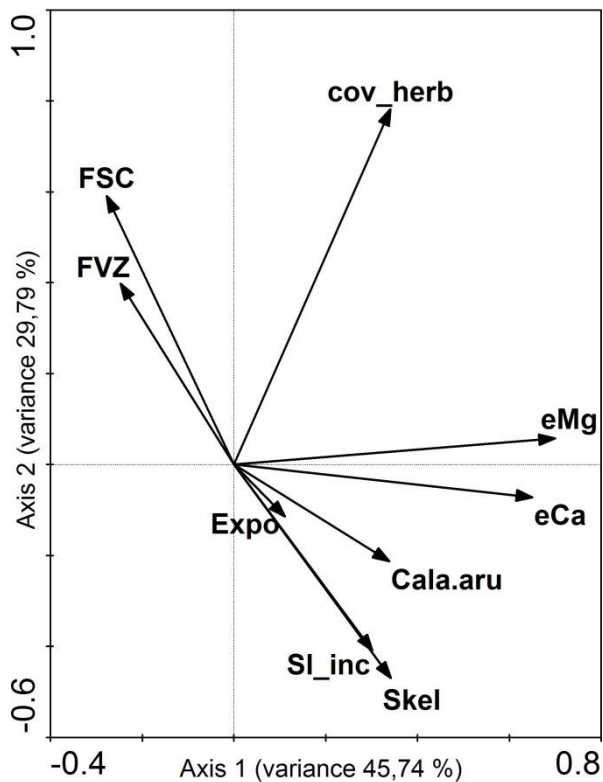
Indirect coordination of types of input data evaluated by the correspondence analysis generated an ordination diagram with data points representing occurrence of species allocated in the whole spectrum of forest site complexes. It indicates that there is a

significant presumption of different species composition in individual forest site complexes (Fig. 4). First two ordination axes explained 63.28% of the final species data. Tab. 6: Environmental variables millipedes, centipedes and terrestrial isopods: percentages of explained variability, significance and inclusion in manual forward selection (FW) CCA ordination.

Variable	Variability explained (%)	F	P	FW selection
cov_herb	17,03	7,614	0,002	+
eMg	16,73	7,478	0,002	+
eCa	15,37	6,871	0,002	+
FSC	10,86	4,855	0,002	+
Cala.aru	10,23	4,573	0,002	+
Skel	9,47	4,232	0,002	+
Sl_inc	8,32	3,718	0,002	+
FVZ	8,14	3,640	0,002	+
Expo	3,85	1,719	0,010	

As a result of the direct gradient analysis of environmental variables data by the Canonical Correspondence Analysis, the first canonical axis was formed explaining 45.74% of the total variability. This high share on explanation was strongly statistically significant ( $F = 5.326$ ,  $p = 0.001$ ). The first canonical axis was well correlated with environmental data ( $r = 0.561$ ), especially values of variables such as herbaceous coverage, content of ECA, EMG, but above all with the forest site complex variable. Environmental variables significantly involved in the structure of animal communities were determined by the “forward selection” where the most important variable was herbaceous coverage, content of calcium and magnesium and a gradient of forest site complex (Tab. 6).

Fig. 4: CCA ordination of localities and environmental variables tested on centipedes community.



### 3.4. Distribution of millipedes, centipedes and terrestrial isopods in forest site complexes

The total captured population was spread in 12 groups of forest site complexes. Based on the previous analyses it was demonstrated that the FSC factor is sufficiently statistically significant. Thus the objective was to determine the potential of the individual species to characterize individual FSC. ANOVA was used to determine the variance of individual species of the centipede group in the specific FSC. Statistically significant variance was confirmed for *Lithobius erythrocephalus* ( $F = 1.83$ ;  $p = 0.04$ ), for which the forest site complex 4S (Nutrient-medium Beech) is typical. Another indicator species is *Lithodius forficatus*, which demonstrated significant variance not only for FSC 6S (Nutrient-medium Spruce-Beech), but the results of multiple comparison link it also to 4S (Nutrient-medium Beech) and 5S (Nutrient-medium Fir-Beech), forming a relatively homogenous group of multiple comparison. Also the species *Lithobius mutabilis* occurred more frequently at localities with the forest site complex 6S (Nutrient-medium Spruce-Beech) (Tab. 7). As for the representatives of millipedes, *Glomerata connexa* was significant in FSC 5B (Nutrient-rich Fir-Beech) and *Polydesmus complanatus* in FSC 7S (Nutrient-medium Beech-Spruce). From the terrestrial isopods, statistically significant share of *Protracheoniscus politus* was found in 5Y (Skeletal Fir-Beech) and in 5A (Stony-colluvial Sycamore-Beech).



Tab. 7: ANOVA significance variances of species abundance in relation to forest site complex with multiple comparison.

Species	Number	One-way ANOVA			Tukey HSD	
		variance	F	p	factor FSC	p
<b>Chilpoda</b>						
<i>Cryptops parisi</i> Brölemann, 1920	61	0.100	0.739	0.640		
<i>Geophilus flavus</i> (DeGeer, 1778)	36	0.087	0.419	0.897		
<i>Lithobius austriacus</i> Verhoeff, 1937	128	17.096	1.291	0.288		
<i>Lithobius borealis</i> Meinert, 1868	10	0.321	1.285	0.420		
<i>Lithobius cyrtopus</i> Latzel, 1880	850	3.817	1.622	0.089		
<i>Lithobius erythrocephalus</i> C. L. Koch, 1847	<b>2088</b>	<b>13.897</b>	<b>1.839</b>	<b>0.044</b>	<b>4S</b>	<b>0.04137</b>
<i>Lithobius forficatus</i> Linnaeus, 1758	<b>4428</b>	<b>206.52</b>	<b>17.332</b>	<b>0.000</b>	<b>6S</b>	<b>0.00001</b>
<i>Lithobius microps</i> Meinert, 1868	191	1.038	1.083	0.382		
<i>Lithobius mutabilis</i> L. Koch, 1862	<b>3996</b>	<b>50.162</b>	<b>3.470</b>	<b>0.000</b>	<b>6S</b>	<b>0.02531</b>
<i>Lithobius nodulipes</i> Latzel, 1880	176	1.140	1.539	0.142		
<i>Lithobius pelidnus</i> Haase, 1880	31	0.246	0.640	0.745		
<i>Lithobius tenebrosus</i> Meinert, 1872	<b>57</b>	<b>5.438</b>	<b>3.674</b>	<b>0.005</b>	<b>5S</b>	<b>0.01445</b>
<i>Strigamia acuminata</i> (Leach, 1815)	196	0.707	1.240	0.270		
<b>Diplpoda</b>						
<i>Brachydesmus superus</i> Latzel, 1884	11	0.039	0.318	0.856		
<i>Brachyiulus bagnalli</i> (Curtis, 1845)	11	0.139	0.822	0.473		
<i>Glomeris connexa</i> C. L. Koch, 1847	<b>908</b>	<b>68.488</b>	<b>5.776</b>	<b>0.000</b>	<b>6S</b>	<b>0.00002</b>
<i>Glomeris hexasticha</i> Brandt, 1833	54	6.377	0.602	0.666		
<i>Julus scandinavus</i> Latzel, 1884	81	0.225	1.241	0.286		
<i>Leptoiulus trilobatus</i> (Verhoeff, 1894)	403	3.873	1.591	0.103		
<i>Polydesmus complanatus</i> (Linnaeus, 1761)	<b>472</b>	<b>2.397</b>	<b>2.920</b>	<b>0.001</b>	<b>5B</b>	<b>0.00123</b>
<i>Polyzonium germanicum</i> Brandt, 1837	13	0.151	0.909	0.440		
<b>Isopoda</b>						
<i>Hyloniscus riparius</i> (C. Koch, 1838)	199	104.97	0.922	0.492		
<i>Ligidium hypnorum</i> (Cuvier, 1792)	51	47.066	0.674	0.603		
<i>Protracheoniscus politus</i> (C. Koch, 1841)	<b>1258</b>	<b>175.13</b>	<b>4.259</b>	<b>0.000</b>	<b>5Y</b>	<b>0.00774</b>
<i>Trachelipus ratzeburgii</i> (Brandt, 1833)	205	12.046	1.515	0.166		

This method ignores total variability of population and focuses only on the size of variance, which highlights the importance of the mean value only in case that there is a sufficient number of individuals of the same species occurring at the same locality. Therefore, it was necessary to carry out an analysis based on multiple regression, which reveals trends in data. The matrix of independent variables X (forest site complex) and the matrix of dependent variables Y (representation of species in samples) were subject to the canonical correspondence analysis CCA. For better readability, the results were divided into three ordination diagrams according to the individual groups of species. In the group of millipedes, 48.96% of variability was explained by the first ordination axis and 29.69% by the second ordination axis. We can interpret the result through the first canonical axis as a gradient from 6S (Nutrient-medium Spruce-Beech) / $r = -0.275$ / up to 5Y (Skeletal Fir-Beech) / $r = 0.303$ /. Gradient of the second canonical axis is the best characterized by the forest site complex 5A (Stony-colluvial Sycamore-Beech) / $r = -0.171$ / up to 6O (Nutrient-medium Spruce-Fir). Compared to that, species *Glomerata connexa* and *Brachyiulus bagnalli* had increased occurrence in localities with the forest site complex 5A (Stony-colluvial Sycamore-Beech) and 5B (Nutrient-rich Fir-Beech).

In the centipede group, 40% of the variability was explained by the first canonical axis and 23.53% by the second canonical axis. The total gradient is identical with the group of millipedes. Representation of the individual species in the ordination diagram implies that the population is evenly distributed over all localities. Species with high abundance *Lithobius forficatus*, *Lithobius erythrocephalus*, *Lithobius mutabilis* and *Lithobius cyrtopus* occur close to the vector centre which is caused by their frequent occurrence. Each species is characterized by linearity with different forest site complexes, which is a premise of their possible bioindication usage in specific conditions. Significant is also the species *Lithobius nodulipes*, inclining by its occurrence to 5A (Stony-colluvial Sycamore-Beech) found mostly in mountain ravines and near watercourses. *Lithobius austriacus* confirms occurrence on strongly bouldery soils 5Y (Skeletal Fir-Beech). For evaluation of the group of terrestrial isopods, the CCA method was also used, resulting in the diagram explaining 61.70% of variability by the first axis and 35.26% of variability by the second axis, which confirms the significant weight of the test. The most abundant species *Protracheoniscus politus* occurred most often in the forest site complex 7S (Nutrient-medium Beech-Spruce). These are the most elevated localities with good hydric regime and medium rich soil nutrition. Other significant species such as *Ligidium hypnorum* and *Hyloniscus riparius* were concentrated in the localities with the forest site complex 6O/R (Nutrient-medium Peat Spruce), which is permanently affected by water (Fig. 5).

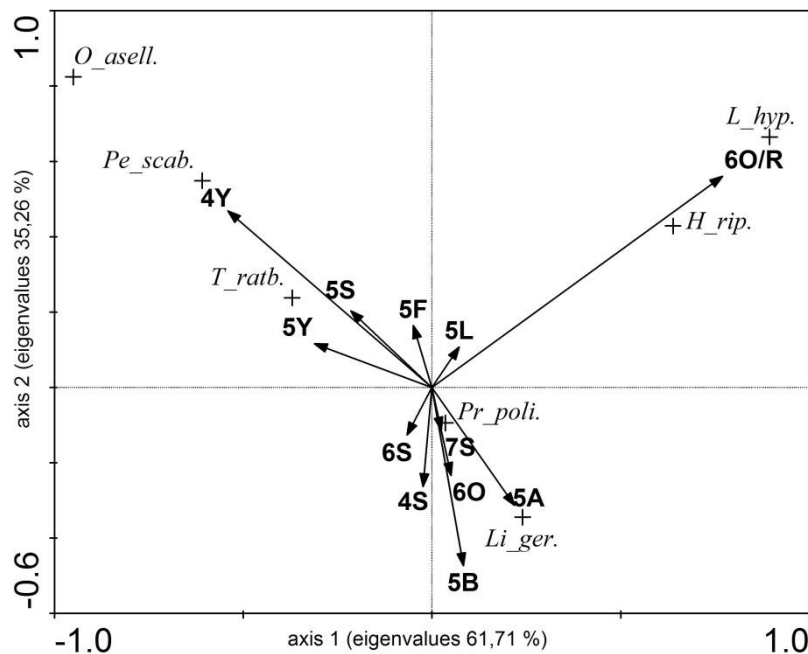


Fig. 5: CCA ordination of significance of terrestrial isopods in relation to occurrence in FSC.

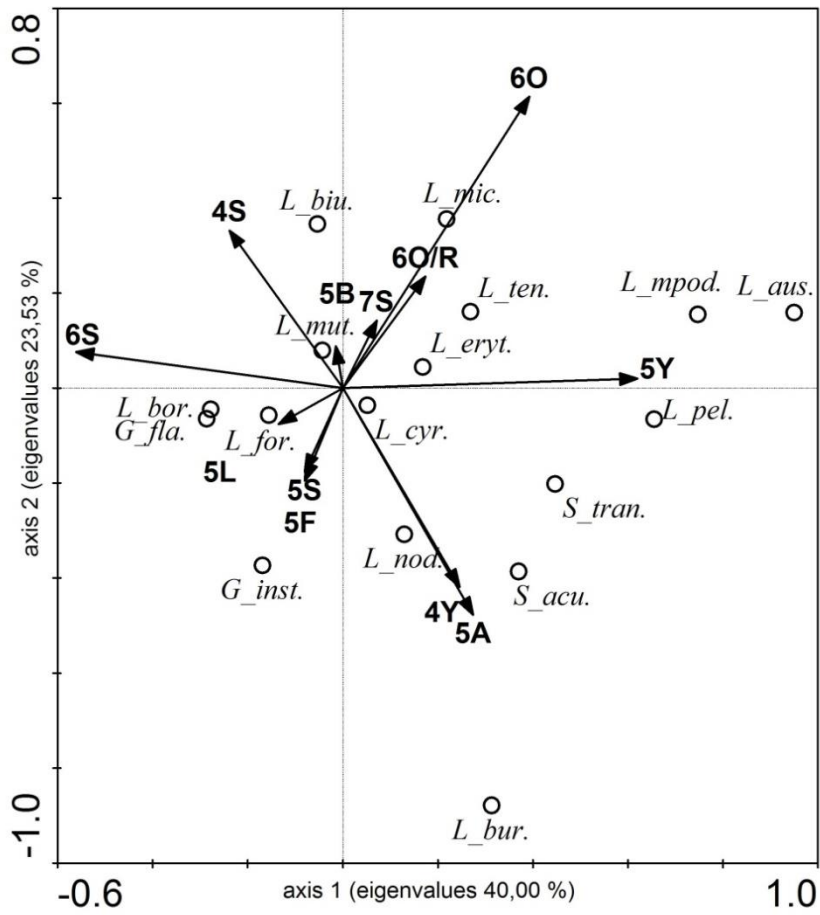


Fig. 6: CCA ordination of significance of centipedes in relation to occurrence in FSC.

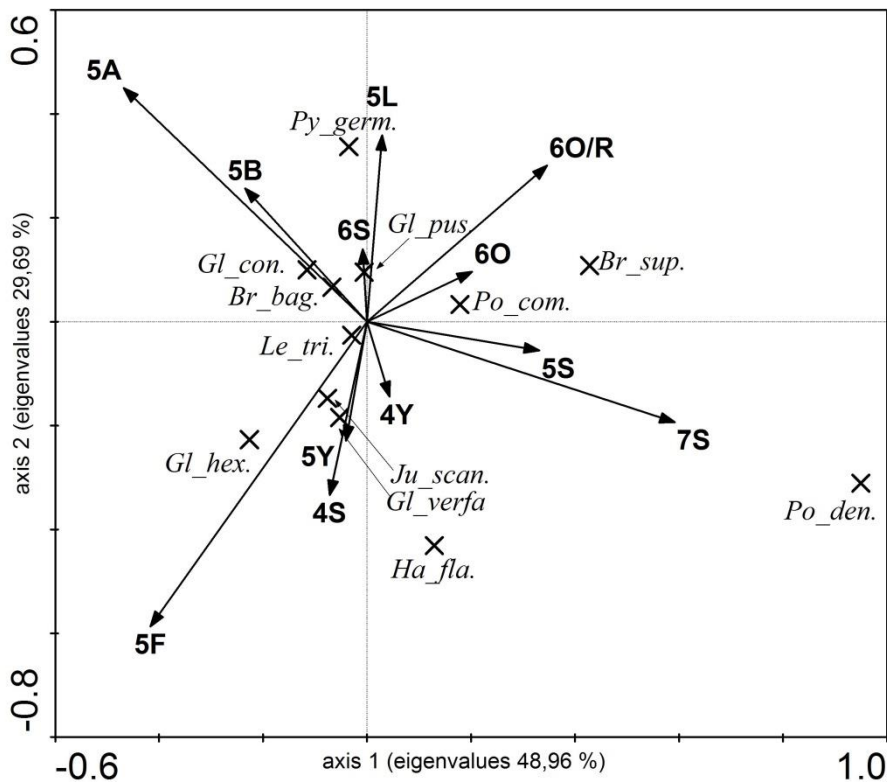


Fig. 7: CCA ordination of significance of millipedes in relation to occurrence in FSC.

### 3.5 Indicator value

Considering the previous method based on species dominance it was necessary to extend knowledge of the species occurring frequently but bound to a specific biotope by their occurrence. Therefore, the method IndVal was used, which evaluates the overall representation of a species in biotopes. The basic criterion for selection of a bioindicating species is its sufficiently frequent occurrence with a rather rare representation in the given biotope. The most significant bioindicating species was *Lithobius nodulipes* in the biotope FSC 5L (Montane Ash-Alder). This species was distributed over ten biotopes with the total number of 176 ex., but with the most significant indicating value in 5L (Tab. 8). Another significant species was *Lithobius pelidnus* with the indicating value in the biotope FSC 5Y (Skeletal Fir-Beech).

Tab. 8: Indicating value of different species with different forest site complex. Percentage of the indicator values for each species and forest site complex. Ecolog. class. – ecological classification for species (Tuf et Tufová, 2008).

Species	ecolog. class.	Forest site complex											
		4S	4Y	5A	5B	5F	5L	5S	5Y	6O	6O/R	6S	7S
<b>Chilpoda</b>													
<i>Cryptops parisi</i> Brölemann, 1920	A	9,2		0,8	6,4	7,7	10,3	19,0				15,2	1,7
<i>Geophilus flavus</i> (De Geer, 1778)	E	1,1		9,8	2,4	12,2	<b>29,3</b>	4,3		2,4		9,8	4,9
<i>Geophilus alpinus</i> Meinert, 1870	A							<b>16,7</b>					
<i>Lithobius austriacus</i> Verhoeff, 1937	A				4,3			3,1	<b>23,8</b>	0,6	2,5	0,1	
<i>Lithobius biunguiculatus</i> Loksa, 1947	R										<b>37,5</b>	4,2	
<i>Lithobius borealis</i> Meinert, 1868	A	8,0			2,3		18,2	5,0					
<i>Lithobius burzenlandicus</i> Verhoeff, 1934	R		<b>22,2</b>					5,6					
<i>Lithobius cyrtopus</i> Latzel, 1880	R	8,8	5,4	8,0	5,0	13,1	9,5	7,2	11,3	3,3	2,1	10,8	<b>15,4</b>
<i>Lithobius erythrocephalus</i> C. L. Koch, 1847	E	11,9	7,6	6,9	7,2	10,3	4,5	9,0	15,0	7,9	2,5	8,7	8,6
<i>Lithobius forficatus</i> Linnaeus, 1758	E	13,5	5,6	5,4	7,9	11,0	3,6	14,4	4,9	0,5	1,2	<b>24,9</b>	7,0
<i>Lithobius micropodus</i> (Matic, 1980)	A	6,0						1,5	<b>24,3</b>				
<i>Lithobius microps</i> Meinert, 1868	E	10,0	4,7	2,8	7,1	6,3	7,9	5,1	5,3	<b>18,9</b>	6,3	5,5	12,6
<i>Lithobius mutabilis</i> L. Koch, 1862	E	10,1	1,5	8,2	14,9	8,5	5,0	10,7	5,8	7,7	4,2	<b>15,1</b>	8,2
<i>Lithobius nodulipes</i> Latzel, 1880	R		8,5	14,2	2,8	17,5	<b>29,9</b>	3,4	6,8	1,7	1,7	4,5	
<i>Lithobius pelidnus</i> Haase, 1880	R	1,8	8,4	4,7	0,5		12,6	0,2	<b>28,0</b>		6,3	0,9	6,3
<i>Lithobius piceus</i> L. Koch, 1862	A									50,0			
<i>Lithobius tenebrosus</i> Meinert, 1872	A	4,9		2,8	2,1	5,2	8,3	4,0	14,7	1,4	4,2	0,9	<b>24,9</b>
<i>Strigamia acuminata</i> (Leach, 1815)	E	0,7	19,3	<b>20,4</b>	12,9	4,8		10,7	10,2	1,6	2,0	1,6	8,0
<i>Strigamia transsilvanica</i> (Verhoeff, 1928)	A					4,0	<b>15,9</b>	1,8	14,0				
<b>Diplpoda</b>													
<i>Brachydesmus superus</i> Latzel, 1884	E						6,8	9,1			13,7	1,5	13,7
<i>Brachyiulus bagnalli</i> (Curtis, 1845)	A				6,8				8,0			<b>48,5</b>	
<i>Glomeris connexa</i> C. L. Koch, 1847	A	3,9	2,7	22,1	14,4	6,7	1,7	6,3	6,4	1,4	1,1	<b>23,1</b>	
<i>Glomeris hexasticha</i> Brandt, 1833	A	1,7			2,9	14,2			2,6			9,1	
<i>Glomeris klugii</i> Brandt, 1833	A	22,2										5,6	
<i>Glomeris pustulata</i> Latreille, 1804	A											16,7	
<i>Haasea flavescens</i> (Latzrl, 1884)	R	<b>29,3</b>											6,0
<i>Julus scandinavicus</i> Latzel, 1884	E	15,6	8,3	0,5	1,0	16,6	2,4	3,7	8,3	2,1	2,1	14,4	
<i>Leptoiulus trilobatus</i> (Verfoeff, 1894)	A	4,2	7,3	11,5	10,0	13,2	0,9	9,7	8,8	3,2	0,9	16,1	13,2
<i>Polydesmus complanatus</i> (Linnaeus, 1761)	E	4,8	8,6	0,4	5,3	1,3	9,5	9,3	7,0	7,6	7,9	13,9	<b>23,7</b>
<i>Polydesmus denticulatus</i> C. L. Koch, 1847	E												50,0
<i>Polyzonium germanicum</i> Brandt, 1837	A			10,0							15,0	<b>20,0</b>	
<b>Isopoda</b>													
<i>Hyloniscus riparius</i> C. L. Koch, 1844	E			4,1	0,1	0,6	1,1		0,5		<b>43,4</b>	0,1	
<i>Ligidium germanicum</i> Verhoeff, 1901	R			<b>33,3</b>									
<i>Ligidium hypnorum</i> (Cuvier, 1792)	E	0,4				0,5	2,0				<b>46,3</b>		
<i>Lepidoniscus minutus</i> (C. L. Koch, 1838)	A		<b>33,3</b>										
<i>Oniscus asellus</i> Linnaeus, 1758	E		100										
<i>Porcellio scaber</i> Latreille, 1804	E		<b>89,7</b>			2,1						0,3	
<i>Protracheoniscus politus</i> (C. Koch, 1841)	A	6,5	9,2	<b>28,8</b>	6,4	3,9	1,0	0,5	23,4	1,0	5,8	2,0	0,2
<i>Trachelipus ratzeburgii</i> (Brandt, 1833)	A	1,7	<b>57,0</b>	1,7	0,2	4,2	0,5	1,0	18,6			0,6	

#### 4. Discussion

This study confirms that it is possible to use representatives of epigeic fauna of millipedes, centipedes and terrestrial isopods to bioindicate relatively permanent forest ecosystems. Some authors suggest comparable differences in population composition of epigeic animals in relation to site (Scheu et al. 2003, Grgic and Kos 2005, Jabin 2008, Golovatch and Kime 2009, Stašiov et al. 2012, Bogyó et al. 2015, Sterzyńska et al. 2015). Usage of representatives of millipedes, centipedes and terrestrial isopods groups seems to be particularly significant because they have close ties with soil, herbaceous cover as well as tree coenosis due to their ecology. We confirmed this also via the correlation matrix of significance (Table 5), where coverage of the herbaceous layer and the tree layer represent a significant factor. This is related to quality of the environment under vegetation, such as litter layer and associated nutrition supply (Jabin 2008, Ferlian et al. 2012), humidity and associated microclimate (Tajovský 1997, Grgic and Kos 2005, Sterzyńska et al. 2015). During multidimensional scaling, two main directions of distribution of the explained variables were found, where the first axis of the dimension is determined by quality of the herbal environment and the second dimension by quality of the soil environment. These two dimensions are closely related and thus we can assume that in case of change of the herbaceous environment, change in the soil environment will occur. These results are in consent with the reports of changes after removal of coverage by deforestation (Scheu et al. 2003, Magura et al. 2015), alternatively by civilisation pressure (Bogyó et al. 2015). Occurrence of plants in association with wood species is interesting. Beech forests are characteristic by occurrence of *Luzula luzuloides* and Spruce forests by representation of *Vaccinium myrtillus* and *Calamagrostis arundinacea*. Kula and Lazorik (2015) pointed out differences in composition of millipede, centipede and terrestrial isopod communities in Beech and Spruce stands. The canonical correspondence analysis was applied to evaluate distribution of individual species of the community, which uses multidimensional regression in order to determine linear combination of variables, which in the best way explain inertia of ordination scores obtained from dependent variables. From the overall perspective, results are significant and distributed individual species over all forest site complexes. In case of millipedes, several species are concentrated around the vectors 5Y and 4S, which indicates medium rich to poor soils with higher skeleton content but with good hydric regime. *Polydesmus denticulatus* was an interesting species that almost exclusively occurred in the highest localities 7S with prevailing higher air humidity. These localities are characteristic by occurrence of strong layer of non-decomposed organic matter with presence of *Vaccinium myrtillus* prolonged snow cover. Tajovský (1997) found this species in the subalpine range in the Hrubý Jeseník Mts. in the altitude 1.230 – 1.290 m a.s.l. Stašiov et al. (2012) state it under (*Alnus incana* (L.) Moench), which is a tree species of moist mountain ravines. Reaction of *Glomeris connexa* is also interesting, as it inclines to the vectors 5A and 5B, which are medium altitudes with rich nutritious soil and sufficient moisture close to mountain streams and valleys. *Polyzonium germanicum* is a characteristic species that demonstrated inclination to occurrence at the forest site complex 5L (Montane Ash-



Alder) with occurrence of *Alnus incana*. These localities are characteristic by spring flooding from melting snow and summer cloudbursts. Sterzyńska et al. (2015) report the same results in their work, where 35 individuals were caught by fall traps in medium altitudes with Caltho-Alnetum azonal forest stand with natural hydric regime. Increased occurrence was also observed in a waterlogged alder stand in Białowieża Primeval Forest in Poland (Tajovský and Witwer 2009).

The centipede group shows wide occurrence in all vectors representing forest site complexes. This is a sign of great potential of using these species as bioindicators of specific natural conditions. From the most often occurring species, *Lithobius forficatus* inclines to the forest site complex 5L (Montane Ash-Alder), which represents montane floodplain. Furthermore, *Lithobius erythrocephalus*, linearity of which corresponds with the vector 5Y (Skeletal Fir-Beech) and *Lithobius mutabilis* has the value close to the vector 5B (Nutrient-rich Fir-Beech), which represents the richest natural site with optimal hydric and nutrition regime within the studied area. Compared to that, *Lithobius austriacus* is closely bound to occurrence of boulders and skeleton, with acid soil reaction and susceptibility to desiccation. There is interesting occurrence of the species *Lithobius microps*, which was found in the localities 6O (Nutrient-medium Spruce-Fir) and 6O/R (Nutrient-medium Peat Spruce) with higher moisture content and starting peat formation processes. The terrestrial isopods group is more comprehensive due to lower number of species and at many localities it is missing. The most significant bioindication potential is in species *Hyloniscus riparius* and *Ligidium hypnorum*, which are closely linked to the forest site complex 6O/R (Nutrient-medium Peat Spruce). *Protracheoniscus politus*, which belongs to eurytopic species with wider ecologic valence (Tuf and Tufová 2008), occurred in all forest site complexes with inclination to the vector 5A - Stony-colluvial Sycamore-Beech, where it was found even in the highest altitudes. These results are confirmed by Sterzyńska et al. (2015), where occurrence of *Protracheoniscus politus* correlated neither with groundwater level nor with altitude. *Trachelipus ratzeburgii* avoided waterlogged peat localities and its most frequent occurrence was in the forest site complexes 4Y (Skeletal Beech) and 5Y (Skeletal Fir-Beech). These localities are strongly threatened by erosion and they suffer from significant soil degradation, they are mildly desiccated soil (Plíva 1978). *Oniscus asellus* belongs to species with low abundance, only one individual was trapped in 4Y (Skeletal Beech). Another species is *Porcellio scaber*, of which 12 ex. were caught and the highest number occurred in 4Y but also in 5F (Slope-stony Fir-Beech), which is significantly threatened by erosion. A significant species with bioindicating value was *Lithobius nodulipes*, which was bound to the biotope 5L (Montane Ash-Alder). This species belongs to relict representatives living in the Southeast Europe (Dobroruka 1959, Folkmanová et al. 1955). It proved to be indication-significant in the biotope of mountain streams and springs in the studied area, which corresponds with the data from Spitzer et al. (2007). It was also found in Spruce forests of the top parts of the Šumava Mts. (Tajovský 2001c). *Lithobius pelidnus* belongs to the species with the indication value in FSC 5Y (Skeletal Fir-Beech). It is a rarely found centipede in foothill and mountain locations of the Central Europe (Laška 2004, Tuf and Tufová 2008). It likes to stay on tree trunks and branches with rugged bark, where it was found in the winter and

also during the vegetation period (Summers and Uetz 1979, Spitzer et al. 2010, Kula and Lazorík 2014). The results imply significant potential of using individual species of millipedes, centipedes and terrestrial isopods for bioindication of relatively permanent forest ecosystems. Recent publications focus on the issue of population dynamics of these species (Bogyó et al. 2015, Sterzyńska et al. 2015, Magura et al. 2015, Kula and Lazorík 2015) and research of the impact of global changes. Realization of field research is difficult and thus some of the site conditions were not included such as localities with occurrence of soils on limestone. Considering the results obtained by the PCA, contents of Ca, Mg clearly are very significant factors. Therefore, it is necessary to study the population dynamics and composition of species on limestone localities with similar climatic characteristics. Considering that climatic factors (air temperature and soil temperature) are insignificant for distribution of millipedes, centipedes and terrestrial isopods (Jabin 2008, Lazorík and Kula 2015), it is necessary to focus on selection of localities according to altitude (Sterzyńska et al. 2015) and tree species composition (Stašiov et al. 2012, Kula and Lazorík 2015), in order to obtain comparable data. After obtaining sufficient knowledge about distribution of individual species it will be possible to use the structure of the coenosis in forest management for selection of optimal tree species composition. Since the reaction of edaphic fauna to ecosystem changes is faster than reaction of undergrowth, it is possible to use it for bioindication of site conditions.

## 5. Reference

- Bilton DT (1996) Myriapods, isopods and molluscs – useful for environment assessment? In: Eyre M (ed.): Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates. Benton, EMS Publications, 18–21
- Bogyó D, Magura T, Simon E, Tóthmérész B (2015) Millipede (Diplopoda) assemblages alter drastically by urbanisation. *Landscape and Urban Planning* 133:118–126
- Boháč J (1988) Využití společenstev drabčíkovitých (Coleoptera, Staphylinidae) k bioindikaci kvality životního prostředí [Utilization of Staphylinid beetle communities (Coleoptera, Staphylinidae) for bioindication of environmental quality]. *Zpr Čs spol ent Praha* 24:33–41
- Boháč J (1990) Numerical estimation of the impact of terrestrial ecosystem by using the staphylinid beetles communities. *Agrochemistry and Soil Science* 39:565–568
- Boháč J, Matějček J, Rous R (2006) Brouci – drabčíkovití [Coleoptera - Staphylinidae]. In Kučera T (ed.) Červená kniha biotopů. [http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha/texty/tax\\_skupiny/drabcici\\_bohac.pdf](http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha/texty/tax_skupiny/drabcici_bohac.pdf)
- Buček A, Lacina J (1999) *Geobiocenologie II*. LDF MZLU v Brně, 240
- Buchar J (1983) Klasifikace druhů pavoučí zvířeny Čech jako pomůcka k bioindikaci kvality životního prostředí [The classification of spider species in Bohemia as a tool for bioindication of environmental quality]. *Fauna Boh Septentrionalis* 8:119–135
- Dobroruka LJ (1959) Chilopoda státní přírodní rezervace Mohelno [Chilopoda State Nature Reserve Mohelno]. *Ochrana přírody* 14:104–106

- Dufrene M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67:345–366
- Folkmanová B, Kočíš M, Zlámalová M (1955) Příspěvky k poznání některých eratických skupin členovců z údolí Dyje [Contributions to the knowledge of some eratic groups of arthropods from the river Dyje valley]. *Věstník Československé Zoologické Společnosti* 19:306–330
- Ferlian O, Schue S, Pollierer MM (2012) Trophic interactions in centipedes (Chilopoda, Myriapoda) as indicated by fatty acid patterns: Variations with life stage forest age and season. *Soil Biology & Biochemistry* 52:33–42
- Flasarová M (2000) Übersicht über die faunistische Erforschung der Landasseln (Isopoda, Oniscidea) in der Tschechische Republik. *Crustaceana* 73:585–608
- Frouz J (1999) Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:167–186
- Grgic T, Kos I (2005) Influence of forest development phase on centipede diversity in managed beech forests in Slovenia. *Biodiversity and Conservation* 14:1841–1862
- Golovatch SI, Kime RD (2009) Millipede (Diplopoda) distributions: A review. *Soil Organisms* 81:565–597
- Haruštiaková D, Jarkovský J, Litnerová S, Dušek L (2012) Vícerozměrné statistické metody v biologii [Multivariate statistical methods in biology]. Brno: Akademické nakladatelství CERM, Brno, 110
- Holuša O (2003) Vegetační stupňovitost a její bioindikace pomocí řádu pisivek (Insecta: Psocoptera) [Altitudinal vegetation zones and their bioindication with psocids (Insecta: Psocoptera)]. *Disertační práce, LDF MZLU v Brně, Brno*, 154
- Hůrka K, Veselý P, Farkač J (1996) Využití střevlíkovitých (Coleoptera, Carabidae) k indikaci kvality prostředí [Use of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) to indicate the quality of environment]. *Klapalekiana* 32:15–26
- Jabin M (2008) Influence of environmental factors on the distribution pattern of centipedes (Chilopoda) and other soil arthropods in temperate deciduous forests. *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät*, 102
- Kautz G, Topp W (1998) Nachhaltige waldbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 117:23–43
- Kula E, Lazorík M, Tuf IH (2011) Contribution to the knowledge of centipedes and terrestrial isopods of the Moravian-Silesian Beskids. *Acta Musei Beskidensis* 3:57–65
- Kula E, Lazorík M (2014) Chilopoda v korunové a kmenové fauně lesních dřevin [Chilopoda in crown and stem fauna of forest trees]. *Zprávy lesnického výzkumu* 59 (3):175–183
- Kula E, Lazorík M (2015) Comparison of Myriapoda in beech and spruce forests. *Journal of Forest Science* 61:306–314
- Kula E, Lazorík M (2016) Centipedes, millipedes, terrestrial isopods and their relationship to the physical and chemical properties of forest soils, *Entomologica Fenica* 27:33–51

- Laška V (2004) Atlas rozšíření stonožek (Chilopoda) České republiky [Extension of centipedes (Chilopoda), Czech Republic]. Bakalářská práce. Olomouc, Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta: 87
- Lavelle P, Pashanasi B, Charpentier F, Gilot C, Rossi JP et al. (1998) Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. Edwards CA Earthworm ecology, St. Lucie Press, pp. 103–122
- Lazorík M, Kula E (2015) Impact of weather and habitat on the occurrence of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in mountain spruce forests. *Folia Oecologica* 42: 103–112
- Lepš J, Šmilauer P (2003) *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, London, 500
- Magura T, Bogyó D, Mizser S, Nagy DD, Tóthmérész B, (2015) Recovery of grand-dwelling assemblages during reforestation with native oak depends on the mobility and feeding habits of the species. *Forest Ecology and Management*. 339:117–126
- Mehlich A (1984) Mehlich III Soil Test Extractant: A modification of Mehlich 2 Extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(12):1409–1416
- Morón-Ríos A, Rodríguez MÁ, Pérez-Camacho L, Rebollo S (2010) Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. *European Journal of Soil Biology* 46:91–96
- Mudrick DA, Hoosein M, Hicks Jr RR, Tonwsend BC (1994) Decomposition of leaf litter in an Appalachian forest: effects of leaf species, aspect, slope position and time. *Forest Ecology and Management* 68:231–250
- Paoletti MG, Hassall M (1999) Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 74:157–165
- Pelikán J (1996) Vertical distribution of alpine Thysanoptera. *Folia ent Hung* 57 (Suppl.): 121–125
- Plíva K (1971) Typologický systém [Typological system] ÚHÚL. ÚHÚL Brandýs nad Labem: 119
- Plíva K (1987) Typologický klasifikační systém [Typological classification system] ÚHÚL, Brandýs nad Labem, 52
- Ponge JF, Arpin P, Sondag F, Delecour F (1997) Soil fauna and assessment in beech stands of the Belgian Ardennes. *Canadian Journal of Forest Research* 27:2053–2064
- Povolný D, Šustek Z (1983a) Three dipterous representatives of the Carpathian fauna in the beech forests of Central Moravia and the ecological preconditions of their discovery (Dipt., Sarcophagidae). *Acta Univ Agric Brno, Ser C* 52:(1–2):127–144
- Povolný D, Šustek Z (1983b) Time correlated changes of the alpha diversity in the male aggregations of Sarcophagidae in three types of central european ecosystems. *Ekológia (ČSSR)* 2:113–120
- Schaefer M, Schauer mann J (1990) The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. *Pedobiologia* 34:299–314
- Scheu S, Albers D, Alpei J, Bury n R, Klages U, Migge S, et al. (2003) The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces. *Oikos* 101:225–238

- Souty–Grosset C, Badenhauer I, Reynolds JD, Morel A (2005) Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. *Pedobiologia* 41:109–116
- Spitzer L, Tuf IH, Tufová J, Tropek R (2007) Příspěvek k poznání fauny epigeických bezobratlých dvou přírodních jedlobukových lesů ve Vsetínských vrších (Česká republika). [Contribution to the knowledge of epigeic invertebrates of two seminatural fir-beech deciduous woodlands in the Vsetínské vrchy Hills, Western Carpathians (Czech Republic)]. *Práce a Stud Muz Beskyd (Přir vědy)* 19:71–82
- Spitzer L, Konvička O, Tropek R, Roháčová M, Tuf IH, Nedvěd O (2010) Společenstvo členovců (Arthropoda) zimujících na jedli bělokoré (*Abies alba*) na Valašsku (okr. Vsetín, Česká republika) [Assemblage of overwintering arthropods on white fir (*Abies alba*) in the Moravian Wallachia region (West Carpathians, Czech Republic)]. *Časopis Slezského Muzea Opava (A)* 59:217–232
- Stašiov S, Stašiová A, Svitok M, Michalková E, Slobodník B, Lukáčik I (2012) Millipede (Diplopoda) communities in an arboretum: Influence of tree species and soil properties. *Biologia Section Zoology* 67:945–952
- Strejček J (2001) Katalog brouků (Coleoptera) Prahy [Catalog of beetles (Coleoptera) of Prague]. Vol. 2 Anthribidae, Curculionidae. Hlavní město Praha, Praha, 138 s
- Sterzyńska M, Tajovský K, Nicia P (2015) Contrasting response of millipedes and terrestrial isopods to hydrologic regime changes in forested montane wetlands. *European Journal of Soil Biology* 68:33–41
- Summers G, Uetz GW (1979) Microhabitats of woodland centipedes in a streamside forest. *American Midland Naturalist* 102:346–352
- Stejskal R (2006) Nosatcovití brouci (Coleoptera, Curculionoidea) ve vybraných lesních geobiocenózách Národního parku Podyjí [Weevils (Coleoptera, Curculionoidea) of selected forest habitats of the Podyjí National Park]. *Disertační práce, LDF MZLU v Brně*, 123 s
- Tajovský K (1997) Distribution of millipedes along an altitudinal gradient in three mountain regions in the Czech and Slovak Republics (Diplopoda). In: ENGHOFF, H (ed.): *Many-legged animals - A collection of papers on Myriapoda and Onychophora*. *Entomologica Scandinavia Suppl* 51:225–234
- Tajovský K (2001a) Centipedes (Chilopoda) of the Czech Republic. *Myriapodologica Czecho-Slovaca* 1:39–48
- Tajovský K (2001b) Milipedes (Diplopoda) of the Czech Republic. *Myriapodologica Czecho-Slovaca* 1:11–24
- Tajovsky K (2001c) Dosavadní poznatky o mnohonožkách (Diplopoda) a stonožkách (Chilopoda) na území Šumavy. *Aktuality Šumavského výzkumu* 173–175
- Tajovský K, Wytwer J (2009) Millipedes and centipedes in wetland alder stands in northeastern Poland. In: Xyländer W, Voightländer K (eds), *Myriapoda and Onychophora of the World – Diversity, Biology and Importance*, Görlitz. *Soil Organisms* 81 (3):761–772
- Tajovský K, Tuf IH (2016) An annotated checklist of the millipedes (Diplopoda) recorded in the Czech Republic. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae* 80:33–37

- Tuf IH, Laška V (2005) Present knowledge on centipedes in the Czech Republic: a zoogeographic analysis and bibliography 1820–2003. *Peckiana* 4:143–161
- Tuf IH, Tufová J (2008) Classification of Czech myriapod and isopod fauna for evaluation of habitat quality. *Čas Slez Muz Opava (A)* 57:37–44
- Tuf IH, Tajovský K (2016) An annotated checklist of the centipedes (Chilopoda) recorded in the Czech Republic. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae* 80:45–50
- ÚHÚL (2003) Taxonomický klasifikační systém půd ČR. Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem, [http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky\\_klasifikacni\\_system\\_pud\\_v\\_cr.pdf](http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky_klasifikacni_system_pud_v_cr.pdf)
- Vasconcellos LFR, Segat JC, Bonfim JA, Baretta D, Cardovo JBN (2013) Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *European Journal of Soil Biology* 58:105–112
- Viewegh J, Kusbach A, Mikeska M (2003) Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science* 49 (2):85–93
- Viewegh J (2004) Problematika lesnické typologie VI., Fakulta Lesnické ekologie ČZU, Praha, 25
- Zlatník A (1956) Nástin lesnické typologie na geobiocenologickém základu a rozlišení československých lesů podle skupin lesních typů. In: Polanský B (ed), *Pěstování lesů* 3, Praha, SZN, 317–401



## 13. Závěr

### Složení populace

Na základě dlouhodobého pozorování cenóz Myriapoda a Isopoda byl sestaven faunistický přehled zjištěných druhů. Z uskutečněného porovnání vyplynulo rozšíření faunistických poznatků o dva druhy stonožek (*Lithobius biunguiculatus*, *Lithobius pelidnus*) pro oblast Moravsko-Slezských Beskyd. Byly popsány zástupci mnohonožek a suchozemských stejnonožců, o kterých nebyly publikovány žádné ucelené poznatky z oblasti Moravsko-Slezských Beskyd. I když se jedná pouze o regionální nálezy je možné je považovat za rozšiřující a významně doplňující poznání epigeické půdní fauny v Beskydech. Z pohledu počtu odchycených jedinců (14 851 ex.) a délky realizovaného výzkumu (2007-2014) můžeme získaný výběrový soubor populace považovat za dostatečně průkazný.

### Vliv smrkových a bukových porostů

Z porovnání relativně podobných porostních stanovišť s rozdílnou dřevinou skladbou mateřského porostu vyplynuly rozdíly, i když jejich význam není faktorem ohraničující rozšíření jednotlivých druhů. Byla potvrzena preference bukových porostů zástupci mnohonožek a suchozemských stejnonožců, kteří jsou vázáni na kvalitnější opad a v něm se rozvíjející houbové a bakteriální organizmy. Stonožky jako predátoři se vyskytovaly spíše ve smrkových porostech, i když bukový porost rovněž poskytuje dostatek potravy. Fauna stonožek, mnohonožek a stejnonožců představuje vhodnou bioindikační skupinu druhů mírně preferující bukové porosty, což může mít význam i pro sledování zdravotního stavu porostů v důsledku globální změny klimatu.

### Arborikolní druhy

Získané údaje z porostů náhradných dřevin imisní oblasti Krušných hor rozšiřují ekologické poznatky o některých zástupcích půdní fauny, kteří ve vegetačním období vystupovali na kmeny stromů a větve. Na rozdíl od existujícího zdůvodnění přítomnosti zástupců půdní fauny na stromech (zimování, záplavy) lze ve vegetačním období jejich výskyt dát do souvislosti s aktivním hledáním potravy. U predační složky nelze vyloučit aktivní podíl na ochraně lesa před škůdci. Arborikolní projevy byly významně zaznamenány u druhu *Lithobius pelidnus*, *Lithobius borealis* a *Lithobius cyrtopus*.

### Klimatické faktory prostředí

Klima neovlivnilo zásadně velikost a diverzitu fauny Myriapoda a Isopoda.

Sezónní dynamika této fauny se vyznačuje nárůstem populace v jarním kulminaci v letním období, s navazujícím podzimním poklesem. V populaci nenastaly výraznější změny v jednotlivých letech. Střídání mírných, vlhkých let s teplými, suchými roky ovlivnilo populační dynamiku poklesem velikosti odchytu populací v jednotlivých letech. V důsledku oteplování byl v letech 2007-2014 zaznamenán nárůst teploty vzduchu o +2,9 °C a souběžně migrace stonožek *Lithobius tenebrosus* a *Lithobius borealis* do vyšších poloh a výskyt synantropního stejnonožce *Porcellio scaber* z nižších poloh.

### **Půdní prostředí**

Bylo potvrzeno, že půdní prostředí jako celek je hlavním komponentem ovlivňujícím rozšíření, velikost a diverzitu populace. Analýzou vlivu jednotlivých složek půdního prostředí byla prokázána dílčí difference konkrétních druhů. Zástupce stejnonožců *Trachelipus ratzeburgii*, který jako druh vyhledávající vlhká stanoviště trvale osídloval lokality se souborem lesních typů 4Y, což jsou skeletová stanoviště náchylná na vysychání. Půda s bylinným a dřevinným porostem je klíčová k rozšíření sledované epigeické fauny především jako zdroj dostupné potravy ve vegetační době. Byl potvrzen význam obsahu vápníku a hořčíku v půdě. Absence typický vápenných stanovišť neumožnila porovnat velikost a diverzitu populaci v podobných klimatických podmínkách na vápencích, kde lze očekávat nárůst abundance a diverzity populace a profilaci kalcifilních zástupců podobně jak v rostlinném společenstvu.

### **Možnost užití stonožek, mnohonožek a stejnonožců jako bioindikátorů prostředí**

Posouzením všech dostupných environmentálních přeměných byly stanoveny dvě dimenze posouzení vlivu prostředí na dynamiku populace vybrané půdní fauny. První dimenze představuje půdu jako celek, který obklopuje zkoumané druhy, poskytuje jim životní prostor. Druhá dimenze představuje vegetaci rostoucí na stanovišti a přispívající k tvorbě opadu (potravy).

Bioindikační schopnost byla statisticky prokázána u několika druhů. Jak tomu bývá u většiny populací, ne každý druh je indikátorem prostředí, ve kterém žije. Proto se i v našem výzkumu vyskytovali druhy spíše eurytopní, které se dokáží přizpůsobit měnícím se přírodním podmínkám. Avšak byly nalezeny druhy, které jsou vázány na konkrétní přírodní podmínky a prokázaly svou bioindikační schopnost. Významným druhem byl *Polydesmus denticulatus*, který se vyskytoval ve vyšších polohách se

smrkovým porostem na stanovišti SLT 7S s převahou vyšší vzdušné vlhkosti, vysokou sněhovou pokrývkou a podrostem *Vaccinium myrtilus*. Vzácným druhem byl *Polyzonium germanicum*, který prokázal náklonnost k výskytu na SLT 5L - horská jasanová olšina s výskytem *Alnus incana*. Na stanovištích s vysokým podílem balvanů v půdě byl významným druhem *Lithobius austriacus*, který odolával i krátkodobým obdobím vysychání půdy. Dalším významným druhem byl *Lithobius pelidnus* s preferencí SLT 5Y – skeletová jedlová bučina, jedná se o vzácnou stonožku vyskytující se v podhorských a horských oblastech. Také byl u ní potvrzen arborikolní vztah k výskytu na kmenech a větvích stromů. Také vysoký indikační faktor mají druhy *Hyloniscus riparius*, *Ligidium hypnorum*, které jsou úzce vázány na soubor lesních typů 6O/R - svěží rašelinná smrčina a v celém průběhu sledování byly vázány na vysokou hladinu spodní vody a proces rašeliničení. Z pohledu výše indikační hodnoty je nejvýznamnější hodnocen *Lithobius nodulipes*, který je reliktním druhem na prameništích horských potoků s výskytem *Acer pseudoplatanus* (L., 1753) SLT 5L a splňuje všechna kritéria bioindikátora prostředí. Vzhledem na uvedené výsledky výzkumu hodnotíme výsledky velice pozitivně, z pohledu významu rozšíření poznatků o bioindikátorech prostředí v návaznosti na změnu globálního klimatu.

Také v poslední době trend podobných výzkumných prací narůstá, z nichž vyplývá, že ne každý druh může být indikátorem podobně jak je tomu u rostlin. Proto předpokládáme, že v krátké době budeme svědky rozšíření lidského poznání o komplex živočišných indikátorů prostředí z různých skupin. Pomocí nichž bude možné adekvátně reagovat na management lesního hospodářství a správnou volbu přírodního prostředí pro naše lesy.

## **14. Summary**

### **Composition of the population**

Based on the long-term observation of the population was compiled faunal survey identified species, which beat then compared with existing knowledge in the area of the Moravian-Silesian Beskid Mts. Our work has led to expansion of finding two new species of centipede *Lithobius biunguiculatus* and *Lithobius pelidnus* that were not described in this area. Consequently, our work has been described by representatives of millipedes and terrestrial isopods of which was not far from the area of the Moravian-Silesian Beskid Mts., reported no comprehensive knowledge. Although our research was found new species, which has not yet been disclosed, we believe our results for the expansion and significant additional knowledge epigeic soil fauna in the Beskid Mts.

### **Effect of spruce and beech stands**

It utilized the opportunity to compare relatively similar birthing habitat of different species composition of vegetation parent stand. Inspiration been previous publications, which have been compared to different locations with unparalleled natural conditions. The result was the recognition that differences do exist, although their strength is not a factor limiting distribution of individual species. It was confirmed by preference beech stands representatives millipedes and terrestrial isopods, which are tied to better litter and emerging fungal and bacterial organisms. In contrast, centipedes as representatives of predators rather have occurred in spruce stands, although both beech stand provides enough food. Therefore, we can conclude that the fauna of centipedes, millipedes and terrestrial isopods is a suitable group bioindicative species with a slight preference beech stands, which may reflect the need for future monitoring of global climate change.

### **Arboricolous species**

These findings are rather an extension, which was discovered accidentally when a different type of research. Supplement existing knowledge about soil fauna of some representatives, who were found in the growing season for trees and branches in the areas of air pollution Ore Mts. Earlier publications reported cases of soil fauna on trees wintering or escaping floods. Only our results bring soil fauna in the trees in the

vegetation period, which may be associated with an active search for food. As well as representatives of the predators could actively participate in forest protection against pests. As an arboreal species were important *Lithobius pelidnus*, *Lithobius borealis* and *Lithobius cyrtopus*.

### **Climatic environmental factors**

Climate environment in which it lives epigeic fauna affect the size and diversity of the population in any significant way. In the short term one season leads to an increase in population in the spring, the peak in the summer and decline in the autumn. The population no significant changes in individual years, rather temperate moist alternating years with warm dry summers, causes an increase in the size of population decline. Where mild and wet weather caused an increase in population and the hot and dry decline in population. In contrast, it sounds long-term impact of weather on the composition of the population. During the research was recorded air temperature increase of + 2.9 ° C, what triggered the migration of two species of centipedes *Lithobius tenebrosus* and *Lithobius borealis* to higher levels and the incidence of new representatives synantropic isopods *Porcellio scaber* from lower altitudes.

### **Soil environment**

It was found that the soil environment as a whole carries complex role affecting enlargement, the size and diversity of the population. Distribution and examining individual components of the soil environment was less diversity of specific species, such as when comparing the overall impact on the population of the soil environment. A good example is representative of isopods *Trachelipus ratzeburgii* that as a species preferring moist environment permanently inhabited localities with a set of forest types 4Y, a sou skeletal sites susceptible to drying out. Overall, we can say that the soil with herbaceous and woody vegetation is crucial to extend monitored epigeic fauna. Probably it has to do with plenty of food available in the growing season. As demonstrated in the research also plays an important role in calcium and magnesium in the soil. Unfortunately our site did not contain lime typical habitat so it would be interesting to compare the size and diversity of the population in similar climatic

conditions on limestone. If a higher content of calcium and magnesium causes an increase in the population and species or calcareous types selected that as in plants.

### **Possibility of use of centipedes, millipedes and isopods as bioindicators environment**

Assessment of all available environmental converted were two dimensions to determine the environmental impact assessment on the population dynamics of selected soil fauna. The first dimension is the land as a whole, which surrounds the studied species, providing them space to life. The second dimension is the growing vegetation growing on specific soil as a source of loss of leaves. With a growing component of the environment related to the food chain, both millipedes and isopods, decaying leaves detritovorní bacteria and fungi, so by actively targeting centipedes. Bioindicative ability was statistically demonstrated in several species. As is the case with most stocks, not every species is an indicator of the environment in which he lives. Therefore, in our research we occurred rather eurytopic species that can adapt to changing environmental conditions. However, they were found species that are tied to specific natural conditions and have demonstrated their ability bioindicative. Given our results, I can confirm the ability of the animal ingredients indicate the specific environment. Also, recently the trend similar research work grows, where it is seen that not every kind of indicator may be similar to that of plants. I assume that in the short term we will see the expansion of human knowledge of the entire livestock environmental indicators from different groups.



## 15. Použité zkratky

LP - Leptosols (Ranker)

haZ - Haplic Podzols (Podzol)

eP - Entic Podzols (Kryptopodzol)

ST - Stagnosols (Pseudoglej)

HS - Histosols (Organozem)

CM - Cambisols (Kambizem)

GL - Gleysols (Glej)

FL - Fluvisols (Fluvizem)

Ske. L. – Skeleton low – nízký obsah skeletu

Ske. H. – Skeleton high – vysoký obsah skeletu

Clay – íl

f.dust - Fine dust (jemný prach)

g.dust - Gross dust (hrubý prach)

f.sand - Fine sand (jemný písek)

DryHA – Suchý horizont A

MoistHA – Vlhký horizont A

WetHA – Mokrý horizont A

SlushHA – Zamokřený horizont A

DryHB – Suchý horizont B

MoistHB – Vlhký horizont B

WetHB – Mokrý horizont B

SlushHB – Zamokřený horizont B

eH - Koncentrace výměnných protonů

eAl - Koncentrace výměnného hliníku

eCa - Koncentrace výměnného vápníku ( $\text{Ca}^{2+}$ )

eMg - Koncentrace výměnného hořčíku ( $\text{Mg}^{2+}$ )

eK - Koncentrace výměnného draslíku ( $\text{K}^+$ )

eNa - Koncentrace výměnného sodíku ( $\text{Na}^+$ )

paP - obsah potenciálně přístupných oxidů fosforu

paK - obsah potenciálně přístupných oxidů draslíku

paCa - obsah potenciálně přístupných oxidů vápníku

paMg - obsah potenciálně přístupných oxidů hořčíku

tFe - Obsah vázaných forem oxidů železa

tAl - Obsah vázaných forem oxidů hliníku

tMn - Obsah vázaných forem oxidů manganu

tCa - Obsah oxidovaných forem vápníku

tMg - Obsah vázaných forem oxidů hořčíku

tK - Obsah vázaných forem oxidů draslíku

tP - Obsah vázaných forem oxidů fosforu

Abund – abundance

Year – rok odběru vzorků

Alti – nadmořská výška

Expo – expozice  
Sl\_inc – sklon svahu  
Skel – obsah skeletu  
FSC – soubor lesních typů  
FVZ – lesní vegetační stupen  
ToS – typ půdy  
Hum\_F – humusová forma nadložního humusu  
TEMP.Air – teplota vzduchu 2 m nad povrchem  
TEMP.Soil – teplota půdy v horizontu A  
Moist.Soil – vlhkost půdy v horizontu A  
pH/KCl – půdní reakce určená v roztoku KCl  
C – obsah uhlíku  
N – obsah dusíku  
C/N – poměr obsahu uhlíku a dusíku  
cov\_tree – pokryvnost dřevin  
cov\_herb – pokryvnost bylin  
Vac.myrt – pokryvnost *Vaccinium myrtillus*  
Cala.aru – pokryvnost *Calamagrostis arundinacea*  
Dry.expa – pokryvnost *Dryopteris expansa*  
Spruce – pokryvnost *Picea abies*  
Beech – pokryvnost *Fagus sylvatica*  
C\_par. - *Cryptops parisi* Brölemann, 1920  
G fla. - *Geophilus flavus* (De Geer, 1778)  
G alp. - *Geophilus alpinus* Meinert, 1870  
L aus. - *Lithobius austriacus* Verhoeff, 1937  
L bor. - *Lithobius borealis* Meinert, 1868  
L biu. - *Lithobius biunguiculatus* Loksa, 1947  
L bur. - *Lithobius burzenlandicus* Verhoeff, 1934  
L cyr. - *Lithobius cyrtopus* Latzel, 1880  
L eryt. - *Lithobius erythrocephalus* C. L. Koch, 1847  
L for. - *Lithobius forficatus* Linnaeus, 1758  
L mut. - *Lithobius mutabilis* L. Koch, 1862  
L mic. - *Lithobius microps* Meinert, 1868  
L nod. - *Lithobius nodulipes* Latzel, 1880  
L pel. - *Lithobius pelidnus* Haase, 1880  
L ten. - *Lithobius tenebrosus* Meinert, 1872  
S acu. - *Strigamia acuminata* (Leach, 1815)  
S tran. - *Strigamia transsilvanica* (Verhoeff, 1928)  
Gl con. - *Glomeris connexa* C. L. Koch, 1847  
Ju scan. - *Julus scandinavus* Latzel, 1884  
Le tri. - *Leptoiulus trilobatus* (Verfoeff, 1894)  
Po com. - *Polydesmus complanatus* (Linnaeus, 1761)  
H rip. - *Hyloniscus riparius* C. L. Koch, 1844  
O asell. - *Oniscus asellus* Linnaeus, 1758

Pe\_scab. - *Porcellio scaber* Latreille, 1804

Pr\_poli. - *Protracheoniscus politus* (C. Koch, 1841)

T\_ratb. - *Trachelipus ratzeburgii* (Brandt, 1833)

## 16. Literární přehled

- ADIS J., MINELLI A., MORAIS J.W. DE, PEREIRA L.A., 1996. On abundance and phenology of Geophilomorpha (Chilopoda) from central Amazonian upland forests. *Ecotropica*, 2: 165–175.
- ADIS J., HARVEY M.S., 2000. How many Arachnida and Myriapoda are there world-wide and in Amazonia? *Studies on the Neotropical Fauna and Environment* 35, 139-141.
- ALBERT A.M., 1976. Biomasse von Chilopoden in einem Buchenaltbestand des Solling. In: Müller, P. (ed.): *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie*, Göttingen 1976. Dordrecht, Springer: 93–101.
- ALBERT A.M., 1979. Chilopoda as part of the predatory macroarthropod fauna in forests: abundance, life-cycle, biomass, and metabolism. In: Camatini, M. (ed.) *Myriapod Biology*. Academic Press, London, pp. 215-231.
- ALBERT A.M., 1982. Species spectrum and dispersion patterns of chilopods in three Solling habitats. *Pedobiologia* 23, 337-347.
- ALBERT A. M., 1983. Characteristics of two populations of Lithobiidae (Chilopoda) determined in the laboratory and their relevance with regard to their ecological role as predators. *Zoologischer Anzeiger* 34, 214-226.
- ALMOND J.E., 1985. The Silurian-Devonian fossil record of the Myriapoda. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B, Biological Sciences* 309, 227-238.
- ANDERSSON G., 1983. Post-embryonic development of *Lithobius curtipes* C.L. Koch (Chilopoda: Lithobiidae). *Entomologica Scandinavica*, 14, 387–394.
- ANSENNE A., COMPÈRE P., GOFFINET G., 1990. Ultrastructural organization and chemical composition of the mineralized cuticle of *Glomeris marginata* (Myriapoda, Diplopoda). In: Minelli, A., *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Congress of Myriapodology*. Brill, Leiden, New York, Kobenhaven, Köln, pp. 125-134.
- ARYA P.S., 2001. *Introduction to micrometeorology*. N.Y.: Academic Press. 420 p.
- ATHIAS-BINCHE F., 1982. Ecologie des Uropodes édaphiques (arachnides: parasitiformes) de trois écosystèmes forestiers. 3. Abondances et biomasses des microarthropodes du sol; facteurs du milieu, abondances et distributions spatiales des Uropodides. *Vie et Milieu*, 32, 47–60.
- ATTEMPS C., 1926. Myriopoda. In: Kükenthal, W., (Ed.), *Handbuch der Zoologie*. Berlin Leipzig, Vierter Band, Erste Hälfte: 1-6.
- AUERBACH S.I., 1949. A preliminary ecological study on certain deciduous forest centipedes. *American Midland Naturalist* 42, 220-227.
- AUERBACH S.I., 1951. The centipedes of the Chicago area with special reference to their ecology. *Ecological Monographs* 21, 97-124.
- BAAS R., KUIPER D., 1989. Effects of VAM infection and phosphate on *Plantago major* ssp. pleiosperma in relation to internal cytokinin concentrations. - *Physiologia Plantarum* 76: 211–215.
- BÄÄTH E., BERG B., LOLUN U., LUND H., ROSSWALL T., SODERSTROM B., WIREN A., 1980. Effects of experimental acidification and liming on soil organisms and decomposition. *Pedobiologia* 20,85-100.
- BALE J.S., 1991. Insects at low temperatures: a predictable relationship? *Functional Ecology*, 5: 291–298.
- BALE J.S., HAYWARD S.A.L., 2010. Insect overwintering in a changing climate. *Journal of Experimental Biology*, 213: 980–994.
- BAKER A.N., 1974. Some aspects of the economic importance of millipedes. *Symposia of the Zoological Society of London* 32, 621-628.
- BARBER A. D., KEAY A. N., 1988. Provisional atlas of the centipedes of the British Isles. Huntingdon, Biological Records Centre/NERC. 127 pp.
- BARBER M.G., 2004. Millipedes (Diplopoda) and Centipedes (Chilopoda) (Myriapoda) as predators of terrestrial Gastropods. In: Barber M.G. (ed.): *Natural Enemies of Terrestrial Molluscs*: 405–425.
- BARBER A.D., 2009. Centipedes: keys and notes for identification of the British species. Shrewsbury, Field Studies Council: 228 s. *Synopses of the British Fauna (New Series)*, No. 58.
- BARDGETT R. D., YEATES G. W., ANDERSON J. M., 2005. Patterns and determinants of soilbiological diversity: 100–118. - In: Bardgett R. D., Usher M. B., Hopkins D. W. (eds), *Biological Diversity and Function in Soils*. Cambridge University Press, Cambridge. 411 pp.
- BARDGETT R., FREEMAN C., OSTLE N., 2008. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks. - *The ISME Journal* 2(8), 805–814.
- BARDGETT R.D., WARDLE D.A., 2010. *Aboveground-belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes and Global Change*. New York, Oxford University Press: 301.
- BARKER G.M., 2004. Millipedes (Diplopoda) and Centipedes (Chilopoda) (Myriapoda) as Predators of Terrestrial Gastropods. *Natural Enemies of Terrestrial Molluscs*, pp. 405 – 425.
- BIERNAUX J., 1966. Incidence économique des Iules en culture betteravière. *Mede-delingen van de Rijksfaculteit Landbouwwetenschappen te Gent* 31, 717-729.

- BIGNELL D.E., 1989. Relative assimilations of  $^{14}\text{C}$ -labelled microbial tissues and  $^{14}\text{C}$ -labelled plant fibre ingested with leaf litter by millipede *Glomeris marginata* under experimental conditions. *Soil Biology & Biochemistry* 21,819-828.
- BILTON D.T., 1996. Myriapods, isopods and molluscs – useful for environment assessment? In: Eyre M. (ed.): *Environmental monitoring, surveillance and conservation using invertebrates*. Benton, EMS Publications: 18-21.
- BEDRNA Z., 1977. Soilforming processes and soil regimes, Veda, SAV, Bratislava, 132 pp.
- BHAKAT S., 1989. The population ecology of *Orthomorpha coarctata* (Diplopoda:Polydesmidae), *Pedobiologia* 33, 49-59.
- BLAIR J.M., PARMELEE R.W., BEARE M.H., 1990. Decayrates, nitrogen fluxes, and decomposer communities of single- and mixed-species foliar litter. *Ecology*, 71:76–85.
- BLACKBURN J., FARROW M., ARTHUR W., 2002. Factors influencing the distribution, abundance and diversity of geophilomorph and lithobiomorph centipedes. *Journal of Zoology, London* 256, 221-232.
- BLAGODATSKAYA E.V., ANDERSON T.H., 1998. Interactive effects of pH and substrate quality on the fungal-to-bacterial ratio and qCO<sub>2</sub> of microbial communities in forest soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 30: 1269–1274
- BLOWER J.G., 1955. Millipedes and centipedes as soil animals. In: Kevan, D.K.McE. (ed.) *Soil Zoology*. Butterworths Scientific Publications, London, pp. 138-151.
- BLOWER J.G., 1969. Age-structures of millipede populations in relation to activity and dispersion. In: Sheals, J.G. (ed.) *The Soil Ecosystem*. Systematics Association Publication No. 8, London, pp. 209-216.
- BLOWER J.G., 1985. *Millipedes*. Linnean Society Synopses of the British Fauna, No. 35
- BORNEBUSCH C.H., 1930. The Fauna of the Forest Soil. Det forstlige Forsogsvaesen i Danmark, 11. Copenhagen, Lyng & Søn: 1–225.
- BRADY N. C., WEIL R. R., 2008. The nature and properties of soil. 14<sup>th</sup> edition. - Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio. 990 pp.
- BRIONES M. J. I., INESON P., PIEARCE T. G., 1997. Effects of climate change on soil fauna; responses of enchytraeids, Diptera larvae and tardigrades in a transplant experiment. - *Applied Soil Ecology* 6: 117–134.
- BROLEMANN H. W., 1930. Éléments d'une faune des myriapodes de France. Chilopodes. Imprimerie Toulousaine, Paris, 424 pp.
- BRADY-BIRKS S.G., 1929. Notes on Myriapoda. 33: The economic status of Diplopoda and Chilopoda and their allies, especially of forms occurring in the British Isles, particularly those of importance in agriculture and horticulture. *Journal of the South-Eastern Agricultural College, Wye, Kent*, 26: 178–216.
- BRITTON H., 1920. Food hunting habits of *Lithobius forficatus*. *Lancashire and Cheshire Naturalist*, 13: 118.
- BOGYÓ D., KORSÓS Z., LAZÁNYI E., HEGYESSY G., 2012. Millipedes from the Zemplén Mts., NE Hungary. *Opusc. Zool. Budapest*, 43: 131–145.
- BOGYÓ D., MAGURA T., SIMON E., TÓTHMÉRÉSZ B., 2015. Millipede (Diplopoda) assemblages alter drastically by urbanisation. *Landscape and Urban Planning*, 133: 118-126
- BOHÁČ J., 1988. Využití společenstev drabčikovitých (Coleoptera, Staphylinidae) k bioindikaci kvality životního prostředí. *Zpr. Čs. spol. ent., Praha*, 24: 33–41.
- BOHÁČ J., 1990. Numerical estimation of the impact of terrestrial ecosystem by using the staphylinid beetles communities. *Agrochemistry and Soil Science*, 39: 565–568.
- BOHÁČ J., MATĚJČEK J., ROUS R., 2006. Brouci – drabčikovití. In Kučera, T. (ed.) Červená kniha biotopů. [http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha/texty/tax\\_skupiny/drabcici\\_bohac.pdf](http://www.usbe.cas.cz/cervenakniha/texty/tax_skupiny/drabcici_bohac.pdf)
- BONATO L., MINELLI A., 2008. *Stenotaenia* Koch, 1847: a hitherto unrecognized lineage of western Palearctic centipedes with unusual diversity in body size and segment number (Chilopoda: Geophilidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, 153: 253-286.
- BUČEK A., LACINA J., 1999. *Geobiocenologie II*. LDF MZLU v Brně, 240 pp.
- BUCHAR J., 1983. Klasifikace druhů pavoučí zvířeny Čech jako pomůcka k bioindikaci kvality životního prostředí. *Fauna Boh. Septentrionalis* 8: 119 – 135.
- CASAGRANDE A., 1948. Classification and identification of soils. - *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 113: 901–930.
- CLOUDSLEY-THOMPSON J.L., 1945. Behaviour of the common centipede *Lithobius forficatus*. *Nature*, 156: 537–538
- CLOUDSLEY-THOMPSON J.C., 1958. *Spiders, Scorpions, Centipedes and Mites*. Pergamon Press, London.
- CLOUDSLEY-THOMPSON J. L., CRAWFORD C. S., 1970. Water and temperature relations, and diurnal rhythms of scolopendromorph centipedes-*Entomologia Experimentalis et Applicata* 13: 187–193.

- COLE L.C., 1946. A study of the cryptozoa of an Illinois woodland. *Ecological Monographs* 16, 49-86.
- CRASTON P.S., TRUEMAN J.W.H., 1997. Indicator taxa in invertebrate biodiversity assessment. *Memorial Museum Victoria*, 56: 267-274.
- CURRY A., 1974. The spiracle structure and resistance to desiccation of centipedes. *Symposium of the Zoological Society of London* No. 32, pp. 365-382.
- ČSN ISO 11260: Kvalita půdy - Stanovení kationtové výměnné kapacity při pH půdy a výměnných kationtů za použití roztoku chloridu barnatého, 1998, 20 pp.
- ČSN ISO 11464: Kvalita půdy – Příprava vzorků pro fyzikálně-chemické rozbor, 1998, 16 pp.
- ČURLÍK J., ŠURINA B., 1998. Průručka terénneho prieskumu a mapovania pôd. Výzkumný ústav pôdnej úrodnosti. Bratislava. 134 pp.
- DALL W.H., 1892. Instructions for collecting mollusks, and other useful hints for the conchologist. *Bulletin of the United States National Museum, No. 39*. Smithsonian Institution Press, Washington, DC.
- DANGERFIELD J.M., MILNER A.E., 1996. Millipede fecal pellet production in selected natural and managed habitats of southern Africa: implications for litter dynamics. *Biotropica* 28, 113-120.
- DANGERFIELD J.M., TELFORD S.R., 1993. Aggregation in the tropical millipede *Alloporus uncinatus*. *Journal of Zoology, London* 230, 503-511.
- DANGERFIELD J.M., TELFORD S.R., 1996. The ecology of savanna millipedes in Southern Africa. In: Geoffroy, J.-J., Mauriés, J.-P. and Nguyen Duy-Jacquemin, M. (eds) *Acta Myriapodologica. Mémoires du Muséum National d'Histoire Naturelle* 169, 617-625.
- DÁNYI L., KORSÓS Z., 2002. Lithobius cyrtopus (Chilopoda: Lithobiomorpha, Lithobiidae), a magyar faunára új százlábú a Zemplénből. [Lithobius cyrtopus (Chilopoda: Lithobiomorpha, Lithobiidae) from the Zemplén Mts new to the fauna of Hungary]. *Folia Entomologica Hungarica*, 63: 186-188.
- DÁNYI L., WYTWER J., 2008. The true identity of Schendyla furcoides Kaczmarek, 1962. *Peckiana*, 6: 101
- DAVID C, FISHBURN C.S., MONSMA F.J., SIBLEY D.R., FUCHS S., 1993. Synthesis and processing of D2 dopamine receptors. *Biochem.*, 32, 8179-8183.
- DAVID J.F., PONGE J.F., DELECOUR F., 1993. The saprophagous macrofauna of different types of humus in beech forests of the Ardenne (Belgium). *Pedobiologia*, 37: 49-56.
- DAVID J. F., HANDA I. T., 2010. The ecology of saprophagous macroarthropods (millipedes, woodlice) in the context of global change. - *Biological Reviews* 85: 881-895.
- DOBRORUKA L. J., 1959. Chilopoda státní přírodní rezervace Mohelno. *Ochrana přírody*, 14: 104-106.
- DOLLERY R., HODKINSON I. D., JÓNSDÓTTIR I. S., 2006. Impact of warming and timing of snow melt on soil microarthropod assemblages associated with Dryas-dominated plant communities on Svalbard. - *Ecography* 29: 111-119.
- DUFRENE M., LEGENDRE P., 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67: 345-366.
- DUNGER W., VOIGTLÄNDER K., 2009. Soil fauna (Lumbricidae, Collembola, Diplopoda and Chilopoda) as indicators of soil ecosubsystem development in post-mining sites of Eastern Germany a review. - *Soil Organisms* 81: 1-51.
- EASON E.H., 1964. Centipedes of the British Isles. London, Frederick Warne: 294 s.
- ENGHOFF H., 1984. Phylogeny of millipedes - a cladistic analysis. *Zeitschrift für Zoologische Systematik und Evolutionsforschung* 22, 8-26.
- EDGEcombe G.D., GIRIBET G., 2002. Myriapod phylogeny and the relationships of Chilopoda. In: Llorente Bousquets, J. and Morrone, J.J. (eds) *Biodiversidad, Taxonomía y Biogeografía de Artrópodos de México: Hacia una Síntesis de su Conocimiento*. Prensas de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 143-168.
- EDGEcombe G.D., GIRIBET G., 2007. Evolutionary biology of centipedes (Myriapoda: Chilopoda). *Annu. Rev. Entomol.*, 52: 151-170.
- EDNEY E.B., 1951. The evaporation of water from woodlice and the millipede *Glomeris*. *Journal of Experimental Biology*, 28: 91-115.
- ELZINGA R.J., 1994. The use of legs as grasping structures during prey capture and feeding by the centipede *Scolopendra viridis* Say (Chilopoda: Scolopendridae). *Journal of the Kansas Entomological Society* 67, 369-372.
- ELLENBERG H., MAYER R., SCHAUERMANN J., 1986. Okosystemforschung-Ergebnisse des Sollingprojektes. Ulmer, Stuttgart. 507 pp.
- FIERER N., STRICKLAND M. S., LIPTZIN D., BRADFORD M. A., CLEVELAND C. C., 2009. Global patterns in belowground communities. - *Ecology Letters* 12: 1238-1249.
- FERLIAN O., SCHUE S., POLLIÉRE M.M., 2012. Trophic interactions in centipedes (Chilopoda, Myriapoda) as indicated by fatty acid patterns: Variations with life stage, forest age and season. *Soil Biology & Biochemistry*, 52: 33-42.

- FLASAROVÁ M., 1958. K poznání moravskoslezských Oniscoidei. Časopis Slezského Muzea Opava (A), 7: 100-130.
- FLASAROVÁ M., 2000. Übersicht über die faunistische Erforschung der Landasseln (Isopoda, Oniscidea) in der Tschechische Republik. *Crustaceana*, 73: 585-608.
- FODDAI D., PEREIRA L.A., MINELLI A., 2002. Geophilomorpha. In: Llorente-Bousquets, J., Morrone, J.J. (eds.): Biodiversidad, taxonomía y biogeografía de artrópodos de México: hacia una síntesis de su conocimiento. México, Universidad Nacional autónoma de México, 3: 417-427.
- FOLKMANOVÁ B., KOČIŠ M., ZLÁMALOVÁ M., 1955. Příspěvky k poznání některých eratických skupin členovců z údolí Dyje. Věstník Československé Zoologické Společnosti, 19: 306-330.
- FOLKMANOVÁ B., 1947. Stonožky z Jeseníků. *Entomologické Listy*, 10: 75-81.
- FOLKMANOVÁ B., 1928. Chilopoda Republiky Československé, Díl 1, Chilopoda Čech. Fauna et Flora Čechoslovenica. Praha, NČAVU.
- FOLKMANOVÁ B., 1954. Příspěvek k poznání slezských stonožek z Beskyd. Přírodovědný Sborník Ostravského Kraje, 15: 194-219.
- FOLKMANOVÁ B., 1959. Stonožky – Chilopoda. In: Kratochvíl, J. (ed.): Klíč zvířeny ČSR III. Praha, NČSAV: 49-66.
- FOLKMANOVÁ B., LANG J., 1960. Příspěvek k poznání stonožek Rychlebských hor. Přírodov. čas. slez., 21: 355-372.
- FRANCIS A. J., 1986. Acid rain effects on soil and aquatic microbial biomass. - *Experientia* 42: 455-465.
- FRANKENBERGER Z., 1942. Poznámky o českých Isopodech. III. *Věda Přírodní*, 21: 85-88, 119-121.
- FRANKENBERGER Z., 1944. Oniscoidea Čech a Moravy. Věstník Královské České Společnosti Nauk (třída matematicko-přírodovědná), 8: 1-28.
- FRANKENBERGER Z., 1959. Stejnonožci suchozemští – Oniscoidea. Fauna ČSR, svazek 14. NČSAV, Praha.
- FROUZ J., 1999. Use of soil dwelling Diptera (Insecta, Diptera) as bioindicators: a review of ecological requirements and response to disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 167-186.
- FRÜND H.C., 1983. Untersuchungen zur Koexistenz verschiedener Chilopodenarten im Waldboden. PhD-thesis, Wfuzburg.
- FRÜND H.C., 1987. Raumliche Verteilung und Koexistenz der Chilopoden in einem BuchenAltbestand. *Pedobiologia* 30,19-29.
- FRÜND H.C., 1991. Zur Biologie eines Buchenwaldbodens 14. Die Hundertfüßer (Chilopoda). *Carolinea*, 49: 83-94
- FUNKE W., 1971. Food and energy turnover of leaf-eating insects and their influence on primary production. *Ecology Studies*, 2: 81-93.
- GALLET C., LEBRETON P., 1995. Evolution of phenolic patterns in plants and associated litters and humus of a mountain forest ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 27: 157-166.
- GARTNER T.B., CARDON Z.G., 2004. Decomposition dynamics in mixed-species leaf litter. *Oikos*, 104:230-46.
- GEIGER R., ARON R.H., TODHUNTER P., 1995. The climate near the ground. Friedrich Vieweg & Sahn VedagseseUschaft mbH, Braunschweig, Wiesbaden.
- GEISSEN V., ILLMANN J., FLOHR A., KAHNER R., BRUMMER G.W., 1997. Effects of liming and fertilization on Collembola in forest soils in relation to soil chemical parameters. *Pedobiologia* 41,194-201.
- GRGIČ T., KOS I., 2002. Centipede biodiversity on patches of different developmental phases in uneven-aged beech forest stand. In: Hammer, M. (ed.): Myriapodology in the new millenium. Proceedings of the 12th International Congress on Myriapodology, South Africa, July 2002. Mtunzini, 29 July-2 August 2002. Pietermaritzburg, Council of the Natal Museum: 5.
- GRGIČ T., KOS I., 2003. Centipede diversity in patches of different development phases in an unevenly-aged beech forest stand in Slovenia. *African Invertebrates*, 44: 237-252.
- GRGIČ, T., KOS, I., 2005. Influence of forest development phase on centipede diversity in managed beech forests in Slovenia. *Biodiversity and Conservation*, 14: 1841-1862.
- GOLOVATCH S.I., HOFFMAN R.L., ADIS J., MORAIS J.W., 1995. Identification plate for the millipede orders populating the Neotropical Region south of Central Mexico (Myriapoda, Diplopoda). *Studies on the Neotropical Fauna and Environment* 30, 159-164.
- GOLOVATCH S. I., KIME R.D., 2009. Millipede (Diplopoda) distributions: A review. *Soil Organisms*. 81: 565-597
- GORDON H., HAYGARTH P. M., BARDGETT R. D., 2008. Drying and rewetting effects on soil microbial community composition and nutrient leaching. - *Soil Biology & Biochemistry* 40: 302-311.
- GUNN A., CHERRETT J.M., 1993. The exploitation of food resources by meso-and macro invertebrates. *Pedobiologia* 37, 303-320.



- HAACKER U., 1968. Deskriptive, experimentelle und vergleichende Untersuchungen zur Autokologie rhein-mainischer Diplopoden. *Oecologia* 1, 87-129.
- HADLEY N.F., 1994. Water relations of terrestrial arthropods. Academic Press, San Diego.
- HARUŠTIAKOVÁ D., JARKOVSKÝ J., LITNEROVÁ S., DUŠEK L., 2012. Vícerozměrné statistické metody v biologii. Brno : Akademické nakladatelství CERM, Brno, 110 p.
- HÅGVAR S., 1984. Six common mite species (Acari) in Norwegian coniferous forest soils: Relations to vegetation types and soil characteristics. *Pedobiologia* 27, 355-364.
- HÅGVAR S., KJØNDAL B.R., 1981. Effects of artificial rain on the microarthropod fauna in decomposing birch leaves. *Pedobiologia* 22, 409-422.
- HANSKI I.A., 1998. Metapopulation dynamics. *Nature*, 396: 41-49.
- HAVLÍČEK V., et al., 1986. Agrometeorologie. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 265 pp.
- HAYASHI Y., 1983. Aerodynamical properties of air layer affected by vegetation. Environmental Research Center papers, 3. Ibaraki (Japan): Environmental Research Centre, University of Tsukuba. 54 p.
- HÄTTENSCHWILLER S., GASSER P., 2005. Soil animals alter plant litter diversity effects on decomposition. *Proceedings of the National Academy Sciences*, 5: 1519-1524.
- HÄTTENSCHWILLER S., TIUNOV A.V., SCHEU S., 2005. Biodiversity and litter decomposition in terrestrial ecosystems. *Ann. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 36:191-218.
- HOFFMAN R.L., 1985. Biological and systematic problems involving soil dwelling arthropods. *Quaestiones Entomologicae* 21, 543-557.
- HOFFMAN R.L., 1969. Myriapoda, exclusive of Insecta. In: Moore, R. (ed.) *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Geological Survey of America and University of Kansas, Lawrence, pp. R572-R606
- HOFFMAN R.L., 1999. Checklist of the Millipedes of North and Middle America. Virginia Museum of Natural History, Special Publication No. 8, 1-584.
- HOLUŠA O., 2003. Vegetační stupňovitost a její bioindikace pomocí řádu pisivek (Insecta: Psocoptera). Disertační práce, LDF MZLU v Brně, Brno, 154 pp.
- HOOPER D.U., BIGNELL D.E., BROWN V.K., ET AL., 2000. Interactions between aboveground and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: patterns, mechanisms, and feedbacks. *BioScience*, 50: 1049-1061.
- HOORENS B., AERTS R., STROETENGA M., 2003. Does initial litter chemistry explain litter mixture effects on decomposition? *Oecologia*, 442: 78-86.
- HOPKIN S.P., READ H.J., 1992. The biology of millipedes. New York, Oxford University Press: 223.
- HURTALOVÁ J., MATĚJKA F., JANOUŠ D., ROŽNOVSKÝ J., 2003. Influence of a spruce forest stand on the flowing and air temperature and moisture vertical stratification. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds). *Seminář Mikroklima porostů*. Brno, 26. března 2003, p. 66-79.
- HŮRKA K., VESELÝ P., FARKAČ J., 1996. Využití střevlíkovitých (Coleoptera, Carabidae) k indikaci kvality prostředí. *Klapalekiana*, 32: 15-26.
- CHAGAS J.A., CHAPARRO E., JIMÉNEZ S.G., TRIANA H.D., ET AL., 2008. The centipedes (Arthropoda, Myriapoda, Chilopoda) from Colombia: Part I. Scutigermorpha and Scolopendromorpha, *Zootaxa*, 2, 165-181.
- CHAHARTAGHI M., LANGEL R., SCHEU S., RUESS L., 2005. Feeding guilds in Collembola based on nitrogen stable isotope ratios. - *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1718-1725.
- CHAUVE G., HEUX L., AROUINI R., MAZEAU K., 2005. Cellulose poly (ethylene - co- vinyl acetate) nanocomposites studied by molecular modeling and mechanical spectroscopy. *Biomacromolecules* 6: 2025-2031.
- JABIN M., GUILHERME E., TOPP W., 2006. Sind historische Meilerplatten 'hot spots' für die Bodenfauna von Buchenwäldern? *Entomologie heute*, 18: 45-53.
- JABIN M., TOPP W., KULFAN J., ZACH P., 2007. The distribution pattern of centipedes in four primeval forests of central Slovakia. *Biodiversity and Conservation* 16, 3437-3445.
- JABIN M., 2008. *Influence of environmental factors on the distribution pattern of centipedes (Chilopoda) and other soil arthropods in temperate deciduous forests*. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät, 102 pp.
- JACKSON A.R., 1914. A preliminary list of the Myriapoda of the Chester district. *Lancashire and Cheshire Naturalist*, 6: 450-450
- JANDÁK J., 2003. Cvičení z půdoznalství. - Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 92 pp.
- JANDL R., KOPESZKI R., BRUCKNER A., HAGER R., 2003. Forest soil chemistry and mesofauna 20 years after an amelioration fertilization. *Restoration Ecology* 11,239-246.
- JEDRYCZKOWSKI W.B., 1992. The distribution and ecology of the millipedes in Poland. *Berichte des naturwissenschaftlich-medizinischen Vereins in Innsbruck, Suppl.*, 10: 385-391.
- JERAM A.J., SELDEN P.A., EDWARDS D., 1990. Land animals in the Silurian: arachnids and myriapods from Shropshire, England. *Science* 250, 658-661.

- JOHNSON B.M., 1952. The centipedes and millipedes of Michigan. PhD thesis, University of Michigan.
- KACZMAREK J., 1979. Pareczniki (Chilopoda) Polski. Wydawnictwo naukowe UAM, Poznań, 102 pp.
- KANEDA S., KANEKO N., 2008. Collembolans feeding on soil affect carbon and nitrogen mineralization by their influence on microbial and nematode activities. *Biology and Fertility Soils*, 44: 435–442.
- KAUTZ G., TOPP W., 1998. Nachhaltige waldbauliche Maßnahmen zur Verbesserung der Bodenqualität. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 117: 23–43.
- KAZDA M., PICHLER M., 1998. Priority assessment for conversion of Norway spruce forests through introduction of broadleaf species. *Forest Ecology Management*, 102: 245–258.
- KIME R.D., GOLOVATCH S.I., 2000. Trends in the ecological strategies and evolution of millipedes (Diplopoda). *Biological Journal of the Linnean Society* 69, 333–349.
- KHEIRALLAH A.M., 1979. Behavioral preference of *Julus scandinavicus* (Myriapoda) to different species of leaf litter. *Oikos* 33, 466–471.
- KLEBER M., JAHN R., 2007. Andosols and soils with andic properties in the German soil taxonomy. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170: 317–328.
- KOLEKTIV, 1995. Lesnický naučný slovník. II. díl P–Ž. MZe, Praha, 683 pp.
- KOREN A., 1986. Die Chilopoden-Fauna von Kärnten und Osttirol. Teil 1. Geophilomorpha, Scolopendromorpha. *Carinthia* 2, 43: 1–88.
- KOREN A., 1992. Die Chilopoden-Fauna von Kärnten und Osttirol. Teil 2. Lithobiomorpha. *Carinthia* 2, 51: 1–140
- KRÁLÍČEK M., POVOLNÝ D., 1978. Versuch einer Charakteristik der Lepidopteren-synusien als primärer Konsumenten in den Vegetationsstufen der Tschechoslowakei. *Věstník Českoslov. společ. zoo.*, 52: 273–288.
- KUBIENA W.L., 1955. Animal activity in soils as a decisive factor in establishment of humus forms. In: Kevan D.K.McE (ed.), *Soil Zoology*. Butterworths Scientific Publications, London.
- KULA E., ET AL., 2004. Význam břízy pro setrvalý rozvoj ve východním Krušnohoří, Výzkumná zpráva, MZLU v Brně, 147 pp.
- KULA E., LAZORÍK M., TUF I.H., 2011. Contribution to the knowledge of centipedes and terrestrial isopods of the Moravian-Silesian Beskids. *Acta Musei Beskidensis* 3: 57–65.
- KULA E., LAZORÍK M., 2014. Chilopoda v korunové a kmenové fauně lesních dřevin *Zprávy lesnického výzkumu*, 59 (3): 175–183.
- KULA E., LAZORÍK M., 2015. Comparison of Myriapoda in beech and spruce forests, *Journal of Forest Science*, 61, 306–314.
- KULA E., LAZORÍK M., 2016a. Centipedes, millipedes, terrestrial isopods and their relationship to the physical and chemical properties of forest soils, *Entomologica Fenica* 27: 33–51.
- KULA E., LAZORÍK M., 2016b. Relationship between soil type, humus form and macrofauna communities (Myriapoda and Isopoda) in forests of Moravskoslezské Beskydy mountains, Czech republic, *Acta zoologica Bulgarica*, 68 (2), 269–280.
- KUTÍLEK M., 1971. Ekologická klasifikace půdní vlhkosti, *Vodní hospodářství* 9: 250–256.
- LADANYI M., HORVATH L., 2010. A review of the potential climate change impact on insect populations – general and agricultural aspects. *Applied Ecology Environmental Research*, 8: 143–152.
- LANG J., 1954. Mnohonožky – Diplopoda. Praha, Nakladatelství Československé akademie věd: 183.
- LAŠKA V., 2004. Atlas rozšíření stonožek (Chilopoda) České republiky. Bakalářská práce. Olomouc, Univerzita Palackého, Přírodovědecká fakulta: 87 s.
- LAVELLE P., PASHANASI B., CHARPENTIER F., GILOT C., ROSSI J.P., ET AL., 1998. Large-scale effects of earthworms on soil organic matter and nutrient dynamics. Edwards, C.A. *Earthworm ecology*, St. Lucie Press, pp.103–122.
- LAVY D., VERHOEF H.A., 1996. Spatiotemporal variation in body composition and cold tolerance of soil arthropods. *Pedobiologia* 40, 529–540.
- LAWRENCE R.F., 1984. *The Centipedes and Millipedes of Southern Africa. A Guide*. Notes on the feeding habits of *Scolopendra subspinipes* Leach (Myriapoda). *Proceedings of the Hawaii Entomological Society* 8, 497–498.
- LAZORÍK M., KULA E., 2015. Impact of weather and habitat on the occurrence of centipedes, millipedes and terrestrial isopods in mountain spruce forests. *Folia Oecologica*, 42: 103–112.
- LEPŠ J., ŠMILAUER P., 2003. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. Cambridge University Press, London, 500.
- LEWIS J.G.E., 1965. The food and reproductive cycles of the centipedes *Lithobius variegates* and *Lithobius forficatus* in a Yorkshire woodland. *Proceedings of the Zoological Society of London* 144, 269–283.
- LEWIS J.G.E., 1981. *The Biology of Centipedes*. Cambridge University Press, Cambridge.

- LLOYD M., 1963. Numerical observations on movements of animals between beech litter and fallen branches. *Journal of Animal Ecology* 32, 157-163.
- LORENZ K., PRESTON C.M., RASPE S., MORRISON J.K., FEGER K.H., 2000. Litter decomposition and humus characteristics in Canadian and German spruce ecosystems: information from tannin analysis and C-13 CPMAS NMR. *Soil Biology and Biochemistry*, 32: 779–792.
- MAGURA T., BOGYÓ D., MIZSER S., NAGY D. D., TÓTHMÉRÉSZ B., 2015. Recovery of grand-dwelling assemblages during reforestation with native oak depends on the mobility and feeding habits of the species, *Forest Ecology and Management*, 339, 117-126.
- MATIC Z., 1966. Classe Chilopoda, Subclasse Anamorpha. *Fauna RSR*, (6)1: 1–272. Bucuresti, ARSR.
- MARAUN M., SCHEU S., 1995. Measurement of the microbial biomass in three different litter layers of a beechwood: influence of fragmentation and glucose concentration. *Biology Fertility Soils*, 19: 155–158.
- MARAUN M., MARTENS H., MIGGE S., THEENHAUS A., SCHEU S., 2003. Adding to ‘the enigma of soil animal diversity’: fungal feeders and saprophagous soil invertebrates prefer similar food substrates. - *European Journal of Soil Biology* 39: 85–95.
- MAŘAN B., KÁŠ V., 1948. Biologie lesa I. Pedologie a mikrobiologie lesních půd (Forestry biology I. Pedology and microbiology of forest soils). - Melantrich, Praha, 596 pp. [In Czech].
- MCTIERNAN K.B., INESON P., COWARD P.A., 1997. Respiration and nutrient release from tree leaf litter mixtures. *Oikos*, 78: 27–38.
- MEHLICH A., 1984. Mehlich III Soil Test Extractant: A modification of Mehlich 2 Extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 15(12): 1409–1416.
- MEAD-BRIGGS A.R., 1956. The Effect of temperature upon the permeability to water of arthropod cuticles. *Journal of experimental Biology*, 33: 737–749.
- MEYER E., 1985. Distribution, activity, life-history and standing crop of Julidae (Diplopoda, Myriapoda) in the Central High Alps (Tyrol, Austria). *Holarctic Ecology* 8, 141-150.
- MIKHALJOVA E.V., 2000. Review of the millipede family Diplomaragnidae (Diplopoda: Chordeumatida). *Arthropoda Selecta*, 8: 153–181.
- MINELLI A., BONATO L., DIOGUARDI R., ET AL., 2006. Chilobase: a web resource for Chilopoda taxonomy [online]. Available from the WWW: <<http://chilobase.bio.unipd.it>> [cit. 15.IX.2011]
- MONTEITH L.G., 1976. Field studies of potential predators of the apple magot *Rhagoletis pomonella* (Diptera; Tephritidae) in Ontario. *Proceedings of the Entomological Society of Ontario*, 107: 23–30.
- MORAIS J.W. DE, ADIS J., BERTI-FILHO E., PEREIRA L.A., MINELLI A., BARBIERI F., 1997. On abundance, phenology and natural history of Geophilomorpha from a mixedwater inundation forest in Central Amazonia (Chilopoda). *Entomologica Scandinavica*, Suppl. 51: 115–119.
- MORÓN-RÍOS A., RODRÍGUEZ M.Á., PÉREZ-CAMACHO L., REBOLLO S., 2010. Effects of seasonal grazing and precipitation regime on the soil macroinvertebrates of a Mediterranean old-field. *European Journal of Soil Biology* 46, 91-96.
- MUDRICK D.A., HOOSEIN M., HICKS JR., R.R., TONWSEND B.C., 1994. Decomposition of leaf litter in an Appalachian forest: effects of leaf species, aspect, slope position and time. *Forest Ecology and Management* 68, 231-250.
- MUNDEL P., 1979. The centipedes (Chilopoda) of the Mazon Creek. In: Nitecki, M.H. (ed.) *Mazon Creek Fossils*. Academic Press, New York, pp. 361-378.
- NIHLGÅRD B., 1971. Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden. *Oikos*, 22: 302–314.
- NECKAŘOVÁ M., 2009. Stonožky řádu Lithobiomorpha České republiky, bakalářská práce, UPOL, Olomouc.
- NEUHAUSER E.F., HARTENSTEIN R., 1978. Phenolic content and palatability of leaves and wood to soil isopods and diplopods. *Pedobiologia*, 18: 99–109.
- NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M., 1990. Pedologie a paleopedologie. - Academia, Praha, 546 pp.
- NĚMEČEK J., MACKŮ J., VOKOUN J., VAVŘÍČEK D., NOVÁK P., 2001. Taxonomický klasifikační systém půd České republiky, Praha.
- NEWPORT G., 1844. Monograph of the class Myriopoda, order Chilopoda; with observations on the general arrangement of the Articulata. *Transaction of the Linnean Society of London*, 19: 265–302, 349–439.
- NOVÁK K., ET AL., 1969. Metody sběru a preparace hmyzu. Academia, Praha, 243 pp.
- O'NEILL R.V., REICHLE D.E., 1979. Dimensions of ecosystem theory. In *Forests, Fresh Perspectives from Ecosystem Analysis*, R. H. Waring (ed.). *Proceedings of the 40th annual biology col- loquim*, Oregon State University Press, Corvallis, Oregon, pp. 11–26.
- OKE T.R., 1987. *Boundary layer climates*. Methuen, London and New York.

- PAOLETTI M.G., HASSALL M., 1999. Woodlice (Isopoda: Oniscidea): their potential for assessing sustainability and use as bioindicators. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 74: 157-165.
- PAVELKOVÁ K., 2008. Společenstva stonožek (Chilopoda) vybraných karpatských lokalit. [Master thesis]. Palacky University Olomouc, Faculty of Science, Department of Ecology and Environmental Science, 55 pp
- PELIKÁN J., 1996. Vertikal distribution of alpine Thysanoptera. *Folia ent. hung.*, 57 (Suppl.): 121-125.
- PÉREZ HARGUINDEGUY N., DÍAZ S., CORNELISSEN J.H.C., VENDRAMINI F., CABIDO M., CASTELLANOS A., 2000 Chemistry and toughness predict leaf litter decomposition rates over a wide spectrum of functional types and taxa in central Argentina. *Plant and Soil* 218:21-30
- PETERSEN H., LUXTON M., 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition process. *Oikos*, 39: 288-388
- PFLIEDERER-GRUBER M., 1986. Ökophysiologische Studien an Chilopoda in Tirol. Innsbruck: O.K. Druck. 84 p
- PIANKA E.R., 1970. On r- and K-selection. *American Naturalist* 104, 592-597
- PLATEAU F., 1878. Recherche sur les phenomenes de la digestion et sur la structure de l'appareil digestif chez les Myriapodes de Belgique. The Royal Academy of Science, Letters of Belgium, 42: 1-91.
- PLÍVA K., 1971. Typologický systém ÚHÚL. ÚHÚL Brandýs nad Labem: 119.
- PLÍVA K., 1987. Typologický klasifikační systém ÚHÚL, Brandýs nad Labem, 52.
- PLÍVA K., 1991. Přírodní podmínky v lesním plánování. ÚHÚL Brandýs nad Labem, Brandýs nad Labem, 264 pp.
- PONGE J.F., ARPIN P., SONDAG F., DELECOUR F., 1997. Soil fauna and assessment in beech stands of the Belgian Ardennes. *Canadian Journal of Forest Research* 27, 2053-2064.
- PONGE J.F., 1999. Interaction between soil fauna and their environment. In: Rastin N. and J. Bauhus (eds.), Going underground. Ecological studies in Forest Soils. *Research Signpost, Trivandrum*, pp. 45-76.
- PONGE J.F., 2003. Humus forms in terrestrial ecosystems: a framework to diversity. *Soil Biol. Biochem.* 35: 935-945.
- POSER T., 1989. Resource partitioning within the Chilopoda community of a limestone beechwood – the function of fauna in a mull b. In: Schaefer, M. (ed.): 17. Jahrestagung Göttingen. Göttingen, Gesellschaft für Oekologie: 279-284. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Band 17.*
- POSER G., 1990. Die Hundertfüßer (Myriapoda, Chilopoda) eines Kalkbuchenwaldes: Populationsökologie, Nahrungsbiologie und Gemeinschaftsstruktur. Göttingen, Forschungszentrum Waldökosysteme: 211 s.
- POSER T., 1990. The influence of litter manipulation on the centipedes of a beech wood. In: Minelli, A., (Ed.), Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Congress of Myriapodology. Brill, Leiden, New York, Kobenhaven, Koln, pp. 235-245.
- POVOLNÝ D., ŠUSTEK Z., 1983a. Three dipterous representatives of the Carpathian fauna in the beech forests of Central Moravia and the ecological preconditions of their discovery (Dipt., Sarcophagidae). *Acta Univ. Agric. Brno, Ser. C*, 52: (1-2): 127-144.
- POVOLNÝ D., ŠUSTEK Z., 1983b. Time correlated changes of the alpha diversity in the male aggregations of Sarcophagidae in three types of central european ecosystems. *Ekológia (ČSSR)*, 2: 113-120.
- RADU V.G., TOMESCU N., RACOVITA L., IMREH S., 1971. Radioisotope researches concerning the feeding and the assimilation of <sup>45</sup>Ca in terrestrial isopods. *Pedobiologia* 11, 296-303.
- READ H.J., GOLOVATCH S.I., 1994. A review of the Central Asian millipede fauna. *Bulletin of the British Myriapod Group* 10: 59-70.
- REJŠEK K., 1991. Acid phosphomonoesterase activity of ectomycorrhizal roots in norway spruce pure stand exposed to pollution. *Soil Biology and Biochemistry*, 23: 667-671
- ROBERTS H., 1956. An ecological survey of the arthropods of a mixed beech-oak deciduous woodland, with particular reference to the Lithobiidae. Thesis. University of Southampton: 217 s.
- ROBERTS H., 1957. An ecological survey of the arthropods of a mined beech-oak woodland with particular reference to the Lithobiidae. Ph. D Thesis. University of Southampton.
- RODENHOUSE N.L., CHRISTENSON L.M., PARRY D., GREEN L.E., 2009. Climate change effects on native fauna of northeastern forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 249-263
- ROUFED S., HANDA I.T., DAVID J.F., HÄTTENSCHWILER S., 2010. The importance of biotic factors in predicting global change effects on decomposition of temperate forest leaf litter. *Oecologia*, 163: 247-256.
- RUSEK J., 1975. Die bodenbildende Funktion von Collembolen and Acarina. *Pedobiologia*, 15: 299-308.
- SASKA P., 2007. *Philoscia muscorum* (Crustacea: Oniscidea: Philosciidae), new species of terrestrial isopod for the Czech Republic. *Bohemia Centralis, Praha*, 28: 437-440.

- SALMON S., ARTUŠI N., FRIZZERA L., ZAMPEDRI R., 2008. Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation. *Soil Biology & Biochemistry*, 40: 1707–1715.
- SHEAR W.A., KUKALOVÁ-PECK J., 1990. The ecology of Paleozoic terrestrial arthropods: the fossil evidence. *Canadian Journal of Zoology* 68, 1807-1834.
- SCHAFFER M., 1990. The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget. *Oecologia*, 82: 128–136.
- SCHAEFER M., 1991. Secondary production and decomposition: 175–218. - In: Röhrig, E. & Ulrich, B. (eds), *Temperate Deciduous Forests. Ecosystems of the world 7*. Elsevier. 635 pp.
- SCHAEFER M., SCHAUERMANN J., 1990. The soil fauna of beech forests: comparison between a mull and a moder soil. *Pedobiologia* 34: 299–314.
- SCHATZMANN E., 1990. Weighting of habitat types for estimation of habitat overlap-application to a collection of Swiss centipedes. In: Minelli A. (ed.): *Proceedings of the 7th International Congress of Myriapodology*. Brill, Leiden, July 19–24, 1987: 299–309.
- SCHEU S., POSER G., 1996. The soil macrofauna (Diplopoda, Isopoda, Lumbricidae and Chilopoda) near tree trunks in a beechwood on limestone: indications for stemflow induced changes in community structure. *Applied Soil Ecology*, 3: 115–125.
- SCHEU S., SCHAEFER M., 1998. Bottom-up control of the soil macrofauna community in a beechwood on limestone: manipulation of food resources. *Ecology*, 79: 1573-1585.
- SCHEU S., SCHULZ E., 1996. Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro-invertebrates. - *Biodiversity Conservation* 5: 235–250.
- SCHEU S., ALBERS D., ALPHEI J., BURYN R., KLAGES U., MIGGE S., ET AL., 2003. The soil fauna community in pure and mixed stands of beech and spruce of different age: trophic structure and structuring forces. *Oikos*, 101: 225–238.
- SCHLAGHAMERSKÝ J., DEVETTER M., HÁNĚL L., TAJOVSKÝ K., STARÝ J., TUF I.H., PIŽL V., 2014. Soil fauna across Central European sandstone ravines with temperature inversion: From cool and shady to dry and hot places. - *Applied Soil Ecology* 83: 30–38.
- SCHMALFUSS H., 2003. World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea). *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde, Serie A*, 654: 341 pp. Online dostupná aktualizovaná verze na [http://www.oniscidea-catalog.naturkundemuseum-bw.de/Cat\\_terr\\_isop.pdf](http://www.oniscidea-catalog.naturkundemuseum-bw.de/Cat_terr_isop.pdf).
- SCHMIDT M.W.I., NOACK A.G., 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications, and current challenges. - *Global Biogeochemical Cycles* 14: 777–793.
- SCHREINER A., DECKER P., HANNIG K., SCHWERK A., 2012. Millipede and centipede (Myriapoda: Diplopoda, Chilopoda) assemblages in secondary succession: variance and abundance in Western German beech and coniferous forests as compared to fallow ground. - *Web Ecology* 12: 9–17.
- SEASTEDT T.R., CROSSLEY D.A., 1983. Nutrients in for est litter treated with naphthalene and simulated throughfall: a field microcosm study. *Soil Biology and Biochemistry*, 15: 159–165.
- SIMON H.R., 1960. Zur Ernährungsbiologie von *Lithobius forficatus*. *Zoologischer Anzeiger*, 164: 19–26.
- SMITH V.C., BRADFORD M.A., 2003. Do non-additive effects on decomposition in letter-mix experiments result from differences in resource quality between litters?, *Oikos*, 102:235–242.
- SØMME L., 1982. Supercooling and winter survival in terrestrial arthropods. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 73, 519-543.
- SPELDA J., 1996. Millipedes as aids for the reconstruction of glacial refugia. *Mémoires du Muséum national d'Histoire naturelle*, 169: 151–161.
- SPELDA J., 1999. Verbreitungsmuster und Taxonomie der Chilopoda und Diplopoda Südwestdeutschlands. Teil 2. PhD thesis, Ulm.
- SPELDA J., 2005. Improvements in the knowledge of the myriapod fauna of southern Germany between 1988 and 2005 (Myriapoda: Chilopoda, Diplopoda, Pauropoda, Symphyla). *Peckiana*, 4: 101–129.
- SPITZER L., TUF I.H., TUFOVÁ J., TROPEK R., 2007. Contribution to the knowledge of epigeic invertebrates of two seminatural fir-beech deciduous woodlands in the Vsetínské vrchy Hills, Western Carpathians *Práce a Stud. Muz. Beskyd (Přír. vědy)*, 19: 71–82.
- SPITZER L., KONVIČKA O., TROPEK R., ROHÁČOVÁ M., TUF I.H., NEDVĚD O., 2010. Společenstvo členovců (Arthropoda) zimujících na jedli bělokoré (*Abies alba*) na Valašsku (okr. Vsetín, Česká republika). *Časopis Slezského Muzea Opava (A)*, 59: 217–232
- SOUKUP J., FUCHSOVÁ K., POSPÍŠILOVÁ N., SALÁT L., ZEMAN P., 1987. Vyšetřování zahradnických půd a substrátů., *Aktuality Výzkumného a šlechtitelského ústavu okrasného zahradnictví v Průhoncích*, 62 pp.
- SOUTY-GROSSET C., BADENHAUSSER I., REYNOLDS J.D., MOREL A., 2005. Investigations on the potential of woodlice as bioindicators of grassland habitat quality. *Pedobiologia*, 41: 109–116.

- STAŠIOV S., HAZUCHOVÁ L., BEŇO J., KOČÍK K., VICIAN V., 2007. Vplyv formy obhospodarovania agroekosystémov na štruktúru spoločenstiev mnohonôžok (Diplopoda). Zborník vedeckých prác spracovaných v nadväznosti na grant VEGA č. 1/2379/05. Čižmarová, J. PARTNER, Poniky, p. 56–66.
- STAŠIOV S., STAŠIOVÁ A., SVITOK M., MICHALKOVÁ E., SLOBODNÍK B., LUKÁČIK I., 2012. Millipede (Diplopoda) communities in an arboretum: Influence of tree species and soil properties. *Biologia Section Zoology*, 67: 945-952.
- STREJČEK J., 2001. Katalog brouků (Coleoptera) Prahy. Vol. 2 Anthribidae, Curculionidae. Hlavní město Praha, Praha, 138 s.
- STEJSKAL R., 2006. Nosatcovití brouci (Coleoptera, Curculionoidea) ve vybraných lesních geobiocenózách Národního parku Podyjí. Disertační práce, LDF MZLU v Brně, 123 s.
- STERZYŇSKA M., TAJOVSKÝ K., NÍCIA P., 2015. Contrasting response of millipedes and terrestrial isopods to hydrologic regime changes in forested montane wetlands. *European Journal of Soil Biology*, 68: 33-41.
- STEPHEN A.R., 1992. A-Morphous Morphology. Cambridge: Cambridge University Press.
- STOLINA M., 1959. Vztah hmyzu k rostlinným spoločenstvám v typologických jednotkách. Čas. Čs. Společ. ent, 56: 213-220.
- STOLINA M., 1975. Geobiocenologické jednotky v štúdiu lesného fytofágného hmyzu. Lesn. Čas., 74:307-322.
- STOLINA M., 2000. Ochrana lesa v aspektoch ekológie. Lesnícky časopis – Forestry Journal, 46: 345–359.
- SUMMERS G., UETZ G.W., 1979. Microhabitats of woodland centipedes in a streamside forest. *The American Midland Naturalist* 102, 346-352.
- ŠUSTEK Z., 1976. Role čeledi Carabidae a Staphylinidae v lesních geobiocenózách. (Diplomová práce). Brno, VŠZ LF, 64 pp.
- ŠUSTEK Z., POVOLNÝ D., 1980. Anwendung der Shannon–Wiener Formel für das Studium der vertikalen Zonation der Insektenfauna. Acta Mus. reginaehrad., Ser. A., 1980 (Supp.): 126–132.
- ŠUSTEK Z., 1993. Využitie Zlatníkovej geobiocenologickej klasifikácie pri štúdiu rozšírenia bystruškovitých (Coleoptera, Carabidae). In: Štykar, J. (ed.): Geobiocenologický výzkum lesů, výsledky a aplikace poznatků. Sbor. referátů ze sympózia k 90. výročí narození Prof. Aloise Zlatníka. Ústav lesnické botaniky, dendrologie a typologie, Lesnická fakulta, VŠZ v Brně, 59–63.
- TAJOVSKÝ K., 1997. Distribution of millipedes along an altitudinal gradient in three mountain regions in the Czech and Slovak Republics (Diplopoda). In: ENGHOFF, H. (ed.): Many-legged animals - A collection of papers on Myriapoda and Onychophora, *Entomologica scandinavia*, Suppl. 51: 225–234.
- TAJOVSKÝ K., 2000. Stonožky (Chilopoda) Krkonoš (Centipedes (Chilopoda) of Krkonoše Mts.). Opera Concartica, 37: 385–389.
- TAJOVSKÝ K., 2001a. Centipedes (Chilopoda) of the Czech Republic. *Myriapodologica Czecho-Slovaca*, 1: 39-48.
- TAJOVSKÝ K., 2001b. Milipedes (Diplopoda) of the Czech Republic. *Myriapodologica Czecho-Slovaca*, 1: 11-24.
- TAJOVSKÝ K., WYTWER J., 2009. Millipedes and centipedes in wetland alder stands in northeastern Poland. In: Xylander W., Voightländer K. (eds), *Myriapoda and Onychophora of the World – Diversity, Biology and Importance*, Görlitz. *Soil Organisms* 81 (3): 761–772.
- TAJOVSKÝ K., TUF I.H., 2016. An annotated checklist of the millipedes (Diplopoda) recorded in the Czech Republic. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 80.
- TANAKA K, UDAGAWA T., 1993. Cold adaptation of the terrestrial isopod, *Porcellio scaber*, to subnivean environments. *Journal of Comparative Physiology B* 163,439-444.
- TEMPLER P.H., SCHILLER A.F., FULLER N.W., SOCCI A.M., DRAKE J.E., KUNZ T.H., 2012. Impact of a reduced winter snowpack on litter arthropod abundance and diversity in a northern hardwood forest ecosystem. *Biology and Fertility of Soils*, 48: 413–424
- TER BRAAK C.J.F., SMILAUER P., 2002. CANOCO Reference Manual and Canodraw for Windows Users Guide: Software for Canonical Community Ordination Version 4.5. Ithaca, Wageningen: 500
- THIELE H.U., 1977. Carabid beetles in their environments. *Zoophysiology and Ecology* 10. Spnnger, Berlin, Heidelberg, New York.
- TOLASZ R., MÍKOVÁ T., VALERIÁNOVÁ A., VOŽENÍLEK V., 2007. Atlas podnebí Česka. ČHMÚ, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha – Olomouc, 256 pp.
- TOLBERT W.W., 1975. The effects of slope exposure on arthropod distribution patterns. *The American Naturalist* 94, 38-53.
- TOPP W., 1978. Untersuchungen zur Kälteresistenz bei Staphyliniden (Col.). *Zoologischer Anzeiger* 201,397 402.

- TOPP W., GEMESI O., GRUNING C., TASCH P., ZHOU H.Z., 1992. Colonization of soil fauna in afforested coal mined areas in the Rhineland. *Zool. Jb. Syst.*, 119: 505–533.
- TOPP W., 1994. Seasonal time partitioning and polymorphism in the development cycles of simpatric Staphylinidae (Coleoptera) living in an unstable environment. In: Danks H. V., (Ed.), *Insect Life-cycle Polymorphism*. Kluwer, Dordrecht, Boston, London pp. 277-312.
- TOPP W., 1998. Der Einfluss von Rekultivierungsmaßnahmen auf die Bodenfauna, in: Braunkohlentagebau und Rekultivierung – Landschaftsökologie, Folgenutzung, Naturschutz, edited by: Pflug W., Springer, Berlin, 325–336.
- TUF I.H., LAŠKA V., 2005. Present knowledge on centipedes in the Czech Republic: a zoogeographic analysis and bibliography 1820-2003. *Peckiana*, 4: 143-161.
- TUF I.H., TVARDÍK D., 2005. Heat-extractor – indispensable tool for soil zoological studies. In: Tajovský, K., Schlaghamerský, J. & Pižl, V. (eds.): *Contributions to Soil Zoology in Central Europe I*. ISB AS CR, České Budějovice, pp. 191-194.
- TUF I.H., TUFOVÁ J., 2004. Stonožky a mnohonožky (Myriapoda: Chilopoda et Diplopoda) lesů Bílých Karpat. In: 4. seminář českých a slovenských myriapodológov. *Východná*, 14.–18. September 2004. Abstrakty referátov: 11.
- TUF H.I., TUFOVÁ J., 2008. Classification of Czech myriapod and isopod fauna for evaluation of habitat quality. *Čas. Slez. Muz. Opava (A)*, 57: 37–44.
- TUF I. H., WYTWER J., TAJOVSKÝ K., 2008. On the identity of the species described in the genus *Lithobius* Leach, 1814 by L. J. Dobroruka from the former Czechoslovakia (Czech and Slovak Republics) (Chilopoda: Lithobiomorpha). - *Zootaxa*, 1788: 37-46.
- TUF I.H., TAJOVSKÝ K., 2016. An annotated checklist of the centipedes (Chilopoda) recorded in the Czech Republic. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 80.
- ÚHÚL., 2003. Taxonomický klasifikační systém půd ČR, Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Brandýs nad Labem, [http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky\\_klasifikacni\\_system\\_pud\\_v\\_cr.pdf](http://www.uhul.cz/images/typologie/taxonomicky_klasifikacni_system_pud_v_cr.pdf)
- ULRICH B., 1987. Stability, elasticity, and resilience of terrestrial ecosystems with respect to matter balance. In: Schulze E.D., Zwölfer H. (eds): *Potentials and limitations of ecosystem analysis*. Ecological Studies, 61: 11–49.
- ULRICH B., SUMNER M.E., 1991. Soil Acidity. Berlin, Springer. In: Ulrich B., Mayer R., Khanna P.K., Seekamp G., Fassbender H.W. (1976): *Input, output und interner Umsatz von chemischen Elementen bei einem Buchen- und einem Fichtenbestand*. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Göttingen. The Hague, Dr. W. Junk Publ.: 17–28.
- ULRICH B., 1994. Nutrient and acid-base budget of Central European forest ecosystems. In: Godbold D.L., Hüttermann A. (eds): *Effects of Acid Rain on Forest Processes*. New York, John Wiley & Sons: 1–50.
- VALIŠ J., 1904. Předběžný přehled dosud z Moravy známých Myriapodů. *Věstník Královské České Společnosti nauk, Třída 2*, 28: 1-12.
- VAN STRAALLEN N.M., 1998. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. *Applied Soil Ecology*, 9: 429-437.
- VASCONCELLOS L.F.R., SEGAT J.C., BONFIM J.A., BARETTA D., CARDOVO J.B.N., 2013. Soil macrofauna as an indicator of soil quality in an undisturbed riparian forest and recovering sites of different ages. *European Journal of Soil Biology* 58: 105–112.
- VASÁTKO J., 2000. Živočišná složka geobiocenózy (zoocenóza) a její význam pro charakteristiku jednotek geobiocenologické typizace krajiny. *Geobiocenologické listy (Brno)*, 5: 12–14.
- VIEWEGH J., KUSBACH A., MIKESKA M., 2003. Czech forest ecosystem classification. *Journal of Forest Science*, 49 (2): 85–93.
- VIEWEGH J., 2004. Problematika lesnické typologie VI., *Fakulta Lesnické ekologie ČZU, Praha*, 25.
- VERHOEFF K.W., 1937. Oberklasse: Opisthogoneata. Klasse Hundertfüßler, Chilopoda. In: Brohmer P. et al. (eds.): *Die Tierwelt Mitteleuropas, Ergänzungsbände*. Leipzig, Quelle & Meyer: 91– 120.
- VERHOEF H.A., BRUSSAARD L., 1990. Decomposition and nitrogen mineralization in natural and agro-ecosystems: the contribution of soil animals. *Biogeochemistry*, 11: 175–211.
- Viewegh J., 2004. Problematika lesnické typologie VI., *Fakulta Lesnické ekologie ČZU, Praha*, 25.
- VOIGTLÄNDER K., DUNGER W., 1992. Long-term observations of the effects of increasing dry pollution on the myriapod fauna of the Neißer Valley (East Germany). In: Meyer, E. et al. (eds): *Advances in myriapodology*. Proceedings of the 8th International Congress of Myriapodology. Innsbruck, 15–20 July 1990. Innsbruck, Universitätsverlag Wagner: 251–256. *Berichte des Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereins in Innsbruck, Suppl.* 10.
- VOIGTLÄNDER K., 2011. Preferences of common Central European millipedes for different biotope types (Myriapoda, Diplopoda) in Saxony-Anhalt (Germany). In: Mesibov R. and Short M. (eds.)



- Proceedings of the 15th International Congress of Myriapodology, 18–22 July 2011, Brisbane, Australia. *International Journal of Myriapodology*, 6: 61–83.
- WALL D.H., BRADFORD M.A., ST. JOHN M.G., TROFYMOW J.A., BEHAN-PELLETIER, ET AL., 2008. Global decomposition experiment shows soil animal impacts on decomposition are climate-dependent. *Global Change Biology*, 14: 2661–2677.
- WARDLE D. A., 1992. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. - *Biological Reviews* 67: 321–358.
- Wardle D.A., Bonner K.I., Nicholson K.S., 1997. Biodiversity and plant litter: experimental evidence which does not support the view that enhanced species richness improves ecosystem function. *Oikos*, 79:247–58
- WARDLE D.A., BARDGETT R.D., KLIRONOMOS J.N., ET AL., 2004. Ecological linkages between aboveground and belowground biota. *Science* 304, 1634–1637
- WEIL E., 1958. Zur Biologie der einheimischen Geophiliden. - *Zeitschrift für angewandte Entomologie* 42:173–209. [In German.]
- WIGLEY T.B., ROBERTS T.H., 1994. Forest management and wildlife in forested wetlands of the southern Appalachians. *Water Air and Soil Pollution*, 77: 445–456.
- WIGNARAJAH S., 1968. Energy dynamics of centipede populations (*Lithobiomorpha* – *L. crassipes* and *L. forficatus*) in woodland ecosystems. Ph.D. thesis. University of Durham: 168 s. Available at Durham E-Theses Online: <http://etheses.dur.ac.uk/8729/>
- WIRKNER C.S., PASS G., 2002. The circulatory system in Chilopoda: functional morphology and phylogenetic aspect. *Acta Zoologica*, 83, 193–202.
- WOLTERS V., SILVER W.L., BIGNELL D.E., COLEMAN D.C., LAVELLE P., ET AL., 2000. Effects of global changes on above- and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning. *BioScience* 50:1089-1098.
- WYTWER J., 1995. Faunistical relationships between Chilopoda of forest and urban habitats in Mazowia. *Fragmenta Faunistica*, 38: 87–133.
- WYTWER J., TAJOVSKÝ K., 2005. Centipedes in the spruce forests of the Moravskoslezské Beskydy Mountains, Czech Republic. In: Tajovský K., Schlaghamerský J., Pižl V. (eds.): *Contributions to Soil Zoology in Central Europe I*. ISB AS CR, České Budějovice, pp. 211-215
- ZAPPAROLI M., 1997. Urban development and insect biodiversity of the Rome area, Italy. - *Landscape Urban Planning* 38: 77–86.
- ZBÍRAL J., 1997. Jednotné pracovní postupy, Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Brno: Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture. 199 pp.
- ZBÍRAL J., 2002. Analýza půd I. Jednotné pracovní postupy. (Soil analysis I. Integrated work procedures.). - Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno, 28–54.
- ZERM M., 1997. Die Fauna der Tausend-, Hundert- und Zwergfüßler (Myriapoda: Diplopoda, Chilopoda, Symphyla) sowie der Landasseln (Isopoda: Oniscidea) im Unteren Odertal, unter besonderer Berücksichtigung des Standortfaktors Überschwemmung. - *Zoologische Beiträge* 38 (1): 97–134.
- ZLATNÍK A., 1954. Methodik der typologischen Erforschung der tschechoslowakischen Wälder. „Angewandte Pflanzensociologie“, Veröffentlichungen des Kärntner Landesinstitutes für angewandte Pflanzensoziologie in Klagenfurt. *Festschr. Aichinger*, 2: 916–955.
- ZLATNÍK A., 1956. Nástin lesnické typologie na geobiocenologickém základu a rozlišení československých lesů podle skupin lesních typů. In: Polanský B. (ed.), *Pěstování lesů 3*. Praha, SZN: 317–401.
- ZYCH M., 1989. Remarks on the appearance of *Lithobius microps* meinert chilopoda lithobiomorpha. *Przeład Zoologiczny*, 33 (2): 333–336.