

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE**

Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra pěstování lesů



**HODNOCENÍ VÝZNAMU FRAKCE OPADU
PRO KOLOBĚH FIVIN V LESNÍCH
EKOSYSTÉMECH**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor: Bc. Hana Jarošová
Vedoucí práce: prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

2014

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra pěstování lesů
Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jarošová Hana

Lesní inženýrství

Název práce

Hodnocení významu frakce opadu pro koloběh živin v lesních ekosystémech

Anglický název

Evaluation of the importance of a litter fraction for the nutrient cycle in forest ecosystems

Cíle práce

Kvantitativně a kvalitativně vyhodnotit opad v lesních porostech s různou dřevinnou skladbou v oblasti Drahanské vrchoviny. Formulovat závěry pro další výzkum lesních ekosystémů a aplikaci výsledků v lesnické praxi.

Metodika

Kvantitativní a kvalitativní charakteristiky opadu budou sledovány na lokalitě Rájec-Němčice v oblasti Drahanské vrchoviny. Hodnoceny budou čtyři porosty: smrková monokultura (SM) ve věku 108 let, smíšený porost (BK, SM, JD) ve věku 131 let, dále smrkový porost ve věku 36 let a bukový porost ve věku 46 let.

Odběry vzorků budou prováděny pomocí opadoměrů v počtu 5 na každé ploše. Vzorky opadu byly odebrány v průběhu roku 2010, 2011, 2012 a budou odebrány i v roce 2013 z každého opadoměru.

Vzorky opadu se budou rozdělovat na 3 (4) frakce: jehličí/listí, dřevo, ostatní. Po roztřídění budou vzorky opadu vysušeny v sušárně při 60 °C do konstantní hmotnosti.

Ve vzorcích opadu se bude stanovovat množství, obsah uhlíku, dusíku a přístupné živiny (Ca, Mg, K, Na, P a S).

Statistické analýzy budou provedeny v programu STATISTICA verze 9.0 (Stat-Soft Inc., 2009). Bude použita jednofaktorová ANOVA a pro detekci rozdílů mezi skupinami bude použit Tukeyho test. Významnost bude testována na hladině $\alpha = 0,05$.

Harmonogram zpracování

Odběr vzorků - duben 2013 - listopad 2013

analýzy vzorků - květen 2013 - prosinec 2013

odevzdání práce - duben 2014

Česká zemědělská univerzita v Praze * Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 - Suchbátův

Rozsah textové části

min. 50 s.

Klíčová slova

opad, kvalita a kvantita opadu, smrkový porost, bukový porost, smíšený porost, Dražanská vrchovina, Česká republika

Doporučené zdroje informací

- DUVIGNEAUD, P., (1988): Ekologická syntéza, Academia Praha, 416 s.
- FABIÁNEK, T., MENŠÍK, L., TOMÁŠKOVÁ, I., KULHAVÝ, J. (2009): Effects of spruce, beech and mixed commercial stand on humus conditions of forest soils. Journal of Forest Science. 2009. sv. 55, č. 3, s. 119-126. ISSN 1212-4834.
- GRUNDA, B., (1990): Složení humusu a mikroflóry v půdě pod smrkovou monokulturou antropicky ovlivněnou – Závěrečná zpráva samostatné etapy výzkumného úkolu: Dekompoziční procesy v lesních půdách ovlivněných antropickou zátěží. VI-4-3/02-2b, VŠZ v Brně.
- JAROŠOVÁ, H., (2012): Hodnocení významu frakce opadu pro koloběh živin v lesních ekosystémech. Bakalářská práce, MZLU Brno, 52 s.
- KLIMO, E., (1978b): Charakteristika půdních poměrů výzkumné stanice programu Člověk a biosféra, Rájec-Jestřebí. In: Struktura, funkce a produktivita lesních ekosystémů, ovlivňovaných uvědomělou antropickou činností (nižinné a pahorkatinné oblasti ČR). Informace o předběžných výsledcích dílčích výzkumných úkolů v projektech MAB v letech 1976-1977. VŠZ v Brně
- MENŠÍK, L., KULHAVÝ, J., KANTOR, P., REMEŠ, M. (2009): Humus conditions of stands with the different proportion of Douglas fir in training forest district Hůrky and the Křtiny Forest Training Enterprise. Journal of Forest Science. 2009. sv. 55, č. 8, s. 345-356. ISSN 1212-4834.
- MENŠÍK, L., (2010): Frakcionace humusových látek lesních půd. Disertační práce, MZLU Brno, 210.

Vedoucí práce

Podrázský Vilém, prof. Ing., CSc.

Termín odevzdání

duben 2014

prof. Ing. Vilém Podrázský, CSc.

Vedoucí katedry



prof. Ing. Marek Turčáni, PhD.

Děkan fakulty

V Praze dne 7.4.2013

Prohlášení

Prohláším, že jsem diplomovou práci na téma Hodnocení významu frakce opadu pro koloběžky v lesních ekosystémech vypracovala samostatně pod vedením prof. Ing. V. Podrázského, CSc. A použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si v domě, že zveřejněním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze, dne 2014

.....
Hana Jarošová

Podkování

Ráda bych vyjádřila podkování svému školiteli a vedoucímu diplomové práce panu prof. Ing. Vilému Podrázskému, CSc. za odborné metodické vedení a připomínky k práci. Dále děkuji panu Ing. Ladislavu Menšíkovi, Ph.D. za poskytnuté odborné konzultace, připomínky a cenné rady. Děkuji také Ústavu ekologie lesa Mendelovy univerzity v Brně za poskytnutí vzorků opadu pro moji práci. V neposlední řadě bych ráda podkovovala babičce a mamce za pomoc s tímto vzorkem na jednotlivé frakce a samozřejmě celé své rodině a blízkým za podporu během mého studia.

Šťastné všechny knihy zefloutnou, ale kniha pro úrodu má každý rok nové, nádherné vydání.

Hans Christian Andersen



Lesnická
a dřevařská
fakulta

V Brně dne 3. 4. 2014
Naše čj.: 69/13/M

Souhlas s poskytnutím vzorků a dat

Vedoucí Ústavu ekologie lesa Lesnické a dřevařské fakulty MENDELU v Brně souhlasí s poskytnutím vzorků a dat z ekosystémové stanice Rájec, které je jmenovaný ústav zřizovatelem a provozovatelem, pro zpracování diplomové práce **Bc. Hany Jarošové**.

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav ekologie lesa
Zemědělská 3, 613 00 Brno

-1-

Doc. RNDr. Irena Marková, CSc.
vedoucí Ústavu ekologie lesa

Mendelova univerzita v Brně
Lesnická a dřevařská fakulta
Ústav ekologie lesa
Zemědělská 3 / 613 00 Brno
telefon 545134191
markova@mendelu.cz
www.ldf.mendelu.cz

Mendelova
univerzita
v Brně

Abstrakt

HANA JAROVÁ

Hodnocení významu frakce opadu pro kolob hřivin v lesních ekosystémech

Přesobním biogeochemických cyklů vzniká organický opad v nejvyšším slova smyslu (rostlinný opad, exkrementy, mrtvoly, autolyzáty aj.), jehož se jako bohatého zdroje energie a vládnoucích látek ujímají dekompozitori v detritovém potravním řetězci. Opad je klíčovým parametrem v biogeochemickém kolob hřivk, propojující jednotlivé části lesního trofického řetězce lesního ekosystému. Diplomová práce hodnotí kvantitativně a kvalitativně opad ve čtyřech porostech: ve smrkové monokultuře (SM) ve věku 105 let, ve smíšeném porostu (BK, SM, JD) ve věku 130 let, ve smrkovém porostu ve věku 35 let a bukovém porostu ve věku 45 let v oblasti Dražanské vrchoviny (poloha: 49°26'31''s., 16°41'30''v.d.) v České republice na kambizemi modální oligotrofní jedlo-bukového lesního vegetačního stupně v nadmořské výšce 600-660 m n. m. na stanovištích pěstovaných smíšených lesů v letech 2011 a 2013 a navazuje na bakalářskou práci. V dospělém smrkovém porostu smrku se roční opad pohyboval od 3843,9 do 6112,7 kg.ha⁻¹. Ve 130-letém smíšeném porostu se roční opad pohyboval v rozmezí 3341,9 a 3735,1 kg.ha⁻¹. V mladém smrkovém porostu se roční opad pohyboval od 1812,7 do 2288,4 kg.ha⁻¹ a v porostu buku byl zjištěn v rozmezí 3350,8 a 3855,2 kg.ha⁻¹.

Opadem se na povrch půdy dostává 15,0-67,6 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹, 1,3-8,8 kg.P.ha⁻¹.rok⁻¹, 3,2-21,9 kg.K.ha⁻¹.rok⁻¹, 15,5-42,9 kg.Ca.ha⁻¹.rok⁻¹, 1,0-4,7 kg.Mg.ha⁻¹.rok⁻¹, 1,7-7,3 kg.S.ha⁻¹.rok⁻¹. Výsledky dále mohou posloužit k doplnění bilance hřivin na úrovni ekosystému.

Klíčová slova:

opad, kvalita a kvantita opadu, smrkový porost, bukový porost, smíšený porost, Dražanská vrchovina, Česká republika

Abstract

HANA JAROMÍROVÁ

Evaluation of the importance of a litter fraction for the nutrient cycle in forest ecosystems

By biogeochemical cycles is form an organic litter in the broadest sense (plant litter, faeces, corpses, autolysis, etc.) what is a rich source of energy and desirable substances for decomposers in the food chain. Forest litter is a key parameter in the biogeochemical cycle of elements and it connects particular parts of the forest ecosystemø forest trophic chain. The thesis evaluates both quantitatively and qualitatively forest litter in four stands: a spruce monoculture (SM-spruce) aged 105 years, a mixed stand (BK-beech, SM-spruce, JD-silver fir) aged 130 years, a spruce stand aged 35 years and a beech stand aged 45 years in the Drahanská vrchovina region (location: 49°26'31"N, 16°41'30"E) in the Czech Republic on cambisol modal oligotrophic fir-beech forest vegetation zone in altitude 600ó660 m.a.s.l. on sites of autochthonous mixed forests during the years 2011 to 2013. This thesis follows the bachelor thesis.

In the adult spruce stand, the annual litter was ranged from 3843.9 to 6112.7 kg ha⁻¹. The 130-year-old mixed stand, the annual litter was ranged from 3341.9 to 3735.1 kg ha⁻¹. In a young spruce stand, the annual litter was ranged from 1812.7 to 2288.4 kg ha⁻¹ and in the standof beechwas foundin the range of 3350.8 to 3855.2 kg ha⁻¹.

By forest litter, the soil surface obtained 15.0 to 67.6 kg.N.ha⁻¹.year⁻¹, 1.3 to 8.8 kg.P.ha⁻¹.year⁻¹, 3,2-21,9 kg.K.ha⁻¹.year⁻¹, 15.5 to 42.9 kg.Ca.ha⁻¹.year⁻¹, 1.0 to 4.7 kg.Mg.ha⁻¹.year⁻¹,1.7 to 7.3kg.S.ha⁻¹.year⁻¹. Results can also serve to complete the nutrient balance at a level of an ecosystem.

Keyword:

litterfall, quality and quantity of litterfall, spruce stand, beech stand, mixed stand, Drahanská vrchovina Upland

OBSAH

Seznam tabulek	11
Seznam obrázků	12
Seznam zkratk	13
1. Úvod	14
2. Cíl diplomové práce.....	16
3. Pohled e-ené problematiky.....	17
3.1. Biogeochemické kolob hy prvku v lesních ekosystémech	17
3.2. Biotické cykly	18
3.3. Biogeochemické kolob hy hlavních prvku	19
3.3.1 Uhlík	19
3.3.2 Dusík	21
3.3.3 Fosfor	22
3.3.4 Draslík	23
3.3.5 Vápník a Hoík.....	24
3.4. Opadavost	26
3.5. Opad o klí ový prvek kolob hu	27
3.6. Lesní p da, humus, humusové pom ry - obec	33
3.6.1 Vlastní p dní humus	33
3.6.2 Humus a humusové pom ry	34
3.7. Nadlofní humus (definice, popis jednotlivých vrstev).....	35
3.7.1 Nadlofní humus	35
3.7.2 Humusové formy nadlofního humusu (mull, moder, mor).....	36
3.7.3 Význam nadlofního humusu	37
3.8. P dní organická hmota.....	38
3.9. Vliv d evinné skladby na p du	42
3.9.1 Stru ný popis jednotlivých d evin	44
4. Materiál a metody.....	46
4.1. Charakteristika zájmového území Dražanské vrchoviny	46
4.2. Výzkumný objekt (VO) a p ílehlá výzkumná plocha (VP).....	47
4.2.1 Pom ry geografické a morfologické	47
4.2.3 Pom ry geologicko-petrografické.....	48
4.2.2 Pom ry pedologické.....	48
4.2.4 Pom ry klimatické	49
4.2.5 Pom ry typologické	50
4.2.6 Pom ry hydrologické	51
4.3. Charakteristika experimentálních porost	51
4.3.1 Varianta 1 - Smrkový porost (105)	52
4.3.2 Varianta 2 - Smí- ený porost (130).....	53
4.3.3 Varianta 3 - Smrkový porost (35).....	54
4.3.4 Varianta 4 - Bukový porost (45).....	55
4.4. Odb r a p íprava vzork opadu.....	56
4.5. Laboratorní analýzy vzork opadu.....	57
4.5.1 Stanovení a výpo et mnofství	57
4.5.2 Stanovení obsahu celkových flivin	57

4.6. Statistické zpracování dat	58
5. Výsledky	59
5.1 Množství opadu podle frakcí	59
5.2 Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu.....	62
5.3 Vstup prvků opadem	64
6. Diskuse.....	71
7. Závěr.....	76
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	78

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1: Procentuální zastoupení C a N v různých složkách lesních ekosystémů
- Tab. 2: Množství opadu v různých lokalitách Evropy
- Tab. 3: Akumulace organické hmoty ve stejných starých porostech smrku a buku v podobných stanovištních podmínkách a vrstva nadlovního humusu
- Tab. 4: Akumulace fluvin ve stejných starých porostech smrku a buku v podobných stanovištních podmínkách a vrstva nadlovního humusu
- Tab. 5: Odběr fluvin porostem lužního lesa na jižní Moravě ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$)
- Tab. 6: Průměrná hmotnost opadu a množství fluvin v jednotlivých lesních biomech
- Tab. 7: Průměrné údaje teplot a srážek podle dlouhodobého 50-ti letého průměru 1901-1950
- Tab. 8: Známkování porosty a období, kdy byly stanoveny laboratorní analýzy vzorků opadu
- Tab. 9: Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2010 (Jaro-léto 2012)
- Tab. 10: Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2011
- Tab. 11: Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2012
- Tab. 12: Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2013
- Tab. 13: Hodnoty absorpce N a K v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ za rok na sever od Moskvy pro Piceetum podle REMEZOVA
- Tab. 14: Fluviny oděrané lesem po 100 letech podle RENNIEHO

SEZNAM OBRÁZK

- Obr. 1: Schéma globálního cyklu uhlíku na Zemi. Množství uhlíku v rezervoárech je uvedeno v Pg (petagram) C a p enosy mezi nimi v závorkách v Pg . rok⁻¹; (1 Pg = 10¹⁵ g = 10¹² kg = 10⁹ t).
- Obr. 2: Schéma globálního cyklu dusíku na Zemi
- Obr. 3: Cyklus fosforu (podle DUVIGNEAUD 1988)
- Obr. 4: Biogeochemický kolob h ho íku a vápníku (HEIJDEN a kol. 2013)
- Obr. 5: Model kolob hu Mg ve smí-eném porostu SM, BK, JD. Toky (kg·ha⁻¹·rok⁻¹), zásoby (kg·ha⁻¹) a koncentrace lyzimetrických vod (mg·l⁻¹)
- Obr. 6: Frakcionace p dní organické hmoty (SOM) a humusových látek (SPARKS 2003).
- Obr. 7: 105-letý smrkový porost v oploceném areálu výzkumné stanice ústavu ekologie lesa (foto: L. Men-ík)
- Obr. 8: 105-letý smrkový porost s opadem ry (foto: L. Men-ík)
- Obr. 9: 130-letý smí-ený porost buku, smrku a jedle navazující na komplex les na Holíkov (foto: L. Men-ík)
- Obr. 10: 35-letý porost smrku ve druhé generaci (foto: L. Men-ík)
- Obr. 11: 45-letý porost buku v první generaci po smrkové monokultu e (foto: L. Men-ík)
- Obr. 12: Opadom r
- Obr. 13: Množství jednotlivých frakcí opadu v porostech smrku (105,35) buku (45) smí-eného porostu (BK, SM, JD 130) za období rok 2010, 2011, 2012 a 2013
- Obr. 14: Celkový vstup draslíku, vápníku, ho íku, fosforu, sodíku a síry opadem v roce 2010 v jednotlivých variantách porost (Jaro-ová 2012).
- Obr. 15: Celkový vstup dusíku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013
- Obr. 16: Celkový vstup fosforu opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013
- Obr. 17: Celkový vstup draslíku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013
- Obr. 18: Celkový vstup vápníku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013.
- Obr. 19: Celkový vstup ho íku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013.
- Obr. 20: Celkový vstup síry opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013

SEZNAM ZKRATEK

SM ó smrk

BK ó buk

JD ó jedle

VO ó výzkumný objekt

VP ó výzkumná plocha

L (Ol) ó opad

F (Of) ó dr

H (Oh) ó m l

Ah ó organo-minerální horizont

Bv ó minerální horizont

V1 ó varianta 1 (105-letý porost smrku)

V2 ó varianta 2 (130-letý smí-ený porost)

V3 ó varianta 3 (35-letý porost smrku)

V4 ó varianta 4 (45-letý porost buku)

C ó uhlík

N ó dusík

P ó fosfor

K - draslík

S ó síra

Ca ó vápník

Na ó sodík

Mg ó ho ík

Fe ó železo

Zn ó zinek

Cu ó m d

C/N ó pom r celkových obsah uhlíku a dusíku

STG ó skupiny typ geobiocén

LAI ó index listové plochy porostu

PLO ó p írodní lesní oblast

LHC ó lesní hospodá ský celek

MP ó Mensdorff Pouilly

L R ó Lesy eské republiky

ÚEL ó Ústav ekologie lesa

1. ÚVOD

Rostlinná produkce v p irozených a polop irozených rostlinných spole enstvích je kontrolována celou adou vztah mezi biologickými procesy na jedné stran a fyzikálními a chemickými faktory atmosféry a p d na stran druhé (KLIMO 1992).

P da má významné postavení v rámci lesních ekosystém , protofle velkou m rou ovliv uje rezistenci, rezilienci a tím i stabilitu celého systému. Je možné ji pokládat za relativn stabilní složku lesních ekosystém jifl i vzhledem k dlouhodobosti její geneze (KLIMO 1992). P ípadná její destrukce m fle ov-em vyvolat vážné snížení produk ní úrovn lesních porost , p ípadn zhroucení lesního ekosystému jako celku.

Jak uvádí DUVIGNEAUD (1988) je také sm sí minerálních látek, které vznikají rozkladem horniny vlivem fyzikálních a chemických faktor , a dále ji tvo í zvlá-tní organické látky, vzniklé rozkladem zbytk rostlin a flivo ich ó je to biologická entita, jefl je nejlep-ím p íkladem komplexnosti ekosystému. Pod p irozeným rostlinným ó travním nebo lesním ó krytem se povrch p dy neustále obohacuje o odum elé listy a r zný rostlinný opad, v tve, letorosty, k ru, oplodí atd.; savci, plazi, ptáci a hmyz v-eho druhu tam dodávají odpady svého metabolismu a své mrtvoly; v hloubi p dy iní totéfl ko eny. Ze v-ech organických odpad vzniká humus, zdroj výflivy pro malé organismy s krátkým flivotem, ale ohromným výkonem, tyto organismy uvol ují CO₂ z minerálních látek, z nichfl pak novou fotosyntézou vzniká nová, flivá organická hmota (DUVIGNEAUD 1980).

Tém polovina známých prvk vyskytujících se v p írod je alespo v minimálním množství vyuffívána organismy. V t-ina t chto prvk nebo jednoduchých anorganických látek koluje v ekosystémech, p íp. v celé biosfé e v ur itých více mén pravidelných cyklech (LAFIT VKA et al. 2000).

P enos biogenních prvk (a ostatních chemických látek) probíhá dv mi cestami, které lze podle OVINGTONA (1968) nazvat *biotickým cyklem*, jenfl je uzav ený, a *geochemickým cyklem* - jenfl je otev ený vn j-ímu sv tu. P sobením biogeochemických cykl vzniká organický opad v nej-ír-ím slova smyslu (rostlinný opad, exkrementy, mrtvoly, autolyzáty aj.), jehofl se jako bohatého zdroje energie a fládoucích látek ujímají dekompozito i v detritovém potravním et zci (SLAVÍKOVÁ 1986).

Vedle zásob element v jednotlivých složkách struktury ur itého ekosystému lesa má v kolob hu element význam tzv. tok energie a element , kam pat í zejména toky uvnit ekosystému, a pak vstupy do ekosystému a rovn fl výstupy element

z ekosystému. Jedním z důležitých vstupů fluvin na povrch je opad odumělých částí fytohmoty lesního porostu, a to jak nadzemní tak i podzemní části. Důležitě je ovšem poznamenat, že samotný opad není pouze přínosem fluvin do půdy, ale i hlavním zdrojem přínosu energie do půdního prostředí, čímž se vytvářejí podmínky pro půdní mikrobiální aktivitu (KLIMO 1982).

Výzkum v rámci diplomové práce navazuje na bakalářskou práci (2012) a starší dosahované výsledky, získané různými autory především ve smrkových porostech, které rozšiřuje o výsledky získané v bukových a smíšených porostech.

Lesní opadanka poskytuje nejprozkoumanější organickou potravu; v oblastech mírného pásma dosahuje vrstva odumělých listů, jež ročně spadnou ze stromů, průměrně 3 tuny na hektar, a jde o jehlice nebo listy. Tato hodnota však kolísá podle povahy nebo bohatosti lesních společenstev. V některých tropických lesích byl opad vyhodnocen až na 15 tun na hektar za rok (DUVIGNEAUD 1988).

2. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

- É V návaznosti na bakalářskou práci pokračovat ve vyhodnocování opadu v lesních porostech s r znou dřevinnou skladbou v oblasti Dražanské vrchoviny.
- É Výsledky porovnat s dosavadními poznatky o ekologické problematice v odborné literatuře.
- É Formulovat předložené závěry pro další výzkum lesních ekosystémů a aplikaci výsledků v lesnické praxi.

3. PŘEHLED ENERGETICKÉ PROBLEMATIKY

3.1. Biogeochemické kolobhy prvků v lesních ekosystémech

Zatímco tok energie v rámci ekosystémů je jednosměrný a znamená postupnou degradaci v důsledku vodní zářivé energie na teplo, jsou toky hmoty zvláště v porostlých a člověkem málo ovlivněných ekosystémech do značné míry cyklické. Mluvíme o tzv. biogeochemických cyklech, jimiž kvalitativně a kvantitativně popisujeme kolobhy jednotlivých látek (nejméně prvků) uvnitř ekosystému, popřímo jejich import do ekosystému a export z něho do jiných ekosystémů (SLAVÍKOVÁ 1986).

Biochemický kolobhy představuje naproti tomu redistribuci živin v rámci rostliny, zpravidla ke konci doby životnosti jejích orgánů, popřímo opadem, nebo v rámci změny v procesu zrání a stárnutí rostlinných pletiv. Tímto způsobem mohou lesní dřeviny uchovávat ve svých tkáních deficitní živiny bez nutnosti obtížného, zdoluhavého a energeticky náročné přeměny a transportu z kořenového prostoru (LINDER 1995). Zejména dochází k přesunu některých látek z asimilačních orgánů popřímo jejich opadem, potom k ukládání zásobních látek popřímo obdobím vegetačního klidu a naopak k přesunu některých elementů do rostoucích mladých pletiv (TOMEK 2003).

Pro funkci jednotlivých lesních ekosystémů jsou nejvýznamnější přesuny bioelementů mezi rostlinou a půdou a jejich opakované vyfřívání v metabolismu rostlin (hlavně dřevin) a živočichů, vždy v rámci jednoho a téhož ekosystému (DUVIGNEAUD 1980). Klasickou dynamiku živin v případě tohoto typu cyklu lze vyjádřit v podobě přímě, vyfřívání, opad rostlinných částí (konzumace - výkaly), mineralizace, přímě...ö. Živočišné i abiotické síly mohou část živin přesunout i mimo ekosystém (*výstup, output živin*), i naopak vnést (*vnos, input živin*), z hlediska množství živin však v této části zůstává zachována v rámci daného ekosystému (TOMEK 2003). Časové měřítko se značně liší, nejtypičtější je roční sezónnost, třebaže životnost například humusu může dosahovat řádově tisíciletí (erózem). Variabilita pro jednotlivé bioelementy a ekosystémy je značná (BRADY, WEIL 2008).

Dostatečná úroveň živinových cyklů je předpokladem dostatečné funkce ekosystémů a jejich odpovídající produkce. Jejich charakter se výrazně mění podle zastoupení a výskytu jednotlivých biogenních prvků v biosféře a podle jejich biochemického a geochemického charakteru. Odpovídající vyfřívání rostlinných živin,

bioelement, je základní podmínkou dostatečné úrovně produkce lesních ekosystémů (PERRY et al. 2008). Cykly neprobíhají vždy pravidelně. Tam, kde se organické látky nahromadí, nastává i období *stagnace*; cykly se mohou dočasně i zcela zastavit (DUVIGNEAUD 1980).

Rozhodující silou, která uvádí tyto cykly do pohybu, je sluneční energie. Narušení koloběhu látek může vést k vážným následkům v podobě snížení produktivity a dokonce i destrukce ekosystémů. Nejdřívejší jsou cykly vody, uhlíku, dusíku, fosforu, síry a kationtů draslíku, vápníku a hořčíku (LATHAM & VIKAR et al. 2000).

3.2. Biotické cykly

Jde o koloběhy biogenních prvků uvnitř ekosystémů. I když se mohou studovat v rozsahu století, roku, sezóny nebo dne, v současnosti se ať dosud pozornost nejvíce kládla na cykly ročnímu.

Roční biotický cyklus tvoří:

- absorpce chemických prvků kořeny z půdy (restituce) uložení částí prvků v opadance (opadané listy, odumřelé dřevě, zvařené byliny rostoucí pod stromy, kůra, lišejníky nebo epifytické mechy, pupeny, pyl, prašiny, jehly, květy, okvěty, plody, zdechliny a výkaly různých konzumentů);
- ve vodě omývající fytoceózu za deště (voda okapávající a stékající), ve výměních kořenového vláknění a v odumřelých kořenech;
- retence, zadržování částí absorbovaných prvků ve vytrvalých orgánech fytoceózy, zvláště v ročních prstcích dřevitých orgánů.

Absorpce, podle níž můžeme hodnotit výživní potřebu biocenózy, je souhrnem prvků zadržovaných a prvků restituovaných /absorpce = retence + restituce/ (DUVIGNEAUD 1980).

Zadržované prvky, které se rok po roce připojují k biomase rostoucího lesa, tvoří minerální hmotu fytoceózy. Celkový obsah minerálních látek se ovšem mění podle věku a typu lesa (DUVIGNEAUD 1980).

Různé typy lesů mírného pásma vykazují vždy vysokou absorpci Ca, ať jde o jakýkoliv typ lesa; jeden hektar listnatého lesa obsahuje čtyřikrát více Ca než jeden hektar lesa borového a dvakrát více Ca než hektar jiných jehličnanů. Naopak K v hektaru listnatého lesa je téměř ekvivalentní množstvím K žijícímu na hektar lesa

jehli natého (krom borovic). Stejně je tomu s P. Borový les, chudý pokud jde o Ca, vykazuje také pouhou polovinu K a P oproti ostatním lesům.

V těchto typech lesů je Ca a K lokalizováno v podstatě v dřevitých orgánech 75 % celkového množství Ca je v kůře a dřevě listná, ve dřevě a kůře jehličnanů je to 50 % (DUVIGNEAUD 1980).

3.3. Biogeochemické kolobhy hlavních prvků

3.3.1 Uhlík

Uhlík je společně s dusíkem, kyslíkem a vodíkem základním stavebním prvkem všech živých organismů. Je ústředním prvkem veškeré biomasy, a tak i základem flivy na Zemi. Jak uvádí SLAVÍKOVÁ (1986) nachází se v sušině biomasy vyšších rostlin průměrně 45 % uhlíku. Lesní ekosystémy Země obsahují celkem 90 % uhlíku obsaženého v biomase terestrických ekosystémů a z toho téměř polovina je (respektive byla) v biomase tropických deštných lesů. Je zajímavé, že všechny lesní ekosystémy, tj. tropický deštný les, listnatý opadavý a boreální jehličnatý les, mají přibližně stejné celkové množství (hmotnostní) organického uhlíku (SLAVÍKOVÁ 1986). Opadavé lesy mírného pásma poutají více dusíku do své biomasy a také opadem recyklují více dusíku než boreální lesy. Podíly humus reprezentuje významnou akumulaci uhlíku ve většině ekosystémů, protože zde uhlík zůstává nezoxidovaný po staletí. Je důležitým dlouhodobým zdrojem uhlíku v ekosystému (WARING, RUNNING 1998).

Uhlík v atmosféře má přes sezónní kolísání v důsledku fotosyntézy stále vzrůstající úroveň. Ovlivování globálního cyklu uhlíku člověkem probíhá již tisíce let. Člověk jej ovlivňuje svojí zemědělskou činností, lesnictvím, průmyslovou a energetickou výrobou a dopravou. Ovšem až za poslední dvě uplynulá století jsou antropogenní emise vzdušného uhlíku pozorovatelné v objemech srovnatelných s přirozenými toky uhlíku (GCP 2003). Do období industrializace se hodnoty v ovzduší držely na úrovni 280 ppm (partes per milion), což nám udává počet sledovaných dílků milionu objemových.

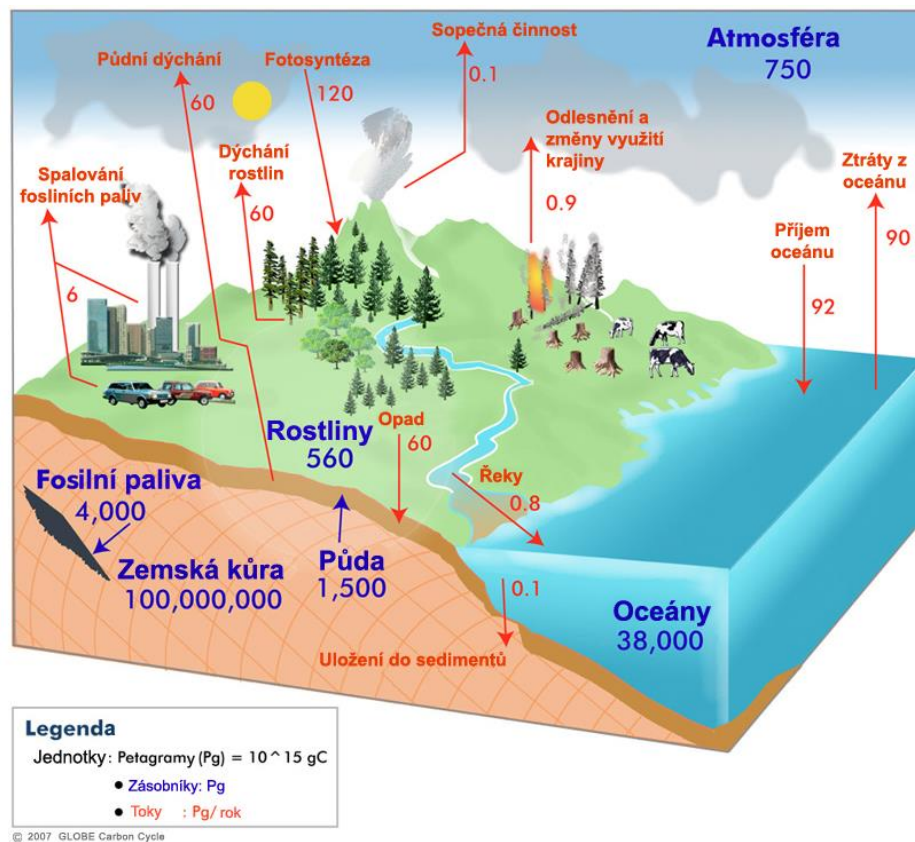
V současnosti je nad 370 ppm a jeho roční nárůst činí 1,5 ppm. Zdaleka nejvíce uhlíku je však obsaženo v zemské kůře, kde se jeho depozice odhadují na cca 20 milionů Pg (Pg = 10¹⁵ gramů). Toto množství je několikrát větší než ve zbylých rezervoárech dohromady (MAREK et al. 2011).

Procenticky nejvyšší obsah uhlíku a dusíku v porostech a opadu byl zjištěn u mediteránních lesů, naopak nejnižší hodnoty byly zjištěny u boreálních jehličnatých

les . U složky povrchového humusu byla nejv t-í akumulace uhlíku zji-t na v boreálních jehli natých lesích a nejniž-í v mediteránních, u dusíku je pak nejvy-í obsah zji-t n u boreálních jehli natých les a nejniž-í zásoba dusíku je v temperátních listnatých lesích. Nejv t-í procentuální zásoba uhlíku a dusíku se nachází v minerální p d boreálních listnatých les a naopak nejniž-í zásoba byla zji-t na v lesích mediteránních (tab. 1)

Tab. . 1 : Procentuální zastoupení C a N v r zných složkách lesních ekosystém (COLE A RAPP 1981)

Ekosystém	Porost		Opad		Povrchový humus		Minerální p da	
	% C	% N	% C	% N	% C	% N	% C	% N
Boreální jehli natý les	19,0	4,0	0,1	0,1	50,3	19,0	30,7	76,9
Boreální listnatý les	20,0	6,0	0,5	0,5	14,0	14,5	65,5	79,0
Temperátní jehli natý les	54,0	7,0	0,7	0,5	12,1	9,3	33,3	83,2
Temperátní listnatý les	40,0	8,0	1,4	1,1	5,6	6,7	53,1	84,2
Mediteránní les	83,0	73,0	1,2	3,4	3,5	12,2	12,3	11,4



Obr.1. Schéma globálního cyklu uhlíku na Zemi. Množství uhlíku v rezervoárech je uvedeno v Pg (petagram) C a p enosy mezi nimi v závorkách v Pg . rok⁻¹; (1 Pg = 10¹⁵ g = 10¹² kg = 10⁹ t). (Zdroj: <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/materialy/03Ruzne/CCdiagram-cesky.jpg>).

3.3.2 Dusík

Ve srovnání s uhlíkem a dalšími prvky je cyklus dusíku poměrně složitý. Ve vzduchu je ve volné formě (N_2) zastoupen zhruba 78%. V této podobě je však rostlinám jako rozhodujícím primárním producentem nedostupný (LATHAM A VIKARI 2000).

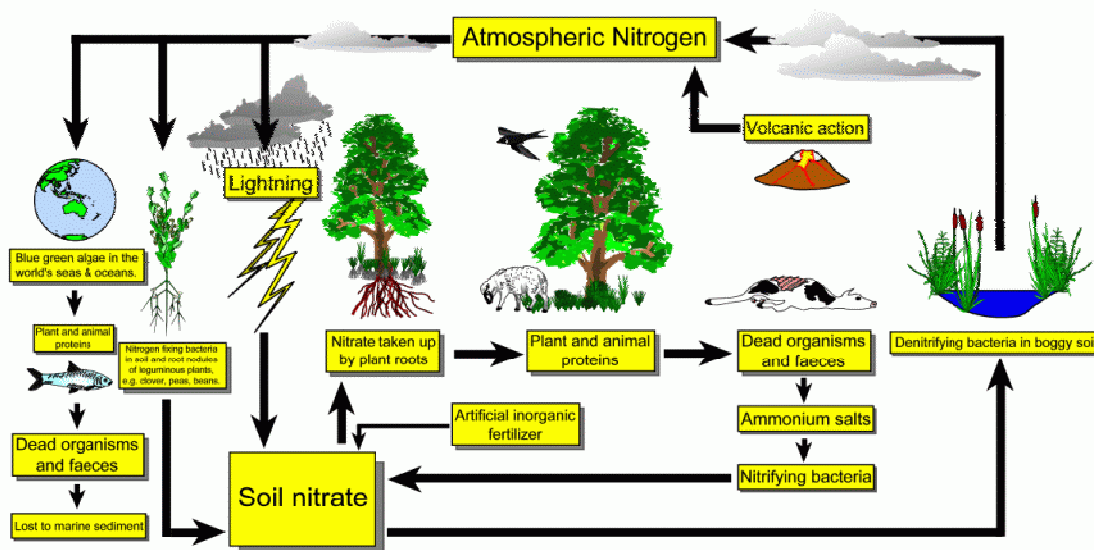
Dusík je jednou z hlavních živin, je naprosto nezbytný pro tvorbu biomasy a životní funkce buněk všech organismů. Je složkou mnoha důležitých biomolekul včetně bílkovin (je nezbytným stavebním prvkem všech aminokyselin; bílkoviny obsahují v průměru 15% hmotn. dusíku), ribonukleových (RNA) a deoxyribonukleových (DNA) kyselin, chlorofylu, chitinu a peptidoglykanu tvořících buněčné stěny a mnoha jiných látek včetně enzymů. Půdy obsahují relativně značné množství dusíku, avšak rostliny a mikroorganismy jej také mnoho oděrpávají (TILMANN 2003).

Obsah celkového dusíku v půdě je hodnotou poměrně stálou, protože je tvořen sloučeninami téměř chemicky i mikrobiologicky rozložitelnými. Dusík je zde vázán na aromatická jádra huminových kyselin, fulvokyselin a huminů. Z tohoto důvodu se obsah celkového dusíku v půdě často dává do vztahu Cox a vyjadřuje se poměrem C:N 10-12 : 1 (IVANIČEK et al. 1984).

Průměrná zásoba dusíku v nadzemní části biomasy v $kg \cdot ha^{-1}$ jak uvádí COLE a RAPP (1981) je v jehličnatých lesích mírného pásma $479 kg \cdot ha^{-1}$ a v opadavých lesích mírného pásma $442 kg \cdot ha^{-1}$.

Průměrně se opadem v našich podmínkách (temperátní lesy Evropy) dostává na povrch půdy $30,6 kg \cdot ha^{-1} \cdot rok^{-1}$ dusíku (COLE a RAPP 1981). SLODIČEK et al. (2005) udávají akumulaci dusíku v humusu pro smrkové porosty v lokalitě Vítkov 720 až $950 kg \cdot ha^{-1}$ s ročním vstupem $75 kg \cdot ha^{-1}$ N z opadu. V jiných smrkových porostech na území České republiky uvádějí autoři roční vstupy dusíku z opadu např. $43 kg \cdot ha^{-1}$ (KLÍMA A KULHAVÝ 1994) $20-60 kg \cdot ha^{-1}$ (NOVÁK A SLODIČEK 2004).

The Nitrogen Cycle



Obr.2. Schéma globálního cyklu dusíku na Zemi. (Zdroj:<http://tygae.weebly.com/nitrogen-cycle.html>).

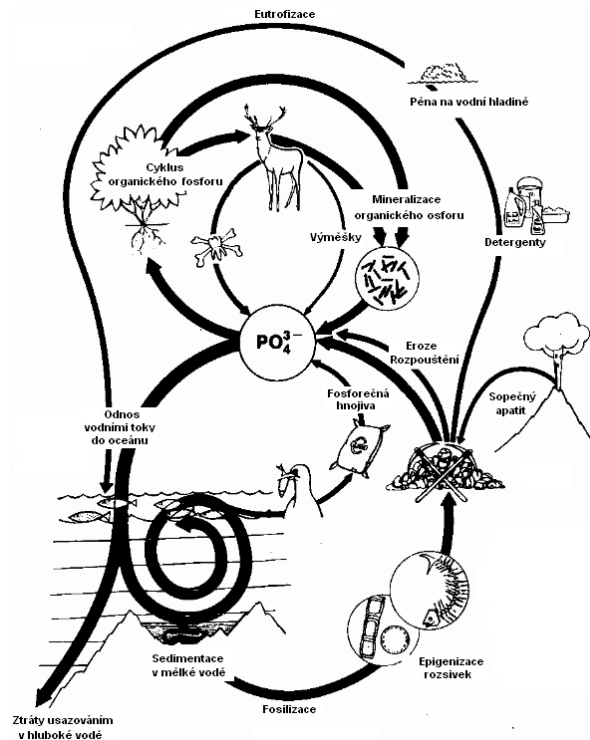
3.3.3 Fosfor

Fosfor je po dusíku druhou hlavní živinou; je prvkem, na jehož množství a dostupnosti v půdě podstatně závisí růst rostlin a jejich produktivita. Fosfor je naprosto nezbytný pro růst a funkce buněk organismů. Je složkou důležitých biomolekul včetně adenosindifosfátu (ADP) a adenosintrifosfátu (ATP), ribonukleových (RNA) a deoxyribonukleových (DNA) kyselin a mnoha jiných látek.

Fosfor je přijímán z půdy jako PO_4^{2-} a H_2PO_4^- . V rostlině je inkorporován v iontové formě, v esterech, nukleotidech, fosfatidech a fytinu. Kromě stavební funkce v rostlině má v metabolických a syntetických procesech důležitou roli přenos energie. Hromadí se v reprodukčních orgánech, je dobře transportovatelný v rostlině v organických sloučeninách. Jako fyziologická protiváha zmírňuje působení dusíku a přispívá k tvorbě pevných pletiv. Při nedostatku dochází k poruchám reprodukčních procesů. Přijímání je významně ovlivněno pH reakce. Na neutrálních půdách se vytvářejí těžko přístupné fosforenany vápníku a naopak na velmi silně kyselých půdách fosforenany hliníku a železa. Zejména jehličnaté dřeviny jsou schopné přijímat fosfor i z vazeb jinak těžko přístupných v silně kyselých půdách. Významná pro vlivu fosforem je i mykorrhiza (LOMSKÝ 2006).

Průměrná zásoba fosforu, jak uvádí, KLIMO (1982) je v jehličnatých lesích mírného pásma ($68 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) téměř dvojnásobek průměrné zásoby opadavého lesa mírného pásma ($35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$).

Průměrně se opadem v našich podmínkách dostává na povrch přibližně $4,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$ fosforu (COLE a RAPP 1981).



Obr. 3. Cyklus fosforu (podle DUVIGNEAUD 1988)

3.3.4 Draslík

Draslík je po dusíku a fosforu třetí hlavní živinou, jejíž nedostatek v půdě může značně omezovat růst a produktivitu rostlin. Draslík na rozdíl od fosforu není složkou defilných biomolekul. V tkáních je zastává v buňkách v cytoplazmě ve formě iontů K^+ a také působí jako aktivátor více než 80 enzymů velmi významných v metabolismu rostlin i živočichů, například zapojených do procesu fotosyntézy, syntézy křemíku, fixace molekulárního dusíku, redukce nitrátů, v energetickém metabolismu aj. Draslík v cytoplazmě buněk snižuje vodní osmotický potenciál, a tím snižuje ztráty vody a zvyšuje účinnost při vstřebávání vody kořenovými rostlinami. Draslík také napomáhá při

adaptaci rostlin na stresové podmínky: zvyšuje odolnost vůči suchu a nízkým teplotám, odolnost vůči napadení houbovými chorobami a hmyzem (BRADY, WEIL 2008).

Obsah draslíku je v půdách různý a závisí na mineralogickém složení a na stupni zvětrání matečné horniny a v ní obsažených minerálů. Obecně ve srovnání s dusíkem nebo fosforem obsahují půdy draslíku mnohem více. Ve většině půd je obsaženo kolem 15 až 20 mg K.g⁻¹ suché půdy (TOMEK 2003). Průměrná zásoba K v nadzemní části biomasy v jehličnatých lesích mírného pásma je 340 kg.ha⁻¹ v listnatých lesích mírného pásma 224 kg.ha⁻¹ (COLE a RAPP 1981).

Průměrně se opadem v našich podmínkách dostává na povrch půdy 26,1 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ draslíku (COLE a RAPP 1981).

3.3.5 Vápník a Hořík

Vápník (Ca) a hořík (Mg) patří mezi jedny z nejdůležitějších makrobiogenních prvků. Zdrojem uvedených prvků je především matečná hornina, mohou se do půdy dostávat také splachy či antropogenní cestou (hnojení, se srážkami z ovzduší). Organismy jsou často velmi citlivé ke koncentraci jednotlivých prvků. Tak se může stát kterýkoli z nich omezujícím faktorem výskytu (LAVINOVKA 2000).

Obsah vápníku v půdách je velmi rozmanitý a kolísá od stop až po asi 30 %; nejčastěji se pohybuje v rozmezí 0,2 - 6 %. Vápník se dostává do půdního roztoku především působením H₂CO₃ na CaCO₃ nebo vzniklý Ca (HCO₃)₂ je dobře rozpustný a disociací uvolňuje ionty Ca²⁺, které se ochotně váží na výměnné pozice v půdním sorpčním komplexu (Ca zde může tvořit až 70 % vázaných kationtů) (TOMEK 2003).

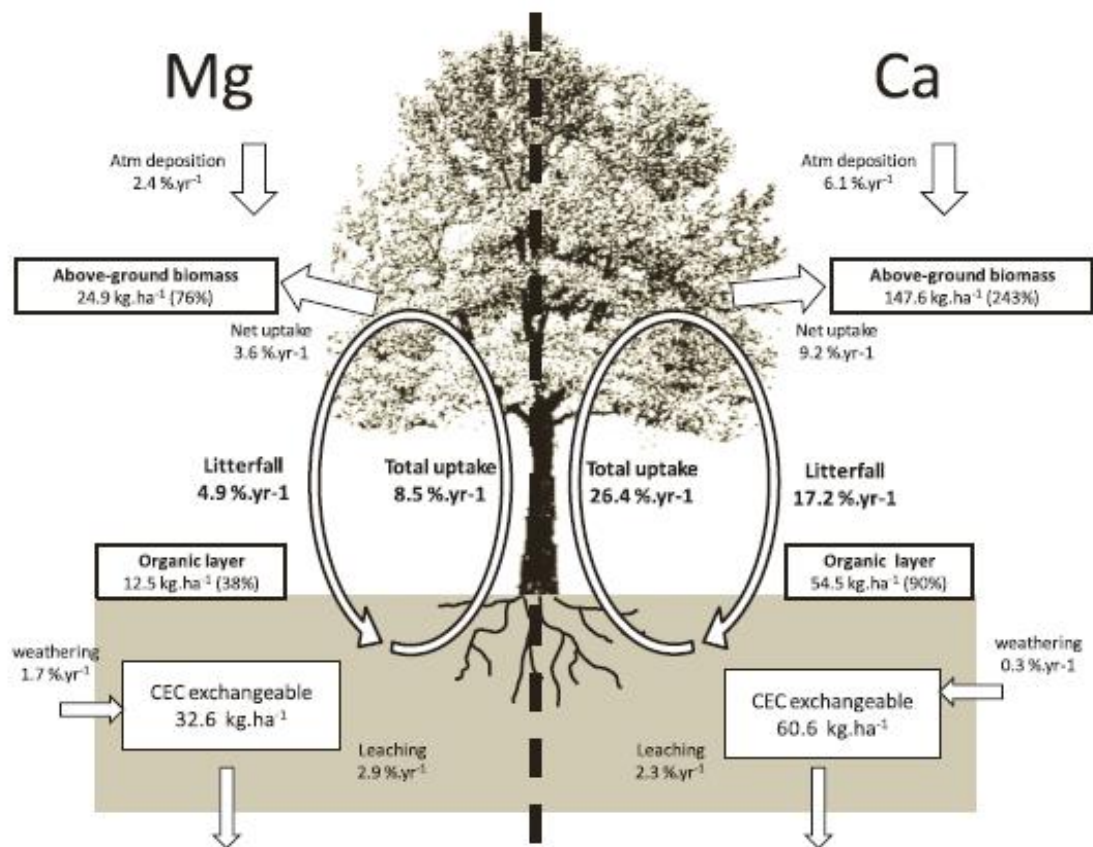
Hořík je rostlinami přijímán především z půdy jako kation Mg²⁺. Nejvíce hoříku je obsaženo v plastidech, mitochondriích a buněčných stěnách. Hořík zasahuje do celé řady metabolických procesů v rostlině. Globální význam hoříku je dán jeho nezastupitelnou funkcí v molekule chlorofylu, kde je centrálním atomem molekuly (JURSÍK 2002).

Odumírání (hynutí) lesů se po ústupu 80. let začalo objevovat na velkých plochách Evropy (ale i Severní Ameriky). Termín šhynutí není přesně definován a zahrnuje symptomy defoliace dřevin, morfologické změny v korunách a velmi typické barevné změny jehličí i listů (MATERNA 1994). Problémy floutnutí lesních dřevin, v první řadě smrku ztepilého jsou studovány již několik desetiletí např. (BOSCH 1986, ULRICH 1986, REHFUES 1989, PODRÁZSKÝ 2001). Důvodem karencí je jsou

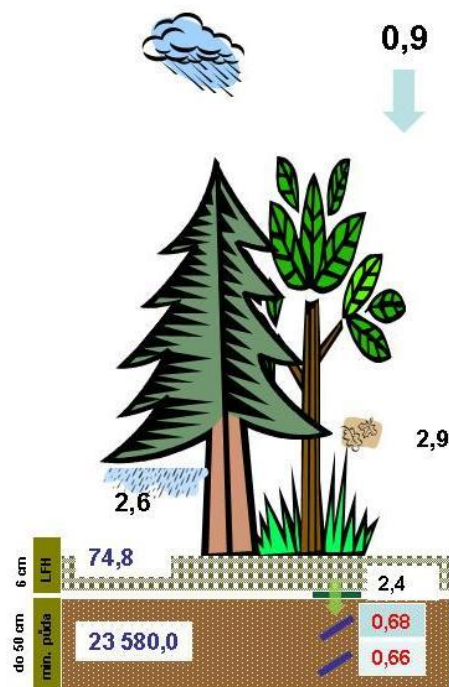
poruchy výživy a p í inou je p edev-ím nedostatek ho íku, pop . vápníku a zinku ve výživ (MATERNA 1994).

Vápník i ho ík jsou d lefité živiny a krom toho mají velký význam v p dním prostředí. Zlep-ují fyzikální i chemické vlastnosti p d (srážením p dních koloid vytvá ejí p íznivou strukturu, zvy-ují pH a zamezují pohybu kyseliny k emi ité a Fe- a Al-hydroxid v p d aj.) a tím ovliv ují vzdu-ný a vodní režim p d (BRADY, WEIL 2008).

Pr m rn se opadem v na-ích podmínkách dostává na povrch p dy 37,3 kg.ha⁻¹. rok⁻¹ vápníku a 5,6 kg.ha⁻¹. rok⁻¹ ho íku (COLE a RAPP 1981).



Obr.4. Biogeochemický kolob h ho íku a vápníku (HEIJDEN a kol. 2013)



Obr.5. Model kolob hu Mg ve smí-eném porostu SM, BK, JD. Toky ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$), zásoby ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) a koncentrace lyzimrických vod ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) /Množství opadu Mg p evzato z BP (JAROŠOVÁ H. (2012): Hodnocení významu frakce opadu pro kolob h fivín v lesních ekosystémech. Bakalá ská práce. Brno: LDF MENDELU. 52 s./

3.4. Opadavost

Evoluce opadavosti severních temperátních les není zcela jasná. Neexistuje d kaz, že se jedná o reakci na chladné klima. Fossilní doklady nazna ují, že druhy d evin vytvá ející opadavé lesy (*Betula*, *Cercidophyllum*, *Liquidambar*, *Liriodenron*, *Platanus*, *Populus*, *Quercus*, *Salix*, *Sassafras*) se nejprve objevily ve středních zem pisných í kách na začátku jury. Vyskytovaly se ve spole enstvech írolistých stálezelených druh v oblastech bez mraz (Kansas, Virginia, Portugalsko). Fossilní nálezy dále vypovídají o tom, že ve vy ích zem pisných í kách (70°) stále dominoval reliktní typ jurské vegetace. Teprve b hem k ídy migrovaly opadavé d eviny do vy ích zem pisných í ek, proto nelze opadavost vysv tlovat jako reakci na fotoperiodicitu vysokých severních zem pisných í ek. Zm na fotoperiody je d ležitou podmínkou podzimního a jarního opadávání listí, p estofe stále nebyly dokonale popsány fyziologické okolnosti tohoto jevu v reakci na podm ty jako jsou podzimní úbytek sv tla, zvý-ení frekvence lokálních podzimních mrazík , dostupnost vody a edafické vlivy (ROHRIG et ULRICH 1991).

3.5. Opad ó klí ový prvek kolob hu

Opad je klí ovým parametrem v biogeochemickém kolob hu, propojujícím jednotlivé ásti lesního ekosystému (stromy s p dou a vodou v ekosystému). Biomasa opadu a jeho chemické složení (v etn obsahu t flkých kov) jsou nezbytné p i kvantifikaci ro ního kolob hu jednotlivých prvk a organické hmoty v p d . Rozklad opadu je nejd lefit j-ím procesem p i ur ování toku flivin a organické hmoty v ekosystému a jejich vstup do p dy. Toto siln ovliv uje p dní prost edí a produkci porost .

Vliv antropogenních a p írodních faktor a klimatické zm ny m fle ovlivnit mnofství opadu a jeho sezónní vývoj. Kolob h uhlíku je velmi úzce vázán práv na opad a také na index listové plochy porostu (leaf area index ó LAI), cofl je pom r plochy list a plochy porostu (POKORNÝ, MAREK 2000). Biomasa opadu list je jedním z parametr p i p ímém stanovení indexu listové plochy porostu (LAI). Tento index popisuje základní parametry korunové vrstvy, a její interakce s atmosférou (intercepce sráfkové vody a depozice, slune ního zá ení, vým na plyn , evapotranspirace, vymývání prvk z list aj.) a sloufí také jako vstupní informace pro r zné modely. Zm ny charakteristik opadu jsou ovlivn ny po-kozením strom biotickými faktory (-k dci) nebo abiotickými faktory prost edí (jarní mráz, sucho, vítr, zne i-t ní ovzdu-í apod.) Produkce opadu je kvantitativní charakteristikou vitality porostu a podává dopl ující informaci pro dal-í -et ení provád ná na plo-e (nap . hodnocení zdravotního stavu porostu) a umofl uje p ímo ur it abnormality, nap . velikost a tvar list , biotické po-kození apod. Charakteristika opadu a jeho mnofství také sloufí ke stanovení fenologického vývoje porostu a jeho meziro ní zm ny, ra-ení, vývoj olist ní, kvetení a výskyt plod , opad listí, jehlí í v návaznosti na zdravotní stav porostu a klimatické podmínky (FABIÁNEK (eds) 2004 MONITORING).

Na p du mají vliv samoz ejm i bylinný a d evinný pokryv na jejím povrchu. P da jako taková je sou ástí kolob hu flivin v ekosystému, na její povrch se dostává nekromasa-opad bylin a d evin a práv v p d dochází k jejímu rozkladu a op tovnému uvoln ní flivin ve form p íjatelné pro rostliny. Rozklad biomasy souvisí samoz ejm i s obecn klimatickými faktory a mikroklimatem porostu, rozloflitelností opadu dané d eviny (kdy rychlost rozkladu opadu je obecn dána pom rem C:N, obsahem popelovin, prysky ic a tanin), ale i s p dním edafonem- který je p dní acidifikací rovn flovliv ován (HRUTKA, CIENCIALA 2001).

Hustota porostu, množství jedinců na plochu ovlivňuje nejen množství celkového opadu, ale i množství srážek dopadajících na povrch půdy a průběh teplot a prohlubování vrstev půdy, včetně světelného režimu, který má vliv na bylinné patro.

Výchovné zásahy ovlivňují akumulaci, přeměny a mineralizaci organického opadu dvojným způsobem, pomíneme-li vliv na dřevinnou skladbu porostů.

1. Prvním z těchto dvou faktorů je **množství opadu** v porostech s různou kvalitou a hustotou zápoje. K této problematice chybí podrobnější údaje v literatuře, nebo pro metodickou, materiální, pracovní a časovou náročnost byla pozornost v nově jiným otázkám vztahu mezi typem porostu a množstvím a kvalitou opadu - druhovému složení, vlivu na porost apod. (BINKLEY 1986, KLIMO 1990, TĀLY 1978, 1988). Lze předpokládat, že v intenzivněji probíraných porostech přechodně klesá množství opadu, nebo dochází k růstu korun a akumulaci biomasy ve dřevě a kmenů a stejně tak zásahy vedou k nižšímu opadu v porostech se slabším zápojem (HAGER 1988, WRIGHT 1957).

Tab. 2 Množství opadu v různých lokalitách Evropy

Lokalita	Porost	Věk	Opad	Citace
Polom, Orlické hory	SM	27 až 39	1800-4800 kg.ha-1	Novák, Slodiček 2004, 2006
Dánsko	SM	40	1100-5700 kg.ha-1	Bille-Hansen, Hansen 2001
Vítkov(býv. zem. p. da)	SM	39	8500-8700 kg.ha-1	Slodiček et al. 2001
Vítkov	SM	39	7100-7800 kg.ha-1	Slodiček 2005
Drahanská vrchovina	SM	35	2300 kg.ha-1	Jarošová 2012
jižní Německo	SM	30	3400 kg.ha-1	Nilsson a Wiklund 1992
severových. Anglie	SM-sitka	12 až 20	1100 kg.ha-1	Zerva et al. 2005
severových. Anglie	SM-sitka	30	1700 kg.ha-1	Zerva et al. 2005
severových. Anglie	SM-sitka	40	1900 kg.ha-1	Zerva et al. 2005
Německo	BO	-	1000-4000 kg.ha-1	Thomasius a Schmidt 1996
Německo	BK	-	2000-5000 kg.ha-1	Thomasius a Schmidt 1996

K velmi pronikavým změnám v zásobách elementů a k významným přesunům dochází při růstu a vývoji stejnověkých porostů. Akumulace závisí na druhu dřeviny, stanovištních podmínkách, tedy na intenzitě odběru elementů z půdy a dalších složek ekosystému. Podmínkou je i akumulace biomasy porostů a změny v množství a složení nadlovního humusu. V mladším věku je potřeba živin méně, roste se zvyšováním intenzity růstu ve stádiu mláďat a v porostech středního věku, ve starších porostech dochází k vytváření určité rovnováhy mezi příjmem a restitucí živin (COLE et al. 1981).

a) akumulace organické hmoty ($t \cdot ha^{-1}$)

Tab. . 3 Akumulace organické hmoty ve stejných starých porostech smrku a buku v podobných stanovištních podmínkách v vrstvě nadložního humusu (KLIMO 1992)

Vrstva	P vodní BK 80 let	SM 1. generace 80 let
L	10,0	11,5
F	12,6	15,8
H	0,5	22,3
celkem	23,1	49,6

b) akumulace živin ($kg \cdot ha^{-1}$)

Tab. . 4 Akumulace živin ve stejných starých porostech smrku a buku v podobných stanovištních podmínkách v vrstvě nadložního humusu (KLIMO 1992)

Vrstva	Porost	N	P	K	Ca	Mg
L	BK	153	11	20	68.0	4.0
	SM	155	4	12	37.0	7.0
F	BK	161	14	59	29.0	7.0
	SM	276	16	20	19.0	13.0
H	BK	7	1	3	0.5	0.2
	SM	350	27	36	14.0	24.0
Celkem	BK	321	26	82	97.5	11.2
	SM	780	47	68	70.0	44.0

Vzhledem k intenzivní recyklaci živin v ekosystému lesa je roční změna akumulace živin v biomase porostu poměrně nízká. Většina živin se opadem dostane opět na povrch půdy. To platí v plně mýšlené pro přírodní lesy. V lesích hospodářských je značné množství živin odebíráno s dřevní surovinou, odnos, ztráty pak stoupají s tzv. komplexním vyuffíváním biomasy. Podrobnější a rozsáhlejší soubory dat o toku elementů v lesních ekosystémech jsou velice vzácné, nebo tyto studie jsou vysoce odborné, finanční, pracovní a časově náročné. Všechny údaje byla získána v projektech MAB (Man and Biosphere) and IBP (International Biological Programme). K dispozici je všechna data o dílčích procesech v lesních ekosystémech (akumulace, produkce, obsah

živin). KLIMO et al. (1994) uvádí například množství odběru živin jednotlivými složkami lesního ekosystému v lužním lese (Lednický Luh, kg.ha.⁻¹rok⁻¹ – tabulka 5).

Tab. 5 Odběr živin porostem lužního lesa na jižní Moravě (kg.ha.⁻¹rok⁻¹)

Složka	N	P	K	Ca	Mg
Stromy	178	11	67	220	13
Keře	24	3	13	23	6
Byliny	22	4	49	22	5
Celkem	224	18	129	265	24

Návrat živin do půdního prostředí

živiny odebrané rostlinnou složkou ekosystému se po určité době a v určité míře navracejí zpět do půdního prostředí. Základní způsoby této složky biogeocyklu představují:

- opad,
- vyluhování a vyplavení z biomasy,
- konzumace jako součást potravních řetězců.

Opad odumělých rostlinných orgánů představuje ve všech lesních ekosystémech nejvýznamnější součást cyklu živin z hlediska objemu (množství) i významu. Jedná se přitom o složku nejvíce vyrovnanou, nebo je ovlivována především relativně stálou produkcí ekosystému. Skládá se z **opadu nadzemního**, tvořeného odumělými asimilacími orgány, vtvěmi, semeny, plody apod. a **opadu podzemního**, vytvářeného odumíráním kořenů. Opad nepředstavuje pouze recyklaci živin, ale i významný, pro funkci ekosystému lesa rozhodující **tok energie**, poutaný v odumělých organické hmotě. Je zdrojem látek a energie pro detritofágní potravní řetězec, pro skupinu destruentů a postupně afl reducentů, podmiňuje život velkého množství (přesněji biomasy) půdní fauny i flóry. Opad vytváří nejen dřeviny, ale i keřové a bylinné patro. Koncentrace živin a další vlastnosti opadu pak spoluurčují jeho další transformace, důležitý je zejména obsah dusíku (poměr C/N v opadu dřeviny).

Množství opadu je výrazně akumulováno do určitých částí roku, nejvýrazněji je na počátku chladného období, především u listnáčů. Jehličnany vykazují další periodu zvýšeného opadu v období rozvoje a dozrávání nových přírůstků jehličí. Opad může být vyvolán i dalšími faktory, především suchem. Prvky obsažené v opadu jsou rostlinám způsobilé hem **mineralizace organické hmoty**. V tabulce 6 je doloženo množství prvků (podle výsledků IBP) obsažených v opadu v rámci jednotlivých biotopů.

Tab. 6 Průměrná hmotnost opadu a množství prvků v jednotlivých lesních biotopech (zónách)

Biom	Opad kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹	prvky				
		kg.ha ⁻¹ .rok ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg
Boreál. jeh. lesy	322	2,9	0,7	1,1	3,8	0,3
Boreál. list. lesy	2645	20,2	5,2	9,8	35,5	9,7
Temp. jehl. lesy	4377	30,6	4,4	26,1	37,3	5,6
Temp. list. lesy	5399	61,4	4,0	41,6	67,7	11,8
Mediter. Lesy	3842	34,5	4,7	44,0	95,0	9,0

2. Druhý faktor potom představují **změny mikroklimatické podmínky** v přízemní vrstvě, které mohou být v mladých porostech příznivější pro mineralizaci dříve akumulované organické hmoty. Výchovné zásahy tedy v této zóně znamenají zlepšení podmínek pro humifikaci a mineralizaci. Zlepší se vlhkostní i teplotní podmínky. Vliv každý faktor byl potvrzen i experimentálně. Dodání půdní vláhy tak například urychlilo rozklad celulózy v porostech smrkových porostů v dánských experimentech (BEIER- RASMUSSEN 1994). TRÁVY (1988) uvádí, že pro aktivizaci mikroflóry je zapotřebí teplot nad 0 °C, pro počátek rozkladu ligninu pak hodnot nad 7 °C. I malé změny průměrných teplot tak mohou výrazně urychlit rozklad organické hmoty, například prodloužit dobu aktivity rozkladu. Důležitý je i výškový pohyb vzduchu a odstranění metabolických produktů (oxidu uhličitého) z vrchních půdních vrstev.

Nejvyšší koncentrace dusíku, fosforu a draslíku v listech je v období maximum května. Během vegetačního období koncentrace uvedených prvků klesá a prudce se snižuje v pozdním létě a na podzim. Tyto prvky se následně ukládají v kůře a v tvrdé

kmen, zbytek je z bun k listí vymýván. Část n ho ík a p edev-ím vápník nejsou z listových pletiv transportovány zp t do strom a b hem senescence dochází k jejich kumulaci v pletivech. Nejv t-í koncentrace Ca je dosaženo v listech v období p ed opadem. Zvy-ující se koncentraci balastních látek v pletivech je také možné považovat za d vod, pro i vřdylzené druhy rostlin musí ob as listy obm ovat (ROHIG et ULRICH 1991).

Listový opad tvo í 1,8 ó 3,6 t. ha⁻¹.rok⁻¹. K nejv t-ím producent m opadu pat í rody *Castanea*, *Fagus*, *Quercus* a naopak k nejmen-ím producent m rody *Alnus*, *Betula*, *Populus*, *Salix*. Mnořství opadu se pohybuje v závislosti na ekologických podmínkách a struktu e stanovi-t . Existují oblasti s rozdílnou sezonalitou, kde jsou p ítomny stálezelené (-írokolisté nebo jehli naté) druhy (JENÍK 1996).

Faktory ovliv ující zm ny obsah prvku ve vrstv opadu

Nelze p edpokládat, že jsou v-echny prvky ve stejné fázi (gradace, degradace, vyrovnaný stav) práv v období pozorování.

- a) zm ny v biomase b hem r stu lesa v Anglii po 15 letech 39,2 t/ha⁻¹ ve v ku 64 let pak bylo dosaženo 82,6 t/ha⁻¹, tj. 95% p edpokládané asymptoty; uvedené zm ny jsou pod vlivem mikroklimatu (teplota p dy, vlhkost p dy, dostupnost prvku po holose i)
- b) chemické složení opadu ó vy-í obsah N a P je lep-ím substrátem pro dekompozici
- c) povaha a aktivita fauny: řířfaly pr kazn zvy-ují dekompozici, podobn Diptera a larvy Elateridae (kova íci); dále makrofauna ó obohacení o dusi nany a amonné slou eniny
- d) chemické složení p dy ó p ítomnost Ca zvy-uje rychlost dekompozice / snížení pH sniřtuje rychlost dekompozice
- e) fyzikální a klimatické podmínky ó chlad a vlhko sniřtují rychlost dekompozice (JENÍK 1996)

3.6. Lesní půda, humus, humusové poměry - obecně

Lesní půda představuje jednu ze základních součástí lesních ekosystémů, která je v dynamické rovnováze s živými organismy i atmosférou. Kdykoliv se změní jedna z těchto komponent, jsou ovlivněny i ostatní složky (FISHER, BINKLEY 2000).

3.6.1 Vlastní půdní humus

Vlastní humus definoval TĚMÁL (1978) jako souhrn tmavě zbarvených organických látek, včetně vysokomolekulárních sloučenin, které jsou výsledkem humifikace. Při humifikaci se část organických zbytků mineralizuje, čímž mikroorganismy získávají energii (zejména teplo), potřebnou pro životní činnost. Z druhé části se procesy oxidace a kondenzace tvoří nové, vysokomolekulární, tmavě zbarvené látky, uhlíkem bohatější než původní humusotvorná hmota. Nově vytvořené sloučeniny mají obsah uhlíku vyší než 45 %. Jsou to humusové látky, tzv. vlastní humus, který je v půdě poměrně stálý a značně odolává mikrobiálnímu rozkladu (SPARKS 2003).

Hlavními produkty humifikace jsou zejména huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy. Humus je mikrobiologicky značně stabilní. Poločas mineralizace fulvokyselin je odhadován na 80 let, humusových kyselin na 3000-6000 let a huminů ještě déle (KUFEL et al. 2001). Obsah vlastního humusu ve svrchní vrstvě minerální půdy kolísá zpravidla mezi 0,5 a 5 %, u hlinitých půd bývají hodnoty vyšší, kdežto na písčích je obsah humusu často nižší než 1 %. Avšak i takto nízké hodnoty mají významný vliv na chemické reakce.

Význam vlastního humusu spočívá především v tom, že zlepšuje půdní strukturu, vododržnou kapacitu, provzdušnění a agregaci půdy. Je důležitým zdrojem minerálních živin, jako jsou dusík, fosfor a síra i mikroelementů, jako jsou bór a molybden. Obsahuje také velké množství uhlíkatých látek, které slouží jako zdroj energie pro půdní makro- a mikroflóru. Vlastní humus má velký specifický povrch (800-900 m²/g) a vysokou kationtovou výměnnou kapacitu (KVK), a 1500-3000 mmol.kg⁻¹. Díky těmto vlastnostem zabezpečuje sorpci rostlinných živin, těžkých kovů a organických látek (např. pesticidů). Půjím a dostupnost živin je významně ovlivněna právě humusovými látkami (SPARKS 2003; TAN 2003).

Složky půdní organické hmoty (SOM) obsahují uhlík (52-58 %), kyslík (34-39 %) a dusík (3,7-4,1 %), dále fosfor a síru (SPARKS 2003).

Molekulová velikost humusových látek se pohybuje v rozmezí od několika stovek po tisíce Da. Molekuly humusových látek jsou charakterizovány zastoupením různých strukturních částí i poměry prvků (STEVENSON 1982).

SPARKS (2003) uvádí, že vlastní humus se skládá z látek humusové a nehumusové povahy. Látky nehumusové povahy jsou látky s rozeznatelnými chemickými a fyzikálními vlastnostmi a zahrnují uhlovodíky, proteiny, peptidy, aminokyseliny, tuky, vosky a nízkomolekulární kyseliny. Tyto látky jsou snadno napadány plísními mikroorganismy a setrvávají v půdě pouze po krátkou dobu. V minerální půdě tvoří, jak udává TRÁVILY (1977), pouze 10-15 % obsahu organických látek. Ostatních 85-90 % připadá v půdním humusu na látky specifické, humusové.

Humusové látky jsou amorfní, často aromatické vysokomolekulární látky fluktuující aflerné barvy, odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu, které nemají jasně definovatelnou chemickou stavbu a fyzikální vlastnosti. Jsou hydrofilní a skládají se z globulárních částic, které ve vodním roztoku obsahují hydratační vodu. Tvoří dlouhé spirálové molekuly nebo dvoj- a třírozměrné síťové (cross-linked) makromolekuly s negativním nábojem, který vzniká ionizací kyselých funkčních skupin, například karboxyl. Humusové látky je možno na základě jejich rozpustnosti v kyselinách nebo zásadách rozdělit na tři hlavní skupiny: fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy (STEVENSON 1994; SPARKS 2003).

3.6.2 Humus a humusové poměry

Humus rozlišíme na celkový humus, vlastní humus a humus povrchový neboli nadlovní (TRÁVILY 1978). Celkovým humusem rozumíme soubor odumřelých organických látek nahromaděných v půdě nebo na jejím povrchu. Je tvořen humusem vlastním, což jsou převážně tmavě zbarvené organické vysokomolekulární látky, které prošly procesem humifikace a humusem povrchovým (nadlovním), tedy organickými zbytky uložnými na povrchu lesní půdy (MENŠŤK 2007).

3.7. Nadlovní humus (definice, popis jednotlivých vrstev)

3.7.1 Nadlovní humus

Nadlovní organické horizonty (nadlovní humus) jsou specifickou součástí podzemního profilu lesních porostů, které vznikají akumulací odumřelé biomasy. V lesích je to především opad z dřevin, které lesní porost tvoří (WARING, RUNNING 1998). Rozkladem opadu vzniká vrstva surové organické hmoty, ta je dále přetvářena na složitější organické sloučeniny jiného typu, které se v porostu stávají složkami podzemního humusu. Nejdůležitějšími faktory při tvorbě nadlovního humusu, organominerálního horizontu a pod ním shrnuje práce (MENŠŤÁK 2010) a nejzásadnější jsou: reliéf terénu, klimatické a mikroklimatické poměry, edafon, chemizmus podzemní, složení lesních porostů apod..

Forma humusu je důležitý faktor, který vypovídá o vzájemných vztazích mezi podzemím a vegetačním pokryvem (EMMER 1999). Formy humusu mají významnou úlohu v biogeochemickém kolobě prvku a při studiu ekosystému se stále v této oblasti používají jako stanovištní ukazatel (PONGE, CHEVALIER 2006; ZANELLA 2011).

Nadlovní terestrické horizonty (O) mají různou mocnost i charakter. Lze u nich odlišit vlastní opad (L) od horizontu dřevní (F – fermentační horizont) a ten zase od horizontu mli (Hóhumifikační horizont). Opad (L) je organický horizont z listů, jehliček, kůry apod. bez známek intenzivního rozkladu. Dřevní (F) je naopak vrstvou s probíhajícími fermentačními procesy, kdy dochází k částečnému rozkladu organických zbytků, ale ty dosud neztrácejí svůj tvar a strukturu. Horizont mli (H) je čistě organickou vrstvou tmavě zbarvených organických látek s vysokým obsahem uhlíku; humifikace zde pokračuje již do takového stupně, že organické zbytky ztratily svůj původní charakter. Pod čistě organickým, nadlovním povrchovým humusem leží povrchový humusový horizont, kde je organický podíl neoddělitelně smíšen a vázán s minerální složkou podzemní (Ah horizont).

Humusová forma je v daných klimatických, pedogenetických, geomorfologických, hydrologických, vegetačních a hospodářskou činností ovlivněných podmínkách zákonitě vytvářeným uspořádáním organických horizontů a to v těsném spojení s mydatem. Za základní humusové formy jsou považovány mor (surový humus), mull (šládkový humus), moder a tangel, ty se dále dělí do subforem, každá z nich se vyznačuje specifickými znaky.

Humus je možné považovat za skupinu org. složenin s proměnnými vlastnostmi (vlivem svinování a natahování polymérních řetězců), vysokým vnitřním aktivním povrchem (vlivem jeho spirálové struktury) a pevně vázaným negativním nábojem a tím pádem i tendencí vytvářet komplexy s podstatnými kationty (REJTEK 1996; FABIÁNEK 2008).

3.7.2 Humusové formy nadloňního humusu (**mull, moder, mor**)

Humusová forma vyjadruje fyzikální a chemické vlastnosti, stavbu profilu humusu se vymezení jeho horizonty, strukturou a edafonem (MÁLY 1978). Profil humusových forem tvoří ektorganická (holorganická) vrstva (horizonty L, F, H), a horizont A (Ah), ili endorganická vrstva. Výskyt ekt- (end-) organických horizontů a struktura humusu naznačují koloběh organických látek a režim fluvin (KÖGEL-KNABNER 1993).

Pro určení formy nadloňního humusu je rozhodující charakter jednotlivých vrstev /horizontů humusového profilu, který tvoří vrstvy nadloňního humusu a pod nimi ležící organo-minerální horizont A (N ME EK et al. 2001). V lesnictví se používá lenní forem humusu na mor, moder a mull (MACK 1993)

Jak uvádí N ME EK et al. (2001), humusová forma mull vzniká za velmi příznivých podmínek pro rozklad a transformaci organických zbytků. Tvoří se převážně pod listnatými a smíšenými porosty v mírném až teplém klimatu, za vyrovnaných podmínek vodního režimu, na půdách dostatečně hlubokých, provzdušněných a dobře zásobených fluvinami. Bohatá půdní vegetace poskytuje snadno rozložitelné organické zbytky, které jsou zdrojem potravy pro dekompozitory. Důsledkem intenzivní aktivity zooedafonu, bakterií a aktinomycet je rychlý rozklad a transformace organické hmoty. Vznikají především huminové kyseliny. Významně se uplatňují i koprogenní exkrementy, především dekompozitorů, které přispívají k tvorbě krupnaté a drobtovité struktury svrchní části humusového horizontu. Horizont opadanky O1 může v něm být i dobře vyvinutý, pravidelně se vyskytuje v období pozdního podzimu. Horizont drti Of tvoří na povrchu pouze velmi slabou vrstvu promísenou s tenkými exkrementy. Půdní pH bývá vyšší než 5 a poměr C/N v rozmezí 10 až 20.

Humusová forma mor vzniká za nepříznivých podmínek pro rozklad a transformaci organické hmoty. Je typický pro jehličnaté lesy vyšších poloh pod půdní vegetací s kyselým opadem (borůvka, brusinka, v es) a chladným a vlhkým

klimatem. Tvorba moru je zesilována minerálně chudým podlohmím s nedostatkem bází a jílu. Probíhá v silně kyselém prostředí. Na rozkladu organické hmoty se v rozhodující míře podílejí plísně a houby. Ze zoedafonu se ve většině vyskytují jen roztoči a chvostoskoci. Nenastává intenzivní míra rozkladu rostlinných zbytků s minerální půdou. Procesy mineralizace a humifikace organických zbytků jsou značně omezené a pomalé. Nadlohmí humus se hromadí ve zplstnatělé vrstvě propletené myceliemi plísní, hyfami hub a kořínky rostlin. Tuto vrstvu lze zpravidla odtrhnout v celých kusech od minerální půdy. Při intenzivním rozkladu opadu vznikají organické kyseliny, především fulvokyseliny. Ty spolu s dešťovou vodou (většinou okyselenou v důsledku emisí) pronikají do půdy a vyvolávají podzolizační proces. Mor je tvořen mocnou vrstvou /horizontem/ opadu Ol, v němž se často hromadí víceletý opad. Pod ním bývá mocná vrstva drti Of. Vrstva mli Oh je většinou méně mocná než vrstvy Ol nebo Of, je ostře oddělena od humusového horizontu Ah (Ae) (NEMEČEK et al. 2001, MENTÍK 2010). V přirozených podmínkách je typické nízké pH (méně než 4) a široký poměr C/N (>30).

Pechod mezi morem a mulem zaujímá moder, který vzniká v příznivějších klimatických a půdních podmínkách než v případě moru a to jak v listnatých, tak jehličnatých lesích (MACK 1996). Klima bývá vlhčí a chladnější, podmínky vodního provozu nebývají tak vyrovnané. Půdy jsou hojně zásobeny živinami, případně mají menší obsah jílu, jsou hojně provzdušněné, organický opad je kyselější. Transformace organické hmoty probíhá v kyselém prostředí za výrazné účasti půdní fauny. Hojně se vyskytují členovci, dešťovky však chybí, nebo jsou zastoupeny jen ojediněle. V malém množství se vyskytují hyfy hub. Mocnost pokryvného humusu se zvyšuje v důsledku mírně váznoucí humifikace. Pokryvný humus je tvořen vrstvou opadu Ol a slabší vrstvou drti Of a vrstvou mli Oh. Pechod vrstvy Oh do humusového horizontu A je celkem plynulý. Podíl koprogeenních elementů ve vrstvě Of a Oh je značný. Rozpětí pH může být široké (3-7) v závislosti na půdním substrátu a poměru C/N kolísá kolem 20 (MENTÍK 2010).

3.7.3 Význam nadlohmího humusu

Nadlohmí humus a organické látky v půdě obecně podmiňují rozhodující měrou stav a dynamiku lesních ekosystémů (PODRÁZSKÝ 2001). Nadlohmí humus je důležitý nejen pro přímé zadržování vody, zlepšuje také však do půdy (POŘTULKA 2007).

Dále reguluje teplotní poměry tím, že zvýšeným obsahem vzduchu působí jako izolátor a zmenšuje tím teplotní výkyvy v půdách mezi dnem a nocí a v jednotlivých ročních obdobích (PELÍŠEK 1964). V neposlední řadě slouží jako zdroj energie pro půdní organizmy (KUFEL et al. 2001).

Produkce a tvorba humusových forem je velmi náročná a zdlouhavá, závisí na typu vegetace, klimatických podmínkách, na obsahu vzduchu a vody v půdě, matečné hornině (PONGE 1997) nebo půdotvorném substrátu (PONGE, FERDY 1997) a inozemní mikroflóře (VRBA, HULET 2006).

TRÁVY (1977) uvádí význam humusu ze tří hledisek:

a) Fyzikální působení

Nadlovní humus má vliv na vsakování vody, na výpar, na tepelný reflex - vrstva humusu působí zvýšeným obsahem vzduchu jako izolátor a zmenšuje tím teplotní výkyvy. Dále má vliv na barvu půdy, vododržnost a strukturu.

b) Chemicko - biologické působení

Nadlovní humus představuje rezervu a zdroj velkého množství dusíku i minerálních prvků, vlastní půdní humus se uplatňuje při sorpci a výměně kationtů, je hlavním zdrojem dusíku. Organické látky ovlivňují oxidační redukční pochody. Nadlovní a půdní humus jsou substrátem, ze kterého fliví půdní flóra i fauna.

c) Fyziologický význam

Růst rostlin ovlivňují humusové látky přímo i nepřímo. Nepřímo tím, že mají vliv na různé vlastnosti půdy dlehlité i z hlediska rostlin. Přímo tím, že:

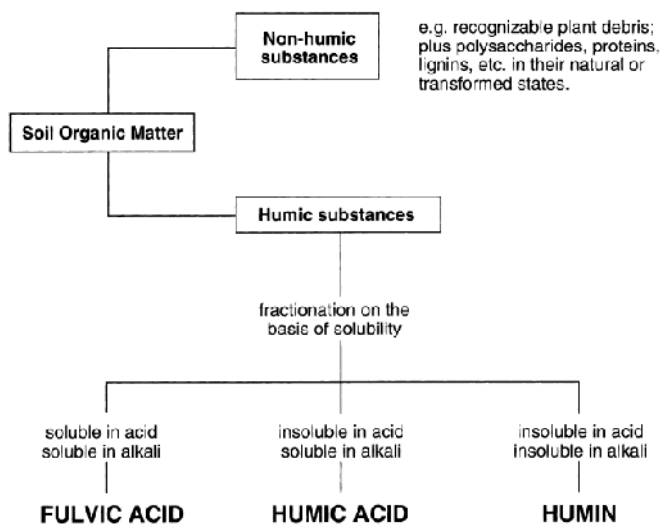
- mají vliv na příjem a rozdělení těžkých kovů ve formě komplexů,
- přímo ovlivňují sorpci iontů a procesy látkové výměny,
- některé organické sloučeniny rostliny přímo přijímají.

3.8. Půdní organická hmota

Půdní organickou hmotu (Soil Organic Matter, dále jen SOM) můžeme definovat jako celkové množství nevlivých organických sloučenin v půdě, s vyloučením nerozložených (vlivých) rostlinných a živočišných tkání, v určitém stupni rozkladu (části nerozložené produkty organických sloučenin) a půdní biomasu definovanou jako mikrobiální tkáň (STEVENSON 1994). SOM se často v literatuře označuje (definuje)

také jako Humus (SPARKS 2003). Z chemického hlediska lze látky tvořící SOM rozdělit na dvě skupiny (STEVENSON 1994; SPARKS 2003):

- o **látky humusové (humic substances)** (60-80 % podílu organické hmoty) jsou to pro svou specifickou třídu rozložitelné tmavě zbarvené látky s relativně vysokou molekulovou hmotností (AIKEN et al. 1985). Tyto látky vznikají v půdě procesem sekundární syntézy. Humusové látky je možno rozdělit na tři frakce, na základě rozdílné rozpustnosti v kyselinách a loužích, na fulvokyseliny, huminové kyseliny a humin. Tyto frakce se od sebe liší barvou, molekulovou hmotností, obsahem uhlíku a kyslíku i dalšími charakteristikami.
- o **nespecifické sloučeniny (nonhumic substances)** (20-30 %) jsou látky náležející do konkrétních skupin organických sloučenin popsaných organickou chemií (cukry, organické kyseliny, aminokyseliny, včetně mastné kyseliny, alkoholy, aldehydy, dusíkaté sloučeniny, celulóza, chitin, lignin, bílkoviny, polysacharidy a další sloučeniny).



Obr.6. Frakcionace podílu organické hmoty (SOM) a humusových látek (SPARKS 2003). Převzato a upraveno podle M.H.B. Hayes and R.S. Swift, *The chemistry of soil organic colloids*, in *The Chemistry of Soil Constituents* (D.J. Greenland and M.H.B. Hayes, Eds.), pp. 179-230. Copyright © 1978 John Wiley and Sons, Inc. publikované v knize *Environmental Soil Chemistry* (SPARKS 2003).

Humusové látky jsou amorfní, často nenasycené aromatické vysokomolekulární látky flukující a různě zbarvené, odolné vůči mikrobiálnímu rozkladu, které nemají jasně

definovatelnou chemickou stavbu a fyzikální vlastnosti. Jsou hydrofilní a skládají se z globulárních částic, které ve vodním roztoku obsahují hydratační vodu. Tvorbou dlouhé spirálové molekuly nebo dvoj- až trojrozměrné síťové (cross-linked) makromolekuly s negativním nábojem, který vzniká ionizací kyselých funkčních skupin, například karboxyl. Humusové látky je možné na základě jejich rozpustnosti v kyselinách nebo zásadách rozdělit na tři hlavní skupiny: fulvokyseliny, huminové kyseliny, a huminy (STEVENSON 1994, SPARKS 2003).

Huminové kyseliny- tvoří nejkvalitnější složku humusových (huminových) látek, jsou tmavě hnědého zbarvení a hlavní složkou podílu organické hmoty, která přispívá k chemickým i fyzikálním vlastnostem půdy (SOTÁKOVÁ 1982). S vápníkem a hořčíkem tvoří ve vodě nerozpustné humáty vápenaté nebo hořčičnaté, které zvyšují soudržnost lehkých půd a zlepšují drobitost a zpracovatelnost těžších půd (VOKURKOVÁ 2010). Jejich mimořádnou významnou vlastností je také vysoká míra rezistence vůči mikrobiálnímu rozkladu a mineralizaci, patří se k vysokomolekulárním frakcím (MÉNČEK 2010).

Fulvokyseliny - fulvokyseliny se tvoří především v prvních stádiích humifikace primární organické hmoty (KUFEL et al. 2001). Jsou výrazně mobilní, nepříliš významné při tvorbě půdní struktury a vytváření komplexů s huminovými kyselinami, patří se k nízkomolekulárním frakcím. Zvýšený obsah fulvokyselin v půdě (typické pro kyselejší půdy) způsobí uvedené prvky do forem přijatelných pro rostliny.

Humin - jsou složkou podílu humusu, která je pevně vázaná na anorganické podíly koloidy (VOKURKOVÁ 2010). Tvoří nerozpustnou složku podílu humusových látek. Jsou podobné huminovým kyselinám, ale jsou méně aromatické a obsahují více polysacharidů, vykazují vysoký stupeň kondenzace a nehydrolyzují (SPARKS 2003).

Organické látky, které se dostávají na půdu a do ní, podléhají rozlišeným procesům. Tyto procesy proměny můžeme rozdělit na tři hlavní skupiny (SOTÁKOVÁ 1982): a) proměny organických látek způsobené vodou, vzduchem, především fermenty, jde o chemické proměny v širším smyslu slova, b) proměny způsobené činností půdních živočichů, c) proměny způsobené činností rostlinných organismů, mikroorganismů.

Po odumění buněk a pletiv organické zbytky podléhají únikům vody, která je vyluhuje a únikem vzdušného kyslíku, který na které sloučeniny zoxiduje. V této skupině proces je ovšem nejpronikavější působení enzymů, fermentace. Tyto mají velmi důležitou úlohu v životních procesech při látkové výměně a jejich činnost si podržuje svoji aktivitu i po odumění buněk. Oxidázy vyvolávají oxidaci některých aromatických sloučenin, tíslovin a flavinů, což má za následek zhnědnutí, ztmavnutí odumělých listů, plodů apod. Únikem enzymů se mohou monosacharidy slučovat s aminokyselinami. Vznikají při tom tmavé koloidní látky, podobné při rozeným humusovým látkám. Vzájemným vysrážením ligninu a bílkovin vznikne ligno-proteinový komplex.

Rozklad organické hmoty je nezbytný pro udržení života na Zemi a je procesem umožňujícím důkladnou recyklaci chemických prvků nejen v ekosystému, ale i v celé biosféře (BERG A LASKOWSKI 2006). Dekompozice opadu je nezbytná pro cyklus živin a lesní produkci (DIDHAM 1998). Dekompozice opadu ovlivňuje hromadění organické hmoty, uvolnění živin pro růst rostlin a tok CO_2 z půdy (WARDLE et al. 2003; PRESCOTT 2005). Hlavním zdrojem organické hmoty vstupující do procesu dekompozice je rostlinný opad, který odpovídá 70 až 90 % celkového ročního opadu (SCHULTZE 2000). Dekompoziční procesy jsou ovlivňovány řadou biotických a abiotických faktorů (SWIFT et al. 1979; LA VELLE et al. 1993). Vlhkost, teplota a stupeň rozkladu jsou klíčovými faktory kontroly rychlosti dekompozice (MOORE 1986; GILLIAM et al. 2001).

Půda je místem s obrovskou rozmanitostí organismů. Vzájemné interakce organismů různé velikosti hrají významnou roli při procesech organické hmoty v půdě (FROUZ 2010). Organická hmota je rozkládána zejména činností půdních mikroorganismů bakterií, archeí a hub. Mikroskopicky půdní živočichové se účastní vlastní dekompozice a poznání méně známých, mohou však být významnými predátory mikroflóry, ovlivňovat tak její populační dynamiku, a tím i dekompoziční činnost (ADL 2002). Limitující živinou v opadu je dusík, a to jednak proto, že rostliny část dusíku před opadem listů stáhnou zpět, jednak proto, že část zbylého dusíku je vázána v těžko rozpustných komplexech aminokyselin a fenolických látek. Půdní fauna může urychlovat ale i zpomalovat vznik humusu, který představuje velmi rezistentní a pomalu se rozkládající složku organické hmoty (FROUZ 2010). To je zvláště významné při vzniku nových půd.

Podle odolnosti vůči rozkladu je možno sestavit přibližně podle hlavních skupin organických sloučenin takto: cukry, škrob, proteiny- proteidy- pektiny, hemicelulózy-

celulóza- lignin- vosky, flivice, t ísloviny (FABIÁNEK 2008). Pro zji-t ní rychlosti a d kladnosti prom n, poufíváme jednoduchý souhrnný ukazatel a to obsah dusíku, vyjád ený nap íklad pom rem C/N a obsah popelovin. ím je obsah bohat-í na dusík a vápník, tím snadn ji se rozkládá (FABIÁNEK 2008).

Postupy prom ny je mofné rozd lit na t i hlavní sm ry (SOTÁKOVÁ 1982):

1. **Úplný rozklad (remineralizace)**. Organická hmota se p i tomto zp sobu prom ny m ní afl na jednoduché minerální slou eniny, zejména vodu, oxid uhli itý, dusi ný, si i itý, pavek atd. Humus se nevytvá í, protofle organické zbytky se vlivem vzdu-ného kyslíku a oxida ních ferment spalují.

2. **Ra-elin ní**. Tento proces se uskute uje bu za omezeného p ístupu vzduchu, nebo za nedostate né teploty, nebo v p ípad t fce se rozkládajícího materiálu. Mikrobiální innost je pro nep íznivé podmínky slabá. Organické zbytky se hromadí a ukládají v rozli n silných vrstvách jako ra-elina, v po áte ném stádiu jako surový humus.

3. **Humifikace** se skládá z prom n organických látek, men-ím rozsahu chemických a biochemických, p eváfn mikrobiálních. P i vlastní humifikace se ást organických zbytk mineralizuje, ímfl mikroorganizmy získávají energii (zejména teplo), pot ebou pro flivotní innost. Z druhé ásti se uvedenými procesy (oxidací a kondenzací) tvo í nové, vysokomolekulární, tmav zbarvené látky, uhlíkem bohat-í nefl p vodní humusotvorná hmota. Nov vytvo ené slou eniny mají tedy obsah uhlíku vy-í nefl 45%. Jsou to humusové látky, tzv. vlastní humus, který je v p d pom rn stálý a zna n odolává mikrobiálnímu rozkladu. Mechanismus humifikace je mofné rozd lit na dva hlavní sm ry: a) tvorba huminových látek prom nou t ch slou enin, který jifl cyklickou strukturu mají (nap . lignin, n které proteidy, t ísloviny), b) tvorba huminových látek syntézou produkt rozkladu z lineárních uhlohydrát a protein , jejich prom nou na cyklické slou eniny a polymerizaci (TÁLY 1978; FABIÁNEK 2008).

3.9. Vliv d evinné skladby na p du

Vegetace, v etn vegetace lesní, je jedním z hlavních pedogenetických faktor . Druhov é slofení lesních porost (ekosystém) ur uje rozhodujícím zp sobem objem i slofení opadu, jeho rozklad a mnofství i kvalitu látek uvol ovaných p i tomto procesu. Dal-í p ímý zp sob, jímfl d eviny ovliv ují stav a vývoj lesních p d, je p íjem flivin pro primární produkci a tím i jejich odb r z p dního prost edí. Tyto vlivy p sobí p edev-ím

na nejsvrchnějších horizonty, tj. určují v první řadě charakter a vývoj humusových forem (PODRÁZSKÝ et al. 2007). Opad rostlinné biomasy v lesních porostech je významnou částí koloběhu živin v ekosystému; k jejich hromadění dochází díky pomalému rozkladu (SINGER, MUNNS 1996).

PELÍŠEK (1964) uvádí, že lesní porosty s různou dřevinnou skladbou vytvářejí v lesních podmínkách různé typy humusu se speciálními vlastnostmi. Kvantitativně i kvalitativně se tvoří jiné typy humusu z opadu jehličnatých a listnatých porostů. Z hlediska vlivu vegetačního krytu na kvalitu humusu lze obecně rozlišit dvě skupiny. Jehličnany (smrk, borovice, modřín atd.) mají obtížně rozložitelný opad, nebo obsahuje malé množství živin (ty jsou před opadem starých jehlic stromem retranslokovány do mladších) a vysoký podíl různých fenolických látek, které inhibují činnost mikroorganismů. Z těchto důvodů je typickou formou humusu jehličnatých lesů mor. Naproti tomu opad listnatých dřevin vešmě umožňuje tvorbu živinami bohatších forem humusu (MENŠÍK 2010). Složení lesního porostu tak jednoznačně determinuje transformaci opadu a tvorbu humusových forem. V minerálních horizontech jich vliv dřevin bývá překryt vlivem jiných faktorů, zejména především substrátem a jeho složením, jak dokládají například REJŠEK et al. (2010).

Celkové množství opadu a akumulované organické hmoty v povrchovém humusu závisí na věku porostu, úrodnosti půdy, hospodářském zásahu, vodním režimu (TARMAN 1990). Zásoba povrchového humusu ve smrkových ekosystémech v ČR výrazně převyšuje hmotnost ročního opadu (v příznivých podmínkách 3 až 5 krát, v průměrných podmínkách 10 krát, v nepříznivých podmínkách 20 až 30 krát).

Současné lesní hospodářství střední Evropy bylo do značné míry spojeno i se změnou druhového složení lesních porostů. V prvním období došlo zejména k šíření smrku, borovice a v menší míře i modřínu na stanovištích, kde se v přirozených poměrech nevyskytovaly, nebo se vyskytovaly v daleko menší míře a za určitých podmínek. To přispělo k degradaci lesních půd spočívající především ve vytváření surového humusu, podvázání koloběhu živin a acidifikaci půdního prostředí. KLIMO et al. (2006) ve své práci týkající se acidifikace lesních půd v ČR dokládají, že humusový horizont A je v první generaci lesa v porostu smrku kyselější než v porostní směsi smrku s bukem a než v porostu pouze bukovém a to díky okyselujícímu vlivu smrkového opadu oproti opadu bukovému v daných podmínkách (Beskydy, Třmava) (HATLAPATKOVÁ

2011). S p sobením jehli natých monokultur byla často spojována i silná podzolizace v určitých specifických oblastech, především s chudými písitými půdami. V literatuře jsou uvedeny předpoklady i doklady o tom, že změna druhové skladby vedla a naopak v jiných případech nevedla k poklesu produktivity stanoviště. Další možnosti zvyšování množství, kvality a diverzity produkce dřeva na jedné straně a vyuffivání melioračních úinků lesních dřevin na lesní prostředí na straně druhé byly hledány v oblasti introdukce dřevin (PODRÁZSKÝ et al. 2007).

Douglaska vytváří opad relativně bohatý na fliviny. Rozklad opadu postupuje značně rychle, alespo v první fázi. Na druhé straně tento druh fixuje značné množství flivin v biomase porostu a relativně ochuzuje půdní prostředí. To je patrné zejména v porostech vyřhových (PODRÁZSKÝ et al. 2007).

3.9.1 Stručný popis jednotlivých dřevin

Smrk ztepilý (*Picea abies* (L.) Karsten) ó je naší hlavní hospodářskou dřevinou. Přesto, že je jeho podíl v našich lesích vysoký (51,7 %), přizoben by dosahoval pouze 11 % zastoupení. Je to poměrně rychle rostoucí dřevina, s dobrou kvalitou dřeva a nízkými nároky na půdní prostředí (široká eko-valence). Stresem v tšinou trpí z nedostatku vláhy, což vede sekundárně k napadání biotickými škůdci. Z abiotických initelů je ohrofován větrem, sněhem a námrazou pro jeho mšlký kořenový systém (POKORNÝ et al. 2013). Vytváří vyhraněné mikroklima, charakterizované omezeným přístupem srážek k půdě, velkou vzdušnou vlhkostí (80-90 %), s malým pohybem vzduchu, zhoršeným oteplováním půdy a tím i sníženým výparem (Kříží et al. 1971). Tyto okolnosti se projevují v pomalém rozkladu opadu, který se hromadí na povrchu, vytváří surový humus a přispívá k podzolizaci a okyselování půdy (ÚRADNÍ EK, CHMELA 1998).

Buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) ó buk je naše nejstinnější listnatá dřevina. Vyhovují mu proto expozice severní a severozápadní s vysokou vlhkostí. Pžadává minerálně bohatou půdu, snese však i menší obsah vápníku. Půdy však musí být vzdušné, humózní, se stálou mírnou vlhkostí. Spokojí se s nejrozličnějšími půdami, nesvědčí mu pouze tršlké jíly, půdy zamokřelé, nebo chudé písiky (Kříží et al. 1971). Jeho opad, který přetně z trávy a tím zneomfluje rostlinu, má degradující vliv na půdu. Listy

buku obsahují vysoké množství tíslovin a proto je jeho rozklad pomalý a tvoří se silná vrstva surového humusu (horizontu L), která je jen pomalu zpracovávána nejast ji za přítomnosti hub (HATLAPATKOVÁ 2011). V Evropě byla tato schopnost nejpodrobněji prozkoumána u buku. Jejich opad ainnost koen přímo ovlivují výskyt vybraných mikrobiocenóz, které svými hormonálními metabolity na oplátku zvyšují růst jemných koen buku. Bukový opad díky svému chemismu podporuje v t-í produkci huminových kyselin před fulvokyselinami. Huminové látky produkované při rozkladu bukových pletiv mají hormonální úinek na klíčící bukvice. V kyselém prostředí se tento hormonální úinek podobá auxinům, v neutrálním prostředí spíše gibberelinům (PIZZEGHELLO et al., 2001). (SAMEC et al. 2011).
ó Lesnická práce
Z hlediska tvorby humusu je výhodnější poufřívát buk ve smích s jinými dřevinami (HATLAPATKOVÁ 2011).

Jedle b lokorá (*Abies alba* Mill.) ó vodní zastoupení jedle b lokoré v lesích České republiky se odhaduje asi na 16 % (TYNDELÁ 2007). Vyskytovala se především jako dřevina primární, výjimečně tvořila iisté porosty. V souvislosti s převládáním holosečným způsobem hospodaení v minulosti a s masovým vyuffříváním smrku ztepilého a borovice lesní klesl podíl jedle v lesích na dnešní 1 % (TYNDELÁ et al. 2005 ó lesnická práce). Jedle je dřevinou vysloven stinnou a stínivou. Má-li si uchovat flivotnost do pozdního věku, vyfladuje dlouhé zastínění v mládí. Vyfladuje značnou vlhkost vzdušnou i srážkovou, vhodný je roční srážkový průměr poínaje 600 mm, v teplejších oblastech fládá minimálně 700 mm. Na pdu je značným jehličnanem. Vyhovují jí především hluboké, vlhké, vzdušné a s určitým obsahem vápna, pirozeně se však jedlové porosty vyskytují i na oglejených typech půd. P dům vysloven suchým a zamokřeným se vyhýbá (Křífi et al. 1971).

Je považována za značně výkonnou domácí dřevinu. Vedle vysoké objemové produkce biomasy má v lesních ekosystémech řadu dalších pozitivních vlastností. Na těchto uléhavých půdách, zvláště na oglejených půdních typech vyších a středních poloh není ani v souasnosti za tuto dřevinu rovnocenná náhrada. Krom objemové produkce přispívá v lesních porostech především s jedle opadem jehlic k tvorbě fládoucích forem humusu a s ohledem na pronikání koenových systémů do hlubších půdních vrstev může mít význam i z hlediska pozitivního ovlivování vlastností půd a stability porost (TYNDELÁ et al. 2005 ó lesnická práce).

4. MATERIÁL A METODY

Sledování kvantitativních a kvalitativních charakteristik opadu pro účel této práce se uskutečnilo na výzkumném objektu Rájec-Náměstice /Úel Mendelu v Brně / (KLIMO, MARŠÁLEK 1992) a přírodních výzkumných plochách (MENTÁK 2010) v oblasti Dražanské vrchoviny. Dražanská vrchovina se jako horopisný celek táhne v délce asi 50 km mezi Brnem a Chornicemi (SKO EPA 2006). Přírodní lesní oblast (PLO 30) v Dražanské vrchovině, jejíž rozloha tvoří 2,74 % z rozlohy České republiky. Lesnatost oblasti je 55 % (NIKL 2000). Zahrnuje vlastní kulmskou Dražanskou i Konickou vrchovinu, vápencový Moravský kras a část přírodních fluválních brněnské vyvřeliny, která se nazývá Adamovská vrchovina. Podle biogeografického členění území Dražanské vrchoviny patří v Dražanském bioregionu /1.52/ (CULEK et al. 2005). PRŮMA (2001) dále uvádí, že v současných porostech Dražanské vrchoviny je nejvíce zastoupen smrk, a to více než 50 %, následovaný borovicí (14 %), modřínem (6 %) a jedlí (3 %). Z listnáčů dosahuje buk 10 %, dub 7 % a habr 3 % (MENTÁK 2010).

4.1. Charakteristika zájmového území Dražanské vrchoviny

Dražanská vrchovina jako horopisný celek se táhne v délce asi 50 km mezi Brnem a Chornicemi (SKO EPA 2006). Přírodní lesní oblast (PLO 30) v Dražanské vrchovině dosahuje 2,74 % rozlohy České republiky. Jde o značně lesnatou oblast v 55 % (NIKL 2000). Zahrnuje vlastní kulmskou Dražanskou i Konickou vrchovinu, vápencový Moravský kras a část přírodních fluválních brněnské vyvřeliny, která se nazývá Adamovská vrchovina (zahrnuje výzkumný objekt a výzkumnou plochu). Adamovskou vrchovinu, jejíž geologickým podkladem je granodiorit, určují hory se zachovalými zbytky povrchu, který postupně klesá k jihu. Dosahuje nadmořské výšky 350-550 m. Je rozčleněn na hluboce zaříznutými údolními a příkrými svahy. Přírodní poměry jsou velmi rozmanité, podmíněné pestrým geologickým podložím. Klimatická charakteristika je typická střídáním klimatických okrajů od mírně teplých a suchých po mírně vlhké a pahorkatinné (do 500 m n. m.) i vrchovinné (nad 500 m n. m.) (PRŮMA 2001). Podle biogeografického členění území Dražanské vrchoviny patří v Dražanském bioregionu /1.52/ (CULEK et al. 2005). PRŮMA (2001) dále uvádí, že v současných porostech Dražanské vrchoviny je nejvíce zastoupen smrk, a to více než 50 %, následovaný

borovicí 14 %, modřínem 6 % a jedlí 3 %. Z listná buk 10 %, dub 7 % a habr 3 %. Podrobnější pohled jsou souhrnné přehledy cílové skladby dle uvedených autorů (PRŮMA (2001), NIKL (2000)).

4.2. Výzkumný objekt (VO) a přilehlá výzkumná plocha (VP)

Výzkumný objekt se nachází asi 1 km západně od obce Němčice (poloha: 49°29'31" s.ř. a 16°43'30" v.d.) ve státních lesích obhospodávaných Lesní správou Černá hora, revír Kuničky, lesní hospodářský celek (LHC) 1172, oddělení 512 B, C, D a v přilehlých lesích MP (Mensdorffů Pouilly) Lesy Benešov u Boskovic, v LHC MP lesy, poleší Benešov, lesní úsek 07 Boskovice, oddělení 673 B, příbližně 2,3 až 2,5 km na sever od VO (MENŠŤK 2010).

Výzkumný objekt byl založen v souvislosti s výzkumným projektem Ekologické sledky intenzivní hospodářské činnosti lesů v listných smrkových porostech na stanovištích státních nadmořských výškách, jehož koordinátorem byl prof. Ing. Emil Klimo, DrSc. (KLIMO, MARTIŠÁLEK 1992). Cílem výzkumu bylo analyzovat strukturu, funkci a produktivitu, ekologické sledky intenzivního hospodářství ve vztahu k půdním procesům, stabilitě a ochraně studovaného ekosystému.

V souhrnné době komplexní ekosystémový výzkum stále pokračuje v rámci evropského grantového programu. Výzkum je rozvíjen o porosty s převažujícím zastoupením buku za hranicemi vlastního výzkumného stacionáru (FABIÁNEK et al. 2009; REMEŠ, KULHAVÝ 2009; MENŠŤK et al. 2009). Takové rozvíjení je z důvodů potřeby vzít v úvahu nové lesnicko-politické představy a nutnosti kulturní porosty smrku porovnávat s porosty svým složením příbližními potenciálními přehledy (MENŠŤK et al. 2009, MENŠŤK 2010).

4.2.1 Poměry geografické a morfologické

Zeměpisně náleží oblast výzkumného objektu a přilehlých výzkumných ploch k provincii Česká vysočina, subprovincii česko-moravská, oblasti Brněnská vrchovina, celku Dražanská vrchovina, podcelku Adamovská vrchovina a okrsku Křatulec (HRUŠKA 1978, 1980; LACINA, QUITT 1986). Výzkumné plochy jsou situovány v nadmořských výškách 600 až 650 m n. m.

Zeměpisně zařazení výzkumné plochy v přilehlých lesích MP (Mensdorffů Pouilly) Lesy Benešov u Boskovic je stejné jako u přechodného zájmového území. Nachází se příbližně 2,5 km na sever od výzkumného objektu, na okraji mohutné

uklonené kryté katulec (podle místního označení, protože tvarem připomíná krušové katuli). Výzkumné plochy se nacházejí nedaleko od srázu zlomového svahu spadajícího do Valchovského prolomu (LACINA, QUITT 1986).

4.2.3 Poměry geologicko-petrografické

Na geologické stavbě výzkumného objektu a výzkumné plochy se podílí hlavně brněnská vyvřelina. Mateřní horninou je hlubinná hornina kyselý granodiorit, silně mylonitizovaná a zvětrávacími pochody značně narušená. Má zelenavě-šedou barvu a sekundárně je zbarvena hydroxidy Fe, které povlékají zejména foliační plochy korovitými povlaky. Na složení horniny se podílejí hlavně křemen, flivec, sericit, chlorit a opákní minerály. Textura horniny je plošně paralelní, odlučnostě upínovitá, na které složky většinou vyvětrávají. Struktura horniny je porfyroklastická, s lepidoklastickou strukturou základní osnovy (HRUTKA 1980). Chemické složení mateřní horniny nevykazuje výraznější variabilitu v zastoupení SiO_2 a Fe_2O_3 v této rozdíly jsou v zastoupení jedno- i dvoumocných bází, které jsou způsobeny zejména rozdílným zastoupením flivce a tmavých minerálů. Značně vysoký je obsah P_2O_5 . Z minerálních flivin je možno zastoupení CaO a MgO označit jako dobré, obsah K_2O jako průměrný a velmi dobrý, obsah P_2O_5 je velmi nadbytečný. Vyšší obsah Al_2O_3 ve spodních horizontech naznačuje přítomnost lateritických zvětralin v těchto horizontech (HRUTKA 1980).

Na mateřní hornině kyselého granodioritu se tvoří zvětralinou lehkého charakteru, se značnou přítomností mateřního skeletu a krupnatého písku, dobře propustného pro vzduch i vodu. Proto v nich dochází k erozi nebo naopak k akumulaci hromadění, k mrazovým jevům, vnitroprofilovému zvětrávání a vznikají tak místy hluboké a značně kombinované zvětralinové pokrývky jako materiál pro podvodní procesy.

4.2.2 Poměry pedologické

Po stránce pedologické jsou na celém území výzkumného objektu a ostatních výzkumných ploch převládá kambizem modální oligotrofní (NEMEČEK et al. 2001), dřívejší označení (klasifikace) kyselé hnědé lesní půdy (KLIMO 1978). Půdní profil je vytvořen na různých mocných vrstvách svahoviny s většinou granodioritovým štěrkem a pomístními balvany. Zvětralinou granodioritu bez porušení struktury, která místy vystupuje až do hloubky 40-50 cm, je pro prosakující vodu dosti nepropustná, což je i příčinou občasného převlhnutí celého půdního profilu a místy i oglejení (KLIMO 1978,

1992). Po stránce zrnitosti je v jemnozemi zastoupena dosti vysoko jílnatá frakce (< 0,01 mm) 38,645 % (KLIMO 1978; HRUTKA 1978, 1980), 32,644 % (RO E 2009), a lze proto označit tuto půdu jako hlinitou (KLIMO 1978, HRUTKA 1978, 1980, RO E 2009). Jde o půdu kyselou, což je podmíneno jednak charakteristikou matečné horniny, jednak charakterem organického opadu (porost SM). Nejnižší hodnota v roce 1976 pH v H₂O je ve vrstvě H (3,8) a organominerálním horizontu Ah (3,7) ovšem ani hlubší minerální horizonty nepesahují v této hodnotu 4,5 (KLIMO 1978). V roce 1986 uvádí GRUNDA (1990) pH v H₂O ve vrstvě H (4,6) a organominerálním horizontu Ah (3,9). V letech 2004-2007 uvádí FABIÁNEK et al. (2009) pH v H₂O ve vrstvě H (3,5) a organominerálním horizontu Ah (3,7).

Po stránce fyzikálních poměrů není charakter půdního profilu optimální z hlediska produkce lesních dřevin. Má poměrně omezenou fyziologickou hloubku s nepropustnou vrstvou granodioritové zvětraliny.

4.2.4 Poměry klimatické

Podstatná část Dražanské vrchoviny náleží podle Atlasu podnebí SSR (1958) do teplé a mírně teplé oblasti. Podle QUITTA (1971) má podnebí výrazný gradient od okraje ke středu. Území Dražanské vrchoviny je středně vlhké a pro údolní polohy jsou typické teplotní a následně i vegetační inverze. Průměrná teplota celé oblasti se pohybuje od 5 do 10 °C, s průměrnou teplotou ve vegetačním období od 13 do 17 °C (NIKL 2000). Průměrné roční srážky kolísají od 500 do 750 mm. Délka vegetační doby se pohybuje mezi (170) 160-150-140 dny. Lang v deškový faktor v nižších polohách převládá v rozmezí 55-90, což je semihumidní srážková oblast a ve vyšších polohách nad 90, což je humidní srážková oblast. Průměrné údaje teplot a srážek podle dlouhodobého 50-ti letého průměru 1901-1950 jsou uvedeny v tabulce číslo 7.

Tab. 7. Průměrné údaje teplot a srážek podle dlouhodobého 50-ti letého průměru 1901-1950.

Stanice	Nadmořská výška	Průměrná teplota		Průměrné srážky		Lang v dešový faktor oblast	Vegetační doba (nad 10 °C) dn
		roční	IV.-IX.	roční	IV.-IX.		
	m n. m.						
Konice	450	7,2	13,5	629	390	105	150
Dražany	630	6,2	12,5	649	389	87	140
řádná	640	6	12,2	652	403	109	140

Podle QUITTA (1971) se výzkumný objekt a ostatní výzkumné plochy nachází v klimatické oblasti MT3 mírně teplé a mírně vlhké.

Počet letních dnů	20 - 30
Počet dnů s průměrnou teplotou 10°C a více	140 - 160
Počet mrazových dnů	110 - 140
Počet ledových dnů	30 - 50
Průměrná teplota v lednu	-3 - (-4)°C
Průměrná teplota v dubnu	6 - 8°C
Průměrná teplota v červenci	16 - 18°C
Průměrná teplota v říjnu	7 - 8°C
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	100 - 120
Srážkový úhrn za vegetační období	350 - 450 mm a více
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	60 - 100
Průměrná roční teplota činí	6,3°C (stanice Protivanov)
Srážkově nejbohatší je měsíc	červenec (415 mm)
Srážkově nejchudší je	únor a březen (32 mm)

MT3 je charakteristická krátkým létem, které je mírné a mírně chladné, suché a mírně suché, prodešné období normální a dlouhé, s mírným jarem a podzimem, zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá s krátkou sněhovou pokrývkou.

4.2.5 Poměry typologické

Danou lokalitu máme za adit do skupiny typ geobiocény Fageta quercino abietina - Carex pilulifera, Dryopteris dilatata (TMYKAR, 2002), respektive Luzulo-Fagion podle Cury-sko-Montpeliérské koly (VAŤEK 1985, AMBROZ 1987, 1990).

Podle typologického systému Ústavu pro hospodářskou úpravu lesa je VO a výzkumné plochy zařazeny do skupiny lesních typů 5S - sv. říj jedlová bučina a do lesního typu 5S1 - sv. říj jedlová bučina - avelová (PLÍVA 1987), soudíme však, že lokalita leží na horní hranici bukového lesního vegetačního stupně (MENŤEK 2004; MENŤEK 2006). Za převládající dřevinu je pokládán *Fagus sylvatica*, jako absolutní dominanta, ojedinělý výskyt *Abies alba*, příměs *Quercus petraea*, na místech s oglejením též *Quercus robur*.

Absence termofilních druhů a jen vzácný výskyt *Prenanthes purpurea* v širokém okolí plochy, skutečně vzácný výskyt *Polygonatum verticillatum*, p. ř. *Lycopodium clavatum* a nepřítomnost náročnějších druhů květnatých bučin potvrzuje předpoklad, že

se jedná o podmínky klimaxového společenstva druhově chudé acidofilní bučiny (VAŤEK, 1978 in KULHAVÝ, 1997).

4.2.6 Poměry hydrologické

Oblast spadá do povodí řeky Moravy a patří k úmoří černého moře. Výzkumný objekt leží na východním svahu rozvodného hřebtu táhnoucího se ve směru S - J. Svah o délce asi 600 m klesá od rozvodného hřebtu na východ do údolí Němického potoka. Po obou stranách hřebtu jsou sedla, na nichž navazují ploché svahové úpady pokračující prameny zdrojnic a erozními zářezy. Nejsou však protékány stálými toky, ty se místy ztrácejí v mocnějších a propustných zvrátninách. Znovu se objevují v nižších pramenných místech a vytvářejí erozní zářezy až k Němickému potoku. Němický potok se vlévá do říčky Luhy, která v Moravském krasu pokračuje jako Punkva a v Blansku vtéká zleva do řeky Svitavy v nadmořské výšce asi 300 m n. m. Délka celého toku je 20650 km. Plocha povodí je 170,4 km².

V blízkosti výzkumných ploch v lesích MP (Mensdorff - Pouilly) Lesy Benešova u Boskovic se vyskytuje vodohospodářsky významný tok Blásova (označením 4-15-02-048, (Bláso od Orlového potoka do ústí s označením 4-15-02-054). Pramení u Benešova v nadmořské výšce 680 m n. m. Ústí zleva do řeky Svitavy u Jablon v nadmořské výšce 305 m n. m. Délka celého toku je 21,3 km. Plocha povodí je 76 505 km². Průměrný průtok se pohybuje kolem 0,33 m³.s⁻¹ (VAŤEK et al. 1984). Hustota tekoucích vod v oblasti je 162 ř. na km² (JESTŘÁBEK, KOUSAL 1971).

4.3. Charakteristika experimentálních porostů

Sledování charakteristik opadu, množství, složení a chemického složení se provádí na čtyřech plochách v oblasti Dražanské vrchoviny, ve 105-letém porostu smrku, 45-letém porostu buku a ve 35-letém porostu smrku. Jedna plocha se nachází v Benešově u Boskovic a to 130-letý smíšený porost buku, smrku a jedle.

4.3.1 Varianta 1 - Smrkový porost (105)

Zkoumaná plocha se nachází v oploceném areálu výzkumné stanice ústavu ekologie lesa. V současné době se zde stále nachází původní 105-letá smrková monokultura v první generaci po smíšeném porostu smrku (*Picea abies*), jedle (*Abies alba*) a buku (*Fagus sylvatica*), s průměrnou výškou 31,3 m a tloučkou 32,0 cm, se zakmením 10 (MENÁK 2010). V porostu jsou prováděny průběžné a cílové práce stromů napadených lýkočinnými hmyzy. V části hlavního porostu (mimo plochu kde byly odebrány vzorky) byly založeny bukové kotlíky s cílem transformace monokultury na smíšený porost. Půdní typ je Kambizem modální oligotrofní s formou povrchového humusu moder. Fyziologická hloubka půdního profilu je cca 40 cm.



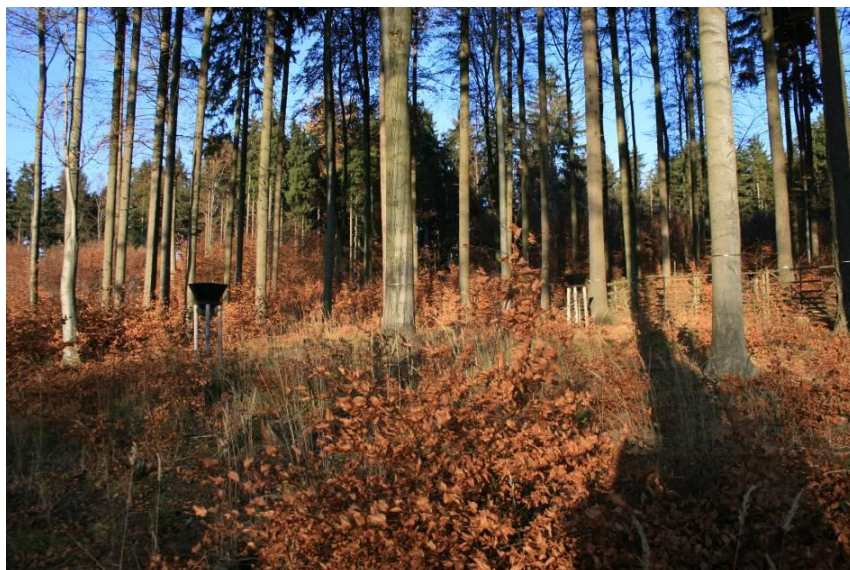
Obr. 7. 105-letý smrkový porost v oploceném areálu výzkumné stanice ústavu ekologie lesa
(foto: L. Menáček)



Obr. 8. 105-letý smrkový porost s opadom ry (foto: L. Menšík)

4.3.2 Varianta 2 - Smí-ený porost (130)

Lesní porosty na lokalitě *Smí-ený porost*, které jsou ve stáří přibližně 130 let, průměrná výška buku (*Fagus sylvatica*) je 33 m a tloušťka 39 cm, průměrná výška smrku (*Picea abies*) je 35 m a tloušťka 46 cm a průměrná výška jedle (*Abies alba*) je 31 m s tloušťkou 35 cm navazují na komplex lesů na Holíkově fragmenty jedlo-bukových porostů. Jeho poloha je N: 49°27'49,371'' a E: 16°42'00,492''. Fytocenologicky se jedná o svaz *Fagion*, podsvaz *Eu-Fagion*, asociace *Festuco altissimae* - *Fagetum* (kostavová bučina s dominantní kostavou nejvyšší *Festuca altissima* a kyelnicí cibulkonosnou *Dentaria bulbifera*) (SKO EPA 1999; CHYTRÝ 2001). Lesní typ je 5S1 - svítlá jedlová bučina - avelová (PLÍVA 1987). Podle skupin typ geobiocén lze plochu zařadit do STG 4AB3 - *Fageta quercino abietina* afl 5AB3 - *Abieti fageta* (BUŠEK, LACINA 1999; MENŠÍK 2004; MENŠÍK 2006). Podzemním typem je kambizem modální oligotrofní (KAm^d) s formou povrchového humusu moder. Nadloňní humus reprezentují všechny vrstvy (L, F, H) a tloušťka vrstev kolísá od 4 do 5 cm. Poté následuje horizont Ah s okrovědou, hlinitou zeminou, která je kypřá, čerstvě vlhká. Dále následuje horizont Bv s okrovědou, hlinitou zeminou s příměsí hrubého písku a kamene. Ten dále v hloubce kolem 40 cm přechází do světlejší jílovohlinité zeminy, s příměsí hrubého písku, dřevky a kamene. Fyziologická hloubka podzemního profilu je asi 40-45 cm.



Obr. 9. 130-letý smíšený porost buku, smrku a jedle navazující na komplex lesů na Holíkov
(foto: L. Menšík)

4.3.3 Varianta 3 - Smrkový porost (35)

Nachází se na pasece, která byla v roce 1978 uměle zalesněna třídletými sazenicemi. Současný porost smrku (*Picea abies*) s průměrnou výškou 16 m a tloušťkou 15 cm se zde nachází ve druhé generaci. Ve věkové kůře byl z porostu odstraněn přirozeně vzniklý nálet. Při tomto zásahu byly vytřeny i některé stromy z výsadby (KNOTT 2005). Pevládající podstata je kambizem modální oligotrofní, forma povrchového humusu moder s pomístním výskytem suchého moru (dle NEMEČEK et al. 2001). Fyziologická hloubka je cca 50 cm.



Obr. 10. 35-letý porost smrku ve druhé generaci (foto: L. Menšík)

4.3.4 Varianta 4 - Bukový porost (45)

V současné době se zde nachází přibližně 45-letý bukový porost s průměrnou výškou 20 m a tloučkou 13 cm v první generaci po smrkové monokultuře. Porost je veden jako hospodářský les patřící L. R. Porost vznikl uměle obnovou ze sazenic dnes již bohužel neznámého původu. Půdní typ je Kambizem modrální mezotrofní s formou povrchového humusu mull. Fyziologická hloubka je cca 40 cm.



Obr. 11. 45-letý porost buku v první generaci po smrkové monokultuře (foto: L. Menšík)

4.4. Odběr a příprava vzorků opadu

Sledování charakteristik opadu, množství, složení a chemického složení se provádělo na 4 plochách v oblasti Dražanské vrchoviny. Ve starém porostu smrku 105 (V1), v mladém porostu smrku 35 (V3), ve smíšeném porostu BK, SM, JD 130 (V2) a v mladém porostu buku 45 (V4).

Odběr vzorků byl prováděn pomocí opadoměrů. Na každé ploše bylo umístěno 5 opadoměrů. Opadoměry jsou vyrobeny z polyetylenu a mají tvar obráceného komolého čtyřbokého jehlanu, v jehož vrcholu je umístěn síťový sáček pro zachytávání opadu. Záchytná plocha opadoměru je 0,25 m² a je umístěn ve stojanu ve výšce cca 1,5 m nad zemí. Vzorky opadu se odebíraly v průběhu let 2011, 2012 a 2013 z každého opadoměru zvlášť a to v období:

1.1.2011-17.2.2011
18.2.2011-14.3.2011
15.3.2011-12.4.2011
13.4.2011-9.5.2011
10.5.2011-6.6.2011
7.6.2011-8.7.2011
9.7.2011-3.10.2011
4.10.2011-4.12.2011
5.12.2011-31.12.2011



Obr.12. Opadoměr

1.1.2012-31.3.2012
1.4.2012-19.6.2012
20.6.2012-1.8.2012
2.8.2012-31.8.2012
1.9.2012-31.12.2012

Vzorky opadu se rozdělávaly na 3 (4) frakce:

- jehličí,
- listí (bukový a smíšený porost)
- dřevě
- ostatní

1.1.2013-31.3.2013
1.4.2013-30.6.2013
1.7.2013-30.9.2013
1.10.2013-31.12.2013

Po roztržení byly vzorky opadu vysušeny v sušárně při 60 °C do konstantní hmotnosti. Konstantní hmotnost se zjišťuje dvojnásobným vážením vzorku a to následujícím způsobem: po předpokládaném vysušení se jeden ze vzorků nechá po dobu 30 minut vychladnout, zváží se a hmotnost se zaznamená. Poté se dá vzorek ještě na hodinu znovu sušit a postup se opakuje. Pokud mezi dvěmi naměřenými hodnotami již není rozdíl, vzorky jsou dostatečně vysušeny a mohou být (po vychladnutí) zváženy.

4.5. Laboratorní analýzy vzorků opadu

Tab. 8 Známosty porosty a období, kdy byly stanoveny laboratorní analýzy vzorků opadu

Laboratorní analýzy vzorků opadu				
	V1 (SM 105)	V2 (BK,SM,JD 130)	V3 (SM 35)	V4 (BK 45)
Opad 2010	K,Ca,Mg,P,Na,S	K,Ca,Mg,P,Na,S	K,Ca,Mg,P,Na,S	K,Ca,Mg,P,Na,S
Opad 2011	K,Ca,Mg,P,S	K,Ca,Mg,P,S	K,Ca,Mg,P,S	K,Ca,Mg,P,S
Opad 2012	K,Ca,Mg,P,S	-	K,Ca,Mg,P,S	K,Ca,Mg,P,S
Opad 2013	stanovení sušiny	-	stanovení sušiny	stanovení sušiny

4.5.1 Stanovení a výpočet množství

Vysušené vzorky opadu byly zváženy v určité váze (tj. určitá hmotnost = celková hmotnost - tára). Stanoví se hmotnost jednotlivých frakcí. Hmotnost dále byla převedena z g, ve kterých byl odebrán z plochy 0,25 m² zvážen, na kg. Dále se hodnota převedla na 1 ha. Výpočítaná hodnota nám vyjadřuje množství opadu v kg.ha⁻¹.rok⁻¹.

4.5.2 Stanovení obsahu celkových živin

Celkové živiny byly (v roce 2010) stanoveny metodou SOP 60A (Ca, Mg), SOP 28B (K, Na), SOP 62A (P), SOP 94 (S) /JPP - ÚKZÚZ, Brno/. Chemické analýzy provedla akreditovaná zkušební laboratoř Laboratoř MORAVA s.r.o. V roce 2011 a 2012 byly celkové živiny stanoveny metodami: mineralizací směsí kyseliny sírové a

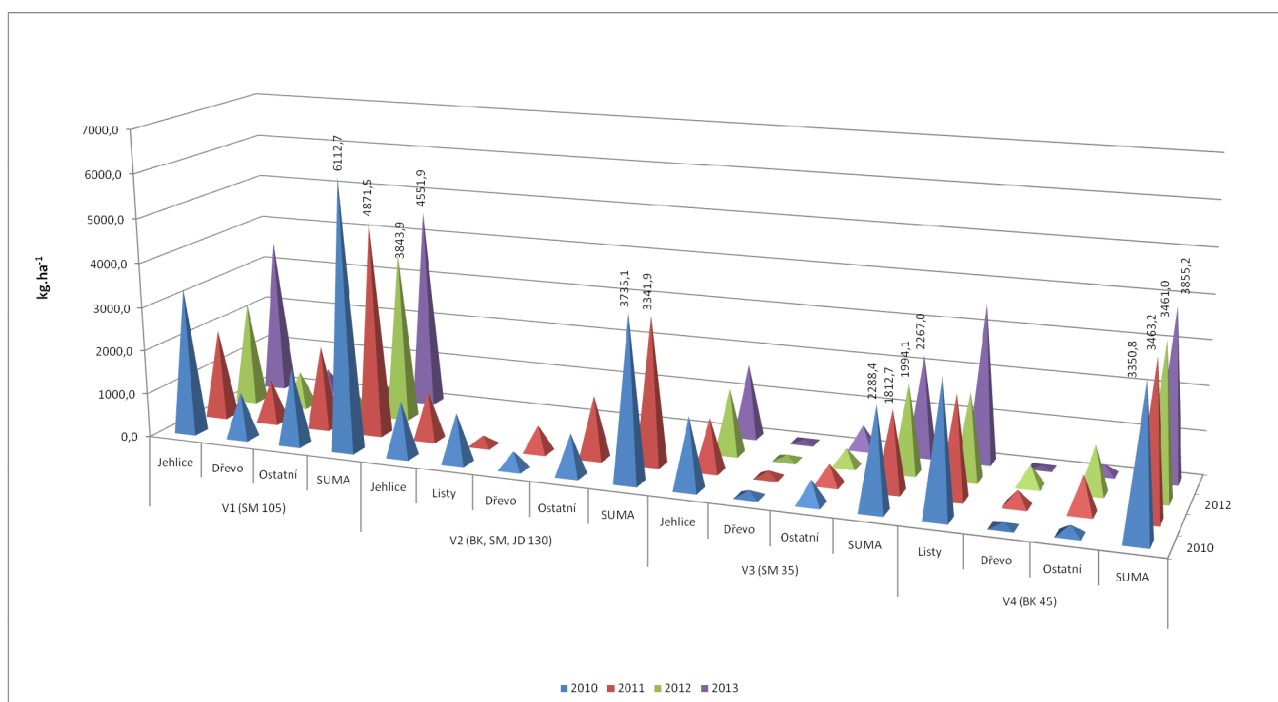
peroxidu vodíku, celkového dusíku (N) destilační metodou, stanovení fosforu (P) spektrofotometricky, vápníku (Ca) a hořčíku (Mg) metodou AAS, stanovení draslíku (K) atomovou emisní spektrofotometrií a stanovení síry (S) Balksovou metodou. Chemické analýzy provedla Laboratoř Opo no. Stanovení obsahu celkových flavin za rok 2013, bylo doplněno zprůměrně množstvím, které bylo analyzováno v roce 2011 a 2012.

4.6. Statistické zpracování dat

Naměřené hodnoty byly zpracovány početně a matematicko-statisticky vyhodnoceny a dány do tabulek a grafů. Statistické analýzy byly provedeny pomocí neparametrických testů a to dle F-testu a Kruskal-Wallisova testu.

5. VÝSLEDKY

5.1 Množství opadu podle frakcí



Obr. . 13 Množství jednotlivých frakcí opadu v porostech smrku (105,35) buku (45) a smí-eného porostu (BK, SM, JD 130) za období rok 2010, 2011, 2012 a 2013.

Množství opadu se vyhodnocovalo ve čtyřech typech lesních porostů odlišujících se v věku, strukturou a druhovou skladbou v průběhu roku 2010, 2011, 2012 a 2013.

Obrázek . 13 znázorňuje celkové množství opadu za roky 2010 až 2013. V roce 2010 se nejvíce jehlic nacházelo ve 105-letém porostu smrku (V1) a to $3337,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, také dřeva $1041,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a frakce ostatní $1734,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ve 130-letém smí-eném porostu buku, smrku a jedle (V2) jsou frakce jehlice $1241,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a frakce listů $1123,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ téměř vyrovnané. Pokud srovnáme starší porosty, zjistíme, že ve smrkovém porostu (V1) opadlo téměř dvojnásobné množství opadu $6112,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ oproti porostu smí-enému (V2) $3927,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Při srovnání 35-letého porostu smrku (V3) a 45-letého porostu buku (V4) zjistíme, že v bukovém porostu spadlo $4921,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, zatímco ve smrkovém porostu jen $2288,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ve smrkovém porostu (V3) tvoří největší část opadu frakce jehlice $1621,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Frakce dřeva a ostatní jsou jen malou součástí z celkového množství opadu tohoto porostu. Ve 45-letém porostu buku (V4) tvoří největší část opadu frakce listů a to $3977,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Stejně jako u (V3) byly další frakce

bukového porostu a to frakce d evo a ostatní v malém zastoupení oproti celkovému množství opadu tohoto porostu.

V roce 2011 tvořila nejvíce opadu ve (V1) frakce jehlice a to 2015,2 kg.ha⁻¹, dále pak frakce ostatní 1881,9 kg.ha⁻¹, nejmén bylo ve frakci d evo a to 974,4 kg.ha⁻¹. Ve smíšeném porostu (V2) bylo nejvíce opadu ve frakci ostatní 1412,3 kg.ha⁻¹, frakce jehlice obsahovala 1112,1 kg.ha⁻¹. Nejmén bylo ve frakci listí a to pouze 220,8 kg.ha⁻¹. V porostu (V1) se také nacházelo nejvyšší celkové množství opadu a to 4871,5 kg.ha⁻¹. Ve (V2) bylo celkové množství opadu 3341,9 kg.ha⁻¹.

Ve (V3) tvořila největší část opadu frakce jehlice a to 1190,8 kg.ha⁻¹, celkové množství opadu v tomto porostu bylo 1812,7 kg.ha⁻¹. Ve (V4) tvořila největší část opadu frakce listí a to 2282,1 kg.ha⁻¹, celkové množství opadu tohoto porostu bylo 3463,2 kg.ha⁻¹. Tak jako v roce 2010 spadlo v bukovém porostu (V4) téměř dvojnásobné množství opadu oproti mladému smrkovému porostu (V3).

Od roku 2012 se opad sledoval jen v porostech V1, V3 a V4. Porost V2 byl smýcen. Nejvíce opadu se nacházelo opět ve (V1) a to 3843,9 kg.ha⁻¹, kde frakce jehlice byla 2350,5 kg.ha⁻¹. Ve (V3) tvořila největší část opadu frakce jehlice a to 1473,4 kg.ha⁻¹. Celkově opadlo ve (V3) 1994,1 kg.ha⁻¹. Množství opadu ve V4 bylo z největší části tvořeno frakcí listy a to 1940,0 kg.ha⁻¹. Celkové množství bylo 3461,0 kg.ha⁻¹. V roce 2013 spadlo nejvíce opadu opět ve 105-letém porostu smrku (V1) a to 4551,9 kg.ha⁻¹. Největší zastoupení měla frakce jehlice 3528,5 kg.ha⁻¹, frakce d evo 504,5 kg.ha⁻¹ a ostatní 519,0 kg.ha⁻¹ byly vyrovnané a tvořily jen malou část celkového množství opadu. Ve 35-letém porostu smrku (V3) dosahovala frakce jehlice 1662,5 kg.ha⁻¹ z celkového množství 2267,0 kg.ha⁻¹. Ve 45-letém porostu buku (V4) měla nejvyšší zastoupení frakce listy 3551,4 kg.ha⁻¹ z celkového množství 3855,2 kg.ha⁻¹.

Při srovnání jednotlivých let, kdy se opad sledoval lze konstatovat, že nejvíce opadu spadlo v roce 2010 ve 105-letém porostu smrku (V1) a to 6112,7 kg.ha⁻¹ dále pak v roce 2011 4871,5 kg.ha⁻¹. Nejmén opadu v tomto porostu spadlo v roce 2012 a to 3843,9 kg.ha⁻¹. Z největší části tvořily opad frakce jehlice, kterých bylo nejmén v opadu z roku 2011 a to 2015,2 kg.ha⁻¹. Ve 130-letém smíšeném porostu buku, smrku a jedle (V2) opadlo během let 2010 a 2011 podobně stejné celkové množství opadu a to v roce 2010 2735,1 kg.ha⁻¹, v roce 2011 3341,9 kg.ha⁻¹. Frakce jehlice byly prakticky vyrovnané, ovšem frakce listy obsahovala v roce 2010 1123,2 kg.ha⁻¹ a v roce 2011 pouze 220,8 kg.ha⁻¹. V mladém smrkovém porostu (V3) spadlo během let 2010 a 2013 téměř vyrovnané množství opadu, stejně tak největší podíl na celkovém množství opadu

ve všech letech frakce jehlice. V bukovém porostu (V4) opadlo nejvíce listů v roce 2013 a to 3551,4 kg.ha⁻¹ a v roce 2010 a to 3041,4 kg.ha⁻¹. Nejméně listů opadlo v roce 2012 a to 1940,0 kg.ha⁻¹. Celkově se opad tohoto porostu pohyboval kolem 3,5 t/ha za rok.

Statisticky významné rozdíly v množství celkového opadu byly zjištěny mezi porosty buku (V4) a smrku (V3) v roce 2010, 2011, 2012 i 2013. Mezi staršími porosty a to 105-letým porostem smrku (V1) a 130-letým smíšeným porostem buku, smrku a jedle byly v roce 2010 a 2011 také zjištěny statisticky významné rozdíly v množství celkového opadu.

Statisticky významný rozdíl zjištěn v množství celkového opadu v roce 2010 dle F-testu ($p=0,0123$) i Kruskal-Wallisova testu ($p=0,0163$) mezi 35-letým porostem smrku (V3) a 45-letým porostem buku (V4).

Statisticky významný rozdíl zjištěn v množství celkového opadu v roce 2011 dle F-testu ($p=0,0003$) i Kruskal-Wallisova testu ($p=0,0090$) mezi 35-letým porostem smrku (V3) a 45-letým porostem buku (V4).

Statisticky významný rozdíl zjištěn v množství celkového opadu v roce 2012 dle F-testu ($p=0,0103$) i Kruskal-Wallisova testu ($p=0,0472$) mezi 35-letým porostem smrku (V3) a 45-letým porostem buku (V4).

Statisticky významný rozdíl zjištěn v množství celkového opadu v roce 2013 dle F-testu ($p=0,0039$) i Kruskal-Wallisova testu ($p=0,0090$) mezi 35-letým porostem smrku (V3) a 45-letým porostem buku (V4).

Statisticky významný rozdíl zjištěn v množství celkového opadu v roce 2010 dle F-testu ($p=0,0039$) i Kruskal-Wallisova testu ($p=0,0090$) mezi 105-letým porostem smrku (V1) a 130-letým smíšeným porostem buku, smrku a jedle (V2).

Statisticky významný rozdíl zjištěn v množství celkového opadu v roce 2011 dle F-testu ($p=0,0113$) i Kruskal-Wallisova testu ($p=0,0283$) mezi 105-letým porostem smrku (V1) a 130-letým smíšeným porostem buku, smrku a jedle (V2).

5.2 Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu

Koncentrace prvků ve frakcích opadu za rok 2010

Tab. . 9 Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2010 (Jaro-ová 2012).

Porost	Období	Na (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
	Frakce						
V1 (SM 105)	Jehlice	-	-	-	-	-	-
	D evo	0,01	0,07	0,17	0,43	0,06	0,11
	Ostatní	0,02	0,16	0,28	0,4	0,11	0,13
V2 (BK, SM, JD 130)	Jehlice	-	-	-	-	-	-
	Listy	-	-	-	-	-	-
	D evo	0,02	0,06	0,18	0,57	0,06	0,06
	Ostatní	0,02	0,1	0,14	0,48	0,07	0,08
V3 (SM 35)	Jehlice	-	-	-	-	-	-
	D evo	0,01	0,03	0,08	0,35	0,06	0,07
	Ostatní	0,02	0,12	0,16	0,36	0,07	0,10
V4 (BK 45)	Listy	-	-	-	-	-	-
	D evo	0,01	0,03	0,09	0,59	0,06	0,06
	Ostatní	0,01	0,14	0,20	0,65	0,08	0,11

Tabulka . 9 znázorňuje koncentrace prvků ve frakcích opadu za období roku 2010. V tomto roce byly koncentrace prvků K, Ca, Mg, P, Na a S zjištěny pouze ve frakcích d evo a ostatní. Nejvyšší zastoupení má vápník (Ca), který se pohybuje od 0,35 do 0,65 %. Dále pak draslík (K), který je v rozmezí 0,08 až 0,28 %.

Koncentrace prvků ve frakcích opadu za rok 2011

Tab. . 10 Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2011

Porost	Období	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
	Frakce						
V1 (SM 105)	Jehlice	0,96	0,07	0,23	1,23	0,06	0,16
	D evo	0,79	0,05	0,21	0,42	0,05	0,12
	Ostatní	1,40	0,11	0,24	0,17	0,05	0,15
V2 (BK, SM, JD 130)	Jehlice	0,85	0,07	0,22	1,32	0,07	0,13
	Listy	1,15	0,12	0,41	1,26	0,14	0,11
	D evo	0,80	0,05	0,15	0,51	0,06	0,12
	Ostatní	1,01	0,08	0,26	0,51	0,08	0,10

V3 (SM 35)	Jehlice	0,67	0,06	0,19	1,18	0,06	0,11
	D evo	0,73	0,04	0,08	0,40	0,03	0,11
	Ostatní	1,26	0,12	0,22	0,19	0,05	0,11
V4 (BK 45)	Listy	1,14	0,17	0,63	0,92	0,06	0,11
	D evo	0,51	0,02	0,11	0,65	0,03	0,11
	Ostatní	0,81	0,05	0,22	0,51	0,07	0,15

Tabulka . 10 znázorňuje koncentrace prvků ve frakcích opadu za rok 2011. V tomto roce byly zjišťovány koncentrace prvků N, P, K, Ca, Mg a S. Byly zjišťovány ve všech frakcích a to ve frakci jehlice, listy, d evo a ostatní. Nejvíce byl ve frakcích obsažen dusík (N), který se pohyboval od 0,51 do 1,40 %. Dále pak vápník (Ca) a to od 0,19 až 1,40 %. Koncentrace draslíku (K) byla také nejvyšší v tomto roce, pohybovala se od 0,08 do 0,63 %. Nejméně koncentrovaný byl hořčík (Mg), který se pohyboval v rozmezí 0,03 do 0,14 %.

Koncentrace prvků ve frakcích opadu za rok 2012

Tab. . 11 Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2012

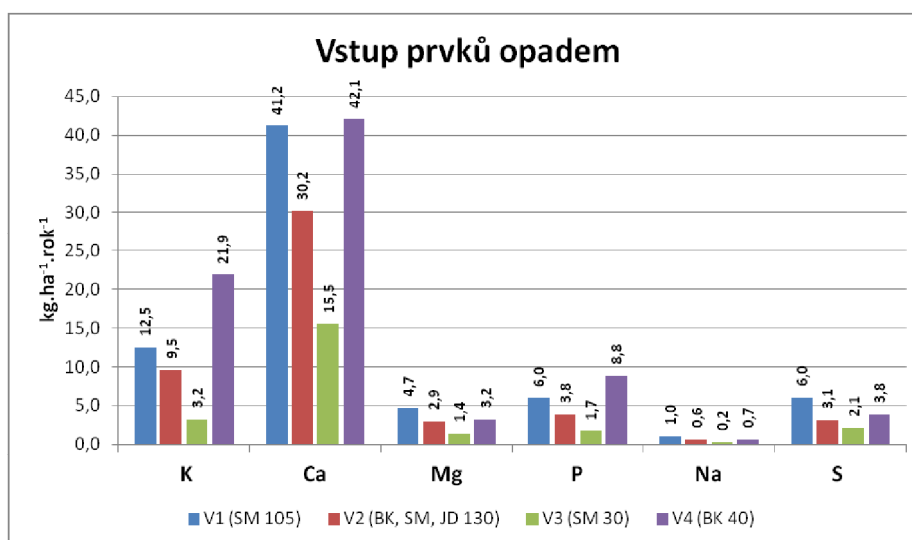
Porost	Období	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
	Frakce						
V1 (SM 105)	Jehlice	1,08	0,08	0,23	1,08	0,06	0,11
	D evo	0,79	0,05	0,21	0,42	0,05	0,12
	Ostatní	1,44	0,10	0,19	0,20	0,05	0,12
V2 (BK, SM, JD 130)	Jehlice	-	-	-	-	-	-
	Listy	-	-	-	-	-	-
	D evo	-	-	-	-	-	-
	Ostatní	-	-	-	-	-	-
V3 (SM 35)	Jehlice	0,83	0,07	0,19	1,12	0,07	0,09
	D evo	0,87	0,06	0,14	0,40	0,05	0,04
	Ostatní	1,28	0,09	0,21	0,15	0,05	0,06
V4 (BK 45)	Listy	2,06	0,14	0,37	0,71	0,07	0,13
	D evo	0,79	0,05	0,13	0,60	0,04	0,09
	Ostatní	1,32	0,10	0,14	0,45	0,06	0,10

Koncentrace prvků ve frakcích opadu za rok 2013

Tab. 12 Koncentrace jednotlivých prvků ve frakcích opadu za rok 2013

Porost	Období	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	S (%)
	Frakce						
V1 (SM 105)	Jehlice	1,04	0,08	0,23	1,13	0,06	0,13
	Devo	0,79	0,05	0,21	0,42	0,05	0,12
	Ostatní	1,42	0,10	0,21	0,19	0,05	0,13
V2 (BK, SM, JD 130)	Jehlice	-	-	-	-	-	-
	Listy	-	-	-	-	-	-
	Devo	-	-	-	-	-	-
	Ostatní	-	-	-	-	-	-
V3 (SM 35)	Jehlice	0,78	0,07	0,19	1,14	0,07	0,09
	Devo	0,82	0,05	0,12	0,40	0,04	0,07
	Ostatní	1,27	0,10	0,21	0,16	0,05	0,08
V4 (BK 45)	Listy	1,75	0,15	0,46	0,78	0,07	0,12
	Devo	0,70	0,04	0,12	0,62	0,04	0,09
	Ostatní	1,15	0,08	0,16	0,47	0,06	0,12

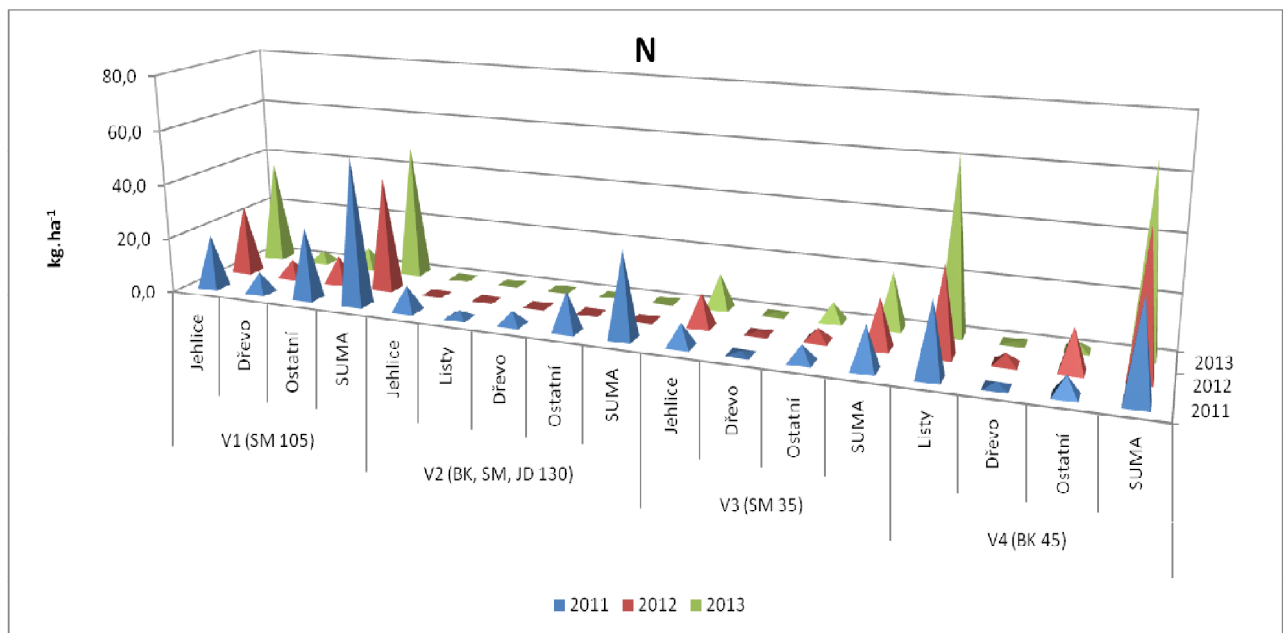
5.3 Vstup prvků opadem



Obr. 14 Celkový vstup draslíku, vápníku, hořčíku, fosforu, sodíku a síry opadem v roce 2010 v jednotlivých variantách porostů (Jarošová 2012).

Obrázek 14 znázorňuje celkový vstup prvků opadem v roce 2010. Z obrázku je patrné, že nejvíce prvků je obsaženo ve 45-letém porostu buku (V4). Nejvyšší hodnoty dosahuje vápník (Ca) a to 42,1 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, dále potom draslík (K) 21,9 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ a

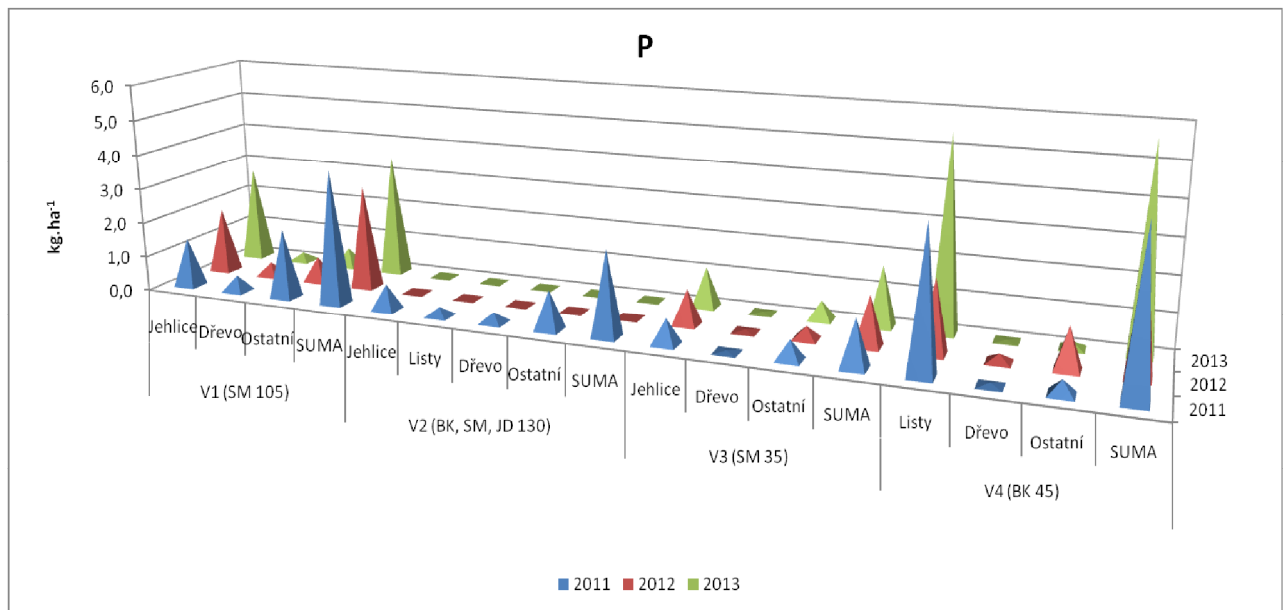
také fosfor (P) $8,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. 105-letý porost smrku (V1) obsahuje také značné množství zejména vápníku (Ca) a to $41,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, dále pak draslíku (K) $12,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$, což je oproti (V4) poloviční množství, ovšem 35-letý porost smrku (V3) obsahuje sedminásobně nižší množství draslíku (K) oproti V4. 105-letý porost smrku (V1) obsahuje také nejvíce síry (S) a to $6,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. V ostatních porostech se síra pohybuje od 2,1 do $3,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$. Hořčík (Mg) se pohybuje v rozmezí 1,4 až $4,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$ a nejvíce je ho obsaženo ve 105-letém porostu smrku (V1). U všech porostech je nejméně obsažen sodík (Na), jeho množství se pohybuje od 0,2 do $1,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$.



Obr. 15 Celkový vstup dusíku opadem v jednotlivých variantách porostů za roky 2011, 2012 a 2013.

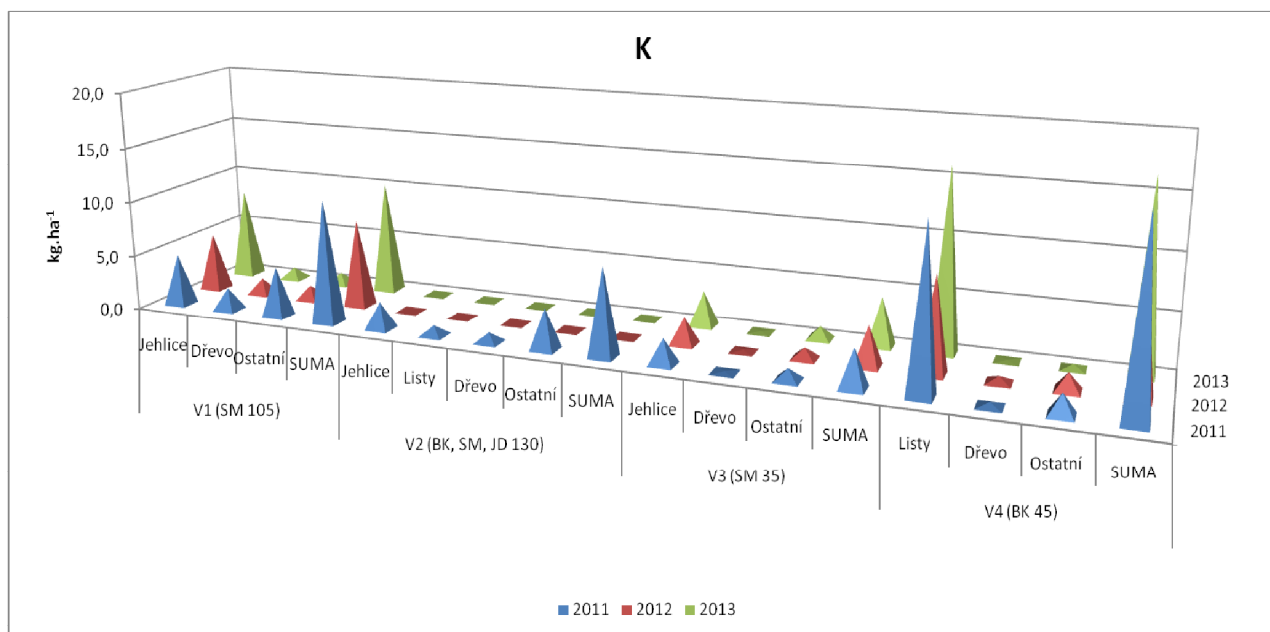
Obrázek 15 znázorňuje celkový vstup dusíku (N) opadem v jednotlivých variantách porostů za roky 2011, 2012 a 2013. V roce 2011 vstupovalo nejvíce dusíku ve 105-letém porostu smrku (V1). Kromě frakce jehlice $19,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ tvořila velkou část tohoto opadu také frakce ostatní $26,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, celkem $53,4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Frakce ostatní tvořila velkou část opadu také ve 130-letém smíšeném porostu buku, smrku a jedle (V2) a to $14,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, frakce jehlice obsahovala $9,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a frakce listy pouze $2,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. V mladém smrkovém porostu (V3) vstupovalo nejvíce dusíku skrz frakci jehlice a to $8,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ve 45-letém porostu buku (V4) vstupovalo nejvíce dusíku skrz frakci listy a to $31,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ z celkového množství $83,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. V roce 2012 vstupovalo nejvíce množství dusíku ve 45-letém porostu buku (V4) a to $49,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, z největší části frakce listy $31,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ve 105-letém porostu smrku bylo celkové množství dusíku $41,4$

kg.ha⁻¹, z tohoto množství tvořila nejvyšší část frakce jehlice a to 25,1 kg.ha⁻¹. Vstup dusíku (N) byl u V3 17,3 kg.ha⁻¹, nejvíce dusíku vstupovalo skrz frakci jehlice a to 11,9 kg.ha⁻¹. V roce 2013 vstupovalo nejvíce dusíku ve 45-letém porostu buku (V4) a to 65,4 kg.ha⁻¹ z toho vstoupilo skrz frakce listy 62,2 kg.ha⁻¹. Dále pak ve 105-letém porostu smrku (V1), kde nejvíce dusíku vstoupilo skrz frakce jehlice a to 36,7 kg.ha⁻¹ z celkového množství 48,1 kg.ha⁻¹.



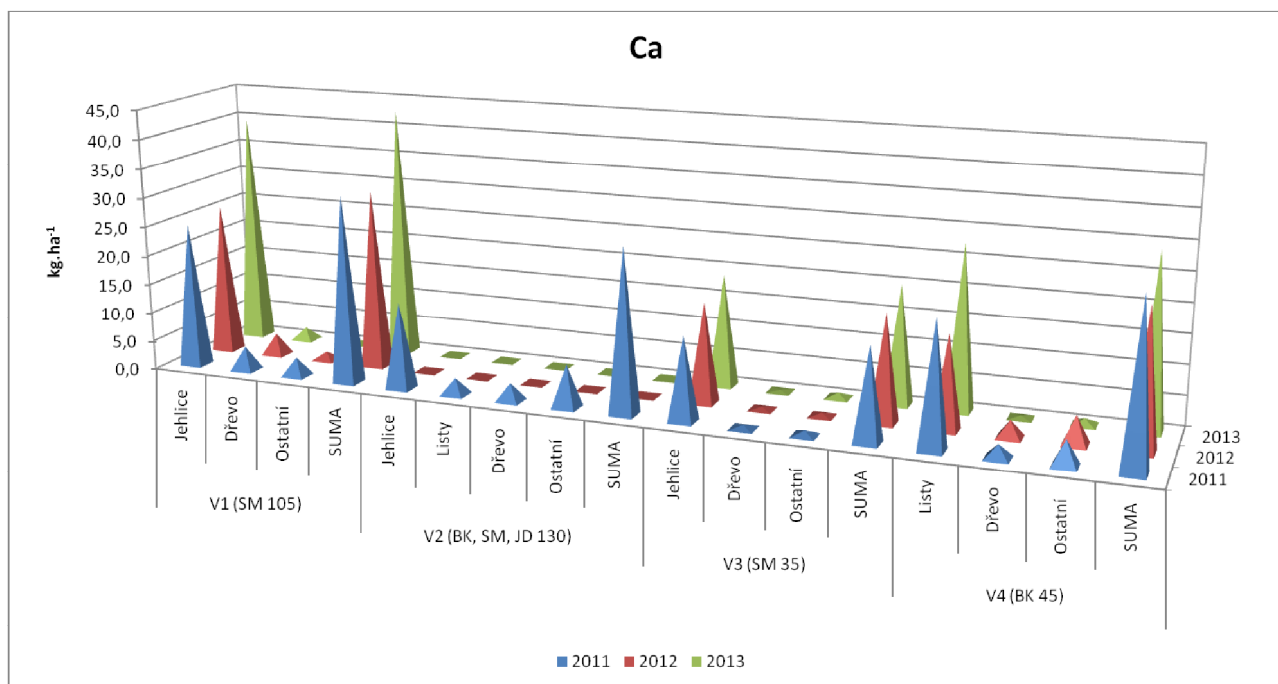
Obr. 16 Celkový vstup fosforu opadem v jednotlivých variantách porostů za roky 2011, 2012 a 2013.

Obrázek 16 znázorňuje celkový vstup fosforu (P) opadem v jednotlivých variantách porostů v průběhu let 2011, 2012 a 2013. Na obrázku je viditelné, že ve 105-letém porostu smrku (V1) se množství vstupujícího fosforu ve frakci jehlice od roku 2011 každým rokem zvyšuje. V roce 2011 bylo ve frakci jehlice obsaženo 1,4 kg.ha⁻¹, v roce 2012 1,9 kg.ha⁻¹ a v roce 2013 2,7 kg.ha⁻¹. Celkové množství se však oproti roku 2010, kdy to bylo 6,0 kg.ha⁻¹ snížilo téměř o polovinu, například v roce 2013 je to 3,5 kg.ha⁻¹. Stejně tak ve 35-letém porostu smrku (V3) došlo k postupnému zvyšování vstupujícího fosforu (P) do frakce jehlice a to z 0,7 kg.ha⁻¹ (2011) až na 1,1 kg.ha⁻¹ (2013). Celkový vstup fosforu (P) je za všechny tři roky poměrně vyrovnaný. Ve 45-letém porostu buku (V4) vstupovalo nejvíce fosforu (P) skrz frakci listy a to ve všech letech, kdy nejnižší byla v roce 2012 a to 2,1 kg.ha⁻¹ a nejvyšší v roce 2013 a to 5,5 kg.ha⁻¹.



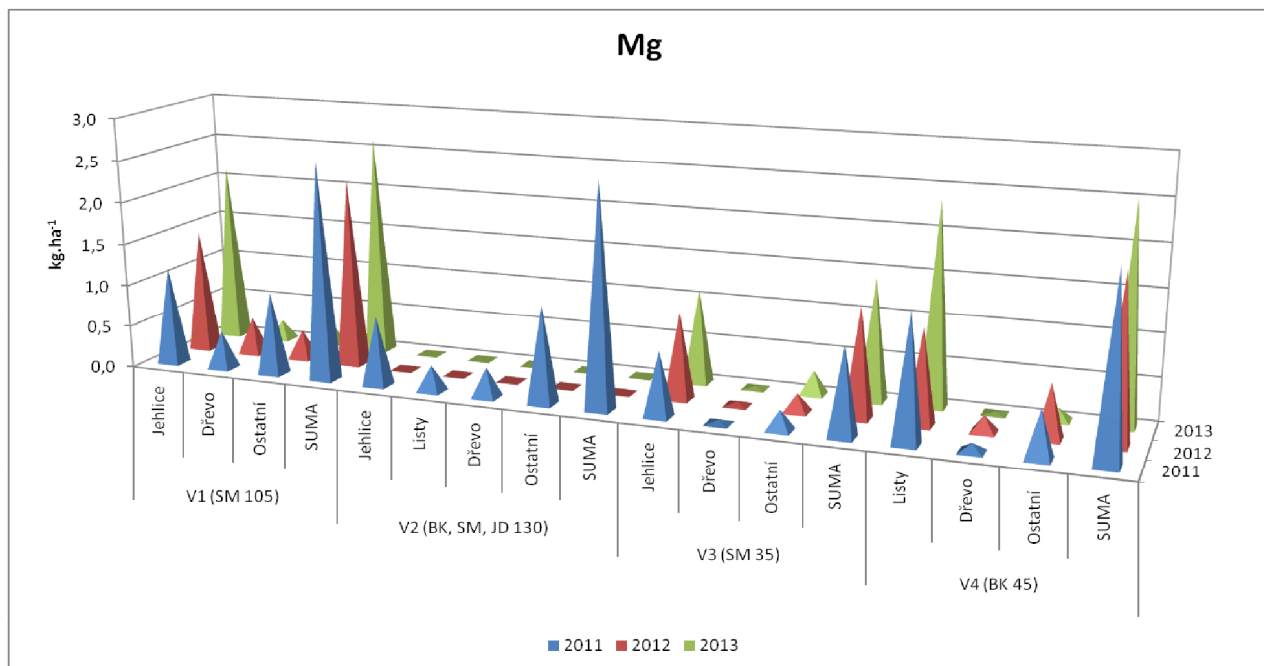
Obr. . 17 Celkový vstup draslíku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013.

Obrázek . 17 znázorňuje celkový vstup draslíku (K) opadem v jednotlivých variantách porost v průběhu let 2011, 2012 a 2013. Ve 105-letém smrkovém porostu (V1) bylo nejvíce draslíku obsaženo ve frakci jehlice a to ve všech těchto letech. Nejvyšší vstup draslíku byl zaznamenán v roce 2013 a to $8,1 \text{ kg.ha}^{-1}$ a nejnižší v roce 2011 a to $4,6 \text{ kg.ha}^{-1}$. Celkové množství se pohybovalo v rozmezí 8,0 až $11,2 \text{ kg.ha}^{-1}$. Nejvyšší celkový vstup draslíku byl zjištěn v roce 2010 a to $12,5 \text{ kg.ha}^{-1}$. Stejný průběh hodnot byl pozorován také ve 35-letém smrkovém porostu (V3). Nejvyšší vstup draslíku (K) byl zjištěn ve frakci jehlice, kde se pohyboval od 2,3 do $3,2 \text{ kg.ha}^{-1}$. Celkové množství vstoupeného draslíku byl rok od roku vyšší a pohyboval se mezi 3,4- $4,4 \text{ kg.ha}^{-1}$. Nejmenší hodnota celkového vstoupeného draslíku (K) byla zaznamenána v roce 2010 a to $3,2 \text{ kg.ha}^{-1}$. V porostu buku (V4) vstoupilo nejvíce draslíku skrz frakci listy a to nejvíce v roce 2013, kde tvořila $16,2 \text{ kg.ha}^{-1}$ z celkových $16,7 \text{ kg.ha}^{-1}$. Nejméně draslíku vstoupovalo do tohoto porostu (V4) v roce 2012 a to $10,7 \text{ kg.ha}^{-1}$, kde největší část tvořila frakce listy a to $8,5 \text{ kg.ha}^{-1}$. Nejvíce obsaženého draslíku bylo zjištěno v roce 2010 $21,9 \text{ kg.ha}^{-1}$.



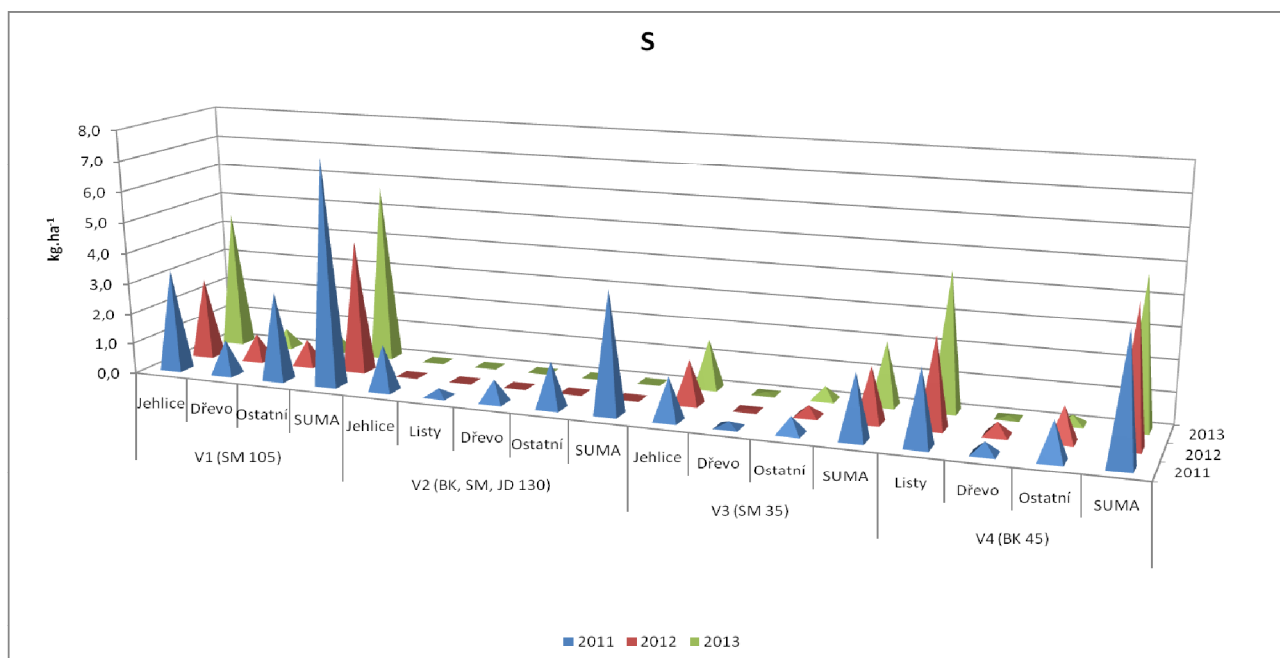
Obr. . 18 Celkový vstup vápníku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013.

Obrázek . 18 znázorňuje celkový vstup vápníku (Ca) opadem v jednotlivých variantách porost v průběhu let 2011, 2012 a 2013. Nejvyšší vstup vápníku (Ca) byl zaznamenán ve frakcích jehlice a listy a to ve všech sledovaných porostech. Nejvyšší množství vstupujícího vápníku (Ca) bylo zjištěno ve 105-leté smrkové monokultuře v roce 2013 a to $42,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, kde frakce jehlice zaujímala $39,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. V roce 2012 bylo zjištěno nejnižší celkové množství a to $30,8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Ve 130-letém smíšeném porostu buku, smrku a jedle (V2) bylo množství vstupujícího vápníku v roce 2010 a to $30,2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ srovnatelné s rokem 2011 $27,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Z obrázku je jasně viditelné postupné zvyšování celkového množství vstupujícího vápníku ve 35-letém porostu smrku (V3) a to z $15,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ v roce 2010 na $20,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ v roce 2013. Nejvyšší vstup vápníku byl opět zaznamenán ve frakci jehlice. Ve 45-letém porostu buku (V4) se celkový vstup vápníku pohyboval v roce 2011 a 2013 kolem $30,0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Nejnižší vstup vápníku byl zjištěn v roce 2012 a to pouhých $23,3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, což je oproti roku 2010 téměř poloviční množství $42,1 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.



Obr. . 19 Celkový vstup ho íku opadem v jednotlivých variantách porost za roky 2011, 2012 a 2013.

Obrázek . 19 znázorňuje celkový vstup ho íku (Mg) opadem v jednotlivých variantách porost v průběhu let 2011, 2012 a 2013. Ve 105-leté smrkové monokultuře se celkový obsah vstupujícího ho íku (Mg) pohyboval od 2,2 do 2,6 kg·ha⁻¹. Oproti roku 2010, kdy byl celkový vstup ho íku 4,7 kg·ha⁻¹ je to však téměř poloviční množství. Nejvyšší vstup byl zaznamenán ve frakci jehlice a to ve všech těchto letech. Ve 130-letém smíšeném porostu buku, smrku a jedle (V2) byl celkový obsah vstupujícího ho íku v roce 2011 2,6 kg·ha⁻¹, v roce 2010 2,9 kg·ha⁻¹. Ve 35-letém porostu smrku (V3) se celkový obsah vstupujícího ho íku pohyboval od 1,1-2,4 kg·ha⁻¹, kdy nejnižší vstup byl zjištěn v roce 2012. Nejvyšší vstup ho íku (Mg) byl zaznamenán v roce 2013. Nejvíce ho íku vstupovalo skrz frakci jehlice. V bukovém porostu (V4) vstupovalo nejvíce ho íku přes frakci listy a to jak v roce 2011, tak v roce 2012 a 2013. Pohyboval se v rozmezí 1,1-2,4 kg·ha⁻¹. Celkový vstup ho íku se pohyboval od 1,9 do 2,5 kg·ha⁻¹. Nejvyšší vstup byl ovšem zaznamenán v roce 2010 a to 3,2 kg·ha⁻¹ (obr. 14).



Obr. . 20 Celkový vstup síry opadem v jednotlivých variantách porostů za roky 2011, 2012 a 2013.

Obrázek . 20 znázorňuje celkový vstup síry (S) opadem v jednotlivých variantách porostů v průběhu let 2011, 2012 a 2013. Celkový vstup síry (S) byl nejvyšší ve 105-letém porostu smrku (V1) v roce 2011 a to 7,3 kg.ha⁻¹. Nejnižší byl v tomto porostu v roce 2012 a to 4,3 kg.ha⁻¹. V roce 2010 a 2013 se vstup síry pohyboval kolem 6,0 kg.ha⁻¹. Nejvyšší vstup byl zaznamenán skrz frakci jehlice, ale v roce 2011 vstupovalo velké množství síry také skrz frakci ostatní a to 2,9 kg.ha⁻¹. Ve 130-letém porostu buku, smrku a jedle (V2) byl celkový obsah vstupující síry v roce 2011 3,9 kg.ha⁻¹. V roce 2010 to bylo 3,1 kg.ha⁻¹. Ve 35-letém porostu smrku (V3) se celkové množství vstupující síry (S) pohybovalo téměř na stejné úrovni a to v roce 2010 2,1 kg.ha⁻¹, v roce 2011 2,1 kg.ha⁻¹, v roce 2012 1,7 kg.ha⁻¹ a v roce 2013 2,0 kg.ha⁻¹. Nejvíce síry vstupovalo ve 45-letém porostu buku (V4) v roce 2013 a to 4,8 kg.ha⁻¹, nejvíce část skrz frakci listy. V roce 2010 byl vstup síry nejnižší, pouze 3,8 kg.ha⁻¹, v roce 2011 4,0 kg.ha⁻¹ a v roce 2012 4,4 kg.ha⁻¹.

6. DISKUSE

Opad tvoří nejvýznamnější přírodní přísun organického materiálu a flivin do lesního ekosystému (respektive do jeho podzemní složky), ve většině evropských lesích dominuje opad ze stromů. Chemické složení tohoto materiálu, teplota a vlhkost horních vrstev podlahy jsou považovány za hlavní faktory kontrolující vazby v opadu a uvolňování flivin. To je také určující pro zjištění uvolněných flivin a hromadění humusu jak uvádí BERG et al. (2004).

Hodnocení významu flivin vstupujících do podzemního prostředí s opadem spoívá zejména v posouzení, jak tento přírodní proces doplňuje fliviny odebírané z podlahy lesním porostem, který je čím dál tím více exploatován lesním hospodářstvím. Proto údaje o opadu a jeho charakteristika jsou výchozím údajem pro rozpracování objemu a rychlosti kolobahu flivin mezi lesním porostem, povrchovým humusem, podzemním prostředím a případně ostatními ekosystémy v krajině (KLIMO 1982).

Rozklad humusu je ovlivňován těmi hlavními faktory: klimatem, kvalitou opadu a početností a povahou dekompozitorů. Kvalita opadu závisí především na kvalitě dřevní hmoty a na stadiu rozkladu díky jejímu vlivu na tvorbu humusu (MÉNDEL 2010).

Na obsahu humusu v podlaze, ale i na množství a kvalitě nadlovního humusu (humusové formy), je závislý vývoj, výživnost a zdravotní stav lesních porostů. Zároveň je opad a rozklad biomasy hlavní cestou, jak se uhlík, dusík a další fliviny dostávají zpět do podlahy a do kolobahu flivin (MANNING, KÁMEL 1948; TÁLY 1978; GREEN et al. 1993; BUBLINEC 1994; PODRÁZSKÝ 2001; KLIMO et al. 2010).

Dřeviny se značně liší ve svých úincích na vývoj podlahy a příjem flivin (RHOADES 1997; BINKLEY and GIARDINA 1998; ROTHE and BINKLEY 2001). Produkce opadu mezi lesními ekosystémy se velmi liší, tyto odchylky jsou způsobeny rozdíly mezi druhy dřevin a kvalitou a kvantitou jejich opadu. Extrémní variabilita opadu je podle GOSZE (1972) rovněž výsledkem rozdílů vertikální struktury vegetace, nadmořské výšky a ročního období.

Úinky různých druhů stromů mohou vycházet z různých druhů podlahy na kvalitu a kvantitu opadu, nebo z rozložení opadu na území. Například borovice je schopna růst na mimořádně nepříznivých a chudých stanovištích, na které listná dřevina naopak vyžaduje podlahu s velmi vysokým obsahem jednotlivých bioelementů. Vysoké nároky mají i jehličnaté stromy s rychlým růstem, například douglaska (BERG et al. 1999; UKONMAANAHO 2008; BERG a MEENTEMEYER 2001).

V Dánsku byl opad zkoumán na těchto porostech a to porostu smrku ztepilého (*Picea abies*), smrku sitky (*Picea sitchensis*) a buku lesního (*Fagus sylvatica*) na flivinami chudých půdách v pr b hu 6 let. Bylo zjištěno, že roční opad v buku byl v pr b hu 6 let konstantní, zatímco smrk ztepilý a smrk sitka vykazoval velké výkyvy mezi roky způsobené suchem, napadením hmyzem, pravděpodobně z mořské soli a stresem (PEDERSEN, BILLE-HANSEN 1999). Porosty sledované na Dražanské vrchovině vykazovaly v pr b hu 4 let také konstantní roční opad, který se v mladém smrkovém porostu (V3) pohyboval v hodnotách zhruba 2,0 tun, v porostu buku (V4) kolem 3,5 tuny na hektar.

Na výzkumných plochách na jihu Německa, na území Steinkreuz v pohorí Steigerwald v nadmořské výšce 400-460 m n. m. v severozápadním Bavorsku byly sledovány porosty buku a dubu v období od roku 1996 do roku 2001. Opad buku se pohyboval v rozmezí od 2,871-3,528 kg.ha⁻¹, opad dubu 683 až 786 kg.ha⁻¹ (BERG, GERTSBERGER 2004). Opad v porostu buku na Dražanské vrchovině, která je v nadmořské výšce 350-550 m n. m. se pohyboval od 3350,8 do 3855,2 kg.ha⁻¹. Podle TARMANA (1990) zásoba povrchového humusu ve smrkových ekosystémech u nás výrazně převyšuje hmotnost ročního opadu (v příznivých podmínkách 365 krát, v průměrných podmínkách 10 krát, v nepříznivých podmínkách 20 až 30 krát). Také uvádí, že množství opadu a akumulované organické hmoty v povrchovém humusu závisí na věku porostu, úrodnosti půdy, hospodářském zásahu, vodním režimu.

Intenzivní lesní hospodářství se obvykle zaměřuje na monokultury, zatímco pirozené lesy jsou směsí několika desítek druhů dřevin (FRIVOLD and KOLSTRÖM 1999; ROTHE and BINKLEY 2001). Toky elementů do a z ekosystému hraje důležitou roli v cyklech flivin a jejich dynamice v pr b hu roku. Opad je jedním z hlavních toků pro návrat flivin do půdy (TRUPAROVÁ 2011). Asi 98 % z objemu půdních flivin je obsaženo v opadu, humusu a třídě rozpustných anorganických sloučeninách i minerálech. Tak je tvořena flivinná zásoba, která se rozpouští velice pomalu. Zbývající 2 % flivin jsou v půdních koloidech (FABIÁNEK 2008). KLIMO (1982, 1981) uvádí v 75-ti letém porostu smrku (nyní 105-letý smrkový porost) se v letech 1977-1980 vyskytovalo 15,9 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ draslíku, nyní 11,48 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ draslíku, dále 4,4 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ fosforu, nyní 5,3 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, 0,85 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ sodíku nyní 0,3 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, 5,3 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ síry, nyní 6,1 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ síry. Množství vápníku se oproti letům 1977-1980 zvýšilo téměř trojnásobně a to ze 14,5 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ na 41 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Také obsah hořčíku byl dvojnásobně o polovinu nižší a to 2,5 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ oproti dnešku 4,35 kg.ha⁻¹.rok⁻¹.

Při srovnání 105-letého porostu dále (V1) a porostem smíšeným (V2) zjistíme, že smrkový porost obsahuje ať na obsah sodíku, (V1 - 0,85 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, V2 - 0,62 kg.ha⁻¹.rok⁻¹) téměř dvojnásobnou koncentraci prvků.

Pokud srovnáme mladý smrkový porost dále (V3) s porostem bukovým dále (V4) vidíme zejména významný rozdíl v akumulaci vápníku (V4), což je způsobeno dobou opadu listů (jehlen), které obsahují oproti jehlicím, které mají 14,8 kg.ha⁻¹.rok⁻¹ Ca více než dvojnásobné množství Ca a to 33,89 kg.ha⁻¹.rok⁻¹.

Další výzkumy byly prováděny v různých částech Evropy například v Německu (BERG et al. 2001), v Dánsku (PEDERSEN, BILLE-HANSEN 1999) a Švédsku (BERGKVIST 1987), ale také v Americe například v New Hampshire (GOSZ et al. 1972) nebo v Kanadě (GORDON et al. 2000). V tvrdých listnatých lesích v New Hampshire (GOSZ et al. 1972) byl opad zkoumán v průběhu roku 1972. Materiál byl rozdělován na jednotlivé frakce, byla zjištěna hmotnost sušiny a analyzováno 11 prvků a to N, Ca, K, Mn, Mg, S, P, Zn, Fe, Na a Cu. Celková hmotnost opadu byla stanovena na 5072 kg.ha⁻¹.rok⁻¹, obsah fluvin v opadu činil 140 kg.ha⁻¹.rok⁻¹. Dusík, vápník a draslík představovaly 80,6 % z celkového množství, zinek, železo, sodík a mangan pouze 0,8 %. Ve zkoumaných porostech v Dánsku byla také stanovena hmotnost sušiny a analyzovány jednotlivé prvky a to N, P, K, S, Mg, Ca, Na, Al, Fe, byly zjištěny také koncentrace a toky ve frakcích opadu. Podobné koncentrace prvků ve frakcích opadu byly zjištěny i v porostech na Dražanské vrchovině. Opad listů činil 90 % z celkového opadu (PEDERSEN 1999). ROTHE A BINKLEY (2001) zjistili, že smíšené porosty douglasky a olše červené obsahují v opadu 3-8 krát více dusíku než porost douglasky a obsah P, Ca, Mg a K je výrazně vyšší než v jehličnatých monokulturách. Podobné hodnoty byly zjištěny ve smíšených porostech Eucalyptus-Albizia na Havaji, kde cyklus N a P v opadu byl 3 krát vyšší než v eukalyptových monokulturách. Měření opadu v porostech buku a smrku (BÜCKING 1987; ROTHE 1997, 2001) odhalilo významně vyšší obsah základních kationtů (K, Ca a Mg) u buku, zatímco pro N a P byly rozdíly mezi porosty malé. Ve smíšených porostech buku a smrku se koloběh fluvin v opadu lineárně zvyšovaly srostoucím podílem buku.

V případě půrodních a půroznožených lesních ekosystémů je jejich vliv zpravidla dostatečně zajištěn díky odpovídající intenzitě biogeochemických cyklů s minimalizací ztrát fluvin. Mimo to významnou roli při tom hraje vrstva nadloňního humusu (humusových forem), akumulujícího fluviny v podobě, ve které obtížně dochází ke ztrátám například erozí a vyplavením, při tom však ve stavu značně postupném pro

rostliny. Další výrazná adaptace je schopnost redistribuovat živiny v rámci orgánů a pletiv téže rostliny (biochemické cykly).

Nároky jednotlivých dřevin na stav půdy (výživu) se velice různí.

Tab. 13 Hodnoty absorpce N a K v $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ za rok na sever od Moskvy pro *Piceetum* podle REMEZOVA

	N	K
24 roky	16	6
39 let	61	48
60 let	38	19
72 let	32	14
93 let	28	8

Cykly minerálních živin se mohou v jednom nálezu; projdou rychle maximem intenzity ve věku stromů (kolem 38 let) a pak postupně klesají (DUVIGNEAUD 1988).

Hlavní živiny byly studovány v různých státech starých smrkových porostech Evropy. Jak uvádí DUVIGNEAUD (1980) Ca a Mg jsou absorbovány podle toho, jaká je jejich kvantita v půdě (luxusní výživa): pro Ca kolísají průměrné hodnoty od 40 do 100 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ za rok, pro Mg od 4 do 12 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ za rok, pro K od 20 do 60 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ za rok, pro N od 40 do 90 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ za rok. Rozdíly jsou podle nálezů vyvolávány klimatem.

Deštný les je neaktivnější ze všech existujících ekosystémů; tok energie a cykly bioelementů jsou tam mimořádně rychlé; fotosyntéza a tím i hrubá produktivita jsou vysoké, ovšem vysoká je i respirace. Celkové množství opadanky (listy a větvičky) například v lese Kade v Ghan (GREENLAND, KOWAL 1960) nahromaděné za 12 měsíců činí 10 500 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, z čehož 2/3 jsou listy (cca 7000 kg) a zbývající 1/3 je tvořena větvičkami a drobným dřevem (NYE 1961).

Sběr prováděný každým druhým týdnem ukázal, že opad je nepřetržitý a poměrně konstantní po celý rok s malým zvýšením během krátké suché sezóny a lehkým snížením v období deště. Recyklace takového opadu je mimořádně rychlá (DUVIGNEAUD 1988).

Zadržované prvky, které se rok po roce připojují k biomase rostoucího lesa, tvoří minerální hmotu fytoceózy (DUVIGNEAUD 1988).

Lesní ekosystémy se často vyznačují výrazným deficitem některých živin, například více živin. Dlouhodobá exploatace narušila přirozené cykly a snížila zásoby živin na úrovni, znamenající až výrazný nedostatek, deficit. Historicky je tento jev

umocnění skuteností, že lesní porosty v podmínkách střední Evropy zůstaly zachovány na půdách spíše horších bonit, náchylných k další degradaci. Deficitní živiny je v lesních ekosystémech výrazně patrný především v případě dominantních primárních producentů, tj. lesních dřevin. Tuto skutečnost lze prokázat především na základě specifických nebo nespecifických změn v kvalitě a kvantitativní struktuře, například asimilačních orgánů (tvarové a barevné změny, karetní jevy), nebo exaktněji například listovými analýzami. Dodání deficitní živiny zpravidla výrazně zvýší produkci ekosystému, nebo reprodukční schopnosti jejich složek (PODRÁZSKÝ 2001).

Lesy vyerpávají půdu mnohem pomaleji než pole, avšak jejich potřeba Ca je řádově stejné velikosti. RENNIE (1957) vyvozoval, že živiny oděrané lesem po 100 letech dosahují těchto hodnot:

Tab. 14. Živiny oděrané lesem po 100 letech podle RENNIEHO

	kg.ha ⁻¹		
	Ca	K	P
Borový les	424	168	38
Jehličnatý les	890	466	74
Listnatý les	1 930	483	106
Pole, čtyřhonný osev: oves směska, brambory, brukev	2 420	7 400	1 060

Kdyžli srovnáme cykly biogenních prvků různých typech lesních ekosystémů, zjistíme zajímavou zvláštnost. Jak uvádí DUVIGNEAUD (1980) v mírných pásmech jsou opadavé lesy dubu nejvíce spotřebiteli biogenních prvků, lesy bukové jsou mnohem skromnější. V jehličnatých lesích jsou biogenní prvky obvykle méně dostupné než v lesích listnatých; bory se vyznačují až podivuhodnou skromností; celkové množství K, Ca, Mg, N a P v ročním koloběhu je mnohem nižší než v kterémkoli jiném lesním ekosystému.

7. ZÁV R

Diplomová práce byla zaměřena na kvantitativní a kvalitativní vyhodnocení frakce opadu ve čtyřech typech lesních porostů odlišujících se v kem, strukturou a druhovou skladbou v průběhu roků 2011, 2012 a 2013.

Lesní porosty se nacházely v přírodní lesní oblasti 30. Dražanská vrchovina, v nadmořské výšce 600-660 m n. m. Lesním typem je zde svítlí jedlová bučina – avelová (5S1), 4AB3 *Fageta quercino abietina* - 5AB3 *Abietis fageta*. Přírodním typem zájmového území je kambizem modální oligotrofní a ní mezotrofní na podloží brněnského granodioritu s překryvem eolického materiálu.

V dospělých porostech s převahou smrku byl zjištěn roční opad ve výši 3843,9 - 6112,7 kg.ha⁻¹. Ve 130-letém smíšeném porostu se roční opad pohyboval v rozmezí 3341,9 - 3735,1 kg.ha⁻¹. V mladém smrkovém porostu se roční opad pohyboval od 1812,7 do 2288,4 kg.ha⁻¹ a v porostu buku byl zjištěn v rozmezí 3350,8-3855,2 kg.ha⁻¹.

Největší množství dusíku (N), který se dostal na přírodní povrch bylo v roce 2013 ve 45-letém porostu buku a to 62,2 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹ skrz frakci listy. Ve 105-letém porostu smrku se v roce 2013 dostalo nejvíce dusíku na přírodní povrch skrz frakci jehlice a to 36,7 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹, narozdíl od bukového porostu je to téměř poloviční množství. Nejvíce fosforu (P), bylo také zjištěno v roce 2013. Ve 45-letém porostu buku bylo ve frakci listy obsaženo 5,5 kg.P.ha⁻¹.rok⁻¹. Zatímco 35-letý porost smrku obsahoval ve frakci jehlice v tom samém roce pouze 1,1 kg.P.ha⁻¹.rok⁻¹. Ve 105-letém porostu bylo nejvíce fosforu obsaženo v roce 2011 ve frakci ostatní a to 2,0 kg.P.ha⁻¹.rok⁻¹.

Stejně tak draslík (K), se vyskytoval v největším množství ve frakcích listy a jehlice. Ve 105-letém porostu smrku nacházelo v roce 2013 8,1 kg.K.ha⁻¹.rok⁻¹, ve 35-letém porostu smrku se nacházelo 3,2 kg.K.ha⁻¹.rok⁻¹, oproti 45-letému porostu buku, ve kterém bylo zjištěno 16,2 kg.K.ha⁻¹.rok⁻¹. Největší množství vápníku bylo zjištěno opět v roce 2013 ve frakcích jehlice a listy. Smrková monokultura ve věku 105 let obsahovala ve frakci jehlice 39,8 kg.Ca.ha⁻¹.rok⁻¹, 45-letý bukový porost 27,7 kg.Ca.ha⁻¹.rok⁻¹ ve frakci listy a 35-letý smrkový porost 19,0 kg.Ca.ha⁻¹.rok⁻¹ ve frakci jehlice, což je nejvyrovnanější poměr ve srovnání těchto porostů s obsahem přírodních prvků. Ve 105-letém porostu smrku se oproti ostatním porostům nachází větší množství N, P, K a Ca ve frakci dřeva a to například 7,7 kg.N.ha⁻¹.rok⁻¹, 0,5 kg.P.ha⁻¹.rok⁻¹, 2,0 kg.K.ha⁻¹.rok⁻¹ a 4,1 kg.Ca.ha⁻¹.rok⁻¹. Dále se opadem dostává na povrch například 1,0-4,7 kg.Mg.ha⁻¹.rok⁻¹, 1,7-7,3 kg.S.ha⁻¹.rok⁻¹.

Statisticky významné rozdíly v množství celkového opadu byly zjištěny mezi porosty buku (V4) a smrku (V3) v roce 2010, 2011, 2012 i 2013. Mezi staršími porosty a to 105-letým porostem smrku (V1) a 130-letým smíšeným porostem buku, smrku a jedle byly v roce 2010 a 2011 také zaznamenány statisticky významné rozdíly v množství celkového opadu.

Z předložených výsledků je zejména zřejmý pozitivní meliorační vliv bukového opadu na půdu. Výsledky dále mohou posloužit k doplnění bilance živin na úrovni ekosystému. Studie zabývající se kvantitou a kvalitou opadu v oblasti jedlobukového lesního vegetačního stupně v oblasti Dražanské vrchoviny, poukazuje na sníženou vitalitu nepůvodních smrkových porostů ve druhé generaci a zdůrazňuje v současné době potřebu vnovat pozornost smíšeným porostům smrku, buku a jedle ve vztahu k měnícím se podmínkám prostředí (předpokládané klimatické změny).

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AIKEN, G. R., MCKNIGHT, D. M., WERSHAW, R. L. (1985):** Humic Substances in Soil, Sediments and Waters. Willey-Interscience, New York. 692 pp.
- AMBROZ, Z., (1987):** Zmny struktury nedevnaté vegetace v umle zalofném smrkovém ekosystému. Dílí záv. zpr. výzk. úkolu VI-4-3/7-2.VTŽ, Brno.
- AMBROZ, Z., (1990):** Zmny struktury a objemu biomasy nedevnaté vegetace v umle zalofném smrkovém ekosystému. Záv. zpr. výzk. úkolu VI-4-3/7-2.VTŽ, Brno.
- ARTHUR, D. Little (ADL), (2002):**Global Comparative Analysis of HFC and Alternative Technology for Refrigeration, Air Conditioning, Foam, Solvent, Aerosol Propellant, and Fire Protection Applications.
- BEIER, C., RASMUSSEN, L., (1994):** Effects of whole-ecosystem manipulations on ecosystem internal processes. *Trends in Ecology and Evolution* 9: 2186223.
- BERG, B., ALBREKTSON, A., BERG, M.P., CORTINA, J., JOHANSSON, M.,GALLARDO, A., MADEIRA, M., PAUSAS, J., KRATZ, W., VALLEJO, R.,McCLAUGHERTY, C., (1999):** Amounts of litter fall in some pine forests in a European transect, in particular Scots pine. *Ann. For. Sci.* 56, 6256639.
- BERG, B., LASKOWSKI, R., (2006):** Advanced in ecological research, Litter decomposition:A guide to carbon and nutrient turnover. Elsevier USA, p. 428.
- BERG, B.; GERSTBERGER, P., (2004):** Element fluxes with litterfall in mature stands of Norway spruce and European beech in Bavaria, south Germany. In: *Biogeochemistry of Forested Catchments in a Changing Environment*. Springer Berlin Heidelberg, 2004. p. 271 278.
- BERG, B.; MEENTEMEYER, V., (2001):** Litter fall in some European coniferous forests as dependent on climate: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31.2: 292 301.
- BERGKVIST, B. O., (1987):**Soil solution chemistry and metal budgets of spruce forest ecosystems in S. Sweden. *Water, Air, and Soil Pollution*, 1987, 33.1-2: 131 154.
- BILLE-HANSEN, J., HANSEN, K., (2001):** Relation between defoliation and litterfall in some Danish *Picea abies* and *Fagus sylvatica* stands. *Scand. Journal Forest Research* 16.2: 127 137.
- BINKLEY, D. A. N.; GIARDINA, Ch., (1998):** Why do tree species affect soils? The warp and woof of tree-soil interactions. *Biogeochemistry*, 1998, 42.1-2: 89-106.
- BINKLEY, D., (1986):** Forest nutrition management. New York, J. Wiley: 289 pp.
- BOSCH, C., (1986):** Standorts- und ernährungkundliche Untersuchungen zu den Erkrankungen der Fichte *Picea abies* (L.) Karst. in höheren Gebirgslagen. *Forstliche Forschungsberichte*, Nr. 75, 241 pp.
- 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. 975 pp.
- BUBLINEC, E., (1994):** Koncentrácia, akumulácia a kolobeh prvkov v bukovom

a smrekovom ekosystéme. Acta Dendrobiologica. Veda SAV Bratislava, 132 s.

BÜCKING, W., (1987): Streuanlieferung und Rückführung einiger Makroelemente mit der Streu in Fichten- und Buchenwaldökosystemen des Schönbuchs. *Mitteilungen des Vereins für Forstliche Standortskunde und Forstpflanzenzüchtung*, 1987, 33: 62–99.

BU EK, A., LACINA, J., (1999): Geobiocenologie II. MZLU Brno, 249 s.

COLE, D. W., RAPP M., (1981): Elemental cycling in forest ecosystems. In: REICHLER, D.E. (ED.). *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. Cambridge University Press, London, 341–409.

COLE, D.W., (1981): Nitrogen uptake and translocation by forest ecosystems. *Ecol. Bull. (Stockholm)* 33, 219–232.

CULEK, M., BU EK, A., GRULICH, V., HARTL, P., HRABICE, A., KOCIÁN, J., KYJOVSKÝ, T., LACINA, J., (2005): Biogeografické podmínky České republiky 2. díl, AOPK ČR, Praha 590 s.

DIDHAM, R.K., (1998): Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. *Oecologia (Berlin)* 116:397–406 pp.

DUVIGNEAUD, P., (1988): Ekologická syntéza, Academia Praha, 416 s.

EMMER, I. M. (1999): Methodology of humus form research. *Lesnictví-Forestry* 44: 166–22.

FABIÁNEK, P., (eds), (2004): Monitoring stavu lesa v České republice 1984–2003. Praha: Ministerstvo zemědělství České republiky, 2004, 431 s. ISBN 80-86461-23-8.

FABIÁNEK, T., (2008): Hodnocení humusových poměrů v lesních porostech se změnou druhovou skladbou. Diplomová práce. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně. 69 s.

FABIÁNEK, T., MENŠÍK, L., TOMÁŠKOVÁ, I., KULHAVÝ, J., (2009): Effects of spruce, beech and mixed commercial stand on humus conditions of forest soils. *Journal of Forest Science*. 2009. sv. 55, č. 3, s. 119–126. ISSN 1212-4834.

FISHER, R. F., BINKLEY, D., (2000): Ecology and management of forest soils. John Wiley and Sons, 3rd edition, USA, 490 pp.

FRIVOLD, L. H.; KOLSTRÖM, T.(1999): Yield and treatment of mixed stands of boreal tree species in Fennoscandia. *Ed.] OLSTHOORN, AFM, BARTE-LINK, HH, GARDINER, JJ, PRETZSCH, H., HEKHUIS, HJ und FRANC, A., Management of mixed-species forest: silviculture and economics, IBN Scientific Contributions, Wageningen*, 1999, 15: 37–45.

FROUZ, J. (2010): Podávkový systém. Interakce podílu fauny a mikroflóry a jejich význam pro přeměny organické hmoty v půdě. *Vesmír*, 89: 490–492.

GCP (2003): Global Carbon Project 2003 Science Framework and Implementation. Earth, System Science Partnership (IGPB, IHD, WCRP, DIVERSITAS) Report No. 1, Global Carbon Project No. 1, 69 pp, Canberra.

- GILLIAM, F. S., YURISH, B. M., and ADAMS, M. B., (2001):** Temporal and spatial variation of nitrogen transformations in nitrogen saturated soils of a central Appalachian hardwood forest. *Can. J. For. Res.* 31: 1768–1785.
- GORDON, A. M.; CHOURMOUZIS, Ch; GORDON, A. G., (2000):** Nutrient inputs in litterfall and rainwater fluxes in 27-year old red, black and white spruce plantations in Central Ontario, Canada. *Forest Ecology and Management*, 2000, 138.1: 65–78.
- GOSZ, J. R., LIKENS, G. E., BORMANN, F. H., (1972):** Organic matter and nutrient dynamics of the forest and forest floor in the Hubbard Brook forest, (cit. 21.4.2014). Dostupné z: <http://link.springer.com/article/10.1007/BF00345310>.
- GREEN R. N., TROWNBRIDGE R. L., KLINKA K., TOWARDS A. (1993):** Taxonomic Classification of Humus Forms. A Publication of the Society of American Foresters. Forest Science Monograph 29, Supplement to Forest Science 39 (1): 49 pp.
- GREENLAND, D. J.; KOWAL, J. M. L., (1960):** Nutrient content of the moist tropical forest of Ghana. *Plant and Soil*, 1960, 12.2: 154–173.
- GRUNDA, B., (1990):** Slofení humusu a mikroflóry v p d pod smrkovou monokulturou antropicky ovlivnou ó Záv re ná zpráva samostatné etapy výzkumného úkolu: Dekompozi ní procesy v lesních p dách ovlivn ných antropickou zát fí. VI-4-3/02-2b, V^TŽ v Brn .
- HAGER, H., (1988):** Stammzahlreduktion. Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen. Wien, Universität für Bodenkultur 1988. 189 pp.
- HATLAPATKOVÁ, L., (2011):** Rychlost obnovy lesního prost edí po zalesn ní marginálních zem d lských pozemk . Diserta ní práce, Praha, 107 s.
- HEIJDEN a kol. (2013):** Assessing Mg and Ca depletion from broadleaf forest soils and potential causes óA case study in the Morvan Mountains. *Forest Ecology and Management* 293: 65678.
- HRU^TKA, B., (1978):** Geograficko - petrografické a základní charakteristika zv trávacích proces na výzkumné plo-e v Rájci-Jest abí. In. Struktura, Funkce a produktivita lesních ekosystém , ovliv ovaných uv dom lou antropickou inností (níflinné a pahorkatinné oblasti SR). Informace o p edb flných výsledcích díl ích výzkumných úkol v projektech MAB v letech 1976-1977. V^TŽ v Brn . 229–243.
- HRU^TKA, B., (1980):** Geologicko - petrografické pom ry, zv trávací procesy, uvol ování flivin a klasifikace zv trávacích proces v ekosystému smrkového lesa. Záv re ná zpráva, V^TŽ Brno. 51 s.
- HRU^TKA, B., CIENCALA, E., MORAV ÍK, P., NAVRÁTIL, T., HOFFMEISTER, J., (2001):** Dlouhodobá acidifikace a nutri ní degradace lesních p d - limitující faktor sou asného lesnictví - I. Lesnická práce, ro . 80, . 11, s. 494–495.
- CHYTRÝ, M., (2001):** Phytosociological data give biased estimates of species richness. ó *J.Veg. Sci.* 12: 4396444.
- IVANI , J., HAVELKA, B., KNOP, K., (1984):** Výfliva a hnojenie rastlín, 2. p eracované vydání, Bratislava, 488 s.

- JAROŠOVÁ, H., (2012):** Hodnocení významu frakce opadu pro koloběh živin v lesních ekosystémech. Bakalářská práce. Brno: LDF MENDELU. 52 s.
- JENÍK, J., (1996):** Ekosystémy (Úvod do organizace zonálních a azonálních biotopů), Praha, ISBN 80-7184-040-8. 135 s.
- JESTŘÁBEK, KOUSAL, (1971): 1975** Mapa hustoty tekoucích vod v ČR, 1 : 500 000, GÚ SAV Brno.
- JURSÍK, F., (2002):** Anorganická chemie kovů. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, ISBN 80-7080-504-8.
- KLIMO, E., (1978):** Charakteristika podmínek výzkumné stanice programu lesů a biosféra, Rájec-Jestřebí. In: Struktura, Funkce a produktivita lesních ekosystémů, ovlivňovaných úvodom antropickou činností (nížinné a pahorkatinné oblasti ČR). Informace o předložených výsledcích dílčích výzkumných úkolů v projektech MAB v letech 1976-1977. VÚMZ v Brně.
- KLIMO, E., (1982):** Koloběh elementů v lesních ekosystémech, 41-06-9 Nauka o lesním prostředí, Brno 1982.
- KLIMO, E., (1990):** Lesnická pedologie. Učební texty pro posluchače lesnické fakulty. VÚMZ Brno, 256 s.
- KLIMO, E., (1992):** Geographical and soil conditions. In: Klimo E., Maršálek J., (ED.) Manmade Spruce Ecosystem (Structure, Functions, Production, Processes). Report from Project Rájec. Institute of Forest Ecology, Agriculture University Brno, 48.
- KLIMO, E., KULHAVÝ, J. (2006):** Norway Spruce monocultures and their transformation to close-to-nature forests from point of view soil changes in the Czech Republic, Ekológia (Bratislava) 25 (1): 27-45.
- KLIMO, E., KULHAVÝ, J., (1994):** Nitrogen cycling in Norway spruce stands after clear cutting. Lesnictví-Forestry 40: 307-312.
- KLIMO, E., PRAX, A., HYBLER, V., TMYKAR, J., (2010):** The changes of the forest environment and biodiversity in a Norway spruce ecosystem with clearcutting regeneration on the original beech site. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, LVIII (4): 1625.
- KNOTT, R. (2005):** Transformace smrkové monokultury na les blízký přírodě. In KULHAVÝ, J. -- SKOUPÝ, A. -- KANTOR, P. -- SIMON, J. *Trvale udržitelné hospodaření v lesích a v krajině - od koncepce k realizaci*. MZLU v Brně : Lesnická práce, s.r.o., 2005, s. 165–168. ISBN 80-7157-844-4.
- KÖGEL-KNABNER, I., (1993):** Biodegradation and humification processes in forest soils. Soil biochemistry, (8):101-135.
- Křífi et al. (1971):** Lesnická botanika, Státní zemědělské nakladatelství Praha, DT 634.0.16:17(075), 450 s.
- KUŘEL, S., KOLÁŘ, L., LEDVINA, J., POVILAITIS, A. (2001):** Soil Organic Matter and Humic Substances - Why to Differentiate These Terms in University Education. In: ZAUJEC, A., BIELEK, P., GONET, S. S. (eds), Sborník příspěvků ze 4.

mezinárodní konference Humic Substances in Ecosystems, Ra ková dolina 10.ó 14. 6. 2001, Slovensko, 75ó78.

LACINA, J., QUITT, E., (1986): Geografická diferenciacie okresu Blansko, GÚ SAV, Brno 210 s.

LATM VKA, Z., KREJ OVÁ, P., (2000): Ekologie, 1.vyd. ó Brno:Konvoj, 2000. ó 185 s. ISBN 80-85615-93-2.

LAVELLE, P., BLANCHART, E., MARTIN, A., MARTIN, S., BAROIS, I., et al. (1993): A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils in the humid tropics. *Biotropica*.25(2):130 150.

LINDER, S., (1995): Foliar analysis for detecting and correcting nutrient imbalances in Norway spruce. *Ecological Bulletins*, 1995, 178 190.

LOMSKÝ, B., (2006): Minerální výřivka smrku ztepilého (*Picea abies /L./ Karst.*) v imisních oblastech, Habilita ní práce, 274 s.

MACK , J., VOKOUN, J., (1993): Klasifika ní systém lesních p d uplat uřící Morfogenetický klasifika ní systém p d. (1991). Brandýs nad Labem, Ústav pro hospodá skou úpravu lesa: 54 s.

MAREK, M.V. (ed.) (2011): Uhlík v ekosystemech eské republiky v m nícím se klimatu. Academia. ISBN 978-80-200-1876-2. 255 s.

MA AN, B., KÁTMV., (1948): Biologie lesa. První díl: Pedologie a mikrobiologie lesních p d. Melantrich: Praha, 596 s.

MATERNA, J., (1994): Draslík, s. 142. Ho ík, s. 273. Kadmium, s. 350. In: Kolektiv: Lesnický nau ý slovník. 1. díl. A - O. Praha, Ministerstvo zem d lství 1994a. 743 s.

MATERNA, J., (1994): Vápník, s. 525-526. In: Kolektiv: Lesnický nau ý slovník. 2. díl P ófi. Praha, Ministerstvo zem d lství 1994a. 683 s.

MEN^{TK}, L., (2004): Charakteristika vegetace vybraného území ó semestrální práce z p edm tu Fytocenologie a lesnická typologie. ÚLBDDT MZLU v Brn 16 s.

MEN^{TK}, L., (2006): Geobiocenologická charakteristika území a vymezení ekologické sít . Geobiocenologie a ekologie krajiny. ÚBDG MRZL v Brn . 30 s.

MEN^{TK}, L., (2007): Ekologické aspekty transformace smrkových monokultur. Diplomová práce. Brno: Mendelova zem d lská a lesnická univerzita v Brn . 103 s.

MEN^{TK}, L., (2010): Frakcionace humusových látek lesních p d. Diserta ní práce, MZLU Brno, 210 s.

MEN^{TK}, L., FABIÁNEK, T., TESA , V., KULHAVÝ, J., (2009): Humus conditions and stand characteristics of artificially established young stands in the process of the transformation of spruce monocultures. *Journal of Forest Science* 55 (5): 215ó223.

MOORE, C. J., (1986): Frequency response corrections for eddy correlation systems. *Boundary-Layer Meteorol.* 37: 17 36.

MUNNS, R., CRAMER, G. R., (1996): Is coordination of leaf and root growth mediated by abscisic acid? Opinion. *Plant and Soil*, 1996, 185.1: 33–49.

NEMEJK, J., MACK, J., VOKOUN, J., VAVŘEK, D., NOVÁK, P., (2001): Taxonomický klasifikační systém pro českou republiku, ZU Praha, 79 s.

NIKL, J., (2000): Oblastní plán rozvoje lesů pro přírodní lesní oblast 30 Drahanská vrchovina – textová část + přílohy. Platnost 2010-2020. ÚHUL Brandýs nad Labem – pobožka Brno. 240 s.

NILSSON, Lars-Owe; WIKLUND, K., (1992): Influence of nutrient and water stress on Norway spruce production in south Sweden – the role of air pollutants. *Plant and Soil*, 1992, 147.2: 251–265.

NOVÁK, J., SLODIÁK, M., (2004): Structure and accumulation of litterfall under Norway spruce stands in connection with thinning. *J. For. Sci.* 50, s. 101–108.

NOVÁK, J., SLODIÁK, M., (2006): Opad a dekompozice biomasy ve smrkových porostech na bývalých zemědělských půdách. In: NEUHÖFEROVÁ, P., ed.: *Zalesňování zemědělských půd, výzva pro lesnický sektor. (Agricultural Land Afforestation, a Challenge to Forestry Sector)*. Kostelec nad Černou, 17.1.2006, KPL FLE ZU v Praze a VS Opava – VÚLHM Jíloviště – Strnady, ISBN 80-213-1435-4 a ISBN 80-86461-59-9.

NYE, P. H., (1961): Organic matter and nutrient cycles under moist tropical forest. *Plant and Soil*, 13, 333–346.

OVINGTON, J. D., (1962): Quantitative Ecology and the Woodland Ecosystem concept. *Adv. In Ecol. Research* 1, 103–192.

PEDERSEN, L. B.; BILLE-HANSEN, J., (1999): A comparison of litterfall and element fluxes in even aged Norway spruce, sitka spruce and beech stands in Denmark. *Forest ecology and management*, 1999, 114.1: 55–70.

PELÍŠEK, J., (1964): Lesnické podnikání. Praha: SZN, 568 s.

PERRY, D. A., OREN, R., HART, S. C., (2008): *Forest ecosystems*. JHU Press, 2008. 632 pp.

PIZZEGHELLO, D., NICOLINI, G., NARDI, S., (2001): Hormone-like activity of humic substances in *Fagus sylvaticae* forests. *New Phytologist*, 2001, 151.3: 647–657.

PLÍVA, K., (1987): Typologický klasifikační systém šÚHUL. ÚHUL Brandýs nad Labem, 52.

PODRÁZSKÝ, V., (2001): Humusové formy a jejich význam v lesních ekosystémech. Pro potřeby studentů LF ZU v Praze (web site: <http://lfskripta.webpark.cz/eko/eko9.htm>).

PODRÁZSKÝ, V., REMEŠ, J., (2007): Humus form status in close-to-nature forest parts in comparison with afforested agricultural lands. *Lesnický časopis*, 2007, 53: 99–106.

POKORNÝ, R., et al. (2013): Perspektivy pěstování smrku ztepilého – II., Lesnická práce, 2013, (online). *Silvarium.cz* (cit.27.4.2014). Dostupné na: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-10-12/perspektivy-pestovani-smrkuztepilehoii>.

- POKORNÝ, R., MAREK, M.V. (2000):** Test of accuracy of LAI estimation by LAI-2000 under artificially changed leaf to wood area proportions. *Biologia Plantarum* 43 (4): 537–544.
- PONGE, J. F., FERDY, J., (1997):** Growth of *Fagus sylvatica* in an old-growth forest as affected by soil and light conditions, *J. Veg. Sci.* 8: 789–796.
- PONGE, J., CHEVALIER, R., (2006):** Humus Index as an indicator of forest stand and soil properties. *Forest Ecology and Management* 233: 165–175.
- POŤTULKA, Z.(2002):** New approaches to flood protection in mountain area regions in the Czech Republic, Policy paper, Free University of Amsterdam, 2002.
- PRESCOTT, C. E., (2005):** Do rates of litter decomposition tell us anything we really need to know?. *Forest Ecology and Management*, 2005, 220.1: 66–74.
- PRŤMA, E., (2001):** Pěstování lesů na typologických základech. 1. vyd., Kostelec nad Černými lesy, Lesnická práce, 594 s.
- QUITT, E., (1971):** Klimatické oblasti Československa. *Studia geographica* 16. Brno: SAV-GU, 80 s.
- REHFUES, K. E., (1989):** Zur Bodenkundlichen Forschung im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden. Entgegnung auf eine Stellungnahme von B. Ulrich in *AFZ* 43/1988, Seite 1171. *Allgemeine Forstzeitschrift*, 45, Nr. 15: 390–396.
- REJŤEK, K., (1996):** Studium humusových látek - tradiční a současné přístupy. In: KALOUSKOVÁ N. a NOVÁK F. (ED.) *Metody studia půdní organické hmoty*, ÚPb AV ČR – České Budějovice, 21. října 2002, s. 80–86.
- REJŤEK, K., HAVERAEN, O., SANDNES, A., K. SOMERLÍKOVÁ, K., (2010):** Soil characteristics under selected broadleaved tree species in East Norway. *Journal of Forest Science*. 56 (7):295–306. ISSN 1212-4834.
- REMEŤM., KULHAVÝ, J., (2009):** Dissolved organic carbon concentrations under conditions of different forest composition. *Journal of Forest Science* 55: 201–207 (5).
- REMEZOV, N. P., POGREBNAK, P. S., (1969):** *Forest Soil Science*. Jerusalem, Israel Program for Scientific Transl. 5: 177, 261 pp.
- RENNIE, P. J., (1957):** Les prélèvements des éléments nutritifs des forêts exploitées et leur importance sur les sols pauvres pour la production du bois. *Rev. Forest. Franc. Sc. Am.*, 229, 6, 58–67.
- RHOADES, C., (1997):** Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agrofor.Syst.* 35: 71–94.
- ROŤE, V., (2009):** Vlhkostní režim lesních půd pod porosty s různou dřevinnou skladbou. Diplomová práce. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 86 s.
- ROHRIG, E., et ULRICH, B., (eds.), (1991):** *Temperate deciduous forests*. Elsevier. 635 pp.
- ROTHER, A., BINKLEY, D.,(2001):** Nutritional interactions in mixed species forests: a synthesis. *Canadian Journal of Forest Research*, 2001, 31.11: 1855–1870.

- SAMEC, P., ZEMAN, M., RYCHTECKÁ, P., KU ERA, A., MAROSZ, K., (2011):** Lesnická práce. *Silvarium.cz* (cit. 6.4.2014). Dostupné na: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-4-11/tlejici-drevo-v-biologicke-melioraci-lesnich-pud>.
- SCHULZE, E., (2000):** Detlef (ed.). Carbon and Nitrogen Cycling in European Forest Ecosystems: With 106 Tables. Springer, 2000, 506 pp.
- SCHULZE, E.D., H.A. MOONEY,(eds.), (1993):** Biodiversity and Ecosystem Function. ó Springer Verlag, New York. 525 pp.
- SINGER, J. S., MUNNS, D. N., (1996):** Soils, an introduction. New Jersey, Prentice Hall: 480 pp.
- SKO EPA, H., (1999):** Geografická charakteristika centrální ásti Dražanské vrchoviny. Diplomová práce, Univerzita Palackého Olomouc, 125 s.
- SKO EPA, H., (2006):** Lesy Dražanské vrchoviny. Nakladatelství Albert v Boskovicích, 1. vydání, 156 s.
- SLAVÍKOVÁ, J., (1986):** Ekologie rostlin. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, n.p. 366 s.
- SLODI ÁK, M. - NOVÁK, J. (2001):** Výsledky experimentu s výchovou smí-ených porost b ízy a smrku pichlavého v Kru-ných horách. [Results from experiment with thinning of mixed birch-blue spruce stands in the Ore Mts.]. In: Výsledky lesnického výzkumu v Kru-ných horách. Sborník z celostátní konference ... Teplice, 1. 3. 2001. Sest. M. Slodi ák a J. Novák. Jílovi-t -Strnady, VÚLHM 2001, s. 137 143. - ISBN 80-86461-06-8.
- SLODI ÁK, M. - NOVÁK, J. (2005):** Zhodnocení poznatk z 1. série zaloffené v roce 1958. [Long-term Norway spruce thinning experiments - evaluation of results of the 1st series founded in 1958]. Zprávy lesnického výzkumu, 50, 2005, . 1, s. 13 17.
- SLODI ÁK, M., NOVÁK, J., SKOVSGAARD, J. P., (2005):** Wood production, litter fall and humus accumulation in a Czech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies*(L.) KARST.). Forest Ecology and Management, 209: 157 166.
- SOTÁKOVÁ, S., (1982):** Organická hmota a úrodnost pody, první vydání, Příroda, Bratislava 234 s.
- SPARKS, D. J., (2003):** Environmental Soil Chemistry. London Academic Press, Second Edition, 352 pp. ISBN 0-12-656446-9.
- STEVENSON, F. J., (1982):**Humus Chemistry, Genesis, Composition, Reactions. John Wiley & Sons, Inc., New York. 445 pp.
- STEVENSON, F. J., (1994):** Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions, John Wiley and Sons, New York: 495 pp.
- SWIFT, M. J., HEAL, O. W., ANDERSON, J. M., (1979):** Decomposition in terrestrial ecosystems. Studies in Ecology V. Blasckwell Scientific Publications. Oxford, UK. ISBN 0-632-00378-2. 372 pp.

- TRÁLY, R., (1977):** Lesnícke pôdoznalectvo. 2. vyd. Zvolen, VÚMÚD: 380 s.
- TRÁLY, R., (1978):** Poda - základ lesnej produkcie, Bratislava, Príroda. 235 s.
- TRÁLY, R., (1988):** Pedológia a mikrobiológia. Zvolen, VÚMÚD: 396103.
- TRÁRMAN, J., (1990):** Dekompoziční procesy a mikroorganismy v lesních půdách ovlivněných antropickou zátěží a činností. Závěrečná zpráva výzkumného úkolu VÚ-VI-4-3/02-02d. VÚMÚD Brno, 66 s.
- TRÁMEK, M., (2003):** Základy nauky o půdě, 3. Biologické procesy a cykly prvků, JU, České Budějovice, 152 s.
- TRÁNDELÁ, J., (2005):** Účinky na lesích, vliv na genetiku populací lesních dřevin, Lesnická práce, 2005, 84, 1, s. 18 a 19.
- TRÁNDELÁ, J., et al. (2007):** Nové poznatky o jedli bělokore, Lesnická práce, 2007, (online). *Silvarium.cz* (cit. 26.4.2014). Dostupné na: <http://www.silvarium.cz/lesnicka-prace-c-5-01/nove-poznatky-o-jedli-belokore>.
- TRÁTYKAR, J. (2002):** Biodiversity of plant component of spruce forest stages in the Fageta quercino-abietina group of geobiocoene types at the research facility operated by Institute of forest ecology (Mendel university of agriculture and forestry) -Rájec. *Ekológia*. 2002. sv. 2002, . 1, s. 45 - 67. ISSN 1335-342X.
- TAN, K. H., (2003):** Humic Matter in Soil and the Environment: Principles and Controversies. Marcel Dekker, Inc., New York, 408 pp.
- THOMASIUŠ, H., SCHMIDT, P. A., (1996):** Wald, Forstwirtschaft und Umwelt. Umweltschutz: Grundlagen und Praxis (Germany). v. 10., 1996.
- TRUPAROVÁ, S., (2011):** Dynamika dusíku a uhlíku v lesních ekosystémech. Disertační práce, Brno, 167 s.
- UKONMAANAHO, L. et al. (2008):** Litterfall production and nutrient return to the forest floor in Scots pine and Norway spruce stands in Finland. *Boreal environment research*, 2008, 13: 67 - 91.
- ULRICH, B., (1986):** Die Rolle der Bodenversauerung beim Waldsterben: langfristige Konsequenzen und forstliche Möglichkeiten. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 105, Nr. 5: 421-435.
- ÚRADNÍ EK, L., CHMELA, J., (1998):** Dendrologie lesnická 2. část o Listná e I. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita. ISBN: 80-7157-169-5. 119 s.
- VÁTRNÍ EK, F., (1978):** Typologická klasifikace, struktura a biomasa vrstvy bylin na výzkumné ploše MAB šRájec-Jestebí. In. Struktura, Funkce a produktivita lesních ekosystémů, ovlivňovaných úvdomlou antropickou činností (nížinné a pahorkatinné oblasti SR). Informace o předložených výsledcích dílčích výzkumných úkolů v projektech MAB v letech 1976-1977. VÚMÚD v Brně. 2456254.
- VÁTRNÍ EK, F., (1985):** Struktura a biomasa bylinného patra v umle zaloveném smrkovém ekosystému. Záv. zpr. výzk. úkolu VI-2-3/03. VÚMÚD, Brno.

- VL EK, V., KEST ÁNEK, J., K Íf, H., NOVOTNÝ, S., PÍTE, J. (1984):** Zem pisný lexikon SR. Vodní toky a nádrfle. Academia. Praha, 316 s.
- VOKURKOVÁ, P., (2010):** Vliv stanovi-tních faktor na vlastnosti organické hmoty lesních p d. Diserta ní práce, Praha, 83 s.
- VRBA, V., HULET M L., (2006):** Humus-p da-rostlina (2) Humus a p da. (online). *Biom.cz* (cit. 5.4.2014). Dostupné na: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>.
- WARDLE, D. A., et al. (2003):** Determinants of litter mixing effects in a Swedish boreal forest. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35.6: 827 835.
- WARING, R. H., RUNNING, S. W., (1998):** Forest ecosystems: Analysis at multiple scales. San Diego (California), London (UK): Academic Press, 370 pp.
- WRIGHT, T. W., (1957):** Some effects of thinning on soil of a Norway spruce plantation. *Forestry*, 30, 1957, . 2, s. 123 133.
- ZANELLA, A., et al. (2011):** A European morpho-functional classification of humus forms. *Geoderma*, 2011, 164.3: 138 145.
- ZBÍRAL, J., (1994):** Analýza p d I. Jednotné pracovní postupy. ÚKZUZ Brno. 197 s.
- ZBÍRAL, J., HONSA I., MALÝ S., (1997):** Analýza p d III. Jednotné pracovní postupy. Brno, ÚKZÚZ, 150 s.
- ZERVA, A., et al. (2005):** Soil carbon dynamics in a Sitka spruce (< i> Picea sitchensis</i>(Bong.) Carr.) chronosequence on a peaty gley. *Forest Ecology and Management*, 2005, 205.1: 227 240.

Internetové zdroje:

- http://www.vulhm.cz/index.php?p=msl_uroven2_opad&site=default
- <http://ekologie.upol.cz/ku/szzte/prezentace/opadave.pdf>
- <http://lfskripta.webpark.cz/eko/eko9.htm>
- http://fle.czu.cz/~ulbrichova/Skripta_EKOL/lesapuda/lesapuda.htm
- http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=11&K=0
- <http://kfrserver.natur.cuni.cz/globe/materialy/03Ruzne/CCdiagram-cesky.jpg>
- <http://tygae.weebly.com/nitrogen-cycle.html>

