DIPLOMOVÁ PRÁCE

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UNIVERZITY KARLOVY V PRAZE

KATEDRA BOTANIKY

Vedoucí práce RNDr. Marcela Kovářová

Konzultant Doc. RNDr. Jarmila Kubíková

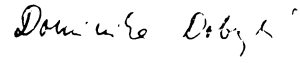
# DEKOMPOZICE OPADU VYBRANÝCH DRUHŮ DŘEVIN A JEJÍ VLIV NA KVALITU PŮDY

DOMINIKA DOBRYLOVSKÁ

Praha 2000

Diplomová práce Dominiky Dobrylovské byla obhájena na katedře botaniky PřF UK v Praze dne 22.5. 2000 a byla ohodnocena klasifikačním stupněm **velmi dobře**.

Prohlašuji, že jsem diplomovou
práci zpracovala samostatně,
s použitím citované literatury.



**OBSAH**

1. Úvod . . . . . 5

2. Studované dřeviny . . . . . .8
2.1. *Quercus rubra* L. . . . . .8
2.2. *Larix decidua* MILLER. . . . . 10
2.3. *Tilia cordata* MILLER. . . . . 12

3. Studované území . . . . . 14
3.1. Územní vymezení a přírodní poměry, výběr lokalit a půdní profily . . . . . 14
3.2. Stav podrostu jednotlivých stanovišť a bioindikace druhy bylinného patra . . . . . 18

4. Produkce opadu a dekompozice opadu a celulózy . . . . 30
4.1. Produkce listového opadu . . . . . 30
4.2. Dekompozice listového opadu . . . . . 39
4.2.1. Iniciální vlastnosti opadu . . . . . 43
4.2.1.1. Specifická hmotnost listu . . . . . 45
4.2.1.2. Schopnost absorpce vody . . . . . 49
4.2.1.3. Vyplavování vodorozpustných živin . . . . . 51
4.2.1.4. pH vodného výluhu . . . . . 54
4.2.1.5. Obsah dusíku a poměr C/N . . . . . 58
4.2.1.6. Obsah Cox, C a poměr Cox/N . . . . . 63
4.2.1.7. Obsah fosforu . . . . . 67
4.2.1.8. Obsah vodorozpustných polyfenolů . . . . . 70
4.2.2. Chemické vlastnosti Ah horizontu . . . . . 78
4.2.3. Dekompozice za konst. podmínek v termoboxu . . 85
4.2.3.1. Rychlost dekompozice opadu na různých substrátech . . . . . 85

4.2.3.2. Změna poměru HK/FK během dekompozice opadu, stanovení indexu Q4/6. . . . . 96
4.3. Dekompozice celulózy v terénu . . . . . 107
5. Souhrnné výsledky . . . . . 114
6. Závěr . . . . . 121
7. Seznam použité literatury . . . . . 123
8. Přílohy . . . . . 133

# 1. Úvod

Území České republiky patří do zóny širokolistých opadavých lesů a proto jsou pro naše území nejdůležitějšími klimaxovými ekosystémy právě ekosystémy lesní. Přesto však zde nalezneme ponejvíce lesy ovlivněné lidskou činností, přírodě blízké, v drtivé většině však lesy pěstované. Na základě více než staletých zkušeností a se zřetelem k množství poznatků získaných v oborech ekologie a ochrany lesů, genetiky lesních dřevin a v rámci lesnické pěstební techniky se v současnosti uznává názor, že základem druhové skladby lesních porostů by měly být ty dřeviny, které byly nebo jsou součástí původních přirozených ekosystémů. Tyto dřeviny a jejich přirozené porostní směsi odpovídají místním podmínkám prostředí a mají proto předpoklady pro žádoucí ekologickou a genetickou stabilitu (Šindelář 1996).

Bohužel, člověk zavlékáním nepůvodních druhů rostlin do sekundárních areálů výskytu narušuje přirozenou skladbu původních ekosystémů, přičemž následky pro tyto ekosystémy jsou nepředvídatelné. Adventivní (nepůvodní) druhy mohou prospívat ve svém novém prostředí velice dobře vzhledem k absenci přirozených škůdců, ale také svým vlivem na své okolí mohou potlačovat druhy v území původní, jak je dobře známo z porostů introdukovaného akátu.

Lesní ekosystém je velice složitý a každý článek koloběhu látek, energie a informací je propojen s ostatními. Dojde-li k narušení některého článku, může být výsledkem ochromení celého ekosystému. A právě jedním z těchto článků - dekompozicí opadu lesních dřevin, se zabývá tato práce, která byla iniciována Doc. RNDr J. Kubíkovou na základě její empirické zkušenosti, že jeden introdukovaný druh - dub červený (*Quercus rubra*) snižuje často na svém nepůvodním stanovišti druhovou diverzitu lesního podrostu a že na půdě pod touto dřevinou leží velké množství jejího nerozloženého listového opadu. Tato práce se

tedy snaží přiblížit se k objasnění, jak probíhá v nepůvodních podmínkách dekompozice listového opadu červeného dubu a jak tato dekompozice ovlivňuje kvalitu půdy, na níž se rozkládá. Kromě této hlavní náplně práce byl zhodnocen stav podrostu pod čistým porostem *Q. rubra* a pomocí indikačních hodnot odhadnuty vlastnosti stanoviště. Vše bylo porovnáno s dřevinami na našem území původními - lípou srdčitou (*Tilia cordata*) a modřínem opadavým (*Larix decidua*). Bylinné patro může být ochuzeno vlivem buď nepříznivé kvality půdy (pH, živiny), allelopatickým působením látek v opadu, nebo nedostatkem světla pro klíčící semenáčky pod vysokou vrstvou listů.

Vzhledem k vysoké vrstvě nerozloženého listového opadu pod porostem *Quercus rubra* byly uvažovány tyto hypotézy:

1.- Produkce listového opadu červeného dubu je tak vysoká, že potenciál rozkladu půdních reducentů není schopen v podmínkách stanoviště tak velké množství rostlinného materiálu za přijatelnou dobu rozložit.

2.- Dekompozice listového opadu Q. rubra probíhá díky svým nepříznivým vlastnostem pomalu, je tedy špatně rozložitelný.

3.- Listový opad obsahuje látky, které svým účinkem brzdí rozkladné procesy, nebo přímo allelopaticky působí na bylinný podrost.

Vzhledem k nepříznivému stavu bylinného patra byly vysloveny tyto možné příčiny:

1.- Vysoká vrstva listového opadu brání pronikání světla, potřebného pro klíčení semen a růst semenáčů rostlin.

2.- Půda pod červeným dubem má nepříznivé vlastnosti (pH, živiny), které zabraňují plnému rozvoji rostlin.

3.- Opad *Quercus rubra* obsahuje allelopatické látky, zabraňující klíčení či růstu semenáčů.

Diplomová práce mi byla zadána v roce 1998 a dokončena v roce 2000.

Poděkování

Mé upřímné poděkování patří především vedoucí mé diplomové práce RNDr. Marcele Kovářové za neúnavnou ochotu a trpělivost a za její cenné připomínky a rady. Dále děkuji konzultantce této práce Doc. RNDr. Jarmile Kubíkové, jež práci na toto téma iniciovala.

Děkuji vedoucímu geobotanické laboratoře Ing. Josefu Vařekovi, který mi poskytl neocenitelné rady a pomoc při chemických analýzách.

Má vděčnost patří mým spolužákům a zejména Zuzaně Münzbergové za její ochotu a pomoc při statistickém zpracování údajů.

V neposlední řadě děkuji své rodině za pomoc, podporu a pochopení při zpracování mé diplomové práce.

# 2. Studované dřeviny

Bližší seznámení se studovanými dřevinami bude podáno s větším důrazem na *Quercus rubra*, neboť jako jediný není v naší květeně původní. Další dva druhy se na našem území vyskytují též v přirozených původních areálech, proto je jejich znalost o nich širší.

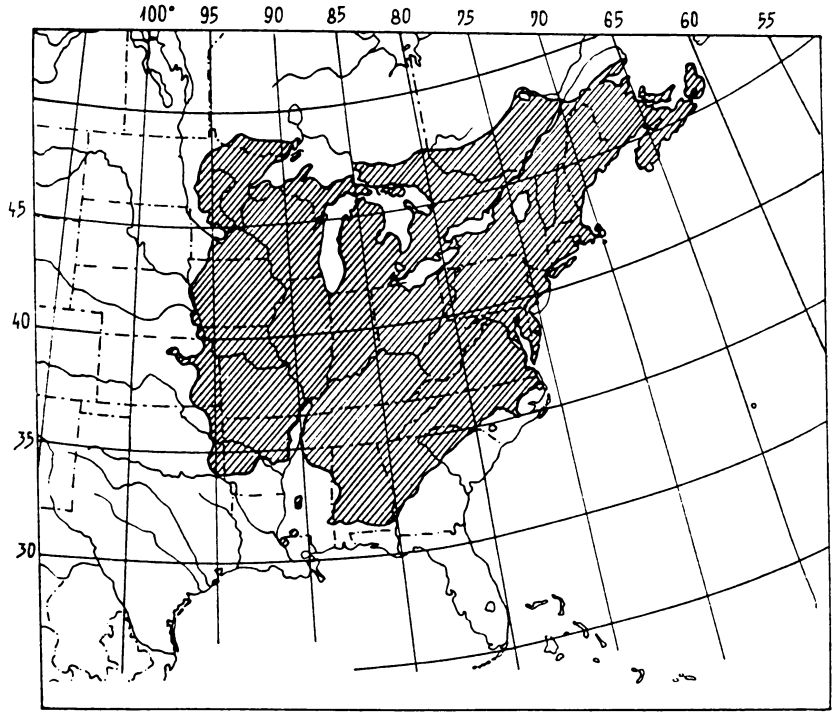
## 2.1. *Quercus rubra* L.

**Rozšíření**

Dub červený je rozšířený ve východní části Severní Ameriky od Nového Skotska a jižní části Nového Brunšviku na jih po Tenessee a Virginii a podél Apalačských hor do severní Georgie, východní Nebrasky a středního Kansasu (viz obr 2.1.1.). Nejhojněji se vyskytuje v lesích Nového Skotska, jižního Quebecku a Ontaria, kromě jihozápadní oblasti v pohoří Adorindach. Kromě souvislého areálu se vyskytuje ještě na dvou ostrůvcích v jižní Louisianě při vtoku řek Red a Atchafalaya do Mississippi a v pohořích mezi středním tokem řeky Pearl a soutoky řek Teisas, Jazzo, Big Black a Mississippi.

Čisté porosty vytváří jen zřídka. Je většinou součástí smíšených lesů, které tvoří s *Quercus alba* L., *Fraxinus americana* L., *Liriodendron tulipifera* G., *Carya ovata* K. KOCH a jinými listnatými dřevinami. Podílí se na složení smíšených a suchých lesů apalačské a jihoatlantické oblasti. V severní části svého areálu, zejména na skalnatých stanovištích vytváří také smíšené porosty s *Pinus strobus* L, *P. resinosa* MILL., *Acer saccharum* MARSCH., *Betula papyrifera* MARSCH., *Betula lutea* MICHX. a dalšími. Ze všech amerických dubů vystupuje *Q. rubra* nejvýš a nejseverněji, např. v Apalačských horách sahá až do

výšky 1600 m nm., proto se často označuje jako „borealis„. V severní části svého areálu vystupuje podstatně níže, do výšky maximálně 350 - 450 m nm.




**Obr. 2.1.1.**:Přirozené rozšíření dubu červeného Quercus rubra. Podle Fowellse (1965)

Je nejrozšířenějším a nejrychleji rostoucím dubem Kanady a jeho areál zaujímá 2/3 z celkové oblasti listnatých dřevin Severní Ameriky (Holubčík 1968).

**Vlastnosti a ekologické nároky**

Ve svém přirozeném areálu roste v klimaticky velmi odlišných podmínkách. Na jihu ho ovlivňuje tropické podnebí, na severovýchodě atlantické, na severu převládá chladné kontinentální klima.

Také edafické podmínky jeho stanovišť bývají velmi odlišné. Vyskytuje se na hnědých a šedohnědých podzolovaných půdách, ale i na mělkých skalnatých půdách Apalačského pohoří,

na nížinných a vlhkých stanovištích různých typů geologického podloží, i když přednost dává podkladům karbonátovým.

Na rozdíl od evropských dubů má tedy dub červený menší nároky na stanoviště. Nejlépe roste na hlubokých, jemných jílovitých půdách, hlinitých pískách a píscích s vyšším obsahem živin. Nesnáší pouze vysoce vystupující a stagnující vodu v půd-ním profilu (Holubčík 1968).

Dub červený roste lépe a rychleji než naše duby a proto je našimi lesníky oblíben, mimo jiné i proto, že netrpí houbovými chorobami a potlačuje „veškerou buřeň, hlavně trávu„ (Bouček 1958).

Do Evropy byl *Q. rubra* dovezen roku 1721. Jeho nástup do našich lesů byl poměrně rychlý (Bouček 1958). Do okolí Prahy se dostával postupně, v dnešní době je na území hl. m. Prahy nejvíce stromů stáří 35 - 45 let, pocházející z vlny výsadeb okolo roku 1960, najdou se zde však i stromy staré 80 let a více (LHK 1994 - 2003).

## 2.2. *Larix decidua* MILLER

**Rozšíření**

Modřín opadavý se původně vyskytuje jen v centrálních pásmech Alp a ve východních Sudetech, v Tatrách a v polských nížinných oblastech. U nás jeho původní areál zahrnuje území lesních oblastí Nízký Jeseník, Hrubý Jeseník, a předhoří Hrubého Jeseníku (Šindelář 1993),dále se původně vyskytuje v Českomo-ravské vrchovině na jih po Dyji, v severní části Beskyd, Drahanské vrchovině, Moravském krasu a v celých slovenských Karpatech (Dostál 1989). Na Ural, západní Sibiř až do severní Asie zasahuje jeho subsp. *sibirica* (Ledeb) Domin. Mapa původního areálu viz obrázek 2.2.1.

*Larix decidua* je lesnickou kultivací velice rozšířen a pěstován je téměř v celé Evropě.

**Vlastnosti a ekologické nároky**

Modřín opadavý roste ve svém přirozeném areálu ve společenstvech *Pinion mughi*, *Piceion excelsae*, *Fagion* a *Erico-Pinion*. Jeho domovem jsou tedy podhorské a horské světlé lesy subkontinentálního rázu (Dostál 1989). Je proto slunnou dřevinou a jeho semenáčky nejsou schopné snášet stín. Dále je odolný vůči zimním mrazům a velmi citlivý na sucho v létě (Kubíková 1999).

**Obr. 2.2.1.**: Mapa původního areálu modřínu opadavého (*Larix decidua*). Podle Krüssmanna (1978).

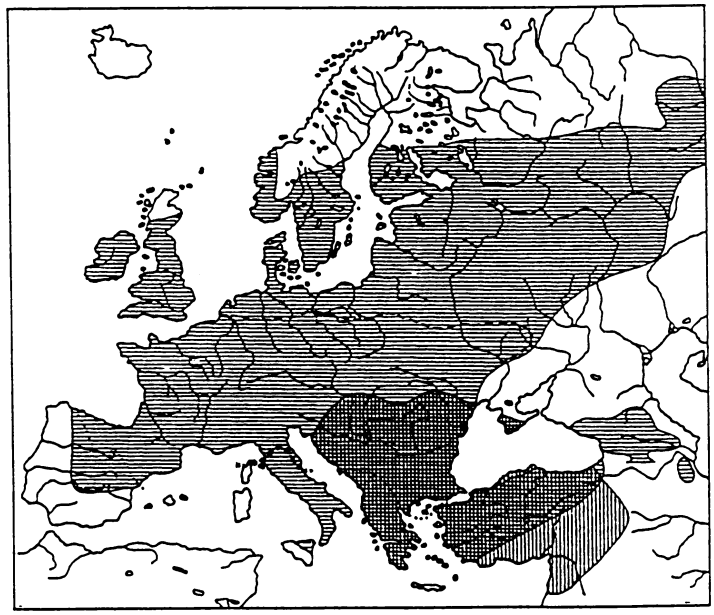
Podle lesnické praxe to není dřevina, která by měla specifické vyhraněné nároky na půdní poměry. V subkontinentálních podmínkách má modřín relativně vyšší konkurenční schopnost ve vztahu k ostatním dřevinám, s nimiž přichází v porostních směsicích do styku (buk, jedle, smrk), než je tomu v oblastech s klimatickými podmínkami spíše přímořského charakteru (Šindelář 1993).

## 2.3. *Tilia cordata* MILLER

**Rozšíření**

Lípa srdčitá je subatlantského euroasijského rozšíření, roste ve světlých smíšených dubohabrových lesích, lužních a svahových lesích planárního až submontánního stupně (*Tilio-Acerion, Carpinion, Quercion pubescenti-petraeae, Alno-Ulmion*). Její původní areál je zachycen na obrázku 2.3.1.

*Tilia cordata* je rozšířena téměř po celé Evropě a její areál sahá od středního Švédska a Finska až po severní Itálii a Bulharsko, na východ zasahuje až za Volhu (Mikula 1976).



**Obr. 2.3.1.**: Areál lípa srdčité *Tilia cordata* a lípy velkolisté *Tilia platyphyllos*, vodorovně šrafováno. Čárkovaně vyznačena severní hranice *T. platyphyllos*, tečkovaně jižní hranice *T. cordata*. Areál lípy stříbrné *Tilia argentea* vyznačena svislou šrafou. Podle Svobody, sec. Kubíková (1999).

**Vlastnosti a ekologické nároky**

Lípa srdčitá je stinná dřevina, snáší dobře stín v podrostu smíšených lesů a není příliš citlivá na zimní mrazy ani na sucho v létě.

Je poměrně málo náročná na podmínky stanoviště, roste na vlhkých i vysychavých půdách, zásaditých a humózních, kamenitých i hlinitých (Mikula 1976; Dostál 1989).

# 3. Studované území

## 3.1. Územní vymezení a přírodní poměry, výběr lokalit a půdní profily

Studované území pokrývají lesní kultury, které patří do katastrálního území Prahy 5 - Lochkov a Radotín. Nalézají se východně od hranice PR Chuchelský háj, na kterou navazují. Porost je tvořen mozaikovitě rozmístěnými čistými kulturami různých dřevin, které byly vysázeny v roce 1960 na místě původního pole.

Jedná se o lesní kultury v majetku hl. m. Prahy, obhospodařované institucí Lesy hl. m. Prahy a které podle lesních hospodářských map spadají do polesí Cibulka, oddělení 101, porost C, skupina 02.

Geomorfologicky spadá území do celku I.- Pražská plošina, podcelku I - 1.- Říčanská plošina, okrsku I -1a.- Třebotovská plošina (Rybár et al.1989).

Fytogeograficky patří do okresu Český kras, leží tedy v oblasti termofytika (Němec et al.1997).

Podle mapy potenciální přirozené vegetace ČR by byla na tomto území rozšířena společenstva svazu Carpinion (Neuhäuslová et al.1998).

Geologické podloží tvoří silurské vápence, na kterých leží vrstva würmských sprašových hlín a odvápněných spraší.

Území se nachází v nadmořské výšce asi 300 m.nm. v suboceánském klimatu. Průměrná roční teplota je zhruba 8,1°C (Kunratice) a roční úhrn srážek okolo 530 mm (Němec et al.1997).

Pro účely této práce bude toto studované území nazýváno „Chuchelský háj".

**Výběr lokalit:**

Konkrétní studované lokality jsou tvořeny čistými porosty *Quercus rubra*, *Larix decidua* a *Tilia cordata*. Výběr lokalit byl prováděn tak, aby byly stanovištní poměry srovnatelné, tj. aby měly víceméně stejný půdní profil, sklon a expozici. Proto byly vybrány porosty na rovném terénu (pouze porost s modřínem se nachází částečně na mírném svahu - asi 2°), pomocí půdních sond byly vytipovány porosty s podobným profilem a vápnitým C-horizontem (opuka).

Půdní profily

Pro zjištění vlastností půdního profilu pod jednotlivými dřevinami byla vykopána na každém stanovišti jedna půdní sonda. Cílem bylo zejména zjištění srovnatelnosti půdních podmínek u všech studovaných stanovišť.

Půdní horizonty jsou označeny podle klasifikace Mezinárodní půdoznalecké společnosti (1967) a forma humusu byla stanovena podle klasifikace Emmera (1998).

Zeměpisná poloha sond byla zaměřena přístrojem Garmin, využívající naváděcí systém GPS.

Popis sond

Sonda I. - *Quercus rubra*:

N 50°01 7,9

E 14°22 48,3

sonda 75 cm hluboká

- [O] - (7 - 10 cm) vrstva opadu.
- [Ah] - (0 - 1 cm) barva světle černošedá, místy s množstvím trusinek žížal. Forma humusu moder.
- [Ap] - (1 - 32 cm) barva světle okrová, hrudkově kulovitá, drobtovitá (3-5 mm) struktura, zrnitost hlinitá, slabě skeletovitá (10-20%), půda vlahá, neplastická,

soudržná až mírně ulehlá, pórovitost slabá, prokořenění střední (Q. rubra), mírné biologické oživení (žížaly), přechod k dalšímu horizontu zřetelný.

- [B] - (32 - 73 cm) barva tmavě okrově hnědá, struktura hrubě prismatická, hrubá (velké agregáty), zrnitost jílovitá, půda slabě skeletovitá, vlhká, plastická, prokořenění střední, bez biologického oživení, slehlá, přechod k dalšímu horizontu ostrý.
- [C] - (73 - 75 cm) barva světle okrová, štěrkovitá, silně slehlá (zvětralá opuka).

***Poznámka:*** *V jarních měsících byly svrchní vrstvy půdy silně oživené žížalami.*

Sonda II. - *Larix decidua*:

N 50°01 9,4

E 14°22 48,5

sonda 64 cm hluboká

- [O] - (9 - 10 cm) vrstva nerozloženého opadu.
- [Ah] - (0 - 2 cm) forma humusu mor.
- [Ap] - (2 - 27 cm)
- [B] - (27 - 62 cm)
- [C] - (> 62 cm) pískovcová opuka.

popis sondy stejný jako u sondy I.

Sonda III. - *Tilia cordata*:

N 50°01 10,4

E 14°22 59,6

sonda 49 cm hluboká

- [O] - (0 - 0,5 cm)
- [Ah] - (0,5 - 1,5 cm) trusinky žížal. Forma humusu moder.

- [Ap] - (1,5 - 24 cm) barva okrově hnědá, hrudkovitá, drobtovitá, hrubě písčitá, hlinitá až písčitá, vlahá, neplastická, prokořenění střední.
- [B] - (24 - 38 cm) barva světle hnědá, kamenitá, hrudkovitá, drobtovitá, vlahá, písčitá až hlinitá, prokořenění mírné, ne moc slehlá, přechod k dalšímu horizontu mírný.
- [B/C] - (38 - 45 cm)
- [C] - (>45 cm) opuka.

Chemické vlastnosti Ah horizontů jednotlivých studovaných porostů jsou uvedeny v kapitole 4.2.2.

## 3.2. Stav podrostu jednotlivých stanovišť a bioindikace druhy bylinného patra

**Úvod**

Podrost lesa má velký význam pro zhodnocení kvality stanoviště a jeho využitelnost rostlinami. Druhové složení, diverzita a pokryvnost bylinného a keřového patra je základní informace, potřebná pro pochopení fungování ekosystému lesa. Na základě rozboru těchto vlastností podrostu lze odhadovat klimatické poměry stanoviště, vlastnosti půdy a charakter vodního režimu, světelné podmínky lesa, ovlivnění živočichy či člověkem. Ellenberg (1979) považuje za nejdůležitější stanovištní podmínky tři klimatické faktory (světlo, teplota a kontinentalita) a tři půdní faktory (vlhkost, půdní reakce (pH) a množství dusíku).

Hodnocení rostlinných společenstev se většinou provádí pomocí snímkování, nejčastěji metodou curyšsko-montpelierské školy, kde jsou vedle druhové příslušnosti jednotlivých rostlin odhadnuty jejich pokryvnosti v daném společenstvu (Moravec et al. 1994). Potom lze hodnotit podmínky stanoviště na základě celé fytocenologické jednotky, která se tam nachází. Pokud je však snímkového materiálu málo, nebo nejsou společenstva vyhraněná, jako bývá u sukcesně nezralých stadií společenstev a společenstev narušovaných činností člověka (Pyšek 1996), je možné odhadovat podmínky stanoviště na základě rozboru reakcí jednotlivých druhů rostlin na podmínky prostředí.

Ke zhodnocení podmínek prostředí pomocí jednotlivých rostlinných druhů se používají indikační hodnoty těchto druhů, které byly stanoveny na základě dlouhodobého studia rostlin a neustálé revize získaných indikačních hodnot. U nás nejpoužívanější indikační hodnoty jsou hodnoty podle Ellenberga (1979), kde autor navrhl soubor indikačních hodnot pro

středoevropskou floru včetně dřevin. Tento soubor se sestává ze šestimístného kódu, kde každé číslo označuje pozici studovaného druhu na gradientu jednotlivých ekologických faktorů: L (světlo), T (teplota), K (kontinentalita), F (vlhkost), R (reakce půdy), N (vztah k zásobení dusíkem), sonst. (vztah k zasolení, nebo k těžkým kovům). Jednotlivé rostliny obdrží ke každému ekologickému faktoru číslo od 1 do 9 (12), kde nejnižší číslo označuje nejnižší hodnotu ekologického faktoru, nejvyšší číslo pak hodnotu nejvyšší, v případě kontinentality to znamená gradient od Atlantiku do vnitřní Eurasie. Dále zde Ellenberg uvádí pro jednotlivé druhy středoevropské flóry další charakteristiky jako životní forma, vytrvávání listů, anatomická stavba či sociologická příslušnost.

Pro fytocenologický snímek, fytocenologickou tabulku, či pro seznam druhů lze tudíž získat průměrné číslo, vyjadřující vztah k danému faktoru (Ellenberg 1979). Je možné uvažovat pouhou prezenci, nebo druhy vážit na základě kvantitativních charakteristik, např. tím, že se transformují semikvantitativní hodnoty ze snímku na číselnou stupnici. Na základě těchto hodnot můžeme vyjádřit, jaká je vazba společenstva na faktory prostředí, nebo srovnávat dvě či více společenstev z hlediska vztahu k těmto faktorům; je možné například statisticky testovat hypotézu, zda distribuce indikačních hodnot těchto společenstev jsou stejné či nikoliv (Pyšek 1996).

Zde je však nutná opatrnost při interpretaci výsledných indikačních hodnot, neboť použití analýzy vegetace pomocí indikačních hodnot je do jisté míry omezeno, a to zejména:

- Indikační hodnoty mohou mít proti naměřeným faktorům určité zpoždění, tuto okolnost je třeba vzít v úvahu zvláště u mladších sukcesních stádií, nebo společenstev narušovaných či jiným způsobem se rychle měnících stanovišť (Pyšek 1996).

- Dále je metoda omezená tím, že indikační hodnoty nejsou

schopny indikovat malé rozdíly, je tedy použitelná spíš na dostatečně strmém gradientu dotyčného faktoru a její přínos na méně strmém gradientu je spíše ilustrativní.

- Indikační hodnoty jsou tabelovány pro určitou oblast; mimo ni se druh může chovat odlišně.

- Průměrné indikační hodnoty jsou zatíženy chybou vyplývající z možnosti vzájemné interakce některých faktorů prostředí, např. půdní dusík a vlhkost půdy (Moravec 1983, sec. Klimeš 1987).

Použití indikačních hodnot je metoda, která nemůže vyčerpávajícím způsobem objasnit vztahy mezi vegetací a jejím prostředím, ani plně nahradit přímá měření v terénu. Nicméně při správném použití je užitečnou metodou, která umožňuje získat poměrně snadno značné množství dat a napomáhá pochopení vztahů a zákonitostí v přírodě (Klimeš 1987).

**Metodika**

Pro zhodnocení podrostu studovaných stanovišť bylo použito fytocenologických snímků curyšsko-montpelierské školy (Moravec et al. 1994).

Pro účely zhodnocení podmínek stanovišť jednotlivých studovaných dřevin byly použity některé indikační hodnoty podle Ellenberga (Ellenberg 1979), přičemž byly využity fytocenologické snímky jednotlivých studovaných stanovišť. V případě červeného dubu byl soubor snímků dále rozšířen o snímky z jiných stanovišť čistého porostu *Quercus rubra*, které však již nebyly ohodnoceny indikačními hodnotami, neboť jednotlivé porosty jsou velmi variabilní co do stáří a podmínek stanoviště, takže vypovídací hodnota těchto údajů by byla malá.

Indikační hodnoty byly určeny pouze pro keřové a bylinné patro jednotlivých stanovišť, neboť porosty dřevin jsou uměle vysázeny a jejich přítomnost tedy není odrazem ekologických

faktorů prostředí.

Při výpočtu byly semikvantitativní hodnoty odhadu pokryvnosti rostlinných druhů nahrazeny čísly (N), kterými se pak násobily jednotlivé indikační hodnoty (I). Náhradní použitá čísla byla:

| | |
|---|---|
| r | 1 |
| + | 2 |
| 1 | 3 |
| 2 | 4 |
| 3 | 5 |

Součet (N x I) byl vydělen součtem N, a tím byl získán vážený průměr indikační hodnoty pro každý ekologický faktor a druh porostu. Na závěr byly indikační hodnoty (každá indikační hodnota každého druhu rostliny byla ve statistickém souboru uvedena N krát) stanovišť jednotlivých dřevin na lokalitě „Chuchelský háj" porovnány mezi sebou pomocí Kruskal-Walisovým testem a pro zjištění, které porosty se odlišují byl použit Mann-Whitneyův test.

Druhové názvy rostlin jsou ujednoceny dle Dostála (1989).

Pro potřeby této práce zkrácený klíč k ekologickým indikačním hodnotám podle Ellenberga (1979):

x - znamená indiferentní vztah k určitému ekologickému faktoru, nebo rozdílné chování v různých částech střední Evropy.

? - znamená dosud nevyjasněné chování druhu.

**L (světlo)**

1 - rostliny hlubokého stínu, rostou ještě při 1% a zřídka při více než 30% relativního osvětlení uvnitř porostu

2 - mezi 1 a 3

3 - stinné rostliny, rostou většinou při méně než 5% relativního osvětlení, ale i na světlejších stanovištích

4 - mezi 3 a 5

5 - polostinné rostliny (více než 10% relativního osvětlení)

6 - mezi 5 a 7

7 - poloslunné rostliny, rostou při plném osvětlení, ale i ve stínu

8 - slunné rostliny (nejméně 40% relativního osvětlení)

9 - rostliny rostoucí na plném slunci, zřídka při relativním osvětlení menším než 50%

**T (teplota)**

1 - indikátor velmi chladných poloh, jen alpínská, nebo boreálně-arktická stanoviště

2 - mezi 1 a 3 (množství alpínských druhů)

3 - indikátor chladných poloh (supramontánní - subalpínské, nebo temperátně-boreální

4 - mezi 3 a 5 (horské druhy)

5 - indikátor středně teplých poloh (submontánní a temperátní)

6 - mezi 5 a 7

7 - indikátor teplých poloh (planární a kolinní stupeň)

8 - mezi 7 a 9 (s těžištěm v mediterránu)

9 - indikátor extrémně teplých poloh (mediterránní druhy zasahují do střední Evropy jen na nejteplejší stanoviště

**K (kontinentalita)**

1 - euoceánské rozšíření

2 - oceánské rozšíření (západní střední Evropa)

3 - mezi 2 a 4

4 - suboceánské rozšíření s těžištěm ve střední Evropě, zasahuje i na východ

5 - slabě suboceánské až slabě subkontinentální rozšíření

6 - subkontinentální rozšíření s těžištěm ve východní střední Evropě a na hranici východní Evropy

7 - mezi 6 a 8

8 - kontinentální rozšíření, do střední Evropy zasahují z východu zřídka

9 - eukontinentální rozšíření, ve střední Evropě chybí

**F (vlhkost)**

1 - ukazatel silně vysychavých půd

2 - mezi 1 a 3

3 - xerofyt, chybí na mokrých půdách

4 - mezi 3 a 5

5 - ukazatel středně vlhkých půd půd, na mokrých a vysychavých půdách chybí

6 - mezi 5 a 7

7 - ukazatel vlhkých půd, ale provzdušněných, nezamokřených

8 - mezi 7 a 9

9 - ukazatel zamokřených, špatně provzdušněných půd

10 - 12 - vodní rostliny

**R (půdní reakce)**

1 - indikátor silně kyselých půd, neroste na slabě kyselých a zásaditých půdách

2 - mezi 1 a 3

3 - indikátor kyselých půd (acidofyt), těžiště na kyselých půdách, ale roste ještě na neutrálních půdách

4 - mezi 3 a 5

5 - slabý acidofyt, na silně kyselých a bazických půdách zřídka

6 - mezi 5 a 7
7 - slabý acidofyt až slabý bazidofyt, nikdy na silně kyselých půdách
8 - mezi 7 a 9, vetšinou na bazických půdách
9 - bazidofyt a kalcifyt, roste pouze na vápnitých půdách

**N (vztah k dusíku)**
1 - ukazatel dusíkem nejchudších stanovišť
2 - mezi 1 a 3
3 - hojnější na dusíkem chudých stanovištích než na středně až bohatě zásobených
4 - mezi 3 a 5
5 - ukazatel stanovišť středně zásobených dusíkem, řidčeji na chudých či bohatých stanovištích
6 - mezi 5 a 7
7 - hojnější na stanovištích bohatých dusíkem než na chudých, nebo středně zásobených
8 - výrazný ukazatel dusíkem bohatých stanovišť
9 - na dusíkem přesycených stanovištích

sonst. (vztah k zasolení a rezistence vůči těžkým kovům)
- - nesnáší zasolení
I - snáší zasolení, ale na stanovištích chudých na soli hojnější než na slaných
II - fakultativní halofyt
III - obligátní halofyt
b - rostlina mírně rezistentní vůči těžkým kovům
B - rostlina výrazně rezistentní vůči těžkým kovům

**Leb (životní forma)**
P - fanerofyt
N - nanofanerofyt
Z - dřevnatějící chamaefyt
C - bylinný chamaefyt
H - hemikryptofyt
G - geofyt
T - terofyt
A - hydrofyt
ep - epifyt
li - liána
hp - poloparazit
vp - obligátní parazit
s - saprofyt

**Výsledky**

Fytocenologické snímky porostů s lokalizací jsou uvedeny v tabulce 3.2.1. Snímky z lokality „Chuchelský háj" spolu s indikačními hodnotami podle Ellenberga (1979) pak ve zkrácené tabulce 3.2.2.

Při zhodnocení stanovišť jednotlivých monokultur studovaných dřevin na lokalitě „Chuchelský háj" nejsou patrné rozdíly v počtu druhů - u porostu červeného dubu 15 druhů, u modřínu 14 druhů a pod lípou 10 druhů rostlin keřového a bylinného patra. Rozdíly však jsou v pokryvnosti, pokryvnost podrostu v porostu dubu červeného je celkově 50%, u lípy 30% , zatímco pod modřínem je pokryvnost asi 120% (jednotlivá patra se mohou překrývat).

Vzhledem k poměrně malé ploše porostů nelze vegetaci příliš podrobně hodnotit, jedná se většinou o druhy hojně rozšířené.

Na všech stanovištích byla zaznamenána přítomnost nitrofilních druhů, indikační hodnotu 9 (indikátor dusíkem přesycených stanovišť), měl pouze *Sambucus nigra*, vyskytující se na stanovišti modřínu, druhy s indikační hodnotou 8 byly nalezeny tři - *Urtica dioica, Stellaria media* a *Galium aparine*, které se také vyskytovaly převážně na stanovišti modřínu. Druhy hojnější na stanovištích bohatých dusíkem (indikační hodnota 7) byly nalezeny tyto: *Geranium robertianum, Geum urbanum, Taraxacum officinale, Scrophularia nodosa, Moehringia trinervia, Galeopsis tetrahit*. Jediným druhem, který se vyskytuje spíše na dusíkem chudých půdách a který byl na stanovištích studovaných monokultur nalezen byla *Poa nemoralis* (indikační hodnota 3).

Lesních druhů je poměrně málo, byl nalezen charakteristický druh třídy Querco-Fagetea - *Poa nemoralis*, dále dva charakteristické druhy pro řád *Fagetalia* -

**Tab. 3.2.1.**: Soubor fytocenologických snímků z čistých porostů modřínu opadavého (1), lípy srdčité (2) a dubu červeného (3 - 11) z území Hl. m. Prahy. Stav v roce 1999.

| číslo snímku | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| datum | 4.6. | 4.6. | 4.6. | 6.6. | 13.6. | 21.6. | 23.6. | 23.6. | 16.7. | 20.8. | 7.8. |
| **E3** | 50% | 80% | 60% | 60% | 70% | 80% | 40% | 70% | 60% | 70% | 60% |
| *Quercus rubra* | | | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 |
| *Acer platanoides* | | | + | | | | | | | | |
| *Larix decidua* | 3 | | | | | | | | | | |
| *Tilia cordata* | | 4 | | | | | | | | | + |
| *Quercus robur* | | | | | | | + | | | | |
| *Quercus petraea* | | | | | | | | 1 | | | |
| *Fagus sylvatica* | | | | | | | | | 1 | | |
| *Pinus strobus* | | | | | | | | | + | | |
| **E2** | 30% | 10% | 20% | 30% | | 40% | 30% | 25% | | | 10% |
| *Acer platanoides* | | | 1 | | | 2 | | | | | |
| *Rosa sp.* | | | + | | | | + | + | | | |
| *Rubus sp.* | 2 | 1 | + | + | | | | | | | |
| *Sambucus nigra* | 2 | | | | | 1 | | + | | | + |
| *Tilia cordata* | + | | | | | | | | | | 1 |
| *Grossularia uva-crispa* | | | | 2 | | | | | | | |
| *Quercus rubra* | | | | | | + | 2 | 2 | | | |
| *Swida sanguinea* | | | | | | | r | | | | |
| *Crategus sp.* | | | | | | | r | | | | |
| *Juglands regia* | | | | | | | | | | | + |
| **E1** | 80% | 20% | 30% | 80% | 10% | 40% | 10% | 90% | 10% | 30% | 50% |
| *Quercus rubra* | | | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 1 | 3 | 3 |
| *Poa nemoralis* | + | + | 1 | + | | r | r | | r | | |
| *Acer platanoides* | | + | + | | | 1 | | | | | |
| *Galium aparine* | 2 | + | + | 4 | | | | 4 | | | |
| *Geum urbanum* | 1 | 1 | + | 1 | | | + | 1 | | | + |
| *Taraxacum officinale* | r | r | + | | | | + | | | | |
| *Impatiens parviflora* | 3 | + | + | r | | 1 | | | + | | |
| *Scrophularia nodosa* | | | + | | | | | | | | |
| *Dactylis polygama* | | | r | | | | + | | | | |
| *Hieracium murorum* | | | r | | | | | | | | |
| *Geranium robertianum* | | | r | | | | | | | | |
| *Tilia cordata* | | 1 | r | | | | | | | | 1 |
| *Carpinus betulus* | | | r | | | | | | | | |
| *Urtica dioica* | + | | | | | | | | | | |
| *Galeopsis tetrahit* | + | | | | | | | | | | |
| *Galeopsis pubescens* | + | | | | | | | | | | |
| *Hypericum perforatum* | + | | | | | | | | | | |
| *Stellaria media* | + | | | + | | | | | | | |
| *Moehringia trinervia* | + | | | + | r | | r | | | | |
| *Acer pseudoplatanus* | | r | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Veronica chamaedrys* | | r | | + | | | | | | | |
| *Fragaria vesca* | | | | r | | | | | | | |
| *Rubus sp.* | | | | | r | | | | | | r |
| *Luzula luzuloides* | | | | | r | | | | | + | |
| *Calamagrostis arundinacea* | | | | | | | + | | | + | |
| *Arrhenatherum elatius* | | | | | | | r | | | | |
| *Campanula rapunculoides* | | | | | | | r | | | | |
| *Prunus spinosa* | | | | | | | r | | | | |
| *Acer campestre* | | | | | | | r | | | | 1 |
| *Quercus petraea* | | | | | | | | r | | | |
| *Arctium lappa* | | | | | | | | r | | | |
| *Fagus sylvatica* | | | | | | | | | r | | |
| *Sambucus nigra* | | | | | | | | | | | + |
| *Juglands regia* | | | | | | | | | | | + |
| *Fraxinus excelsior* | | | | | | | | | | | r |
| *Epilobium collinum* | | | | | | | | | | | r |
| *Avenella flexuosa* | | | | | | | | | | r | |
| E0 | 10% | | | | | | | | | | |
| *Atrichum undulatum* | 1 | | | | | | | | | | |

Lokalizace uvedených snímků:

1 - „Chuchelský háj„

2 - „Chuchelský háj„

3 - „Chuchelský háj„

4 - Praha 15, lesopark nad Hostivařskou přehradou, po levé straně asi 100 m od vstupu do lesoparku ulicí U přehrady.

5 - Praha 6 - Divoká Šárka, Purkrabský háj.

6 - Praha 5, park Kesnerka

7 - Praha 8 , mezi ulicí Prosecká a stráni nad železniční tratí, snímek na rovině nad tratí.

8 - Praha 8 , mezi ulicí Prosecká a stráni nad železniční tratí, snímek nad ulicí Prosecká.

9 - Praha 4 - Michelský les, od stanice metra Roztyly po žluté, za hájovnou ještě asi 300 m.

10 - Kerský les, okres Nymburk

11 - Praha 5 - U Waltrovky, porost východně od železniční tratě.

**Tab. 3.2.2.**: Zkrácená tabulka fytocenologických snímků studovaných porostů v lokalitě „Chuchelský háj„ s přiřazenými indikačními hodnotami podle Ellenberga (1979).

| číslo snímku | 1 | 2 | 3 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| datum | 4.6. | 4.6. | 4.6. | světlo | teplot. | konti. | vlhko | pH | dusík | živ.for |
| | mod | lípa | dub | L | T | K | F | | N | leb |
| **E2** | | | | | | | | | | |
| *Acer platanoides* | | | 1 | 4 | 6 | 4 | | | | P |
| *Rosa sp.* | | | + | | | | | | | N |
| *Rubus sp.* | 2 | 1 | + | | | | | | | N |
| *Sambucus nigra* | 2 | | | 7 | 5 | 3 | 5 | | 9 | N |
| *Tilia cordata* | + | | | 5 | 5 | 4 | | | 5 | P |
| **E1** | | | | | | | | | | |
| *Quercus rubra* | | | 2 | | | | | | | P |
| *Poa nemoralis* | + | + | 1 | 5 | | 5 | 5 | 5 | 3 | H |
| *Acer platanoides* | | + | + | 4 | 6 | 4 | | | | P |
| *Galium aparine* | 2 | + | + | 7 | 5 | 3 | | 6 | 8 | Tli |
| *Geum urbanum* | 1 | 1 | + | 4 | 5 | 5 | 5 | | 7 | H |
| *Taraxacum officinale* | r | r | + | 7 | | | 5 | | 7 | H |
| *Impatiens parviflora* | 3 | + | + | 4 | 6 | 5 | 5 | | 6 | Tli |
| *Scrophularia nodosa* | | | + | 4 | 5 | 3 | 6 | 6 | 7 | H |
| *Dactylis polygama* | | | r | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | H |
| *Hieracium murorum* | | | r | 4 | | 3 | 5 | 5 | 4 | H |
| *Geranium robertianum* | | | r | 4 | | 3 | | | 7 | T,H |
| *Tilia cordata* | | 1 | r | 5 | 5 | 4 | | | 5 | P |
| *Carpinus betulus* | | | r | 4 | 6 | 4 | | | | P |
| *Urtica dioica* | + | | | | | | 6 | 6 | 8 | H |
| *Galeopsis tetrahit* | + | | | 7 | | 3 | 5 | | 7 | T |
| *Galeopsis pubescens* | + | | | 7 | 5 | 4 | 4 | | 5 | T |
| *Hypericum perforatum* | + | | | 7 | | 5 | 4 | | | H |
| *Stellaria media* | + | | | 6 | | | 4 | 7 | 8 | T |
| *Moehringia trinervia* | + | | | 4 | 5 | 3 | 5 | 6 | 7 | H,T |
| *Acer pseudoplatanus* | | r | | 4 | | 4 | 6 | | 7 | P |
| *Veronica chamaedrys* | | r | | 6 | | 3 | 4 | | | C |

*Scrophularia nodosa* a *Moehringia trinervia*, z dalších lesních druhů *Hieratium murorum*.

V porostu modřínu opadavého byl zaznamenán výskyt neofytu *Impatiens parviflora*.

Srovnáme-li jednotlivé porosty, je zajímavý vyšší podíl nitrofilních a světlomilnějších (*Galium aparine, Galeopsis pubescens, G. tetrahit, Hypericum perforatum*) druhů na stanovišti modřínu a vyšší pokryvnost lipnice hajní (*Poa nemoralis*)na stanovišti červeného dubu.

Při zhodnocení fytocenologických snímků všech porostů červeného dubu (snímky 3 - 11) lze říci, že podrost má dvojí charakter. Buď v podrostu převládá ve velké pokryvnosti *Galium aparine* a ostatní druhy jsou zastoupeny chudě (*Geum urbanum*, semenáče *Tilia cordata*, *Poa nemoralis*) nebo je vegetace celkově chudá, v podrostu jsou ve větší míře zastoupeny pouze semenáče *Quercus rubra*. Druhově bohatší je lokalita snímku č. 7, kde se uplatňují některé teplomilné prvky. Neochota některých bylinných druhů pronikat do porostů *Quercus rubra* se projevila například v okolí lokality snímku č. 5 a 6, kde v obou případech sousedí porost červeného dubu s porostem dubu letního (*Quercus robur*). V prvním případě byl porost s letním dubem porostlý netýkavkou *Impatiens parviflora* s pokryvností téměř 5, ve druhém případě dominovala v podrostu tohoto dubu Poa nemoralis s po-kryvností 4. V obou případech byl přechod do porostů červeného dubu velmi ostrý, byliny sledovaly okraj s velkou přesností a do červeného dubu nepronikaly.

Zhodnocení stanovišť pomocí indikačních hodnot ukázalo na 5% hladině významnosti, že jednotlivé porosty jsou signifikantně rozdílné co do indikace na světlo (L) a půdní reakci (R), v obou případech se odlišoval porost modřínu od ostatních dvou porostů, které se od sebe signifikantně neliší ani v jednom z ekologických faktorů. Výsledné hodnoty vážených

průměrů a mediánů indikačních hodnot pro všechny studované porosty a vybrané ekologické faktory udává tabulka 3.2.3.

| ekol. faktory | L | | T | | K | | F | | R | | N | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| porost | vp | med | vp | med | vp | med | vp | med | vp | med | vp | med |
| *Quercus rubra* | **4,7 a** | **4** | 5,5 | 6 | 4,0 | 4 | 5,1 | 5 | **5,4 a** | **5** | 5,8 | 7 |
| *Larix decidua* | **5,7 b** | **6** | 5,2 | 5 | 4 | 4 | 4,8 | 5 | **6 b** | **6** | 6,8 | 7 |
| *Tilia cordata* | **4,9 a** | **4,5** | 5,3 | 5 | 4,2 | 4 | 5 | 5 | **5,5 a** | **5** | 6 | 6,5 |

**Tab. 3.2.3.**: Hodnoty vážených průměrů (vp) a mediánů (med) zjištěných indikačních hodnot rostlin keřového a bylinného patra jednotlivých studovaných porostů červeného dubu, modřínu opadavého a lípy srdčité na lokalitě „Chuchelský háj". Tučně jsou znázorněny ekologické faktory signifikantně rozdílné mezi porosty (Kruskal-Walisův test), stejnými písmeny jsou označeny porosty, které se signifikantně neliší (Mann-Whitneyův test).

Podle analýzy Ellenbergovými indikačními hodnotami odpovídá keřové a bylinné patro studovaných porostů přibližně těmto ekologickým charakteristikám:

| | *Quercus rubra* | *Larix decidua* | *Tilia cordata* |
|---|---|---|---|
| L | stinné - polostinné | polostinné - poloslunné | stinné - polostinné |
| T | stř. teplé - teplé polohy | stř. teplé polohy | stř. teplé polohy |
| K | suboceánské rozšíření | suboceánské rozšíření | suboceánské rozšíření |
| F | mezofyty | mezofyty | mezofyty |
| R | slabé acidofyty | slabé acidofyty. - slabé. bazifyty. | slabé acidofyty |
| N | hojněji na bohatších. půdách | hojněji na bohatších. půdách | hojněji na bohatších. půdách |

**Tab 3.2.4.**: Ekologické charakteristiky keřového a bylinného patra studovaných porostů získané analýzou indikačních hodnot podle Ellenberga (1979).

**Diskuse**

Vysoká přítomnost nitrofilních druhů na studované lokalitě je zřejmě důsledkem toho, že se lokalita nachází v místě bývalého pole, jež bylo zemědělským využíváním obohacováno o minerální živiny a samozřejmě také o dusík, jehož zbytky se v půdě zachovaly i do dnešní doby. Na tyto specifické stanovištní podmínky reagují nitrofilní rostliny, jež se na lokalitě udržují.

Při zhodnocení jednotlivých stanovišť studovaných dřevin pomocí rozboru fytocenologických snímků a i posléze pomocí indikačních hodnot bylo zjištěno, že porost *Larix decidua* se pravděpodobně odlišuje od ostatních dvou porostů vyšším přísunem světla, což vyplývá z vlastního charakteru koruny modřínu, která je oproti koruně lípy slunná (Kubíková 1999). Jelikož se porost *Q. rubra* podle indikačních hodnot podrostu pro reakci na světlo signifikantně neliší od porostu lípy, můžeme usuzovat, že i jeho koruna bude stinnější. Je však třeba brát v úvahu, že studované porosty nejsou sukcesně zralé a během dalšího růstu může dojít ke změně světelných podmínek.

Zjištění, že podle rozboru indikačních hodnot se signifikantně liší porost modřínu směrem k bazičtějším půdám, je překvapivé, neboť je známo (Lhotský 1973; Němeček et al. 1990; McClaugherty et Berg 1987 aj.), že pod jehličnatými dřevinami bývá půda spíše kyselejší, nižšího pH, než je tomu pod dřevinami širokolistými. Také při přímém měření půdního pH (kapitola 3.2.) nebyly na 5%ní hladině významnosti zjištěny signifikantní rozdíly v hodnotách pH mezi studovanými porosty. Nicméně např. Kuiters (1987) udává pro modřínovou půdu pH až 6,1. Možná tedy, že se na tomto stanovišti projevuje větší vliv bazického podloží, nebo se zde projevuje příznivý vliv vyššího přísunu slunečního záření, které vede k celkově vyšší pokryvnosti rostlin. Kromě toho je soubor indikačních hodnot

pro půdní reakci (R) vzhledem k poměrně malému počtu druhů rostlin a k neznámým indikačním hodnotám pro mnohé přítomné druhy dost malý (tabulka 3.2.2.), takže výsledná chyba odhadu může být velká. Porost červeného dubu a lípy se z hlediska analýzy indikačních hodnot pro půdní reakci navzájem signifikantně neliší.

Analýza ostatních ekologických faktorů neprokázala na 5%ní hladině významnosti signifikantní rozdíly mezi stanovišti, jejich podrosty tedy vykazují vlastnosti lesních mezofilních, spíše nitrofilních rostlin středně teplých poloh, a suboceánského rozšíření.

**Závěr**

Přímým pozorováním podrostu stanovišť monokultur vybraných druhů dřevin byla zjištěna na všech stanovištích vysoká přítomnost nitrofilních druhů rostlin(*Sambucus nigra, Galium aparine, Urtica dioica, Stellaria media, Geum urbanum, Taraxacum officinale, Scrophularia nodosa, Geranium robertianum,Galeopsis tetrahit, Moehringia trinervia*), které se vyskytovaly převážně na stanovišti monokultury *Larix decidua*. Lesních druhů bylo nalezeno málo, Poa nemoralis jako charakteristický druh třídy *Querco-Fagetea, Scrophularia nodosa a Moehringia trinervia* jako charakteristické druhy řádu *Fagetalia*.

Posouzení podrostu jednotlivých studovaných stanovišť studovaných dřevin pomocí analýzy indikačních hodnot podle Ellenberga (1979) prokázalo, že porost modřínu opadavého se liší od ostatních dvou porostů vyšším podílem světlomilnějších druhů keřového a bylinného patra, což je pravděpodobně dáno slunnou architekturou jeho koruny a tím vyšším přísunem slunečního záření do porostu. Podrost na stanovišti modřínu vykazuje znaky polostinných až poloslunných stanovišť, zatímco

podrost na stanovištích červeného dubu a lípy srdčité je spíše charakteru stinných až polostinných stanovišť.

Další signifikantní rozdíly byly zjištěny pro půdní reakci (pH), kdy porost modřínu vykazoval znaky slabě acidofilních až slabě bazifilních rostlin, ostatní dvě stanoviště se odlišovala od modřínu tendencí k acidofilnějšímu charakteru. Vzhledem k malému souboru indikačních hodnot pro půdní reakci (u mnohých druhů nebyla uvedena), je však výsledek méně přesvědčivý. Příčinou může být vyšší vliv matečné horniny (písčitá opuka), nebo celkově příznivý vliv zvýšeného přísunu světla v porostu modřínu, který má za následek vyšší pokryvnost rostlin keřového a bylinného patra.

Analýza ostatních ekologických faktorů pomocí indikačních hodnot neprokázala signifikantní rozdíly mezi jednotlivými studovanými plochami, podrost všech stanovišť vykazuje vlastnosti lesních mezofilních, spíše nitrofilních rostlin středně teplých poloh, a suboceánského rozšíření.

Je však možné, že v těchto poměrně mladých porostech se během dalšího růstu a vývoje světelné a další poměry změní, nelze tedy současný stav považovat za konečný.

# 4. Produkce opadu a dekompozice opadu a celulózy

## 4.1. Produkce listového opadu

**Úvod**

Rostlinný opad je základním energetickým zdrojem pro detritový potravní řetězec, jímž se navrací živiny a energie uložené v živých pletivech zpět do koloběhu v ekosystému. Množství a kvalita opadu má zásadní vliv nejen na rychlost jeho dekompozice (viz dále), ale i na kvalitu půdy, její mikroklima a na podmínky pro klíčení a růst rostlin (Sydes et Grime 1981).

Spad opadu je v průběhu roku rozložen podle klimatických zón a zatímco v tropickém pásmu je spad víceméně rovnoměrný během celého roku, na stanovištích v chladnější temperátní zóně je soustředěn s maximální intenzitou do krátkého podzimního období, obvykle s vrcholem v říjnu nebo listopadu. Například ve smíšeném dubovém lese s *Q. ellipsoidalis* a *Q. alba* v Minnesotě, USA, (Reiners et Reiners 1970, sec. Jensen 1974), spadne 20% opadu v září, 50% v říjnu, 9% v pěti zimních měsících a 21% (zvl. květy a pupenné šupiny) v dubnu až srpnu. Jiným příkladem je starý dubový les v Dánsku, kde 82 - 88% listového opadu spadne v říjnu a listopadu. Šupiny pupenů a květy padají většinou v květnu a červnu a plody v září a říjnu; odumřelé ratolesti a větve padají víceméně rovnoměrně během celého roku (Jensen 1974).

Opad dřevin je tedy v temperátním pásmu tvořen asi ze 70% listy, zbytek tvoří větvičky, plody, květy, pupeny a další součásti rostlinného těla (Lang 1974). Podle Towpasze (1976) však listy tvoří ve společenstvu *Fagetum sylvaticae* v záp.

Karpatech až 80% celkového opadu a ve společenstvu *Tilio-Carpinetum* dokonce 91%.

Příklady ročního množství opadu některých druhů dřevin v různých klimatických zónách udává tabulka 4.1.1.:

| porost, dominantní dřevina | lokalita | listový opad (t/ha) | celkový opad (t/ha) | reference |
|---|---|---|---|---|
| **chladné temper. pásmo** | | | | |
| *Acer saccharum* Marsh. | Quebec, Kanad | 2,17 - 3,62 | | Maldague 1967 |
| *Alnus rubra* Bong. | Oregon, USA | 3,64 - 6,39 | 4,49 - 9,9 | Zavitkovski et Newton 1971 |
| *Betula populifolia* Marsh. | vých. Kanada | 1,03 - 2,1 | | Coldwell et DeLong 1950 |
| *Betula* spp. | záp. Karpaty | 3,8 | | Towpasz 1976 |
| *Fagus grandifolia* Ehrh. | záp. Karpaty | 3,4 | | Towpasz 1976 |
| *Fagus sylvatica* | Finsko | 0,94 - 1,27 | 1,5 - 1,8 | Viro 1955 |
| *Fagus sylvatica* | N. Jersey, USA | | 6,5 | Lang 1974 |
| *Populus* spp. | Missouri, USA | 3,49 | | Rochow 1974 |
| *Populus* spp. | Minessota,USA | 3,5 | | Ovington et al. 1963 |
| *Quercus alba, Q. rubra* | vých. Kanada | 1,69 - 2,1 | | Coldwell et DeLong 1950 |
| *Quercus alba, Q. rubra* | jižní Švédsko | 3,57 | 5,7 | Nihlgard 1972 |
| *Quercus petraea* | vých. Kanada | 1 - 2,04 | | Coldwell et DeLong 1950 |
| *Quercus robur* | Voroněž, SSSR | | 4,6 - 6 | Sviridova 1961 |
| *Quercus rubra* | Anglie | 2,13 | 3,86 | Carlisle et al. 1966a |
| *Tilio - Carpinetum* | jižní Švédsko | 3,26 | 5,28 | Andersson 1970 |
| smíšený listnatý les | New York, USA | 2,72 - 3,38 | | Chandler 1941 |
| **teplé temperátní pásmo** | | | | |
| *Eucalyptus regnans* | Australie | 3,6 - 4,12 | 6,9 - 8,1 | Bray et Gorham 1964 |
| *Eucalyptus diversicolor* | záp. Australie | 2,7 - 2,8 | 5,7 - 6 | Stoate 1958 |
| *Nothofagus truncata* | Nový Zéland | 2,14 - 6,91 | 3,27 - 8,9 | Miller et Hurst 1957 |
| *Quercus ilex* | jižní Francie | 2,45 - 2,72 | 3,84 - 7 | Rapp 1969b |
| *Quercus coccifera* | jižní Francie | 1,41 - 1,58 | 2,28 - 2,6 | Rapp 1969b |
| stálezelený smíš. porost | Japonsko | 6,88 | 9,25 | Kiazawa 1967 |
| **tropické pásmo** | | | | |
| *Gironniera subequalis* | jihových. Čína | | 5,8 | Rodin et Bazilevich 1967 |
| tropický deštný les | Nigerie | 3,7 | 5,6 | Madge 1969 |
| tropický deštný les | Ghana | 7 | 10,5 | Nye 1961 |
| tropický deštný les | Kongo | | 12,3 - 15,3 | Laudelot and Meyer 1954 |
| tropický deštný les | Kolumbie | | 8,5 - 10,1 | Jenny et al. 1949 |
| tropický deštný les | Malajsie | | 5,5 - 14,8 | Bray et Gorham 1964 |
| tropický deštný les | Thajsko | 11,9 | 23,3 | Kira et Shidei 1967 |
| horský deštný les | Jamajka | 5,5 - 6,6 | 4,4 - 5,5 | Tanner 1981 |

**Tab 4.1.1.**: Příklady ročního množství opadu v porostech dřevin v různých klimatických pásmech (v t/ha). Upraveno podle Jensena (1974) a dalších autorů.

Z tabulky 4.1.1. vyplývá, že produkce opadu je spjata s produktivitou stanoviště (Olson 1963), což dokládají i jiní

autoři (Bray et Gorham 1964, sec. Jensen 1974), kteří se zabývali vlivem klimatu na produktivitu stanoviště a celkovou produkci opadu na příkladu hlavních klimatických zón.

Věk stromů je významný pro velikost produkce opadu pouze v mladších věkových stadiích. Zde se množství opadu zvyšuje se zvyšujícím se věkem stromů, dokud se neuzavře zápoj, poté má roční množství opadu tendenci zůstávat takřka konstantní (Bray et Gorham 1964, sec.Jensen 1974).

Celkové množství opadu je závislé na druhovém složení porostu, jeho vertikální struktuře a architektuře korun (Sklenář 1994), dále na hustotě zakmenění, stavu a zdraví porostu.

Mezi produkcí opadu a jeho úbytkem vlivem procesu dekompozice, konzumace živočichy a odnosu větrem je vzájemný vztah, jehož výsledkem bývá v sušších a chladnějších biotopech hromadění opadu na povrchu půdy. Množství nerozložené organické hmoty v porovnání s ročním vstupem opadu do ekosystému vyjadřuje rychlost úbytku opadu, tedy přibližně míru jeho dekompozice. Tento vztah se využívá v řadě dekompozičních modelů (Jeny 1949 sec. Úlehlová 1989; Olson 1963 aj.):

- Jeny (1949) sec. Úlehlová (1989) charakterizoval rychlost rozkladu parametrem **k´**, který popisuje, jaký podíl z celkového množství opadu, ležícího na povrchu půdy, tvoří nejčerstvější (nejmladší) vrstva. Parametr **k´** pak vychází z rovnice:

$$k' = \frac{A}{Fe+A}$$

kde: A je roční produkce opadu

Fe je množství opadu, ležícího na povrchu půdy právě před začátkem padání nových listů.

k´ je dekompoziční konstanta podle Jennyho (1949).

- Olson (1963) svůj model založil na poznání, že od počátku výsadby (uchycení) porostu se začíná v závislosti na produkci opadu a rychlosti jeho úbytku hromadit na povrchu půdy opad, výška nerozloženého opadu pak se stářím porostu stoupá až do ustavení dynamické rovnováhy (viz Obr. 4.1.1.).

  Nachází-li se porost ve stadiu této dynamické rovnováhy, je možné na něj aplikovat model, popisující tuto rovnováhu a získat dekompoziční konstantu **k** , kterou lze vypočíst ze vztahu:

$$X/X_0 = e^{-kt}$$

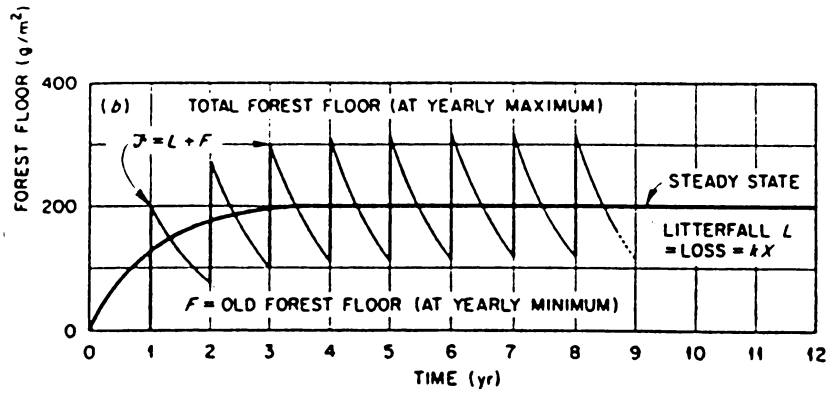
kde: X je nejnižší hmotnost opadu na povrchu půdy před opadem listů

$X_0$ je počáteční hmotnost opadu

e je přirozený logaritmus

t je čas, vyjádřený v rocích

k je dekompoziční konstanta podle Olsona (1963)




**Obr. 4.1.1.**: Křivka vyjadřující akumulaci opadu v podmínkách jeho konstantního přísunu a úbytku ve srovnání s křivkou s pilovitým průběhem v ideálním ekosystému opadavého lesa. Podle Olsona (1963).

Po dosazení hodnot získáme konstantu k ze vzorce:

$$k = \frac{\ln(X_0/X)}{t}$$

Z dekompoziční konstanty **k** je pak možné odvodit celou řadu indexů, z nichž nejpoužívanější jsou: $T_{(0,5)}$, $T_{(0,95)}$ a $T_{(0,99)}$, vyjadřující dobu potřebnou k rozložení 50%, 95% a 99% opadu. Příklady dekompozičních konstant pro některé porosty dřevin udává tabulka 4.1.2.

| druh dřeviny | lokalita | k | $T_{(0,5)}$ | reference |
|---|---|---|---|---|
| *Castanea sativa* | Blean Woods, | 0,406 - 0,623 | 1,1 - 1,7 | Anderson 1973 |
| *Fagus sylvatica* | Anglie | 0,218 - 0,327 | 2,1 - 3,2 | Anderson 1973 |
| | | | | |
| *Fagus sylvatica* | Fontainebleau | 0,52 - 0,23 | 13, - 3 | Lemée et Bichaut 1973 |
| *Quercus petraea* | | 0,533 | 1,3 | Lemée et Bichaut 1973 |
| *Carpinus betulus* | | 0,91 | 0,8 | Lemée et Bichaut 1973 |
| | | | | |
| *Betula papyrifera* | Aljaška | 0,456 | 1,5 | van Cleve 1971 |
| *Populus tremuloides* | | 0,389 | 1,8 | van Cleve 1971 |
| | | | | |
| *Acer saccharum* | Hubbard Brook, | 0,51 | 1,4 | Gosz et al. 1973 |
| *Fagus grandifolia* | New Hampshire | 0,37 | 0,9 | Gosz et al. 1973 |
| *Betula allegheniensis* | | 0,85 | 0,8 | Gosz et al. 1973 |
| | | | | |
| *Liriodendron tulipifera* | Oak Ridge | 0,852 | 0,8 | Ausmus et Witkamp 1974 |
| *Fraxinus pennsylvanica* | Tennessee | 0,768 | 0,9 | Ausmus et Witkamp 1974 |
| *Carya tomentosa* | | 0,788 | 0,88 | Ausmus et Witkamp 1974 |
| *Quercus ssp.* | | 0,707 | 0,98 | Ausmus et Witkamp 1974 |
| *Acer rubrum* | | 0,883 | 0,78 | Ausmus et Witkamp 1974 |
| *Cornus florida* | | 1,152 | 0,6 | Ausmus et Witkamp 1974 |
| | | | | |
| *Populus tremuloides* | Kansaska | 0,113 - 0,486 | 1,4 - 6,3 | Lousier et Parkinson 1976 |
| *Populus balsamifera* | | 0,121 - 0,485 | 1,5 - 6,1 | Lousier et Parkinson 1976 |

**Tab. 4.1.2.:** Příklady některých dekompozičních konstant pro rozklad listového opadu v různých typech lesních ekosystémů (podle Lousiera a Parkinsona 1976).

Cílem této části práce bylo prostřednictvím jednorázového odběru listového opadu na stanovištích studovaných dřevin určit jejich dekompoziční konstanty, a tak zjistit rychlost úbytku opadu z jednotlivých stanovišť v konkrétních přírodních podmínkách.

**Metodika**

Ke stanovení produkce opadu v lesních ekosystémech se nejčastěji používají kolektory (Úlehlová 1989). Opad z kolektorů se suší do konstantní váhy, třídí podle druhové příslušnosti a typu opadu a vyhodnotí.

V této práci byla použita metoda přímého jednorázového odběru listového opadu (dále jen opad) pomocí dřevěných čtverců o straně 1 m. Z každého stanoviště byl ve třech náhodných opakováních odebrán opad tak, aby byl separován zvlášť čerstvý (prá˘vě spadlý) a zvlášť starý, částečně rozložený. Opad byl vysušen do konstantní hmotnosti, vytříděn nelistový materiál a čistý opad zvážen.

Z výsledných hmotností byly vypočteny dekompoziční konstanty **k** (Olson 1963) pro t = 1 rok, **k´** (Jeny 1949), $\mathbf{T}_{(0,5)}$ a $\mathbf{T}_{(0,95)}$ (Olson 1963).

V případě modřínu nebyl starý opad vyhodnocen, neboť povrch půdy byl pokryt mechem *Atrichum undulatum* a nebylo možné bez velké chyby oddělit staré stélky mechorostu od polorozložených jehlic.

**Výsledky**

Ošetření získaných dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5%ní hladině významnosti signifikantně rozdílné hodnoty množství nového opadu mezi jednotlivými studovanými dřevinami. Další analýza pak prokázala na stejné hladině významnosti signifikantní rozdíly v množství starého opadu a v hodnotách dekompozičních konstant mezi opadem červeného dubu a lípy (mo˘dřínový opad nebyl z výše uvedeného důvodu vyhodnocen).

Největší roční přísun listového opadu byl zjištěn u červeného dubu, dále u modřínu a nejméně opadu produkovala lípa.

Ostatní hodnoty jsou porovnány pouze mezi červeným dubem a lípou. Zde vykazuje červený dub vyšší množství starého opadu a vyšší hodnoty parametrů $T_{(0,5)}$ a $T_{(0,95)}$, konstanty k a k´ jsou výrazně nižší.

Konkrétní hodnoty zkoumaných charakteristik udává tabulka 4.1.3.

**Diskuse**

Z výsledků vyplývá, že rychlost úbytku opadu je v porostu lípy srdčité velmi vysoké, při sběru opadu nebyl na povrchu půdy prakticky žádný starý opad, to znamená, že do spadu nového materiálu se všechno listí rozloží, což dokumentují též hodnoty dekompozičních konstant:

| charakteristika | dřevina | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| nový opad (t/ha) | dub | 3 | 2,49 | 2,32 | 2,6 | 0,15 | 0,09 |
| nový opad (t/ha) | lípa | 3 | 1,24 | 1,11 | 1,32 | 0,12 | 0,07 |
| nový opad (t/ha) | modřín | 3 | 2,08 | 1,87 | 2,25 | 0,19 | 0,11 |
| | | | | | | | |
| starý opad (t/ha) | dub | 3 | 2,47 | 1,7 | 2,91 | 0,67 | 0,39 |
| starý opad (t/ha) | lípa | 3 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0 | 0 |
| | | | | | | | |
| k´ | dub | 3 | 0,51 | 0,45 | 0,6 | 0,08 | 0,05 |
| k´ | lípa | 3 | 1 | 0,99 | 1 | 0 | 0 |
| | | | | | | | |
| k | dub | 3 | 0,72 | 0,6 | 0,92 | 0,17 | 0,1 |
| k | lípa | 3 | 5,8 | 4,99 | 7,01 | 1,07 | 0,62 |
| | | | | | | | |
| $T_{(0,5)}$ | dub | 3 | 1 | 0,75 | 1,15 | 0,21 | 0,12 |
| $T_{(0,5)}$ | lípa | 3 | 0,12 | 0,1 | 0,14 | 0,02 | 0,01 |
| | | | | | | | |
| $T_{(0,95)}$ | dub | 3 | 4,31 | 3,27 | 4,97 | 0,92 | 0,53 |
| $T_{(0,95)}$ | lípa | 3 | 0,53 | 0,43 | 0,6 | 0,09 | 0,05 |

**Tab 4.1.3.**: Výsledné hodnoty množství starého a nového opadu a dekompozičních konstant pro porosty jednotlivých studovaných dřevin.

Hodnota k´ udává, že prakticky veškerý podíl z listů na povrchu půdy tvoří čerstvý opad, pro červený dub je tento podíl asi 50%.

Z hodnoty $T_{(0,5)}$ je možné odvodit, že 50% lipového opadu zmizí z porostu za necelé dva měsíce, 50% opadu červeného dubu pak za 1 rok.

Parametr $T_{(0,95)}$ vypovídá, že 95% opadu lípy zmizí ze stanoviště asi za 6,5 měsíce, pro červený dub vychází tento údaj asi na 4,3 roku.

Naměřené hodnoty množství čerstvého opadu jsou srovnatelné s údaji z literatury (Tab 4.1.1.) a i když porost červeného dubu produkuje větší množství opadu než lípa a modřín, přece není jeho hodnota velmi vysoká a je srovnatelná s ostatními listnatými dřevinami.

Hodnoty dekompozičních konstant jsou v případě červeného dubu srovnatelné s hodnotami jiných autorů (Tab. 4.1.2.) a nenaznačují, že by rozklad probíhal na studovaném stanovišti odlišně. Velmi vysoké jsou však hodnoty pro porost lípy srdčité, v literatuře nebyly podobné hodnoty nalezeny a i když uvážíme možné chyby v metodice, přece jen je nutné říci, že rozklad lípy v tomto případě probíhá s neobvyklou intenzitou. Důvodem může být fakt, že údaje z literatury se týkají přibližně dospělých porostů, zatímco zde jde o porosty mladé, asi 40ti leté, kde může být rychlejší obrat živin.

**Závěr**

Naměřené hodnoty popisující produkci a úbytek opadu z porostů studovaných dřevin ukazují, že rozklad opadu na stanovišti s *Q. rubra* probíhá ve srovnání s literaturou úměrně svému druhu a hromadění opadu je tedy u této dřeviny přirozeným jevem. Hromadění opadu se zdá být spíš podmíněno odolností

listu vůči dekompozici než množstvím každoročně spadlých listů, neboť toto množství odpovídá ostatním dřevinám.

Úbytek lipového opadu je značný, podmínky pro jeho rozklad opadu jsou zřejmě mimořádně příznivé.

Hodnoty pro opad modřínu nebylo možné z důvodu nesnadné separace starého opadu vyhodnotit, údaj o velikosti roční produkce jehlic je srovnatelný s hodnotami jiných listnatých dřevin.

## 4.2. Dekompozice listového opadu

Dekompozice je obecně přírodním procesem recyklace živin, obsažených v živočišných, či v rostlinných zbytcích, který je nedílnou součástí koloběhu látek, energie a informace v ekosystémech Země.

Dekompozici podléhají všechny organické látky s různou intenzitou, tato práce se však zabývá výhradně rozkladem listového opadu dřevin a rozkladem celulózy jako hlavní součásti listových pletiv.

Dekompozice listů začíná ve skutečnosti již od chvíle jejich utváření, když jsou vystaveny jak vymývání živin srážkovou vodou, tak ataku mikroorganismů a herbivorů během celého funkčního období, během stárnutí a po odumření. Je doloženo, že listy po odumření a dopadu na lesní půdu jsou již infikovány velkým množstvím bakterií, kvasinek a vláknitých hub (Pugh et Buckley 1971, sec. Jensen 1974 aj.). To také ilustruje zjištění, že sterilizované listy se rozkládají pomaleji (Tanner 1981)

V této práci je pojem dekompozice užíván pro mechanický a biochemický rozklad listového opadu sledovaných dřevin po jeho dopadu na povrch půdy.

Listový opad podléhá během dekompozice rozličným chemickým a fyzikálním změnám, které lze rozdělit (Anderson 1973) na:

- vymývání (leaching) - odstraňování vodorozpustných látek z listů srážením a odnosem vodou,
- rozpad (breakdown) - fragmentace, rozetření a rozdrcení listových makrostruktur,
- rozklad (decomposition) - katabolická degradace opadu půdními organismy.

Míra, neboli rychlost dekompozičních procesů je ovlivňována velkým množstvím faktorů, z nichž je možné jmenovat:

1) Makro a mezoklimatické podmínky, zejména teplota a vlhkost, z toho vyplývá rozdílná rychlost dekompozice v různých klimatických pásmech a nadmořských výškách. (Daubenmire 1963, Vitousek et al. 1994, Johansson et al. 1995, Berg et al. 1993).
2) Mikroklima půdy, zejména opět teplota a vlhkost, které závisí jak na makroklimatu, tak i na dalších faktorech, jako jsou geologické podloží, sklon a expozice reliefu, hydrologické poměry, fyzikální a chemické složení půdy atd. (Orn˘dorff et Lang 1981).
3) Základní fyzikální a chemické vlastnosti listu, které mají na rychlost dekompozice významný vliv. S tím, vedle druhové příslušnosti stromu úzce souvisí úživnost stanoviště, zdravotní stav dřeviny, stupeň napadení herbivory, stáří listu aj. Dále k tomuto problému kapitola 4.2.1.
4) Přítomnost organismů, zajišťujících jak mechanický rozpad, tak i chemický rozklad opadu.

Celkově lze říci, že listy opadavých dřevin se rozkládají rychleji, než jehlice konifer (Aber et al. 1990). To je dáno zejména chemickými vlastnostmi jehlic, které obsahují množství impregnačních a vůči dekompozici odolných látek, jako jsou lignin, kutin, vosky aj.; z toho vyplývá nepříznivě vysoký poměr C/N a tím i snížená rozložitelnost opadu, protože je v mnoha studiích prokázán přímo úměrný vztah rychlosti dekompozice opadu k obsahu dusíku v něm (Tanner 1981, Aber et al. 1990, Kuiters 1987).

V půdě pod jehličnany je také vzhledem ke kyselé reakci půdy často minimální množství žížal (Satchell et Dottie 1984), vliv půdních živočichů na rozkladné procesy je celkově nízký

(McClaugherty et Berg 1987). Nízké pH opadu eliminuje zejména bakteriální dekompozitory, takže na rozkladu jehlic se podílejí především houby (Witkamp 1963).

Na rozkladu půdní organické hmoty se podílí celá řada zástupců edafonu; fytoedafon, reprezentovaný bakteriemi, aktinomycety, houbami a řasami a zooedafon, k němuž patří prvoci, vířníci (Rotatoria), hlístice (Nematoda), roztoči (Acarina), chvostoskoci (Collembola), roupice (Enchytraeidae), mnohonožky (Diplopoda), stonožky (Chilopoda), larvy dvoukřídlých (Dipte‿ra), brouci a další. Z megafauny (nad 20 mm délky) jsou nejvýznamnějšími rozkladači žížaly (Lumbricidae) (Rusek 2000).

Rychlost dekompozice není po celý rok stejná, což opět závisí nejen na klimatických podmínkách, které mají v temperátním pásmu sezónní charakter a vyvolávají sezónnost aktivity dekompozitorů (Stachurski et Zimka 1976), ale i na charakteru listu. List není homogenní materiál a jeho rozklad probíhá v určitých fázích. Berg et al.(1984) rozdělili dekompoziční procesy do těchto dvou fází:

- první (raná) fáze je charakterizována rychlým snižováním hmotnosti dekomponovaného opadu a to díky vyplavování rozpustných složek a rozkladu celulózy. Koncentrace ligninu, jako složky vůči dekompozici odolné, v této fázi stoupá.
- druhá (pozdní) fáze začíná ve chvíli, kdy se koncentrace ligninu v dekomponovaném opadu začíná snižovat, začíná tedy jeho rozklad. Opad je v této fázi rozložen již nejméně ze 30% a rozpustné látky mají nyní na rychlost dekompozice jen malý vliv.

Celkově můžeme dekompozici listového opadu charakterizovat jako proces, během něhož se čerstvý opad rozdílných iniciálních vlastností transformuje v chemicky velmi uniformní půdní organickou hmotu (Rustad 1994).

Metody studia dekompozice opadu

Základní charakteristikou popisující dekompoziční procesy je rychlost dekompozice, vycházející z váhového úbytku opadu (mass loss), vyjadřovaná různými způsoby, např.:

- váhovým úbytkem vyjádřeným v procentech iniciální hmotnosti;
- poločasem rozpadu $T_{(0,5)}$ (Godeas 1987; Novák et Placerová 1998; Olson 1963;), udávajícím dobu, za niž se rozloží právě 1/2 z původní hmotnosti opadu (blíže kap. 4.1.);
- hodnotou $T_{(0,95)}$, nebo $T_{(0,99)}$ (Aber et.al.1990; Olson 1963)
- dekompoziční konstantou k, vycházející z exponenciálního modelu $X_t = X_0 e^{-kt}$ (Olson 1963; Geng et al.1993; Rustad 1994; Van Vuuren et al.1993 a další) a odvozenými modifikacemi (blíže kap. 4.1.);
- relativní rychlostí rozkladu LDR (litter disappearance rate), udávající rychlost dekompozice v mg/g/den (Suffling et Smith 1974; Sklenář 1994; Chlumská 1977; Kovářová 1984) Tato veličina byla také použita v této práci.

Rychlost rozkladu je nejčastěji studována pomocí detritových sáčků (litter bags) s různým průměrem ok. Různé typy sáčků (hrubé, střední, jemné) ovlivňují rychlost dekompozice tak, že brání přístupu určitým velikostním kategoriím makrofauny (*Diplopoda, Isopoda*, žížaly) a mezofauny (*Acari, Collembola, Diptera* - larvy, *Enchytraeidae*) (Anderson 1973; Chlumská 1977). Při dekompozici jehličnatého opadu však mohou mít živočišní dekompozitoři tak malý vliv, že se efekt rozdílných velikostí ok neprojeví (McClaugherty et Berg 1987).

Někteří autoři (Anderson 1973) tento problém řeší uvazováním exponovaných listů silonovou nití za řapíky, což s sebou však přináší velké nevýhody snadné fragmentace listového materiálu a také ne každý list je k tomuto účelu vhodný, např. to téměř vylučuje studium jehličnatých dřevin.

### 4.2.1. Iniciální vlastnosti opadu

Iniciální složení rostlinného opadu a jeho změny během rozkladných procesů ovlivňuje rychlost dekompozice významným způsobem. Organické látky opadu mohou být rozděleny podle chemického složení do tří široce pojatých skupin (McClaugherty et Berg 1987):

- rozpustné složky - jednoduché cukry, škrob, pektin, rozpustné dusíkaté látky a polyfenoly;
- polymerované uhlovodíky, nebo holocelulózy;
- v kyselině nerozpustné aromatické složky, zahrnující lignin a fenolické produkty dekompozice.

Odstraňování jednotlivých složek z rozkládajícího se opadu probíhá v určitém sledu v závislosti na jejich dostupnosti a atraktivitě pro dekompozitory.

V první fázi dekompozice (viz úvod) probíhá vymývání a rozklad snadno rozpustných složek. Vymývání podléhají zejména anorganické ionty; o něco později rozpustné polyfenoly. Další rozpustné složky jsou především předmětem konkurence bakterií a rychle rostoucích hub. Celulóza je rozkládána během další vlny mikrobiální aktivity, následně po mechanické dezintegraci opadového materiálu. Na její dekompozici se podílejí jak nesymbiotické celulolytické houby a bakterie, tak i bakterie, žijící v trávicím traktu žížal a roupic (*Enchytraeidae*).

Ve druhé fázi dochází k rozkladu rezistentních složek, zejména tedy ligninu a jemu podobných látek (McClaugherty et Berg 1987; Berg et al.1993). Jako rozkladači zde působí lignolytické bakterie a houby (*Bazidiomycetes*) (Garret 1963; Jensen 1974). Je potřebné však mít na paměti, že procesy dekompozice jsou složité a ovlivňované velkým množstvím faktorů, takže každé schéma je více či méně zjednodušené. To platí i v tomto případě, kdy dekompozice jednotlivých složek

neprobíhá odděleně, nýbrž jsou spjaty a navzájem se ovlivňují(McClaugherty et Berg 1987).

Každá vlastnost opadu, ať už chemická či fyzikální, určitou mírou ovlivňuje rychlost dekompozice. Cílem této části práce bylo pomocí vybraných fyzikálních a chemických charakteristik iniciálního opadu odhadnout jeho relativní rozložitelnost (přístupnost k dekompozici). Tento odhad pak bude v další části práce (kap.4.2.2.) porovnán s průběhem rychlosti rozkladu jednotlivých zkoumaných druhů opadu za kontrolovaných podmínek teploty a vlhkosti.

**Vybrané zkoumané vlastnosti**

Výběr iniciálních charakteristik opadu byl podobný, jako v práci Gillona et al.(1994).

S přihlédnutím k výpovědní hodnotě dané charakteristiky a k možnosti jejího stanovení v dosažitelných podmínkách byly vybrány tyto charakteristiky:

- fyzikální vlastnosti: specifická hmotnost listu (SHL), schopnost absorpce vody, schopnost vyplavování vodorozpustných látek.
- chemické vlastnosti: obsah popelovin, celkový obsah dusíku, fosforu, celkového a oxidovatelného uhlíku a vodorozpustných polyfenolů.

Jednotlivé fyzikální a chemické charakteristiky jsou blíže popsány v dalších kapitolách.

Pro jednotlivé analýzy byl použit listový opad, sebraný krátce po jeho opadu 22.11.1998, jehlice modřínu byly v této době ještě zelené. Byly odebrány z větviček, spadlých na lesní půdu. Opad byl před vlastními analýzami sušen do konstantní hmotnosti 24 hodin při 50°C. Jako kontrola byl použit filtrační papír (celulóza) jako modelový materiál odstiňující vliv rozdílného složení různých druhů listového opadu na rychlost dekompozice. V této práci je také zahrnován pod pojem „opad„.

### 4.2.1.1. Specifická hmotnost listu (SHL)

Tato vlastnost vypovídá do jisté míry o struktuře a složení listu, zejména obsahu podpůrných pletiv. SHL je tedy druhově specifická a závisí i na vlastnostech stanoviště, stoupá například s nadmořskou výškou (Vitousek et Turner 1994).

Z podpůrných pletiv, nejvíce se podílejících na zvýšení SHL, jsou nejvýznamnější celulóza a lignin. Zatímco se však celulóza v přírodních podmínkách rozkládá rychle, již během první fáze dekompozice, je lignin poměrně rezistentní a jeho rozklad probíhá až na samém konci procesu dekompozice. Proto listy s vysokým obsahem ligninu v buněčných stěnách dlouho odolávají dekompozici a mají tendenci se na stanovišti hromadit (Vitousek et al. 1994, McClaugherty et Berg 1987, Berg et al. 1993, Van Vuuren et al. 1993).

Příklady obsahu ligninu v některých druzích opadu udává tabulka 4.2.1.1.1.

| | lignin (% suš) | reference |
|---|---|---|
| *Fraxinus angustifolia* | 5,1 | Gallardo et Merino 1993 |
| *Quercus. suber* | 9 | Gallardo et Merino 1993 |
| *Acer saccharum* | 12,1 | Aber et al. 1990 |
| *Castanea sativa* | 12,6 | Gillon et al. 1994 |
| *Betula papyrifera* | 17,06 | Daubenmire 1963 |
| *Quercus pubescens* | 17,3 | Gillon et al. 1994 |
| *Quercus mongolica* | 19,5 | Geng et al. 1987 |
| *Quercus alba* | 20,2 | Aber et al. 1990 |
| *P. tremuloides* | 21,4 | Geng et al. 1987 |
| *Molinia caerulea* | 22 | Van Vuuren et al. 1993 |
| *Pinus strobus* | 22,5 | Geng et al. 1987 |
| *Larix occidentalis* | 23,3 | Daubenmire 1963 |
| *Pseudotsuga menz.* | 25,8 | Daubenmire 1963 |
| *Quercus rubra* | 26,6 | Aber et al. 1990 |
| *Pinus albicaulis* | 27,5 | Daubenmire 1963 |
| *Fagus sylvatica* | 30,6 | Gillon et al. 1994 |
| *Erica tetralix* | 46,4 | Van Vuuren et al. 1993 |

**Tab 4.2.1.1.1.**: Příklady obsahu ligninu v opadu některých rostlin (% sušiny).

Rostliny adaptované na podmínky sucha (xerofyty) mívají velmi často zvýšenou hodnotu SHL, protože jejich pletiva mají vyšší podíl sklerenchymu, listy silnější kutikulu často krytou vrstvičkou vosku a nezřídka hustší listovou žilnatinu (Larcher 1988; Slavíková 1986).

Z hodnoty SHL můžeme usuzovat na pevnost listu, jeho náchylnost k fragmentaci a odnosu větrem, což jsou přípravné procesy pro vlastní chemický rozklad. To je významné zejména z toho důvodu, že bakterie postrádají autonomní mechanismus pro penetraci rostlinného pletiva a jsou tedy závislé na narušení vnějšího povrchu (Garret 1963). Z hlediska podrostu je důležitá propustnost opadu pro světlo a jeho prostupnost pro klíčící rostliny (Sydes et Grime 1981).

Souhrnem tedy lze předpokládat, že opad s vyšší hodnotou SHL se bude rozkládat pomaleji a pro rostliny může být obtížnou překážkou v jejich klíčení.

Příklady hodnot SHL u některých dřevin udává následující Tab.4.2.1.1.2.:

| druh opadu | SHL ($g/m^2$) | reference |
|---|---|---|
| *Liriodendron tulipifera* | 45 | Whittaker et al.1963 |
| *Fagus sylvatica* | 50 | Gillon et al.1994 |
| *Castanea sativa* | 56 | Gillon et al.1994 |
| *Pinus echinata* | 70,6 | Whittaker et al.1963 |
| *Quercus pubescens* | 87 | Gillon et al.1994 |
| *Quercus alba* | 92 | Whittaker et al.1963 |
| *Quercus coccifera* | 131 | Gillon et al.1994 |
| *Cistus albidus* | 165 | Gillon et al.1994 |
| *C. monspeliensis* | 177 | Gillon et al.1994 |
| *Quercus ilex* | 184 | Gillon et al.1994 |
| *Metrosideros polymorpha* | 148 - 395 | Vitousek et al.1994 |

**Tab. 4.2.1.1.2.:** Příklady hodnot specifické hmotnosti listu u některých dřevin (v $g/m^2$).

**Metodika**

Listy dubu a lípy, vysušené do konstantní hmotnosti, byly váženy s přesností na 0,0001 g. Potom byly namočeny do vody do změknutí, vyrovnány do plochy a opět sušeny (na vzduchu). Následně byly pořízeny jejich xerokopie. K analýze byly použity čtyři listy *Q. rubra* a 15 listů *T. cordata*.

Listy modřínu se také vážily, ale nenamáčely se, nýbrž byly v suchém stavu připevněny na papír průhlednou izolepou a kopírovány. Analyzován byl soubor asi 300 jehlic.

Filtrační papír je velmi uniformní, jedná se o kruhový výsek o průměru 90 mm, váha byla stanovena v 10 opakováních.

Plošný rozměr listů z xerokopií byly analyzovány programem Leaf area, autor Jiří Janáček, na katedře fyziologie rostlin PřF UK.

**Výsledky**

Výslednou specifickou hmotnost opadového materiálu udává tabulka 4.2.1.1.3.:

| | |
|---|---|
| *Q. rubra* | 66,6 |
| *L. decidua* | 130,3 |
| *T. cordata* | 54,3 |
| filtrační papír | 77,9 |

**Tab. 4.2.1.1.3.**: Hodnoty specifické hmotnosti (SHL) opadu studovaných dřevin, vyjádřené v $g/m^2$.

Zpracování dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly v hodnotách SHL mezi jednotlivými druhy opadu.

**Diskuse**

Nejvyšší hodnotu SHL vykazuje opad modřínu, což je pravděpodobně způsobeno malým rozměrem jednotlivých listů a tím jejich relativně velkým povrchem, který je impregnován poměrně těžkými složkami, jako jsou kutiny, vosky. Podle údaje z literatury (Daubenmire 1963) je možné usuzovat na vyšší obsah ligninu v buněčných stěnách. Také obsah pryskyřic, běžný u jehlic, hraje při zvyšování této hodnoty svoji roli.

Nejnižší SHL byla zjištěna u opadu lípy, pro dekompozici a lesní podrost je tedy z hlediska této veličiny příznivá. Červený dub a filtrační papír zaujímají střední postavení.

Srovnání s literaturou - prací Gillona et al.(1994) je možné pouze u listnatých dřevin, autoři uvádějí pro *Quercus. pubescens* hodnotu 87, *Q. coccifera* - 131, *Fagus sylvatica* - 50, *Castanea sativa* - 56 g/m$^2$.

Podle získaných hodnot specifické hmotnosti listu lze odhadnout, že ze studovaných dřevin bude k dekompozici nejméně přístupný opad modřínu opadavého, naopak nejlépe se budou rozkládat listy lípy srdčité. Hodnota SHL opadu červeného dubu není o mnoho vyšší, než SHL lípy, dalo by se tedy usoudit, že jeho degradace může také probíhat poměrně rychle.

**Závěr**

Stanovením specifické listové plochy listů studovaných dřevin bylo zjištěno, že nejvyšší hodnotu SHL vykazují jehlice modřínu, dále listy červeného dubu a nejnižší SHL byla zjištěna u opadu lípy.

### 4.2.1.2. Schopnost absorpce vody

Tato vlastnost vypovídá o smáčivosti povrchů, propustnosti opadu pro vodu a tím o jeho přístupnosti pro mikrobiální dekompozitory a o schopnosti uvolňovat vodorozpustné živiny.

**Metodika**

Přibližně 5 gramů opadu (filtrační papír jako kontrola), vysušeného do konstantní hmotnosti, bylo zváženo s přesností na 0,0001 g. Potom byl opad namočen do vody tak, aby byl celý ponořen. Po 24 hodinách se opad opět vyjmul a vložením mezi dva kusy filtračního papíru byl zbaven ulpělé povrchové vody. Poté byl opět zvážen se stejnou přesností a výsledek byl vyjádřen v gramech vody na gram suché váhy opadu (Gillon et al.1994). Pro každý druh opadu byla provedena čtyři opakování.

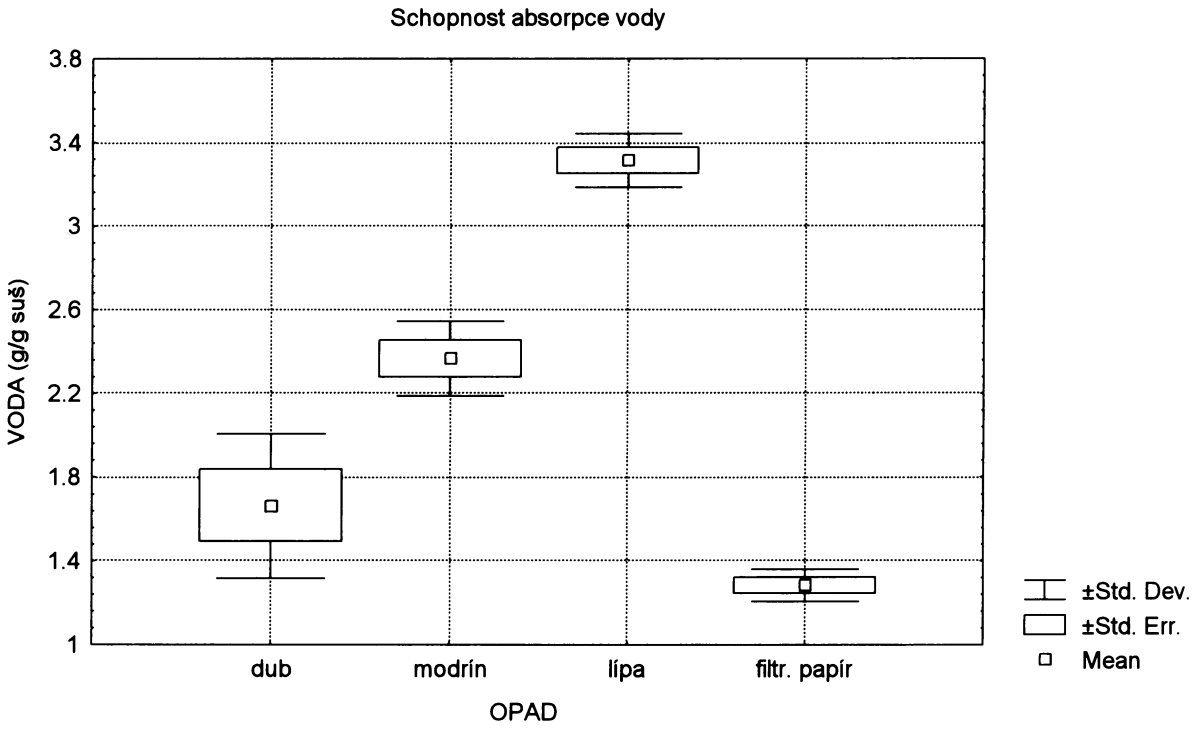
**Výsledky**

Výsledný obsah vody v nasyceném opadu udává tabulka 4.2.1.2.1. a zobrazuje graf 4.2.1.2.1.:

| opad | n | průměr | minimum | maximum | .směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Q. rubra* | 4 | 1,66a | 1,21 | 2,05 | 0,35 | 0,17 |
| *L. decidua* | 4 | 2,37b | 2,20 | 2,57 | 0,18 | 0,09 |
| *T. cordata* | 4 | 3,32c | 3,17 | 3,48 | 0,13 | 0,06 |
| filtr papír | 4 | 1,28a | 1,22 | 1,39 | 0,08 | 0,04 |

**Tab 4.2.1.2.1.**: Obsah vody (v % suché váhy opadu) v nasyceném opadu studovaných dřevin. Hodnoty označené různými písmeny se od sebe navzájem signifikantně liší.

Testování získaných dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly ve schopnosti absorpce vody mezi studovanými druhy opadu. Dále bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší.




**Graf 4.2.1.2.1.**: Obsah vody v gramech na gram sušiny v nasyceném opadu jednotlivých studovaných dřevin.

**Diskuse**

Z výsledných hodnot vyplývá, že největší schopnost absorbovat vodu má opad lípy, což ho předurčuje k vysoké rychlosti dekompozice. Nejnižší schopnost má pak červený dub, modřín zaujímá střední postavení.

Filtrační papír má podle mého názoru hodnotu málo vypovídající, měření je zatíženo velkou chybou, pocházející z toho, že filtrační papír je příliš porézní a při jeho osušování mnoho vody přešlo do suchého papíru. Hodnota nasáklivosti je tedy pravděpodobně vůči skutečné hodnotě snížena.

Výsledky jsou srovnatelné s prací Gillon et.al (1994). Zde je uvedena hodnota pro *Q. pubescens* 1,84 g/g suš, *Q. coccifera* 1,52 g/g suš. Schopnost absorpce vody je obecně nižší u jehličnatých dřevin, díky impregnačním vrstvám na povrchu jehlic, do 1,2 g/g suš, ale modřín není typický jehličnan, proto jeho hodnota může být zvýšená. Dřevina, srovnatelná s lípou zde není uvedena.

**Závěr**

Sledováním schopnosti absorpce vody opadem studovaných dřevin bylo zjištěno, že nejvyšší schopnost absorpce vody má opad lípy, dále opad modřínu a nejnižší hodnota této charakteristiky byla zjištěna u opadu červeného dubu.

### 4.2.1.3 Vyplavování vodorozpustných látek

**Úvod**

Vodorozpustné látky představují v opadu složku, která je dobře rozpustná ve vodě a tím tedy snadno vymývatelná z opadového materiálu srážkovou vodou. Jedná se především o:

- Jednoduché cukry, škrob, pektin, rozpustné dusíkaté a fosforečné látky a polyfenoly (McClaugherty et Berg 1987; Rustad 1994) a
- ve vodě rozpuštěné ionty, zejména $Mg^{2+}$, $Ca^{2+}$, $K^{+}$ a $Na^{+}$; jejich vyplavení proběhne nejdéle do šesti měsíců od spadu listů (Berg et Staaf 1987).

Míra vyplavování vodorozpustných látek závisí zejména na těchto základních vlastnostech:

- Na celkovém obsahu těchto látek.
- Na poréznosti materiálu a jeho propustnosti; tyto vlastnosti závisí jednak na druhu dřeviny, za druhé pak na stavu listu. Bylo prokázáno, že schopnost uvolňovat živiny se stářím listu a mírou rozloženosti opadu stoupá (Ruinen 1966).

Schopnost rychlého uvolňování vodorozpustných látek se může projevit ve zvýšené míře vymýváním těchto látek srážkovou a půdní vodou v první fázi dekompozice (viz úvodní kapitola). V této fázi jsou také právě díky obsahu VRL nejmarkantnější rozdíly v rychlosti dekompozičních procesů mezi jednotl. druhy opadu, vliv druhu se s pokračujícím rozkladem a zvyšujícím se kontaktem s půdou a půdními živočichy snižuje (Witkamp 1966).

Příklady hodnot obsahu vodorozpustných látek v různých druzích opadu udává tabulka 4.2.1.3.1.

**Metodika**

Opad, sycený 24 hodin vodou v předchozím stanovení schopnosti absorpce vody (kap.4.2.1.2.) byl pro účely zjištění

obsahu vodorozpustných látek opět vysušen do konstantní hmotnosti a zvážen s přesností na 0,0001 g. Rozdíl mezi touto a původní hmotností opadu byl považován za vodorozpustné látky, uvolněné do vody. Výsledek byl vyjádřen v % původní suché hmotnosti (Gillon et al. 1994).

| | obsah vodorozp.látek (%) | reference |
|---|---|---|
| *Fagus sylvatica* | 3,23 | Gillon et al.1994 |
| *Quercus ilex* | 3,97 | Gillon et al.1994 |
| *Quercus pubescens* | 4,93 | Gillon et al.1994 |
| *Castanea sativa* | 6,18 | Gillon et al.1994 |
| *Cistus albidus* | 8,06 | Gillon et al.1994 |
| *Pinus strobus* | 16,6 | Geng et al.1993 |
| *Populus tremuloides* | 16,9 | Geng et al.1993 |
| *Quercus mongolica* | 23,2 | Geng et al.1993 |
| *Quercus alba* | 24,7 | Geng et al.1993 |
| *Acer saccharum* | 33,6 | Geng et al.1993 |

**Tab 4.2.1.3.1.**: Příklady hodnot obsahu vodorozpustných látek v různých druzích listového opadu.

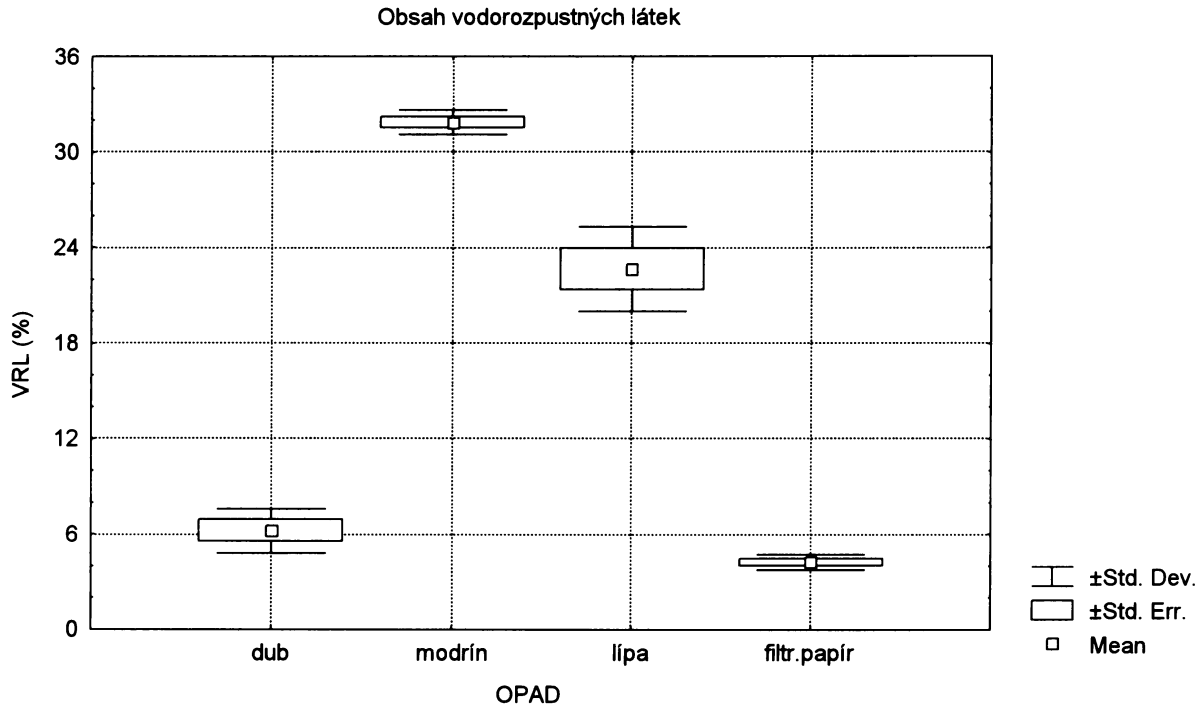
**Výsledky**

Výsledné hodnoty vodorozpustných látek vyplavených ze studovaného opadu udává tabulka 4.2.1.3.2. a graf 4.2.1.3.1.

Testování získaných dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly v míře vyplavování VRL mezi studovanými druhy opadu. Dál bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší.

| | n | průměr | minimum | maximum | .směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Q. rubra* | 4 | 6,2 a | 4,3 | 7,6 | 1,4 | 0,7 |
| *L. decidua* | 4 | 31,9 b | 30,8 | 32,5 | 0,78 | 0,39 |
| *T. cordata* | 4 | 22,7 c | 20,4 | 26,5 | 2,65 | 1,33 |
| filtr. papír | 4 | 4,2 a | 3,7 | 4,8 | 0,49 | 0,24 |

**Tab. 4.2.1.3.2.**: Obsah vodorozpustných látek (v % sušiny) ve studovaných druzích opadu. Hodnoty označené stejnými písmeny se od sebe navzájem signifikantně neliší.




**Graf 4.2.1.3.1.**: Obsah vodorozpustných látek (v %) ve studovaných druzích opadu.

**Diskuse**

Výsledky souvisí s předchozím stanovením schopnosti absorpce vody opadem. Nejvyšší hodnoty dosahuje opad modřínu, nejnižší červeného dubu, lipový opad má hodnotu střední.

Hodnota VRL, naměřená pro opad červeného dubu, je srovnatelná s prací Gillona et al.(1994) a nejvíce se jí přibližuje obsah VRL, udávaný pro listy *Castanea sativa* (6,18%). Autoři práce dále udávají např. pro *Q. pubescens* 4,93, pro *Q. coccifera* 4,96, *Fagus sylvatica* 3,23, z jehličnanů *Pinus halepensis* měla 2,97%.

Hodnoty, zjištěné pro opad modřínu a lípy jsou v porovnání s těmito výsledky vyšší a spíše odpovídají práci Genga et al. (1993) - viz tab 4.2.1.3.1.

Vzhledem k tomu, že filtrační papír měl při měření poměrně vysokou hodnotu, nabízí se možnost, že došlo k chybě při manipulaci s materiálem. Filtrační papír je málo soudržný a při manipulaci s ním dochází k uvolňování mikroskopických částeček, které se mohly vyplavit do vody a způsobit nadbytečnou ztrátu jeho hmotnosti.

**Závěr**

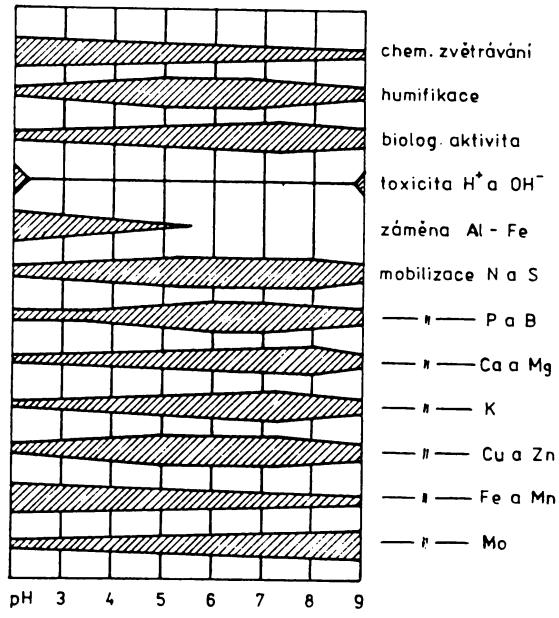
Stanovením obsahu vodorozpustných látek v opadu studovaných dřevin bylo zjištěno, že nejvíce těchto látek bylo vyplaveno z opadu modřínu, dále z opadu lípy a nejnižší hodnota obsahu VRL byla zjištěna u opadu červeného dubu.

## 4.2.1.4. pH vodného výluhu

**Úvod**

Údaje o pH vodného výluhu z opadu jsou v literatuře velmi ojedinělé, proto není k dispozici mnoho dat ke srovnání. Můžeme však usuzovat, že pH vodného výluhu z opadu bude vedle vlivu matečné horniny jedním z hlavních zdrojů reakce půdního humusu pod příslušnou dřevinou.

Význam pH půdy je známý, zejména ve vztahu k obsahu bází a přístupnosti živin pro rostliny. Nízké pH způsobuje vytěsňování iontů $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $K^{+}$, $PO_4^{3-}$ a $MoO_4^{2-}$ ze sorpčního komplexu a ty se z půdy rychle vyčerpávají, nebo jsou přítomny jen ve formách těžko dostupných rostlinám. Naopak dochází k přílišnému uvolňování toxických iontů Al, Fe a Mn. Vliv půdního pH na půdu a rostliny souhrnně znázorňuje obrázek 4.2.1.4.1.




**Obr. 4.2.1.4.1.**: Vliv půdního pH na půdotvorný proces, mobilizaci a dostupnost minerálních živin pro rostliny a na životní podmínky v půdě. Šířka jednotlivých pruhů odpovídá

intenzitě příslušného procesu, nebo stupni dostupnosti živin (Truog 1947, sec. Larcher 1988).

Vzhledem k dekompozici opadu je pH důležité jako faktor ovlivňující životní prostředí pro dekompozitory. Z tohoto hlediska je významná skutečnost, že zatímco houby rostou optimálně na mírně kyselém mediu (okolo pH 5,5), bakterie preferují neutrální nebo mírně alkalická prostředí (Garret 1963). Protože pH výluhu z jehličnatého opadu bývá nižší, převládá v procesu dekompozice právě vliv půdních hub (McClaugherty et Berg 1987).

Dále bylo prokázáno, že i aktivita žížal je mnohem nižší v půdách s nízkým pH než v půdách neutrálních (Satchell et Dottie 1984).

Příklady pH vodného výluhu z různých druhů opadu viz. tabulka 4.2.1.4.1.

| | pH výluhu z opadu | reference |
|---|---|---|
| *Pinus contorta* | 3,5 | Daubenmire 1963 |
| *Abies grandis* | 3,6 | Daubenmire 1963 |
| *Larix occidentalis* | 3,7 | Daubenmire 1963 |
| *Pseudotsuga menziessi.* | 3,8 | Daubenmire 1963 |
| *Quercus robur* | 4 | Kuiters 1987 |
| *Picea abies* | 4,1 | Mařana 1944, sec. Slavíková 1986 |
| *Pinus sylvestris* | 4,8 | Kuiters 1987 |
| *Populus tremuloides* | 4,8 | Daubenmire 1963 |
| *Betula pendula* | 4,9 | Kuiters 1987 |
| *Carpinus betulus* | 4,9 | Mařana 1944, sec. Slavíková 1986 |
| *Fagus sylvatica* | 5,4 | Kuiters 1987 |
| *Tilia cordata* | 5,6 | Mařana 1944, sec. Slavíková 1986 |
| *Acer pseudoplatanus* | 6,5 | Mařana 1944, sec. Slavíková 1986 |

**Tab 4.2.1.4.1.**: Příklady pH vodného výluhu z různých druhů opadu.

**Metodika**

Vodný výluh byl získán třepáním 5g na vzduchu vyschlého listového materiálu (filtrační papír nebyl měřen) ve 250 ml

destilované vody po 20 hodin. Poté byl výluh zfiltrován. V čirém výluhu se pH metrem stanovila hodnota pH.

**Výsledky**

Podrobení dat jednocestné analýze variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly v hodnotě pH vodného výluhu z opadu mezi jednotlivými druhy opadu. Dále bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší.

Nejnižší, až extrémní hodnotu pH vodného výluhu vykazovaly jehlice modřínu, zatímco hodnoty z opadu lípy a červeného dubu jsou příznivější a vzájemně se od sebe signifikantně neliší.

Hodnoty pH vodného výluhu z opadu jsou uvedeny v tabulce 4.2.1.4.2. a zobrazeny v grafu 4.2.1.4.1.

| opad | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka Std. dev. | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Q. rubra* | 2 | 5,72 a | 5,67 | 5,77 | 0,07 | 0,05 |
| *L. decidua* | 2 | 1,17 b | 1,14 | 1,19 | 0,035 | 0,025 |
| *T. cordata* | 2 | 5,59 a | 5,52 | 5,66 | 0,099 | 0,07 |

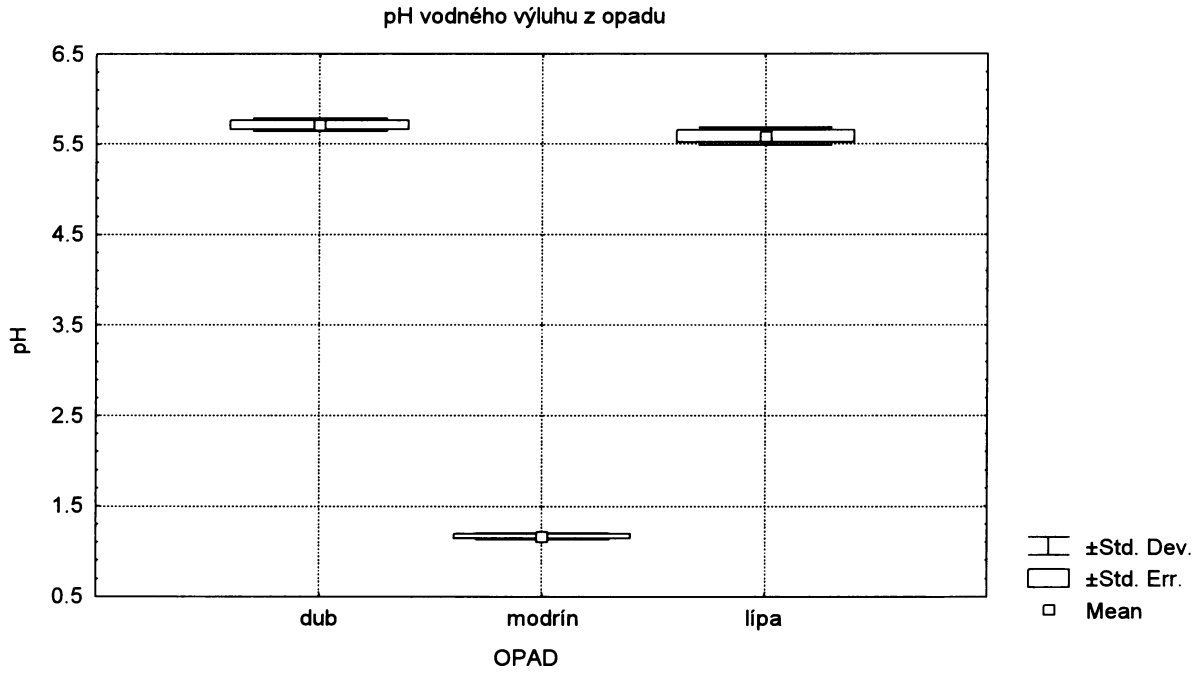
**Tab. 4.2.1.4.2.**: Hodnoty pH vodného výluhu z opadu studovaných dřevin. Hodnoty označené stejnými písmeny se navzájem signifikantně neliší.

**Diskuse**

Hodnoty pH, získané z vodných výluhů studovaných druhů opadu ukazují, že opad *Q. rubra* a *T.cordata* má pH přijatelné jak pro houbové, tak i bakteriální dekompozitory, takže z hlediska této charakteristiky opadu by neměla být výsledná rychlost dekompozice ovlivněna.

Ve srovnání s naměřeným pH půdy (viz kap. 4.2.2.) jsou hodnoty výluhu o něco málo vyšší.

Opad *L. decidua* vykazuje ve srovnání s literaturou hodnotu velmi nízkou a i když vliv zásaditého podloží upravuje do jisté míry půdní reakci (na pH 4,99 - kap.4.2.2.), vede neustálý vliv




**Graf 4.2.1.4.1.**: Hodnoty pH vodného výluhu z opadu studovaných dřevin.

vyluhujícího se opadu pravděpodobně k eliminaci bakterií z procesu dekompozice, na rozkladu jehlic se tedy podílejí především půdní houby. To se může následně projevit na snížené rychlosti dekompozice tohoto druhu opadu.

**Závěr**

Stanovením pH vodného výluhu z opadu studovaných dřevin bylo zjištěno, že hodnoty pH pro opad červeného dubu (5,72) a lípy (5,59) se signifikantně neliší. Pro opad modřínu byla tato hodnota zjištěna velmi nízká (1,17).

### 4.2.1.5. Obsah dusíku a poměr C/N

**Úvod**

Tento prvek v živé rostlině plní funkci základní složky enzymů a protoplazmy, je tedy nezbytný. Před opadem přechází ve formě dusíkatých produktů rozpadu bílkovin z listů a ukládá se v osních orgánech stromu, takže opad je vůči živému listu o dusík ochuzen (Jensen 1974).

Význam dusíku pro dekompoziční procesy je diskutován v řadě prací. V nich je vyjádřen jeho obsah buď absolutně (v % sušiny), nebo relativně, poměrem C/N , přičemž tyto dvě veličiny jsou vůči sobě navzájem v nepřímém vztahu. Garret (1963) uvádí, že právě dusík sehrává v procesech dekompozice dominantní roli, protože významně ovlivňuje bohatost půdních mikroorganismů; limitující je například pro celulolytické bakterie.

Vysoký obsah dusíku v listu podporuje tedy rychlost jeho dekompozice, což dokládají například experimenty s opadem ošetřeným dusíkatou látkou (Tanner 1981); pozitivní korelaci mezi obsahem N v opadu a rychlostí dekompozice, vyjádřenou dekompoziční konstantou k zaznamenali také Aber et al.(1990) a Kochy et Wilson (1997).

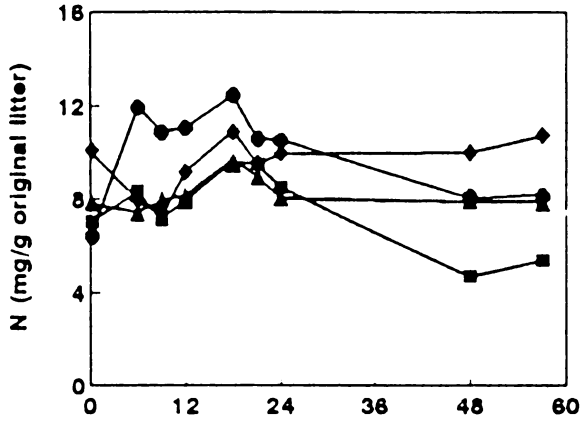
Kuiters (1987) uvádí, že relativně vysoký obsah dusíku v listech *Acer pseudoplatanus* podporuje jejich dekompoziční rychlost.

Na druhé straně však někteří autoři ukazují, že rychlost druhé fáze dekompozice je u dusíkem bohatých listů často nižší (McClaugherty et Berg 1987). Tento zdánlivý rozpor zřejmě souvisí s podílem jednoduchých rozpustných dusíkatých látek v opadu, které se v první fázi rychle vyplaví a druhá fáze rozkladu probíhá pak mnohem pomaleji.

Jiní autoři (Gallardo et Merino 1993) poukazují na to, že obsah dusíku sám o sobě nemá významný vliv na degradační

procesy, ale uplatňuje se v kombinaci s jinými charakteristikami listu, jako je např. tloušťka listu/N, cutin/N, nebo lignin/N.

Koncentrace dusíku v opadu během první fáze dekompozice stoupá, poměr C/N naopak klesá (Anderson 1973, Berg et Staaf 1987, Rustad 1994).




**Obr. 4.2.1.5.1.**: Změna v celkovém obsahu dusíku (v mg/g sušiny) v opadu *Picea rubens* (■), *Pinus strobus* (●), *Acer rubrum* (◆) a smíšeném opadu (▲) během 57 měsíců dekompozice. (Rustad 1994)

Iniciální obsah dusíku a poměr C/N v listovém opadu je jednak druhově specifický, jednak závisí na vlastnostech stanoviště dřeviny (Johansson et al. 1995, Anderson 1973, Gillon et al. 1994, Geng et. al. 1993, aj.)

Listový opad obsahuje v průměru 0,3 - 2% dusíku a celkově lze říci, že vysoké hodnoty vykazuje většinou opad širokolistých dřevin.

Celkově lze tedy říci, že vyšší obsah dusíku a nízké C/N podporují do jisté míry rychlost rozkladu, zvláště však v počátečních stadiích dekompozice. Vypovídají tak o kvalitě opadu, zejména o vyšším poměru stravitelných ku relativně nestravitelným složkám, jako je celulóza, lignin, kutin aj.

Na druhé straně však záleží také na formě dusíku (amoniakální či nitrátové), v jaké se v opadu vyskytuje .

Amoniakální forma dusíku se vyskytuje, jak bylo dokázáno, v hojném množství převážně u jehličnatých dřevin (Saetre 1998).

Příklady obsahu dusíku v některých druzích opadu uvádí tabulka 4.2.1.5.1.

| druh opadu | obsah N (%) | reference |
|---|---|---|
| *Pinus sylvestris* | 0,41 | Berg et Staaf 1987 |
| *Pinus strobus* | 0,44 | Geng et.al. 1993 |
| *Betula pubescens* | 0,76 | Berg et Staaf 1987 |
| *Castanea sativa* | 0,77 | Anderson 1973 |
| *Acer saccharum* | 0,83 | Geng et.al. 1993 |
| *Populus tremuloides* | 0,83 | Geng et.al. 1993 |
| *Quercus alba* | 0,84 | Geng et.al. 1993 |
| *Quercus pubescens* | 0,98 | Gillon et.al. 1994 |
| *Acer rubrum* | 1 | Rustad 1994 |
| *Quercus ilex* | 1,02 | Gillon et.al. 1994 |
| *Fagus sylvatica* | 1,15 | Gillon et.al. 1994 |
| *Betula pendula* | 1,23 | Mc Claugherty et Berg 1987 |
| *Quercus robur* | 1,68 | Tietema et Wessel 1992 |

**Tab. 4.2.1.5.1.**: Hodnoty obsahu dusíku (v % sušiny) v opadu některých druhů dřevin.

**Metodika**

Při stanovení celkového obsahu dusíku ve studovaném opadu byla použita klasická metoda dle Kjeldahla. Pro analýzu byly vzorky vysušené při 50 °C do konstantní hmotnosti a rozdrcené. Další postup byl stejný, jako při stanovení obsahu N v půdě. Výsledky jsou vyjádřeny v % suché váhy opadu.

**Výsledky**

Výsledný obsah dusíku v opadu uvádí tabulka 4.2.1.5.2. a znázorňuje graf 4.2.1.5.1. Ošetřením dat jednocestnou analýzou variance byly na 5% ní hladině významnosti prokázány

signifikantní rozdíly v obsahu celkového dusíku mezi jednotlivými studovanými typy opadu. Dále bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší.

| opad | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Q. rubra* | 3 | 0,47 a | 0,34 | 0,65 | 0,16 | 0,09 |
| *L. decidua* | 4 | 1,19 b | 0,99 | 1,54 | 0,24 | 0,12 |
| *T. cordata* | 4 | 0,59 a | 0,41 | 0,78 | 0,15 | 0,08 |
| filtr. papír | 1 | 0 c | 0 | 0 | | |

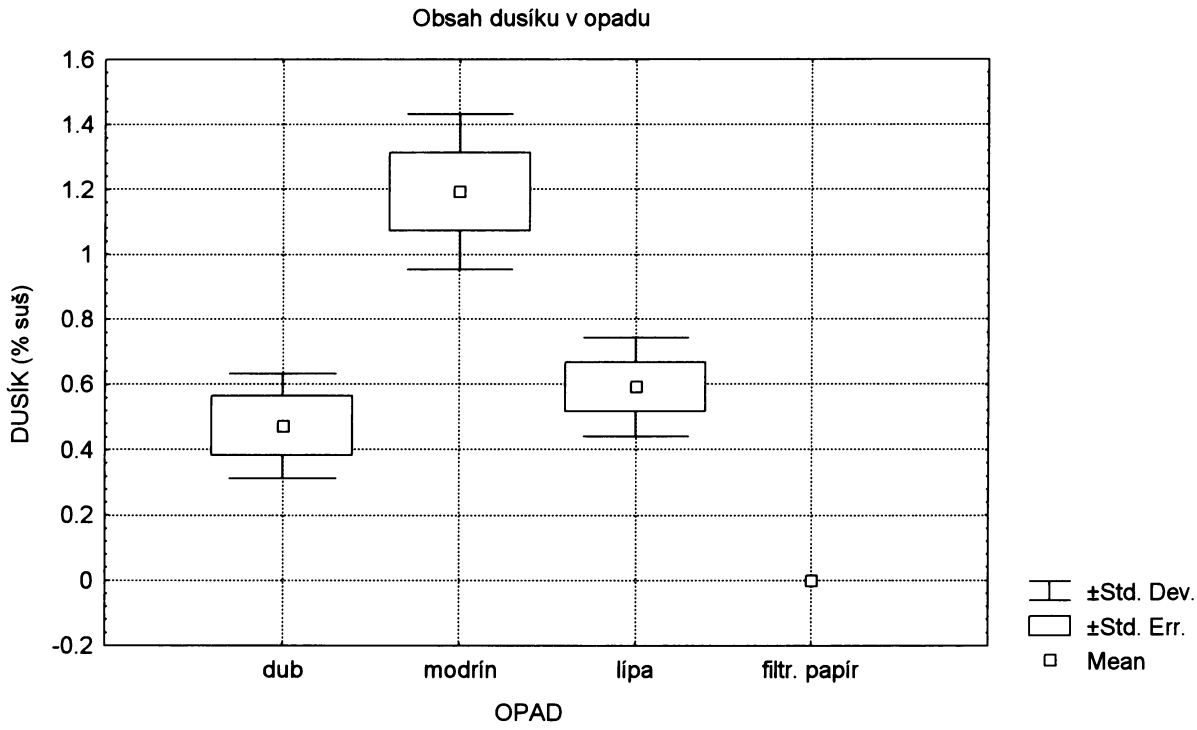
**Tab. 4.2.1.5.2.**: Celkový obsah dusíku v opadu studovaných dřevin (v % sušiny). Hodnoty označené stejnými písmeny se navzájem signifikantně neliší.

**Diskuse**

Z výsledků vyplývá, že nejvyšší hodnotu celkového obsahu dusíku dosahuje opad modřínu a měl by tedy podle úvodních poznámek kapitoly mít ty nejlepší podmínky pro svou dekompozici. Jak však bylo řečeno, záleží i na formě dusíku.

Kromě toho, opad modřínu byl v době odběru ještě zelený a tudíž mohl obsahovat vyšší množství dusíku než opad již zežloutlý, neboť při žloutnutí listů ze značné množství živin dostává zpět do stromu (Jensen 1974).

Hodnoty pro listový opad lípy a červeného dubu nejsou navzájem signifikantně odlišné a ve srovnání s údaji z literatury nižší.




**Graf 4.2.1.5.1.**: Hodnoty obsahu dusíku (v % sušiny) v opadu studovaných dřevin.

**Závěr**

Bylo zjištěno, že nejvyšší obsah dusíku vykazuje opad modřínu, měl by tedy být ze všech studovaných druhů opadu pro dekompozitory nejatraktivnější, protože však jehlice v době odběru byly ještě zelené, byl by opad modřínu po zežloutnutí pravděpodobně o dusík ochuzen.

Opad lípy a červeného dubu mají hodnoty o něco nižší a navzájem se signifikantně neliší. Jejich atraktivita pro reducenty je tedy nižší.

### 4.2.1.6. Obsah Cox, C a poměr C/N

**Úvod**

Obsah uhlíku v rostlinném materiálu se obvykle považuje za určitý ukazatel jeho kvality co do obsahu živin; čím větší podíl uhlíku, tím vyšší obsah balastních látek a tím méně živin.

Údaj o obsahu uhlíku proto nestojí zpravidla sám o sobě, ale většinou v poměru s jinými prvky, jako N, P a některými dalšími, přičemž tento poměr C vůči jinému prvku vyjadřuje relativní bohatost materiálu na daný element. Nejčastěji používaný je poměr C/N, který umožňuje posoudit kvalitu opadu z hle diska jeho obsahu dusíku (o významu dusíku pro procesy rozkladu viz kap. 4.2.1.6.). Čím je poměr vyšší, tím je v opadu vyšší podíl méně stravitelných a vůči dekompozici odolnějších složek.

Hodnoty obsahu celkového uhlíku v některých druzích opadu udává tabulka 4.2.1.6.1.

| druh opadu | obsah C (%) | reference |
|---|---|---|
| *Fagus sylvatica* | 47,7 | Anderson 1973 |
| *Castanea sativa* | 48,7 | Anderson 1973 |
| *Quercus pubescens* | 50,4 | Gillon et.al. 1994 |
| *Quercus coccifera* | 50,5 | Gillon et.al. 1994 |
| *Quercus ilex* | 51,9 | Gillon et.al. 1994 |
| *Fagus sylvatica* | 52,3 | Gillon et.al. 1994 |
| *Acer rubrum* | 55 | Rustad 1994 |
| *Pinus strobus* | 55 | Rustad 1994 |
| *Picea rubens* | 55 | Rustad 1994 |
| *Erica tetralix* | 57,5 | Van Vuuren et.al. 1993 |

**Tab. 4.2.1.6.1.**: Hodnoty obsahu celkového uhlíku (v % sušiny) v některých druzích opadu.

Relativní obsah celkového uhlíku v opadu je tedy závislý na struktuře listu, podílu impregnačních a zpevňujících složek, například řapíků (Rustad 1994) a pohybuje se rámcově okolo 50%, množství oxidovatelného C bude tedy o něco nižší, protože část

uhlíku je v materiálu pevně vázaná, během analýzy oxidimetrickou metodou se nezoxiduje a tento nezoxidovaný uhlík pak činí rozdíl mezi hodnotou celkového obsahu uhlíku, zjištěnou elementární analýzou a obsahem uhlíku oxidovatelného.

Zatímco % obsah dusíku, fosforu a dalších prvků v rozkládaném opadu se během dekompozice mění, koncentrace uhlíku zůstává prakticky konstantní, změna se pohybuje okolo 1% (Anderson 1973), přičemž abiotické vymývání se na tomto procesu podílí jen nepatrně (Stachurski et Zimka 1976).

Obsah uhlíku se tedy během dekompozice snižuje souhlasně s tím, jak se opad transformuje do půdní organické hmoty, jeho úbytek vysoce koreluje s úbytkem hmotnosti opadu (Rustad 1994).

**Metodika**

Ke zjištění obsahu oxidovatelného uhlíku v opadu byla použita oxidimetrická metoda stanovení uhlíku spalováním za mokra (Kubíková 1971), používaná běžně pro analýzy půd. Postup práce se lišil pouze ve hmotnosti počáteční navážky vzorku, kdy bylo nutné použít množství opadu asi 10x menší, než se používá pro analýzy půd, neboť údaje z literatury uvádějí právě takový rozdíl mezi obsahem Cox v půdě a v opadu (Zak et al. 1994, Pardo et al. 1997 a další). Další postup byl pak zcela shodný.

Zjištění hodnot celkového uhlíku ve studovaných druzích opadu bylo provedeno elementární analýzou.

**Výsledky**

Zjištěný obsah Cox ve studovaném opadu udává tabulka 4.2.1.6.2., hodnoty celkového uhlíku pak tabulka 4.2.1.6.3. Výsledky jsou znázorněny v grafech 4.2.1.6.1 a 4.2.1.6.2.

Podrobení dat jednocestné analýze variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly v obsahu Cox a

celkového C mezi jednotlivými druhy opadu, při vyloučení hodnoty filtračního papíru však rozdíly signifikantní nejsou.

| opad | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Quercus rubra* | 4 | 42,4 | 39,6 | 45 | 2,4 | 1,2 |
| *Larix decidua* | 4 | 42,9 | 37,7 | 45,1 | 3,5 | 1,7 |
| *Tilia cordata* | 4 | 45,1 | 40 | 48,2 | 3,9 | 1,9 |
| filtr. papír | 1 | 26 | 26 | 26 | | |

**Tab. 4.2.1.6.2.**: Hodnoty Cox (v % sušiny) ve studovaných druzích opadu.

| opad | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Quercus rubra* | 2 | 47 | 46,9 | 47,1 | 0,14 | 0,1 |
| *Larix decidua* | 2 | 47,6 | 47,5 | 47,7 | 0,14 | 0,1 |
| *Tilia cordata* | 2 | 47,25 | 47,1 | 47,4 | 0,21 | 0,15 |

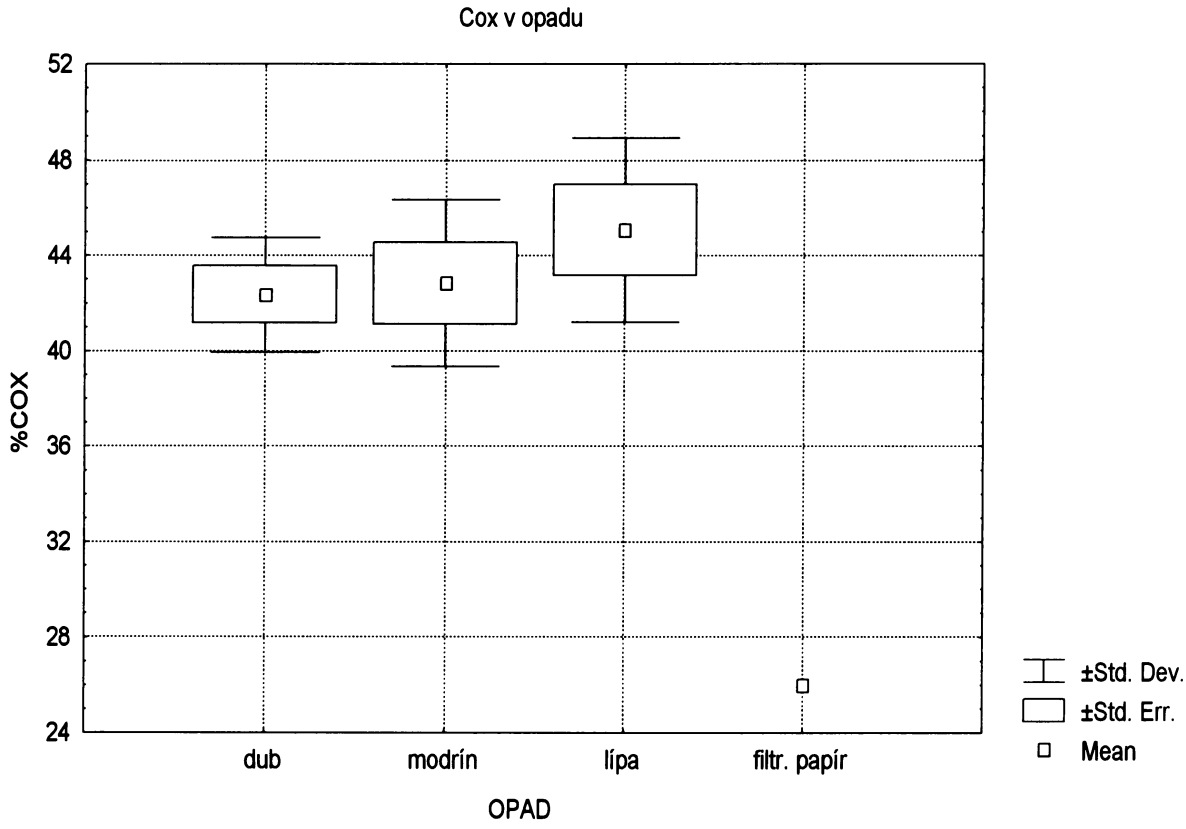
**Tab. 4.2.1.6.3.**: Hodnoty celkového uhlíku ve studovaných druzích opadu.

Z hodnot celkového uhlíku a dusíku v opadu lze určit hodnotu C/N, která slouží ke vzájemnému porovnání potenciální degradability opadového materiálu.

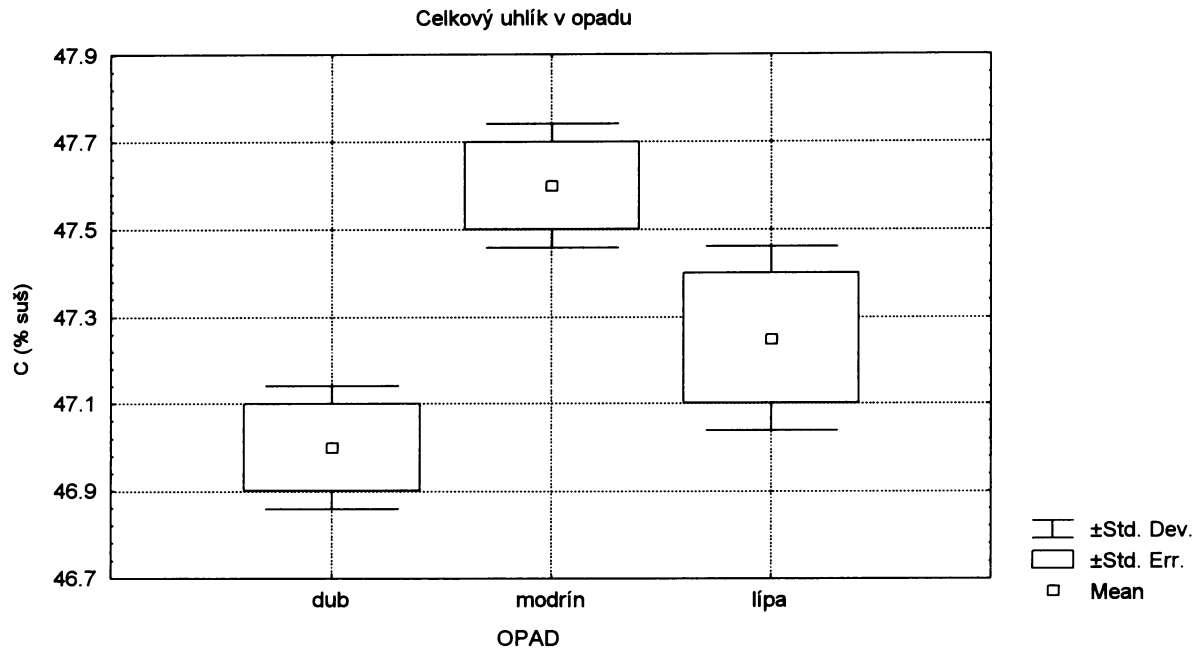
Výsledné hodnoty C/N jsou uvedeny v tabulce 4.2.1.6.4. a v grafu 4.2.1.6.3.

| opad | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Quercus rubra* | 2 | 70,2 a | 70,1 | 70,3 | 0,14 | 0,1 |
| *Larix decidua* | 2 | 25,05 b | 24,5 | 25,6 | 0,78 | 0,55 |
| *Tilia cordata* | 2 | 46,85 c | 46,7 | 47 | 0,21 | 0,15 |

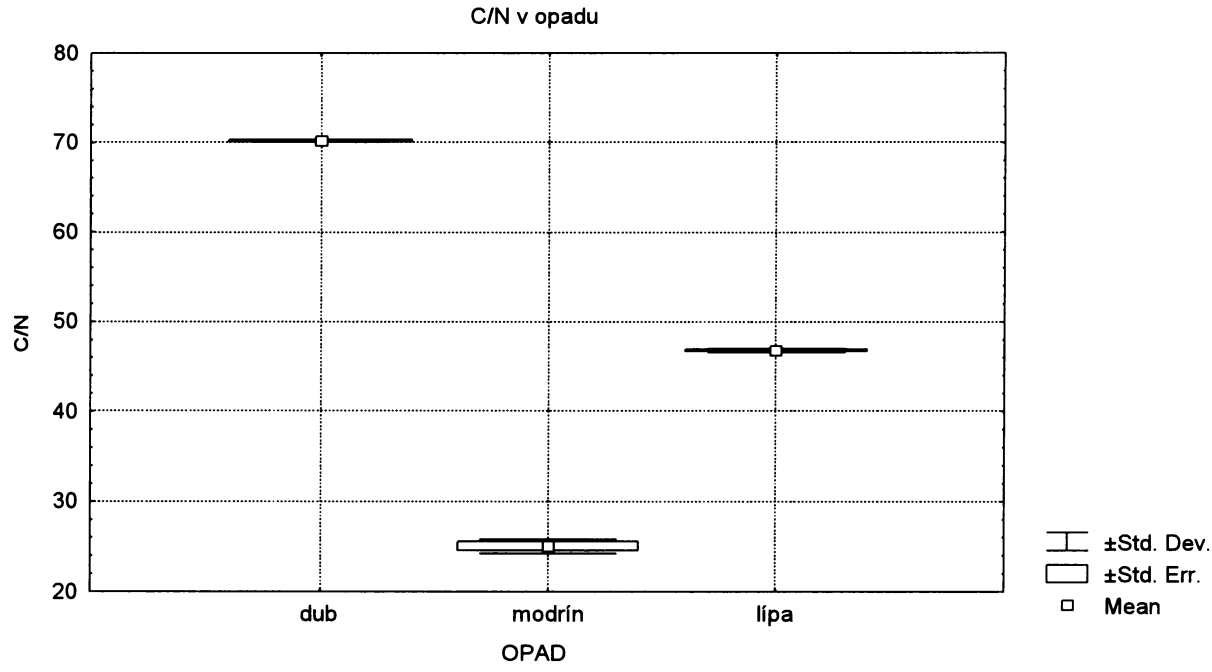
**Tab. 4.2.1.6.4.**: Hodnoty C/N v opadu studovaných dřevin. Hodnoty označené různými písmeny se sifnifikantně liší.




**Graf 4.2.1.6.1.**: Hodnoty Cox (v % sušiny) v opadu studovaných dřevin.




**Graf 4.2.1.6.2.**: Hodnoty celkového uhlíku v opadu studovaných dřevin.




**Graf 4.2.1.6.3.**: Hodnoty C/N v opadu studovaných dřevin.

Zde podrobení hodnot C/N jednocestné analýze variance ukázalo na 5%ní hladině významnosti signifikantní rozdíly mezi jednotlivými druhy opadu. Dále bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší.

**Diskuse**

Z výsledků vyplývá, že hodnoty Cox a celkového C se u opadu studovaných dřevin neliší, jiný je pouze obsah Cox ve filtračním papíru.

Výsledný poměr C/N pak závisí pouze na obsahu celkového dusíku v listovém materiálu. Nejnižší, tedy potenciálně dekompozici nejpříznivější C/N, vykazuje opad modřínu

může být příčinou nedostatečné zežloutnutí jehlic modřínu při sběru (blíže kapitola 4.2.1.5.)

U opadu červeného dubu byla zjištěna hodnota C /N velmi vysoká, což napovídá, že list obsahuje pravděpodobně mnoho strukturotvorných látek, které se rozkládají pomalu. Tomuto předpokladu odpovídá i dříve zjištěná hodnota specifické hmotnosti listu (SHL - viz kap. 4.2.1.1.).

**Závěr**

Bylo zjištěno, že hodnoty obsahu oxidovatelného uhlíku a celkového uhlíku se u jednotlivých druhů opadu signifikantně neliší, odlišné však jsou hodnoty dusíku a tedy i C/N, kde nejvyšší hodnotu, pro rozklad nejnepříznivější, vykazuje opad červeného dubu, nejnižší pak jehlice modřínu.

## 4.2.1.7. Obsah fosforu

**Úvod**

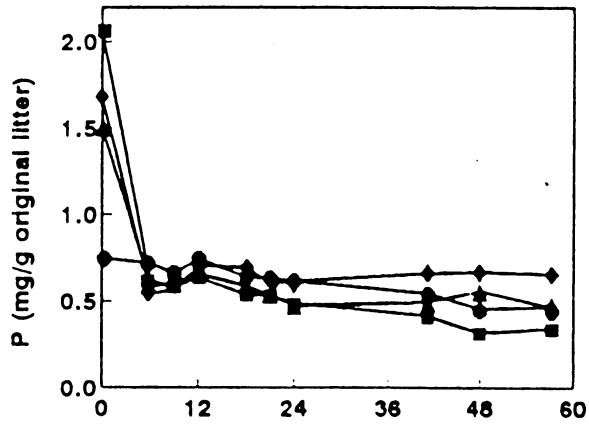
Fosfor, podobně jako dusík, je z hlediska dekompozice opadu podpůrným prvkem, neboť zatímco množství dusíku v půdě bývá zpravidla dostatečné, fosfor je často v nedostatku a stává se limitující živinou pro půdní faunu a floru (Garret 1963).

Elwood et al.(1981) dokázali na experimentu s listy *Q. rubra*, že zvýšené množství fosforu v půdní vodě zrychluje úbytek hmotnosti opadu.

Také Vitousek et al.(1994) zjistili, že opad *Metrosideros polymorpha* (*Myrtaceae*),obsahující prokazatelně vyšší množství fosforu, se rozkládá více než 2x rychleji než opad stejného druhu s nižší koncentrací tohoto prvku.

Podobně Van Vuuren et al.(1993) ukazují, že vyšší obsah N a P v iniciálním opadu přispívá k větší rychlosti dekompozice.

Fosfor je známý jako rychle se vyplavující prvek, většina ho z opadu zmizí během šesti měsíců (Rustad 1994). Proto je jeho množství významným ukazatelem úbytku hmoty zvláště v první fázi dekompozice (Gallardo et Merino 1993). Jeho obsah v opadu se pohybuje mezi 0,2 - 2,5 mg/g sušiny.




**Obr. 4.2.1.7.1.**: Změna v celkovém obsahu fosforu (v mg/g sušiny) v opadu *Picea rubens* (■), *Pinus strobus* (●), *Acer rubrum* (◆) a smíšeném opadu (★) během 57 měsíců dekompozice. (Rustad 1994)

Příklady obsahu fosforu v některých druzích opadu uvádí tabulka 4.2.1.7.1.

| druh opadu | obsah P (mg/g) | reference |
|---|---|---|
| *Pinus sylvestris* | 0,19 | Berg et Staaf 1987 |
| *Metrosideros polymorpha* | 0,24 | Vitousek et.al. 1994 |
| *Quercus pubescens* | 0,47 | Gillon et.al. 1994 |
| *Quercus coccifera* | 0,63 | Gillon et.al. 1994 |
| *Pinus strobus* | 0,75 | Rustad 1994 |
| *Fagus sylvatica* | 0,88 | Gillon et.al. 1994 |
| *Quercus ilex* | 0,95 | Gillon et.al. 1994 |
| *Castanea sativa* | 1,45 | Gillon et.al. 1994 |
| *Acer rubrum* | 1,7 | Rustad 1994 |
| *Picea rubens* | 2,1 | Rustad 1994 |
| *Betula pubescens* | 2,4 | Berg et Staaf 1987 |

**Tab. 4.2.1.7.1.**: Příklady obsahu fosforu (v mg/g sušiny) v některých druzích opadu.

**Metodika**

Celkový obsah fosforu v rostlinném materiálu byl stanoven kolorimetricky jako modrý fosfomolybdenový komplex při 690 nm, po mineralizaci ve směsi $HNO_3$ a $HClO_4$ (2:1).

0,2 g sušiny bylo 12 hodin macerováno ve 2 ml koncentrované $HNO_3$, zahříváno do vytvoření hnědých par a po ochlazení přidán 1 ml konc. $HClO_4$ a vzorek byl opět zahříván na pískové lázni do mokrého odparku.

Výsledný obsah celkového fosforu v opadu byl proveden ve dvou opakováních a vyjádřen v mg/g sušiny.

**Výsledky**

Zjištěný celkový obsah fosforu v opadu studovaných dřevin udává tabulka 4.2.1.7.2. a graf 4.2.1.7.1. Ošetření dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly v celkovém obsahu fosforu mezi jednotlivými studovanými druhy opadu. Dále bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší.

| opad | n | průměr | minimum | maximum | směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Quercus rubra* | 2 | 0,79 a | 0,78 | 0,80 | 0,02 | 0,01 |
| *Larix decidua* | 2 | 1,3 b | 1,27 | 1,32 | 0,03 | 0,02 |
| *Tilia cordata* | 2 | 0,69 c | 0,68 | 0,69 | 0,01 | 0,002 |

**Tab. 4.2.1.7.2.**: Celkový obsah fosforu (v mg/g sušiny) v opadu studovaných dřevin. Hodnoty označené stejnými písmeny se signifikantně neliší.

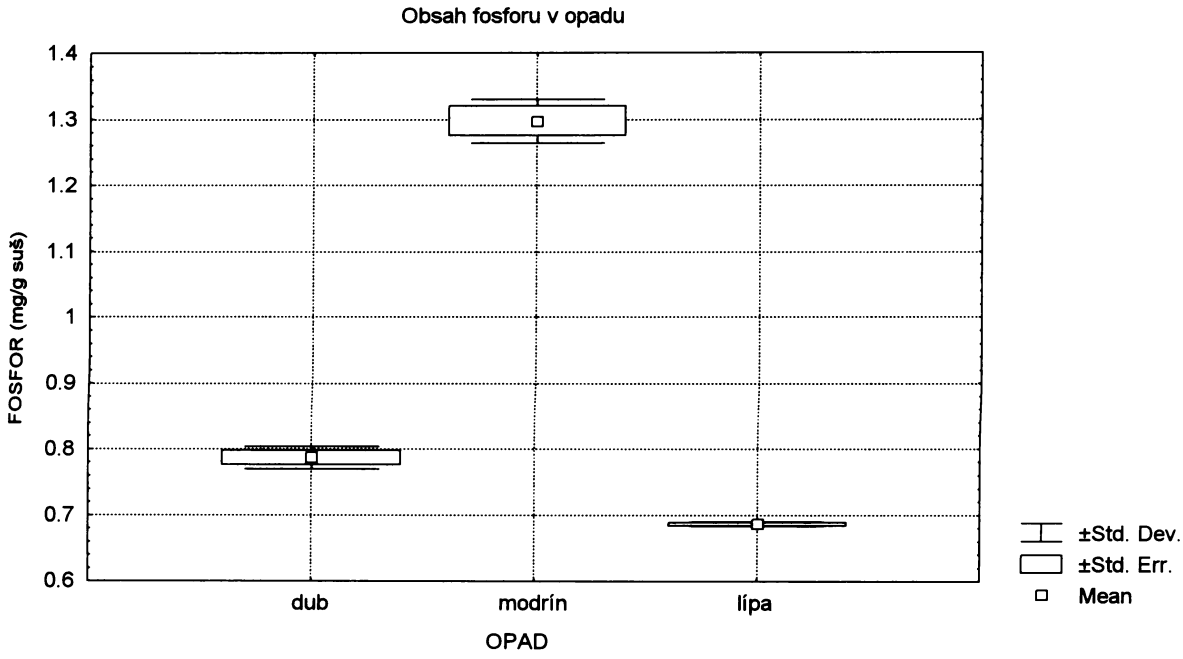
**Diskuse**

Nejvyšší hodnota celkového obsahu fosforu byla naměřena u opadu modřínu, nejnižší u lipového listí. Opad červeného dubu pak vykazuje hodnotu střední.

Z výsledků se dá tedy usoudit, že z hlediska obsahu tohoto prvku mají pro rychlost rozkladu nejpříznivější složení právě modřínové jehlice, nejhorší pak opad lípy. Tyto výsledky však neodpovídají dále uvedeným výsledkům rychlosti dekompozice opadu studovaných dřevin (kap. 4.2.2.1.). To lze vysvětlit tím, že rychlost dekompozice je ovlivňována velkým množstvím faktorů (viz úvod kapitoly 4.2.) a že fosfor v opadu nepatří k těm prvkům, které proces dekompozice limitují.

**Závěr**

Nejpříznivější podmínky pro rozkladné procesy z hlediska celkového obsahu fosforu byly zjištěny pro modřínový opad, opad červeného dubu vykazuje hodnotu střední a opad lípy byl na fosfor nejchudší a tedy pro dekompozitory nejméně atraktivní.




**Graf 4.2.1.7.1.**: Hodnoty celkového obsahu fosforu (v mg/g sušiny) v opadu studovaných dřevin.

### 4.2.1.8. Obsah vodorozpustných polyfenolů

Obsahu vodorozpustných polyfenolů (dále VRP) v rostlinném opadu se věnovalo mnoho autorů, neboť tyto látky jsou považovány za jedny z nejvýznamnějších allelopatik v temperátním klimatu. Je to směs fenolických kyselin a dalších látek, které jsou z opadu odstraňovány jednak vyluhováním vodou, jednak jako produkty degradace ligninu, tento proces je však relativně pomalý.

Obšírnou studii zpracoval Kuiters (1987). Dokázal, že obsah VRP v opadu je nejvyšší těsně po opadu listů, poté se fenoly rychle vyplavují, takže většina jich z opadu zmizí již po čtyřech měsících dekompozice.

Obsah VRP je druhově specifický, přičemž opad jehličnanů vykazuje nižší hodnoty, což však může být způsobeno tím, že jehlice jsou málo propustné pro vodu a většinu fenolů zadržují v sobě. Jehlice modřínu se pak chovají spíše jako opad širokolistých dřevin, jak v iniciálním obsahu VRP, tak i v míře jejich vyplavování (Kuiters et Sarink 1986).

Další možné vysvětlení nižšího obsahu VRP v jehlicích je dáno faktem, že množství extrahovaných fenolických kyselin závisí na pH extraktantu, přičemž toto množství klesá se snižujícím se pH (Vance et al.1985, Whitehead et al.1981). Výluh z jehlic pak vykazuje zpravidla kyselejší reakci, než výluh z širokých listů a tudíž se může, při použití vody jako extraktantu, do ní vyplavit pouze malá část z celkového množství VRP, obsaženého v jehlicích.

Druhová specifičnost obsahu VRP se však netýká pouze celkového množství, nýbrž také složení, protože různé fenolické kyseliny, obsažené ve složce VRP, mohou mít rozdílné účinky (Whitehead et al.1981). Lodhi (1976, 1978b) izoloval z listů *Quercus rubra* velké množství polyfenolů, které prokazatelně brzdily klíčení a růst semenáčů studovaných bylin.

Zjištění obsahu polyfenolů ve studovaném opadu má tedy dvojí důvod:

- Jednak z hlediska možného ovlivnění činnosti dekompozitorů a tedy následně rychlosti dekompozice, neboť například Olsen et al.(1971) prokázali inhibiční vliv VRP na mykorrhizní houby. Také Harrison (1971) zjistil, že fenolické látky, izolované z opadu *Q. petraea* a *Q. robur* významně inhibují růst půdních hub.
- Za druhé z důvodu vlivu VRP na fyziologické procesy rostlin, jako je klíčení a růst, který byl prokázán v mnoha pracích (Kuiters 1987, Stom 1982, aj.), přičemž bylo zjištěno, že ve vyšších koncentracích působí tyto látky inhibičně, v nízkých naopak stimulačně, což je významný fakt z hlediska např. lesních bylin, klíčících v jarních měsících, kdy může být množství VRP v půdě právě ve stimulující koncentraci. Tato otázka je však mnohem složitější, neboť každá rostlina reaguje na fenoly v půdě jinak (Kuiters 1987).

Příklady obsahu vodorozpustných polyfenolů v různých typech opadu uvádí tabulka 4.2.1.8.1.

| | VRP (µg/g suš) | reference |
|---|---|---|
| *Pseudotsuga menzi.* | 259 | Kuiters 1987 |
| *Crategus monogyna* | 378 | Kuiters 1987 |
| *Picea abies* | 426 | Blaschke 1979 |
| *Pinus sylvestris* | 514 | Kuiters 1987 |
| *Larix decidua* | 551 | Blaschke 1979 |
| *Q. robur* | 813 | Kuiters 1987 |
| *Populus nigra* | 1169 | Kuiters 1987 |
| *Acer pseudoplatanus* | 1329 | Kuiters 1987 |
| *Fraxinus excelsior* | 1331 | Kuiters 1987 |
| *Fagus sylvatica* | 1569 | Kuiters 1987 |
| *Betula pendula* | 1711 | Kuiters 1987 |
| *Salix fragilis* | 2085 | Kuiters 1987 |
| *Coryllus avellana* | 2534 | Kuiters 1987 |
| *Carpinus betulus* | 2552 | Kuiters 1987 |

**Tab. 4.2.1.8.1.**: Příklady obsahu vodorozpustných polyfenolů v různých druzích opadu (v µg/g sušiny).

**Metodika**

Metodu, použitou v této práci, uvádí Kuiters (1987), Sklenář (1994). Jde o oxidaci fenolických látek Folin-Ciocalteuovým činidlem, které vytváří ve vodném roztoku modrý komplex, jehož extinkce se měří spektrofotometricky při vlnové délce 765 nm. Popis přípravy F-C činidla je uveden v pracích Folin a Ciocalteu (1927) a Sklenář (1994).

Vodný extrakt byl získán třepáním 5 g na vzduchu vyschlého listového materiálu (filtrační papír jako kontrola) ve 250 ml destilované vody po 20 hodin. Poté byl výluh zfiltrován a po přidání malého množství kyseliny trichlóroctové (kvůli vysrážení proteinů) ještě asi 2,5 hodiny třepán a opět zfiltrován.

K takto připravenému extraktu se přidává F-C činidlo a 20% $Na_2CO_3$ v poměru 8 ml vzorku, 0,5 ml činidla a 2 ml uhličitanu sodného. Podle zkušenosti však bylo nutné většinu extraktů zředit 10x, nebo 25x, pouze extrakt z filtračního papíru bylo možné použít neředěný. Ze zředěných extraktů bylo také odebíráno různé množství pro měření extinkce, vždy však tak, aby poměr zůstal zachován.

Smícháním všech tří složek vznikl modrý roztok, jehož extinkce je stabilní po 60 minutách po dobu několika hodin, měřila se po 90 minutách. Výsledná koncentrace VRP byla vyjádřena v µg/g sušiny.

Kalibrace byla provedena s použitím taninové kyseliny, která byla rozpuštěna ve 2% vodném roztoku metanolu na různé koncentrace v rozmezí 1 - 20 µg/ml a podle výsledné extinkce byla sestrojena kalibrační křivka.

Pro každý druh opadu byla provedena čtyři opakování.

**Výsledky**

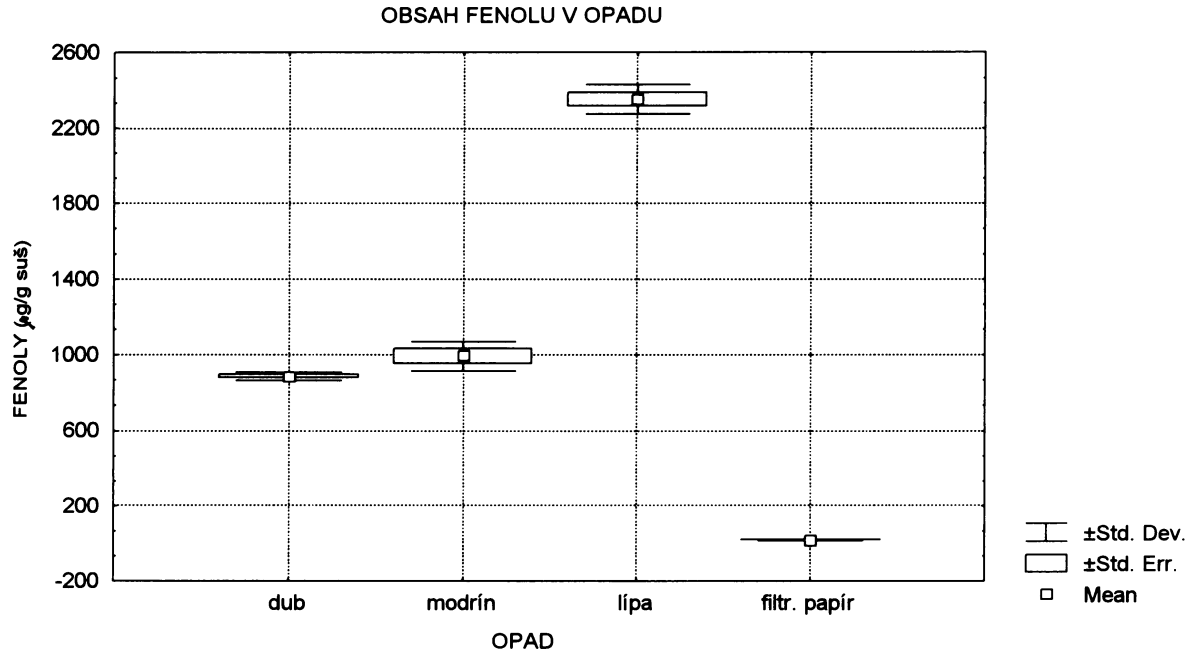
Ze všech druhů opadu (filtrační papír vyjímaje) byla nejnižší hodnota zjištěna pro opad *Q. rubra* - 887,2 µg/g sušiny. O něco vyšší hodnotu měl *L. decidua* - 992,8 µg/g sušiny. Naproti tomu lípa ve svém opadu obsahovala asi 2,5krát vyšší množství VRP než každá z předchozích dřevin. Zpracování dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5% hladině významnosti signifikantní rozdíly v obsahu VRP mezi jednotlivými druhy opadu. Dále bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně liší. Bližší informace viz tabulka 4.2.1.8.2. a graf 4.2.1.8.1.

| | n | průměr | minimum | maximum | .směrodatná odchylka (Std. dev.) | střední chyba průměru (SE) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Q. rubra* | 4 | 887,2 a | 855,3 | 905 | 22,26 | 11,13 |
| *L. decidua* | 4 | 992,8 b | 892,9 | 1075 | 76,00 | 38,00 |
| *T. cordata* | 4 | 2353,3 c | 2256,9 | 2425 | 77,55 | 38,78 |
| filtrační papír | 3 | 19,7 d | 17,2 | 22 | 2,36 | 1,37 |

**Tab. 4.2.1.8.2.** Množství vodorozpustných polyfenolů ve studovaném opadu (µg/g sušiny). Hodnoty označené stejnými písmeny se signifikantně neliší.

**Diskuse**

Naměřené hodnoty částečně vypovídají o možném allelopatickém působení opadu na své prostředí, přičemž oproti očekávání měl opad *Q. rubra* nejnižší naměřené hodnoty, srovnatelné s hodnotami, které udává Kuiters (1987) a Sklenář (1994) pro *Q. robur*. V tomto případě nelze tedy očekávat větší vliv na podrost výsadby *Q. rubra* prostřednictvím allelopatických látek, i když vzhledem k údajům z literatury (Lodhi 1976, 1978b; Scisciolo et al. 1990) nelze zcela tuto




**Graf 4.2.1.8.1.**: Obsah vodorozpustných polyfenolů (v µg/g sušiny) v opadu studovaných dřevin.

možnost vyloučit. Podobně hodnoty pro opad *L. decidua* nevypovídají o možném větším allelopatickém působení. Opad *T. cordata* vykazuje velké množství VRP, které by mohly být zdrojem vlivu na lesní podrost, protože však fenolové kyseliny, obsažené ve složce VRP mají různé účinky, inhibiční i stimulační, na klíčení a růst rostlin, nelze jednoznačně předpovědět jejich souhrnný vliv.

**Závěr**

Stanovením množství vodorozpustných polyfenolů v opadu studovaných dřevin bylo zjištěno, že nejvyšší obsah vodorozpustných polyfenolů má lipový opad, o něco nižší pak opad modřínu a nejnižší množství polyfenolů bylo zjištěno u opadu červeného dubu. Konkrétní vliv těchto látek na bylinné a keřové patro studovaných stanovišť nebyl zkoumán.

## Souhrnné výsledky kapitoly 4.2.1. - Iniciální vlastnosti opadu

Celkový pohled na zjištěné iniciální vlastnosti opadu a odhad jejich vztahu k rychlosti dekompozice zahrnuje tabulka 4.2.1.1.

| | *Q. rubra* | | *L. decidua* | | *T. cordata* | | filtrační papír | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SHL (g/m2) | 66,6 | 0 | 130,3 | - | 54,3 | + | 77,9 | 0 |
| absorbce (% suš) | 166 a | - | 237 b | 0 | 332 c | + | 128 d | |
| VRL (% suš) | 6,2 a | - | 31,9 b | + | 22,7 c | 0 | 4,2 a | - |
| pH výluhu | 5,72 a | + | 1,17 b | - | 5,59 a | + | neměřeno | |
| N (% suš) | 0,47 a | 0 | 1,19 b | + | 0,59 a | 0 | 0 c | - |
| Cox (% suš) | 42,4 a | 0 | 42,9 a | 0 | 45,1 a | 0 | 26 b | + |
| C (% suš) | 47 | | 47,6 | | 47,25 | | neměřeno | |
| C/N | 70,2 a | - | 25,05 b | + | 46,85 c | 0 | neměřeno | |
| P (mg/g suš) | 0,79 a | 0 | 1,3 b | + | 0,69 c | - | neměřeno | |
| fenoly ($\mu$g/g suš) | 887,2 a | 0 | 992,8 b | 0 | 2335,3 c | - | 19,7 d | + |
| popeloviny (% suš) | 3,82 a | | 5,73 b | | 6,72 c | | 0,302 d | |

**Tab 4.2.1.1.**: Výsledné hodnoty všech vybraných charakteristik opadu studovaných dřevin. První sloupec u každého druhu opadu obsahuje konkrétní naměřené hodnoty vybrané charakteristiky, druhý sloupec je odhad vztahu této hodnoty k rychlosti dekompozice (+ příznivý vliv; - nepříznivý vliv; 0 žádný, nebo velmi malý vliv). Hodnoty obsahu popelovin nebyly tímto způsobem vyhodnoceny, neboť jejich vliv na procesy dekompozice jsou nejasné. Hodnoty označené stejnými písmeny v rámci řádků se navzájem signifikantně neliší.

Vysvětlivky: SHL = specifická hmotnost listu
VRL = obsah vodorozpustných látek
absorbce = schopnost absorbce vody

## Celková diskuse výsledků kapitoly 4.2.1. - Iniciální vlastnosti opadu

Z výsledků analýz listového opadu studovaných dřevin jednoznačně vyplývá, že nejpříznivější vlastnosti pro rychlost dekompozice má opad lípy srdčité, který má příznivé zejména takové fyzikální vlastnosti jako specifickou hmotnost listů a jejich schopnost absorpce vody. Tyto vlastnosti jej předurčují k vyšší rychlosti rozkladu zejména v iniciální fázi dekompozice.

Nepříznivé charakteristiky pro rychlost rozkladu, jako jsou nízký obsah fosforu a vysoká koncentrace polyfenolů, nemají zřejmě v procesu dekompozice rozhodující váhu a jsou vyváženy příznivými vlastnostmi opadu.

Nejméně příznivých vlastností pro rozkladné procesy bylo zjištěno pro opad červeného dubu, u kterého je jediná opravdu příznivá charakteristika hodnota pH výluhu. Ostatní charakteristiky jsou pak nepříznivé, nebo z hlediska dekompozice neutrální. Hodnoty zejména fyzikálních charakteristik a množství vodorozpustných látek pak vypovídají o pravděpodobně malé rychlosti dekompozice v prvních fázích rozkladu, nesnadné fragmentaci a kolonizaci listu dekompozitory. I když tedy vykazuje opad *Q. rubra* vcelku množství nepříznivých hodnot, není žádná z nich tak nepříznivá, aby zcela eliminovala nějakou skupinu dekompozitorů z procesu rozkladu.

Opad modřínu opadavého vykazuje příznivý obsah živin, což však, jak bylo výše uvedeno může souviset s nedostatečným zežloutnutím jehlic. Další vlastnosti jsou spíše nepříznivé a zejména velmi nízká hodnota pH vodného výluhu z opadu naznačuje, že v procesu dekompozice jehlic může docházet k redukci bakteriálních dekompozitorů. To vše naznačuje, že

dekompozice opadu bude značně ztížena a bude pravděpodobně probíhat pomalu.

Celkový závěr kapitoly 4.2.1. - Iniciální vlastnosti opadu

Pomocí hodnot vybraných fyzikálních a chemických charakteristik iniciálního opadu studovaných dřevin *Quercus rubra*, *Larix decidua* a *Tilia cordata* byla odhadnuta potenciální rychlost dekompozice jednotlivých druhů opadu.

Bylo zjištěno, že nejlepší podmínky pro dekompozici má opad lípy; výsledky naznačují, že rozklad může probíhat velmi rychle, zejména v prvních fázích.

Opad modřínu a červeného dubu má pro dekompozici podmínky nepříznivé, charakteristiky nasvědčují, že rozklad bude probíhat pomaleji. U červeného dubu jsou nepříznivé především fyzikální charakteristiky opadu, opad modřínu pak svou velmi vysokou kyselostí výluhu vytváří nepříznivé prostředí, zvláště pro bakteriální dekompozitory.

Tyto výsledky jsou pak ještě souhrnně diskutovány a porovnány s konkrétními výsledky rychlosti dekompozice jednotlivých druhů opadu na závěr kapitoly 4.2.1. - Dekompozice za konstantních podmínek teploty a vlhkosti v laboratoři. Pro přesné posouzení allelopatického vlivu výluhu z opadu dřevin by bylo nutné provést přímý cílený experiment klíčením semen rostlinných druhů podrostu ve výluhu z opadu, nebo na příslušné půdě.

## 4.2.2. Chemické vlastnosti Ah horizontu

**Úvod**

Půda je jedním ze základních neobnovitelných přírodních zdrojů, který plní v přírodním i člověkem využívaném prostředí řadu významných funkcí. Je to dynamický systém neustále se vyvíjející a přeměňující, na jehož vzniku se podílí velké množství faktorů, jako například matečná hornina, klima, reliéf, čas, organismy, činnost člověka, eventuelně další faktory jako půdní voda, půdní mráz, gravitace, přínos vulkanického nebo eolického materiálu aj. Podle tohoto, takzvaně faktorově genetického přístupu je biologický faktor (živočichové, rostliny, mikroorganismy) často posuzován jako vůdčí, nebo hlavní faktor pedogeneze. Konkrétnější v postižení hybných sil pedogeneze je systémový přístup, hodnotící výměnu látek mezi půdou a vegetací a tok energie v geosystému. Vyjadřuje tedy, že existují složité zpětné vztahy mezi půdou a prostředím (Němeček et al. 1990).

Z toho vyplývá, že vztah organismy - půda je obousměrný, se zpětnou vazbou, a tedy i vegetace a její vlastnosti působí na pedogenetické procesy, zejména svrchních půdních horizontů a naopak vlastnosti těchto horizontů ovlivňují složení, růst a vývoj vegetace na stanovišti.

Cílem této části práce tedy je odhadnout, jak jednotlivé porosty studovaných dřevin působí na půdu svého stanoviště. V kapitole 3.2. je pak zhodnocen podrost jednotlivých stanovišť jako výsledek opačného působení, tedy půdy na vegetaci. Dále pak výsledky analýz slouží k alespoň přibližnému posouzení, zda a jak mohou vlastnosti substrátu ovlivnit rychlost dekompozice jednotlivých druhů opadu za kontrolovaných podmínek teploty a vlhkosti v laboratoři (kapitola 4.2.3.).

Chemické vlastnosti Ah horizontu

**Metodika**

Půda z Ah horizontu stanovišť červeného dubu, modřínu opadavého a lípy srdčité byla pro účely analýz odebrána na podzim roku 1998 (7.10.).

Pro alespoň přibližné zjištění vlastností Ah horizontů na stanovištích studovaných dřevin byly zjištěny tyto hodnoty: pH, obsah dusíku, obsah oxidovatelného uhlíku, poměr Cox/N a poměr huminových kyselin a fulvokyselin (blíže o humusových kyselinách kapitola 4.2.3.2.).

Pro účely této práce bude v této kapitole pro označení Ah horizontu použit pojem půda.

Hodnota pH byla zjištěna změřením na digitálním pH-metru, obsah oxidovatelného uhlíku oxidimetrickou metodou spalováním za mokra (Kubíková 1971), analýza celkového obsahu dusíku byla provedena metodou podle Kjeldahla a pro zjištění poměru huminových kyselin a fulvokyselin byla použita metoda určení barevného kvocientu Q4/6 humusových látek (Králová et al. 1991).

Získané hodnoty, kromě poměru Cox/N, byly podrobeny jednocestné analýze variance a následně bylo Duncanovým testem zjištěno, které hodnoty se signifikantně odlišují.

**Výsledky**

Výsledné hodnoty vlastností Ah horizontů (písek jako kontrola) jsou uvedeny v tabulce 4.2.2.1. a znázorněny v grafech 4.2.2.1. až 4.2.2.4.

Na základě analýzy dat jednocestnou analýzou variance byly prokázány na 5% ní hladině významnosti signifikantní rozdíly v hodnotách pH, Cox, N, a HK:FK mezi jednotlivými substráty. Duncanovým testem bylo dále zjištěno, které hodnoty se navzájem signifikantně liší.

| | pH (KCl) | | pH (H2O) | | Cox | | N | | Cox/N | HK:FK | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | n | | n | | n | | n | | | n | |
| *Q. rubra* | 2 | 5,18 ± 0,3 **a** | 2 | 5,47 ± 0,25 **a** | 4 | 5,11 ± 0,62 **a** | 3 | 0,25 ± 0,06 **a** | 20,44 | 2 | 0,32 **a** |
| *L. decidua* | 2 | 4,22 ± 0,21 **a** | 2 | 4,99 ± 0,42 **a** | 4 | 6,49 ± 0,42 **b** | 3 | 0,25 ± 0,07 **a** | 25,96 | 2 | 0,23 ± 0,01 **b** |
| *T. cordata* | 2 | 5,31 ± 0,34 **a** | 2 | 5,83 ± 0,66 **a** | 4 | 4,31 ± 0,48 **a** | 2 | 0,21 ± 0,01 **a** | 20,52 | 2 | 0,38 ± 0,04 **a** |
| písek | 2 | 8,63 ± 0,31 **b** | 2 | 9,24 ± 0,23 **b** | 1 | 0 **c** | 3 | 0,05 + 0 **b** | | 1 | 0,18 **b** |

**Tab. 4.2.2.1.**: Výsledné hodnoty vybraných vlastností Ah horizontů stanovišť jednotlivých dřevin a písku. Hodnoty označené stejnými písmeny se vzájemně signifikantně neliší.

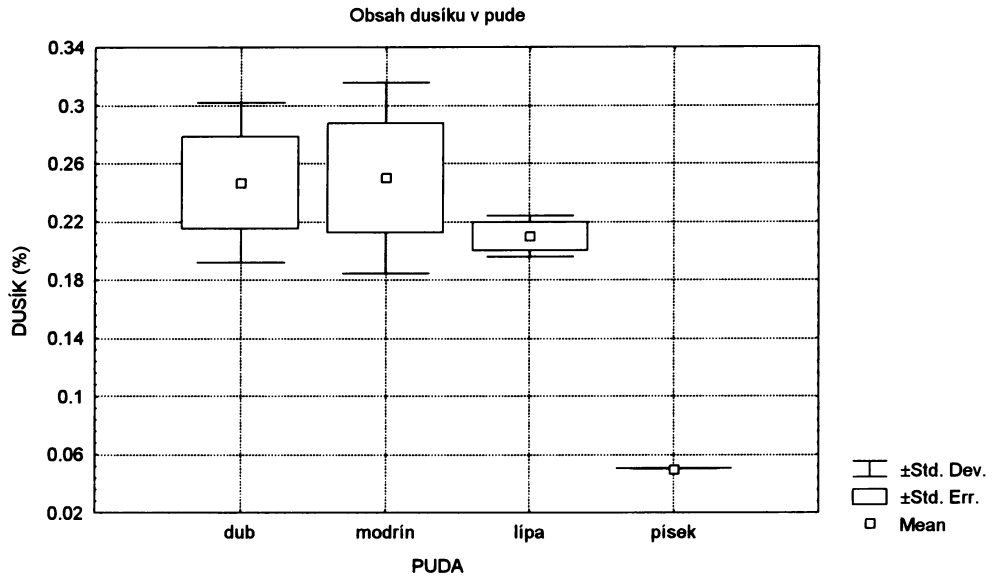
Nejvyšší hodnota pH substrátu byla zjištěna u písku, nejnižší u půdy pod modřínem, hodnoty pH půdy pod dřevinami se však signifikantně neliší.

Obsah oxidovatelného uhlíku byl nejvyšší v Ah horizontu pod modřínem, hodnoty pro půdu pod lípou a červeným dubem jsou nižší a signifikantně se neliší. Vyžíhaný písek má hodnotu Cox nulovou.

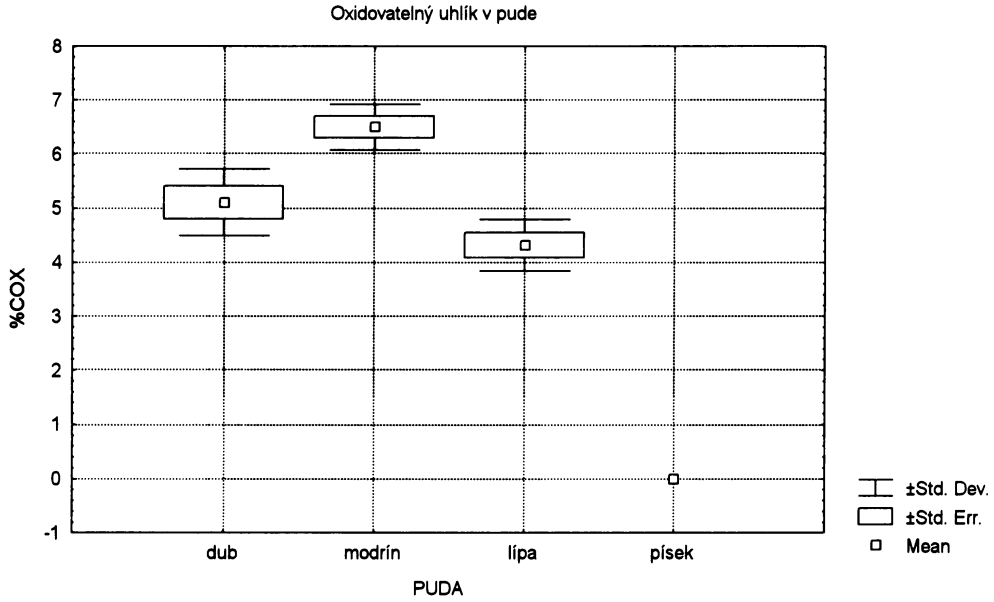
Hodnoty celkového obsahu dusíku se mezi jednotlivými půdními typy signifikantně neliší, pouze písek má tuto hodnotu velmi nízkou.

Z hodnot obsahu oxidovatelného uhlíku a celkového dusíku vyplývá, že modřínová půda má díky nejvyššímu obsahu Cox také nejvyšší poměr Cox/N (obsah N se mezi půdami neliší), ostatní dvě stanoviště mají poměr Cox/N nižší a téměř stejné hodnoty. Čím je tento poměr nižší, tím je půda z hlediska obsahu dusíku kvalitnější a obsahuje méně balastních látek.

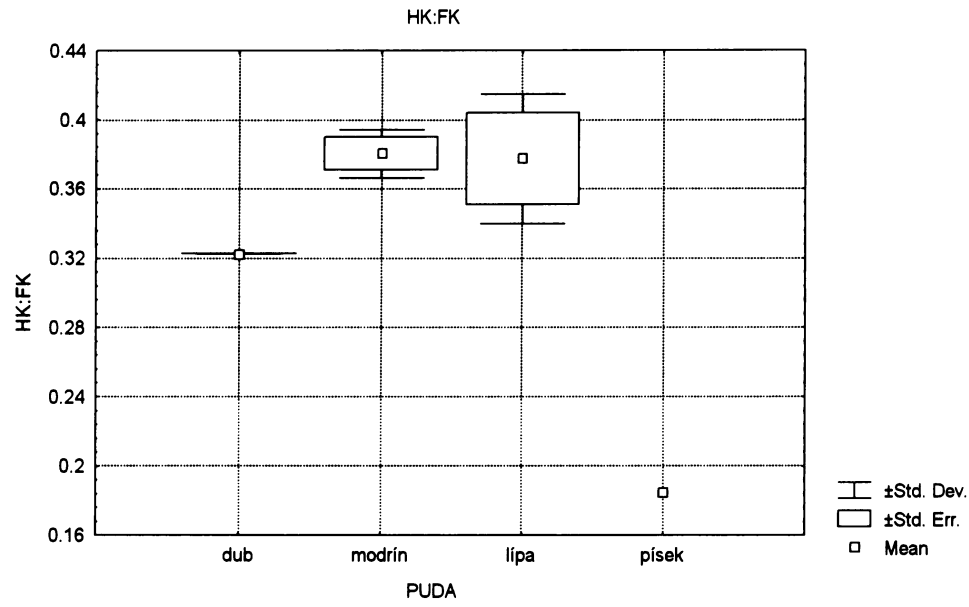
Nejvyšší a tudíž nejkvalitnější poměr HK:FK byl zjištěn na stanovišti lípy a červeného dubu, nejnižší hodnotu tohoto parametru vykazuje půda pod modřínem. Co se týče písku, nelze považovat naměřenou hodnotu za skutečný poměr huminových kyselin a fulvokyselin, neboť vyžíhaný písek neobsahuje žádné organické látky (hodnota Cox je rovna nule). Je třeba tuto



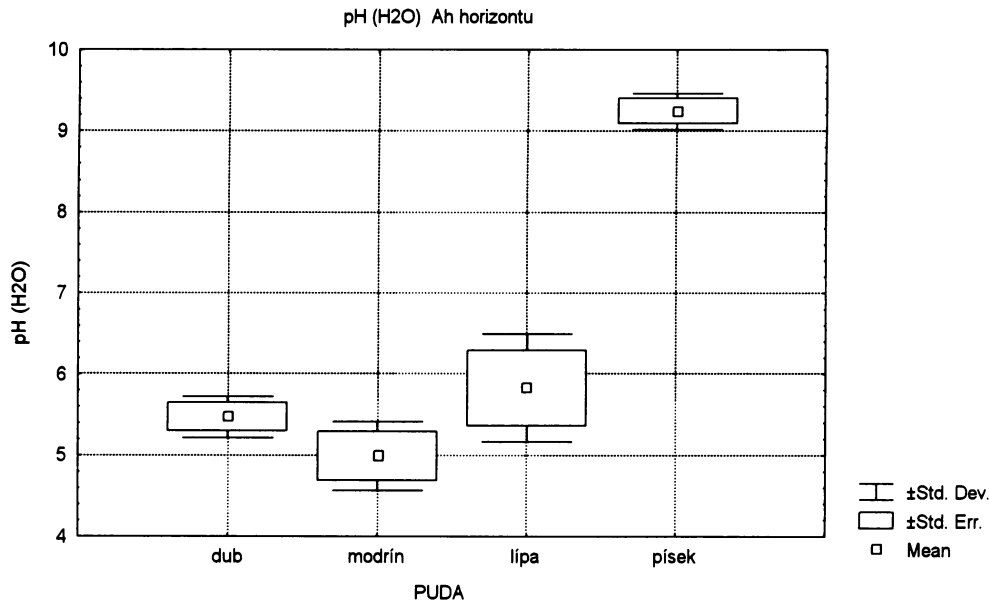

**Graf 4.2.2.1.**: Obsah dusíku (v % sušiny) v Ah horizontu stanovišť studovaných dřevin a v písku.




**Graf 4.2.2.2.**: Obsah oxidovatelného uhlíku v Ah horizontu stanovišť studovaných dřevin a v písku.




**Graf 4.2.2.3.**: Poměr huminových kyselin a fulvokyselin v Ah horizontu stanovišť studovaných dřevin. Hodnota získaná pro písek je dána pouze barevností výluhu, neboť vyžíhaný písek neobsahuje žádné organické látky (graf 4.2.2.2.).




**Graf 4.2.2.4.**: pH (H2O) v Ah horizontu stanovišť studovaných dřevin a v písku.

hodnotu považovat za jakési pozadí, způsobené barevností výluhu z písku.

**Diskuse**

Nejnižší hodnotu pH vykazuje půda pod modřínem, což odpovídá všobecné znalosti, že pod jehličnatými dřevinami bývá půda, díky dlouhotrvající humifikaci a hromadění surového humusu kyselá (McClaugherty et Berg 1987). Kuiters (1987) však udává pro modřínovou půdu hodnoty 4,6 - 5,8.

Ah horizont půdy na stanovišti červeného dubu a lípy má pH vyšší a přibližně stejné, ve srovnání s literaturou se tyto výsledky příliš neodchylují, Lodhi (1978a) udává pro porost *Quercus rubra* hodnotu 5,38, Zak et al. (1994) uvádí, že pH půdy v porostu s Tilia americana a Acer saccharum je 6,3. Ellenberg (1978), sec. Slavíková (1986) zjistil při šestiletém pokusu působení různých druhů opadu na pH smrkové půdy, že po této době se pH půdy, ovlivňované opadem *Tilia cordata* zvýšilo o 1,3, opad Quercus robur pak „zvýšil„ hodnotu o pouhých 0,2.

Zjištěné hodnoty pH napovídají, že lípa srdčitá udržuje na svém stanovišti příznivé podmínky půdní reakce jak pro lesní podrost, tak i pro půdní organismy, zajišťující dekompozici detritu. Podobně to platí o červeném dubu a o modřínu, neboť i když hodnota pH pro půdu pod modřínem je snížená, přece nebyla podle statistické analýzy v tomto parametru shledána signifikantně odlišná od ostatních stanovišť.

Písek jako substrát, na kterém byl prováděn dekompoziční pokus za kontrolovaných podmínek teploty a vlhkosti v laboratoři, má pH až moc zásadité, procesům dekompozice pravděpodobně málo příznivé.

Hodnoty Cox vyjadřují množství organického materiálu v horizontu, nejvyšší je tedy v Ah horizontu pod modřínem, neboť zde se organické látky rozkládají pomaleji a dlouho zůstávají

ve svrchních vrstvách půdy. Naproti tomu pod lípou, kde je rychlý obrat živin (rychlejší procesy dekompozice), nezůstávají v půdním horizontu organické látky dlouho a tedy jejich množství je nižší. Pod červeným dubem je hodnota Cox střední a i když není signifikantně odlišná od obsahu Cox v půdě pod lípou, dá se přesto očekávat obrat hmoty a energie menší než u lípy, ale větší než u modřínu.

Celkový obsah dusíku v Ah horizontech stanovišť jednotlivých dřevin není signifikantně rozdílný, posoudit, zda číselné hodnoty jsou vysoké, nízké či odpovídající není dost dobře možné, neboť obsah dusíku v půdním horizontu velmi kolísá v závislosti na vnějších podmínkách, a to i v průběhu roku (Ellenberg 1978, sec. Slavíková 1986).

Obsah dusíku v písku je pro dekompoziční procesy nedostačující.

Poměry huminových kyselin ku fulvokyselinám jsou u všech typů stanovišť nižší, než uvádějí údaje z literatury, například Pospíšil (1980) zjistil nejnižší hodnoty HK:FK ve svrchním půdním horizontu u rezivých modálních půd a u hnědých mezo a oligobazických půd - 0,6 - 0,7. To vše ukazuje buď na systematický posun při stanovení této hodnoty, anebo na to, že všechna tři stanoviště mají nepříznivý stav humusové vrstvy, což však jiné údaje, například rychlosti dekompozice na těchto půdách, nepodporují.

Nicméně lze porovnat jednotlivé půdy mezi sebou a učinit si tak obrázek o jejich vzájemných rozdílech.

Nejvyšší poměr HK:FK v porostu lípy srdčité ukazuje na příznivé procesy humifikace, což podporují i výsledky bilance produkce a dekompozice opadu, dekompozičního pokusu a zjišťování změny HK:FK během dekompozice opadu (kapitola 4.1. a 4.2.3.). Lipový opad tedy pravděpodobně podporuje procesy rozkladu a jeho degradací se vytváří poměrně kvalitní forma

humusu. Protože byla prokázána vysoce pozitivní korelace mezi hodnotou HK:FK a maximální sorpční kapacitou půdy (Pospíšil 1980), je pravděpodobné, že tato charakteristika bude mít v lipové půdě pravděpodobně nejvyšší hodnotu ze všech studovaných dřevin.

O něco nižší poměr vykazuje půda pod červeným dubem, ale rozdíl oproti lipovému stanovišti není statisticky signifikantní. Výsledky tedy ani v tomto případě nenaznačují, že by procesy humifikace probíhaly nepříznivě.

Hodnota HK:FK na stanovišti modřínu je oproti oběma předchozím dřevinám značně snížena, v procesu humifikace tedy pravděpodobně převládá tvorba kyselých fulvokyselin, což vytváří podmínky pro tvorbu surového humusu s nižším obsahem živin a nízkým pH, což není příznivé ani pro bylinný podrost, ani pro procesy dekompozice na stanovišti.

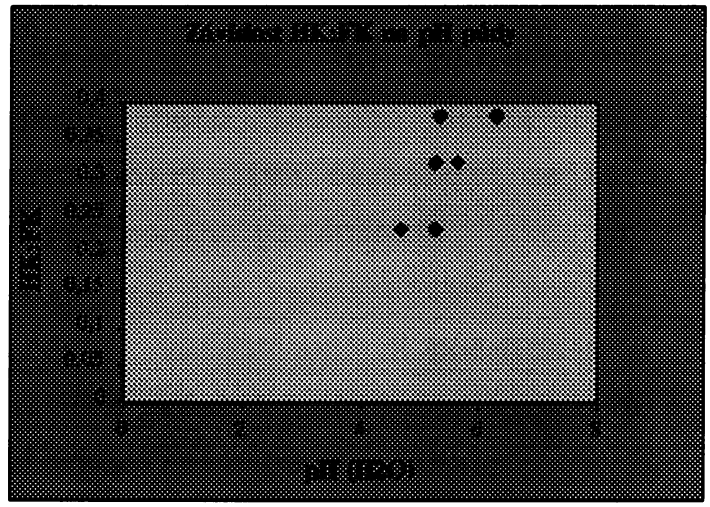
Věrohodnost hodnot HK:FK podporuje i fakt, že tento poměr vysoce pozitivně koreluje právě s hodnotou pH (Pospíšil 1980), která, jak znázorňuje graf 4.2.2.5., má nejnižší hodnoty pro nejnižší poměr HK:FK a nejvyšší hodnoty pro nejvyšší poměr HK:FK.

Písek jako substrát pro dekompozici nelze vzhledem k nulovému obsahu Cox hodnotit.

**Závěr**

Vybranými analýzami Ah horizontů ze stanovišť jednotlivých studovaných dřevin (a písku jako kontroly) bylo zjištěno, že z hlediska těchto studovaných vlastností je jak pro bylinné patro, tak i pro rozkladné procesy nejpříznivější půda pod porostem *Tilia cordata*, příznivé jsou hodnoty jak pH, tak i poměru HK:FK. Nízký obsah Cox pak naznačuje rychlý obrat živin v půdě pod touto dřevinou.

Ah horizont pod *Quercus rubra* vykazuje výsledné hodnoty o něco méně příznivé a nejméně příznivý je horizont v modřínovém porostu, zde zejména nízký poměr HK:FK naznačuje nepříznivé podmínky pro procesy humifikace, vysoký obsah Cox pak nasvědčuje tomu, že obrat organických látek je na stanovišti pomalý.



**Graf 4.2.2.5.**: Závislost poměru huminových kyselin a fulvokyselin na pH půdy stanovišť studovaných dřevin.

Písek jako substrát pro dekompozici je velmi nepříznivý, má nulový obsah Cox a mizivý obsah dusíku.

## 4.2.3. Dekompozice za konstantních podmínek teploty a vlhkosti v laboratoři

### 4.2.3.1. Rychlost dekompozice opadu na různých substrátech

**Úvod**

Použití termoboxů pro studium dekompozice má své výhody i nevýhody, je určeno pro porovnávání rychlosti dekompozice mezi různými druhy opadu, nebo jednoho druhu opadu za různých podmínek. Konstantní mikroklima termoboxu zajišťuje odstranění vlivu variability přírodního prostředí.

Výsledky studia lze jen velmi těžko, pokud vůbec v jejich číselných hodnotách vztahovat k podmínkám v přirozených stanovištích, vzhledem právě k umělému mikroklimatu a eliminaci mnohých skupin dekompozitorů (např. žížal).

Smyslem tohoto pokusu bylo zjistit:

a) Jak rychle se za standardních podmínek teploty a vlhkosti rozkládají různé druhy listového opadu na různých půdních substrátech, tj. zda a jak půdní substrát ovlivňuje dekompozici opadu.

b) Jak se různé kombinace substrátu a opadu podílejí během dekompozice na změně poměru huminových kyselin a fulvokyselin (HK/FK) - O tom dále v kapitole 4.2.3.2.

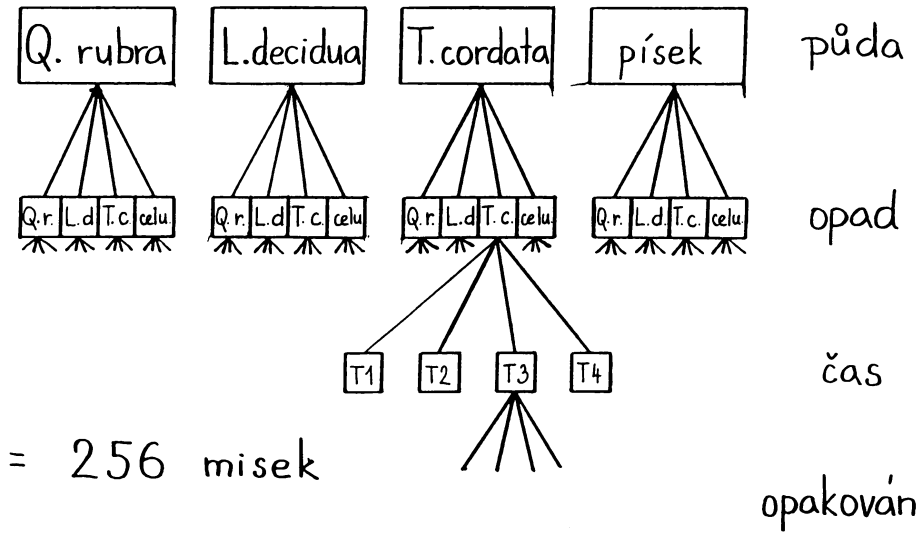
Termoboxů je možné smysluplně použít pro zjišťování rychlosti dekompozice v případě, zkoumáme-li vzájemně mezi sebou rychlost rozkladu různých druhů opadu za stejných podmínek, nebo jednoho druhu opadu za různých podmínek.

**Schéma a metodika pokusu**

K tomuto účelu byl navržen následující dekompoziční pokus. provedený za standardních laboratorních podmínek v termoboxech za konstantní teploty a vlhkosti:

Rostlinný opad studovaných dřevin a filtrační papír jako kontrola, byly exponovány v detritových sáčcích na povrchu půdních substrátů a sterilního písku jako kontroly, kombinačním způsobem tak, aby každý druh rozkládajícího se materiálu mohl ovlivnit a mohl být ovlivněn každý(m) z půdních substrátů (písku). Byla sledována rychlost dekompozice ve čtyřech odběrech v odstupu 59 dnů. Každá kombinace substrátu a opadu byla založena ve čtyřech opakováních pro každý čas odběru.

K dekompozičnímu pokusu byl použit půdní Ah horizont ze stanovišť zkoumaných dřevin, jako kontrola sloužil vyžíhaný sterilní písek. Dále byl použit stejný opad, jaký byl podrobován analýzám v kapitole 4.2.1., jako kontrola pak filtrační papír.




**Obr. 4.2.3.1.**: Schéma dekompozičního pokusu, provedeného v termoboxu za konstantních podmínek teploty a vlhkosti.

Postup

Petriho misky o průměru 11 cm byly naplněny každá 50 g sterilního písku (prosetého přes 2 mm síto) a 50 g půdního substrátu (také prosetého přes 2 mm síto). Obě vrstvy byly odděleny monofilem pro snazší vyjmutí půdy po dekompozici pro odhad poměru huminových kyselin a fulvokyselin (kap. 4.2.3.2.).

Po naplnění byly všechny misky váhovou metodou jemným postřikem zavlaženy na předem zjištěnou maximální kapilární kapacitu každého substrátu. Do písku odtekla přebytečná voda, takže půda nebyla přesycena, což by mohlo vytvářet anaerobní podmínky, ale vlhkost potřebná pro úspěšný rozklad, byla přitom dostatečná.

Misky bez opadu byly vloženy na 7 dní do termoboxu, aby se ustálila půdní mikroflora.

Mezitím byly připraveny detritové sáčky tvaru kruhu o průměru 10 cm, z nylonu s velikostí ok 1 mm. Byly očíslovány, zváženy (s přesností na 0,0001 g) a naplněny rostlinným materiálem (okolo 1 g), šetrně vysušeným do konstantní hmotnosti (do 40°C). Poté byly sáčky opět zváženy.

Po ustálení půdní mikroflory byly sáčky s opadem vloženy kombinačním způsobem (obrázek 4.2.3.1.) na povrch půdních substrátů a jemným postřikem zavlaženy přesným množstvím 5,0 g $H_2O$ na misku. Všech 256 misek bylo vloženo do dvou termoboxů, kde byla po celou dobu pokusu udržována dostatečná vzdušná vlhkost vložením odparníků s vodou.

Vzorky byly odebírány z termoboxů po 64 ve čtyřech odběrech v čase po 59 dnech, ode dne 27.11.1998. Misky i s detritovými sáčky byly vysušeny do konstantní hmotnosti, poté sejmuty, důkladně očištěny od půdních částic a zváženy.

Dovoloval-li to stav sáčku a opadu v něm, byl poté opad ze sáčku vyjmut a zvážen ještě prázdný sáček pro zjištění míry jeho znečištění. Substrát, na němž se opad dekomponoval, byl

oddělen od vrstvy písku a poté použit pro stanovení poměru HK/FK (kap. 4.2.3.2.)

Korekce na znečištění sáčků

Pokud stav detritového sáčku dovoloval úplné vyjmutí opadu, byl opět vážen prázdný sáček ($S_t$) a jeho hmotnost byla porovnána s hmotností sáčku na počátku expozice ($S_0$). Pro každou kombinaci substrátu a opadu v čase byla stanovena hodnota korekce v gramech znečištění na gram sáčku, která byla po přepočtení odečtena od hmotnosti sáčku s opadem po expozici.

Korekce na znečištění opadu nebyla provedena, protože opad je v termoboxu dekomponován pouze půdními houbami a bakteriemi a chybí zde aktivní vliv zástupců půdní mezo a makrofauny, kteří by vlastním pohybem a exkrementy opad znečišťovali. Též absence větru, deště a tekoucí vody přispívá k minimalizaci znečištění organického materiálu. Naproti tomu při korekci na znečištění opadu stanovením obsahu popelovin by mohla vzniknout poměrně velká chyba; relativní obsah popelovin v opadu během dekompozice postupně roste (Kovářová 1984) a nelze tedy předpokládat, že obsah popelovin před a po dekompozici bude stejný a že veškerý rozdíl bude způsoben jen minerálním znečištěním.

Rychlost dekompozice jednotlivých druhů opadu byla vyjádřena veličinou LDR (litter dissapearance rate), vyjádřenou v mg úbytku hmotnosti na gram sušiny a den (úvod kapitoly 4.2.). Výpočet LDR se provádí podle vzorce:

$$\mathbf{1000 \times \frac{(I - F - S)}{I \times T}}$$ kde:

I je počáteční hmotnost opadu

F je konečná hmotnost opadu

S je spillage (resp. korekce na znečištění)

T počet dní dekompozice

**Výsledky**

Souhrnné výsledky relativní dekompoziční rychlosti všech druhů opadu na všech typech substrátů pro všechny časové odběry z termoboxu udává tabulka 4.2.3.1.1. Porovnání vlivu druhu opadu a typu substrátu znázorňují tabulky 4.2.3.1.2. a 4.2.3.1.3.

Data byla zpracována pomocí analýzy variance a posléze byly jednotlivé kombinace substrátu, opadu a času porovnány mezi sebou Duncanovým testem.

Výsledné hodnoty LDR jsou pak podrobněji znázorněny v grafech 4.2.3.1.1. až 4.2.3.1.8. a v přílohových grafech (příloha 1 - 8).

Zpracování dat jednocestnou analýzou variance prokázalo na 5 %ní hladině významnosti signifikantní rozdíly v relativní dekompoziční rychlosti mezi jednotlivými druhy opadu, dále mezi všemi typy substrátu a také mezi jednotlivými časovými odběry z termoboxu.

| počet dní rozkladu | | 59 dní | | 118 dní | | 177 dní | | 236 dní |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **substrát / opad** | | LDR $T_1$ | | LDR $T_2$ | | LDR $T_3$ | | LDR $T_4$ |
| | průměr | směrod. odch | průměr | směrod. odch | průměr | směrod. odch | průměr | směrod. odch |
| dub / dub | 6,56 | 0,55 | 7,17 | 1,38 | 12,81 | 2,84 | 13,92 | 2,61 |
| dub / modřín | 7,84 | 0,17 | 7,72 | 0,21 | 9,33 | 0,47 | 15 | 2,61 |
| dub / lípa | 7,31 | 0,38 | 7,89 | 0,54 | 14,46 | 2,8 | 16,95 | 0 |
| dub / filtr. papír | 7,16 | 1,39 | 13,27 | 2,77 | 15,21 | 1,05 | 15,96 | 1,99 |
| modřín / dub | 6,6 | 0,84 | 6,59 | 0,74 | 8,76 | 0,94 | 10 | 1,95 |
| modřín / modřín | 7,25 | 0,35 | 7,2 | 0,22 | 9,19 | 0,96 | 12,21 | 4,2 |
| modřín / lípa | 6,72 | 0,65 | 7,64 | 0,45 | 12,59 | 3,8 | 16,95 | 0 |
| modřín / filtr. papír | 10 | 0,77 | 14,43 | 0,59 | 15,35 | 0,98 | 14,12 | 1,24 |
| lípa / dub | 8,21 | 0,15 | 9,14 | 1,77 | 8,91 | 0,88 | 9 | 1,08 |
| lípa / modřín | 7,66 | 0,19 | 7,69 | 0,24 | 8,57 | 0,11 | 7,66 | 0,22 |
| lípa / lípa | 8,1 | 0,42 | 8,34 | 0,34 | 9,06 | 0,17 | 8,66 | 0,51 |
| lípa / filtr.papír | 13,92 | 1,72 | 14,07 | 1,73 | 16,48 | 0,41 | 16,95 | 0 |
| písek / dub | 7,12 | 1,47 | 7,45 | 1,25 | 8,72 | 1,74 | 9,96 | 1,62 |
| písek / modřín | 5,27 | 3,52 | 7,96 | 0,82 | 7,38 | 1,12 | 8,81 | 1,03 |
| písek / lípa | 8,23 | 1,06 | 9,16 | 1,32 | 11,36 | 4,07 | 12,52 | 3,24 |
| písek / filtr. papír | 3,15 | 1,58 | 7,11 | 1,32 | 7,32 | 1,39 | 9,96 | 0,87 |

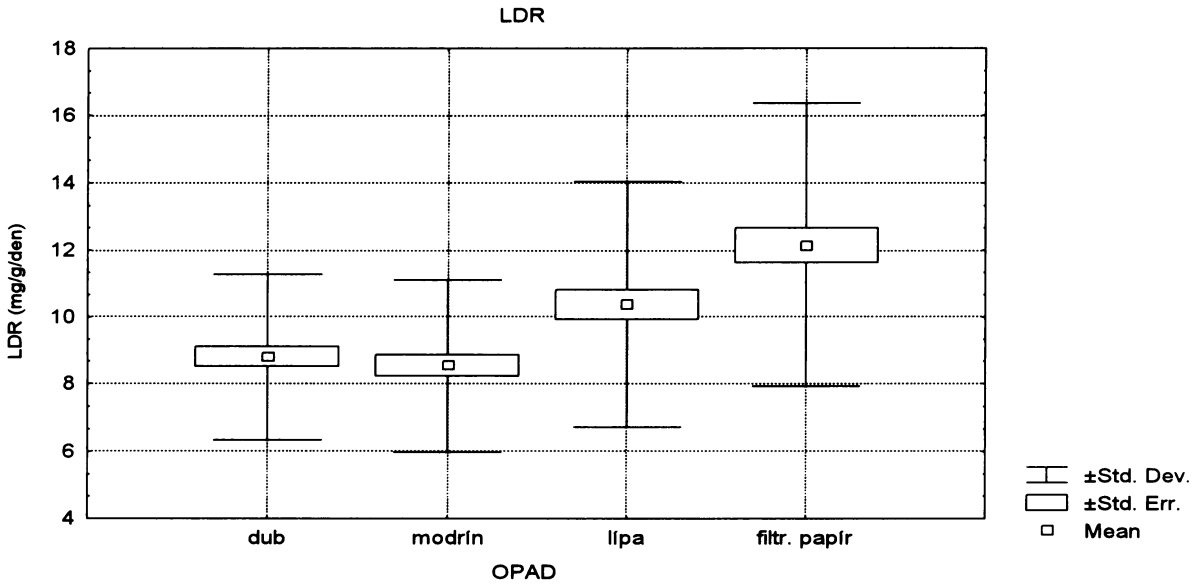
**Tab. 4.2.3.1.1.**: Hodnoty relativní dekompoziční rychlosti (v mg/g/den) pro jednotlivé kombinace substrát / opad / časový

| substrát / opad | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---|---|---|---|---|
| dub / dub | | a | a | |
| dub / modřín | | a | b | |
| dub / lípa | | a | a | |
| dub / filtr. papír | | b | a | |
| modřín / dub | a | a | a | a |
| modřín / modřín | a | ab | a | ac |
| modřín / lípa | a | b | bc | bc |
| modřín / filtr. papír | b | c | c | c |
| lípa / dub | a | a | a | a |
| lípa / modřín | a | a | a | b |
| lípa / lípa | a | a | a | a |
| lípa / filtr.papír | b | b | b | c |
| písek / dub | a | | | |
| písek / modřín | ab | | | |
| písek / lípa | a | | | |
| písek / filtr. papír | b | | | |

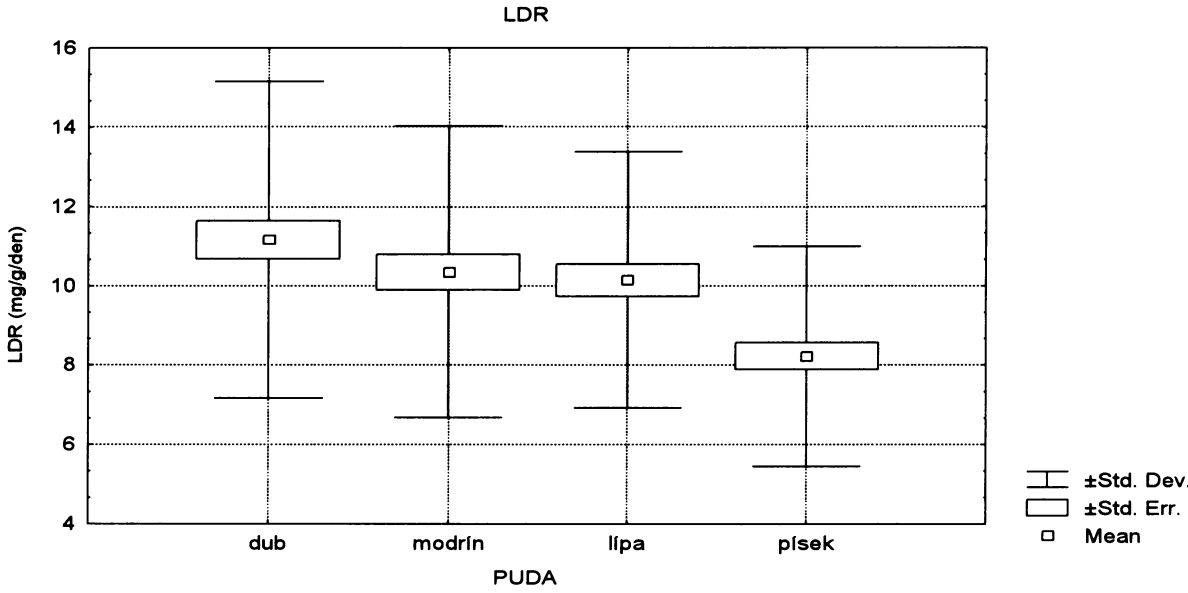
**Tab. 4.2.3.1.2.**: Srovnání LDR různých druhů opadu na jednotlivých substrátech a v různých fázích dekompozice (odběrech). Porovnání platí vždy pro jeden typ substrátu v jednom čase. Stejnými písmeny jsou označeny případy, kdy se hodnoty LDR signifikantně nelišily.

| substrát / opad | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---|---|---|---|---|
| dub / dub | | | a | a |
| modřín / dub | | | b | b |
| lípa / dub | | | b | b |
| písek / dub | | | b | b |
| dub / modřín | | | a | a |
| modřín / modřín | | | a | ac |
| lípa / modřín | | | ab | bd |
| písek / modřín | | | b | cd |
| dub / lípa | ab | | | a |
| modřín / lípa | a | | | a |
| lípa / lípa | b | | | b |
| písek / lípa | b | | | c |
| dub / filtr. papír | a | a | a | ac |
| modřín / filtr. papír | b | a | a | a |
| lípa / filtr. papír | c | a | a | c |
| písek / filtr. papír | d | b | b | b |

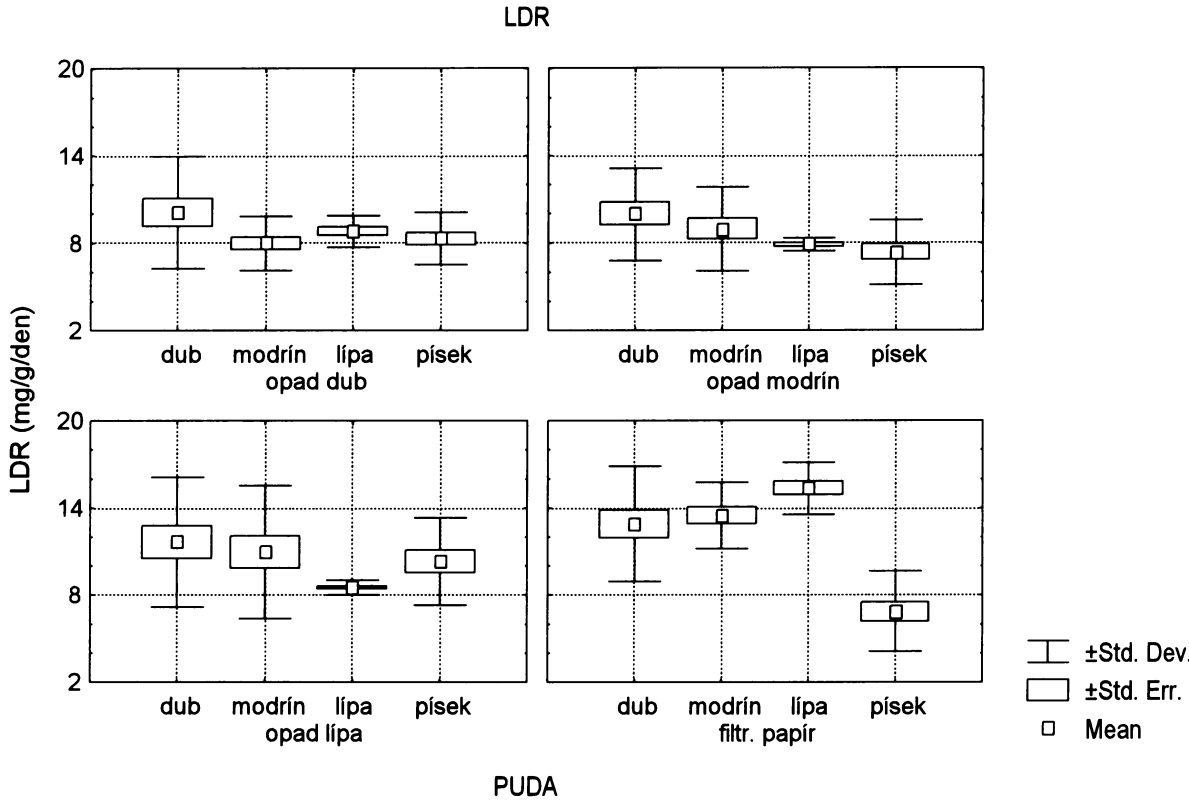
**Tab. 4.2.3.1.3.**: Srovnání LDR jednotlivých druhů opadu na různých substrátech a v různých fázích dekompozice (odběrech). Porovnání platí vždy pro jeden druh opadu v jednom čase. Stejnými písmeny jsou označeny případy, kdy se hodnoty LDR signifikantně nelišily.



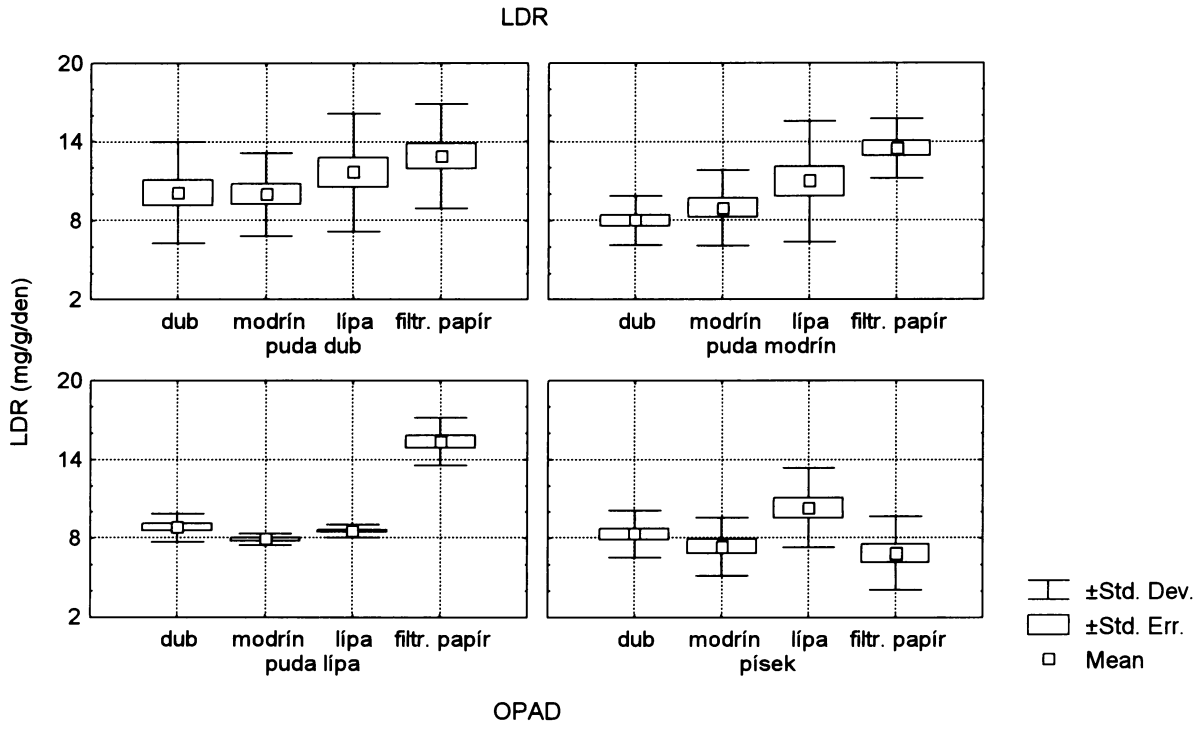

**Graf 4.2.3.1.1.**: Relativní dekompoziční rychlost listů *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Výsledky jsou vyhodnoceny pro všechny typy substrátu a všechny časové odběry současně.



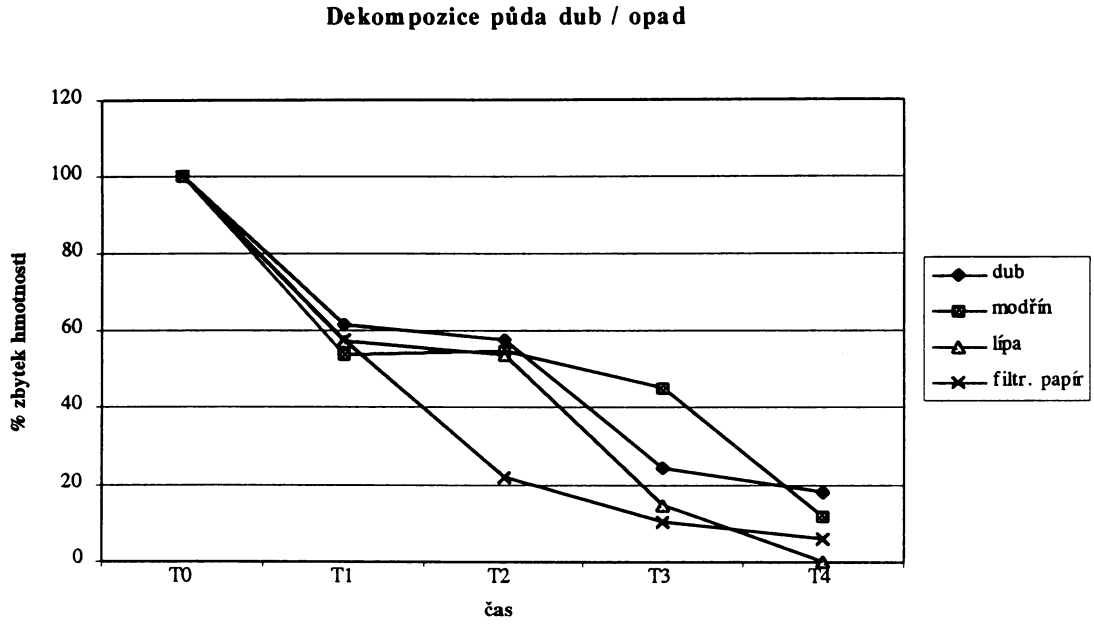

**Graf 4.2.3.1.2.**: Relativní dekompoziční rychlost listů *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Výsledky jsou vyhodnoceny všechny druhy opadu a pro všechny časové odběry z termoboxu současně.



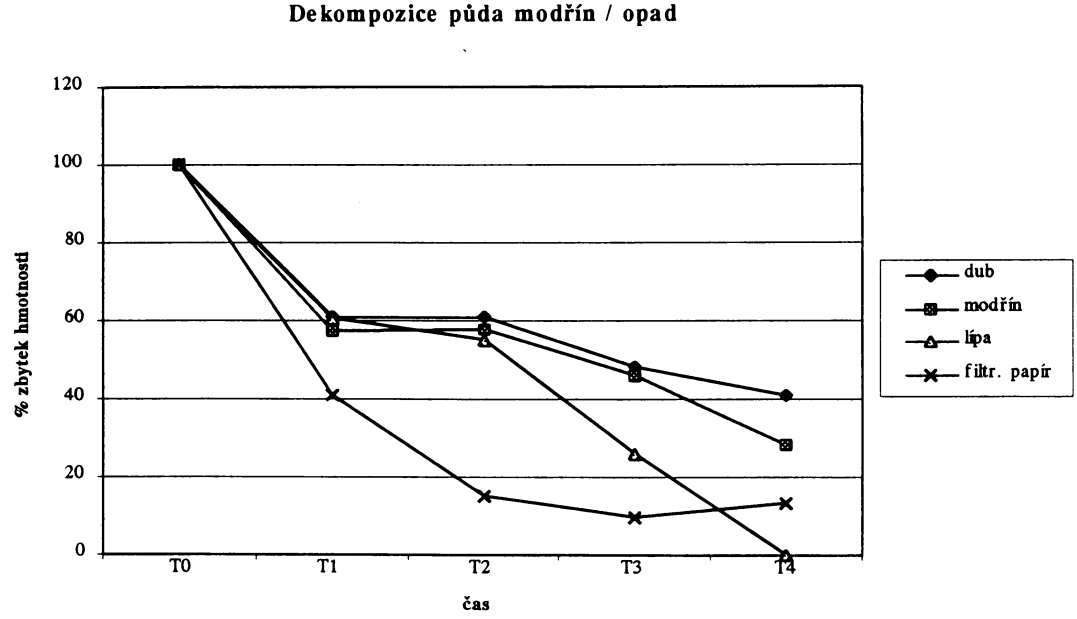

**Graf 4.2.3.1.3.**: Celková relativní dekompoziční rychlost listů *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro jeden druh opadu na různých typech půdního substrátu. Výsledky vyhodnoceny pro všechny čtyři odběry z termoboxu současně.




**Graf 4.2.3.1.4.**: Celková relativní dekompoziční rychlost listů dřevin *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro různé druhy opadu na jednom typu půdního substrátu pro všechny odběry z termoboxu současně.

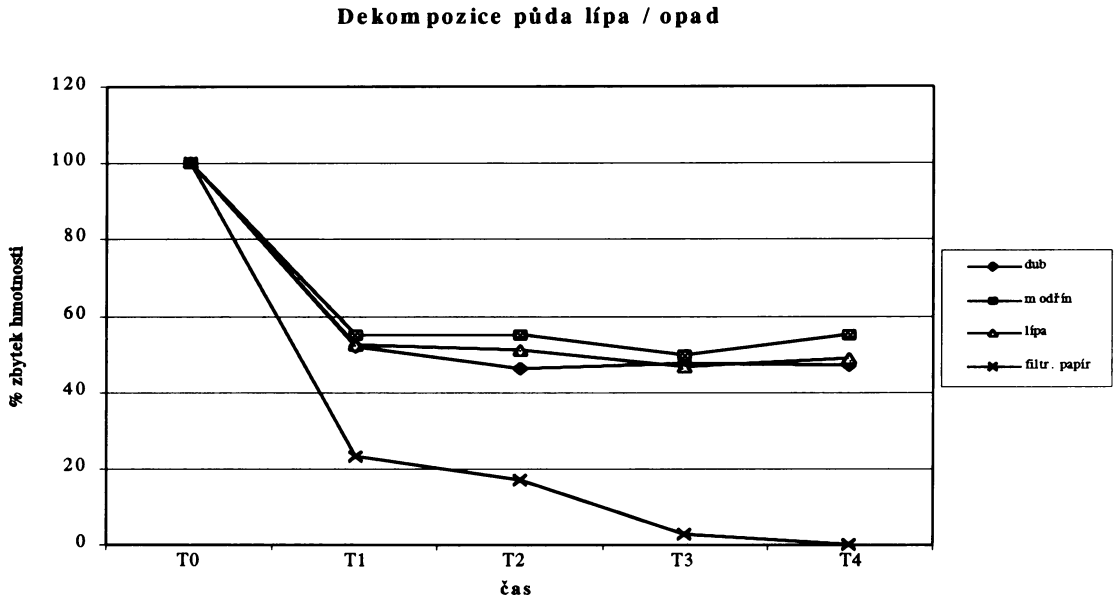



**Graf 4.2.3.1.5.**

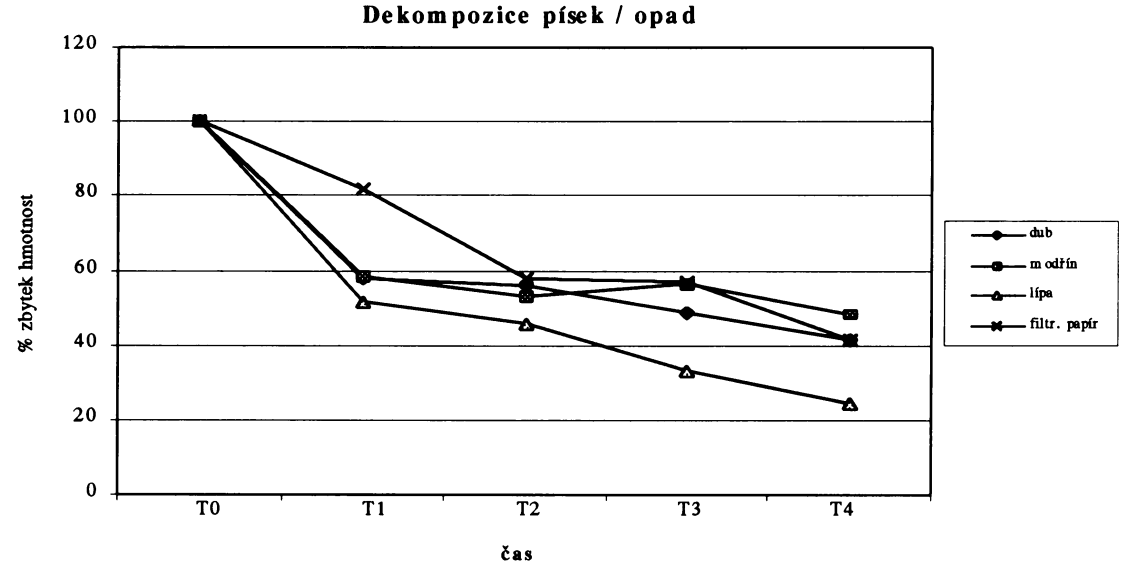



Graf 4.2.3.1.6.

**Grafy 4.2.3.1.5. a 4.2.3.1.6.**: Postupný úbytek hmotnosti opadu (v % zbytku iniciální hmotnosti opadu) při dekompozici jednotlivých druhů opadu na dubové a modřínové půdě v termoboxu.




Graf 4.2.3.1.7.




Graf 4.2.3.1.8.

**Grafy 4.2.3.1.7. a 4.2.2.1.8.** : Postupný úbytek hmotnosti opadu (v % zbytku iniciální hmotnosti opadu) při dekompozici jednotlivých druhů opadu na lipové půdě a na písku v termoboxu.

odběr při rozkladu za kontrolovaných laboratorních podmínek v termoboxu. Každá kombinace substrátu, opadu a času byla založena ve čtyřech opakováních.

Zpracování dat dvoucestnou analýzou variance prokázalo na 5 %ní hladině významnosti signifikantní interakce v LDR mezi druhy opadu a typy půdního substrátu a dále mezi druhy opadu a časovými odběry. To znamená, že jednotlivé druhy opadu se rozkládají různou rychlostí na různých substrátech a dále, že tyto druhy opadu se rozkládají v jednotlivých fázích dekompozice různou rychlostí.

Z výsledků vyplývá, že ze všech druhů opadu se nejrychleji rozkládá celulóza, dále lipový opad a nejdéle odolává rozkladu opad modřínu a červeného dubu (Graf 4.2.3.1.1.).

Podrobnější analýzou bylo zjištěno, že všechny druhy listového opadu se nejlépe rozkládají na půdě ze stanoviště červeného dubu (dále dubová půda), pouze celulóza je nejrychleji dekomponována na půdě z lipového porostu (dále lipová půda).

Rozklad opadu červeného dubu probíhá nejpomaleji na půdě z modřínového porostu (dále modřínová půda) a na písku, na písku se také nejhůře rozkládá modřínový opad a celulóza. Lipový opad pak podléhá dekompozici nejpomaleji na vlastní, tj. lipové, půdě (Graf 4.2.3.1.3.).

Z hlediska časového průběhu dekompozice bylo zjištěno, že při prvním a druhém časovém odběru se rychlosti dekompozice mezi jednotlivými druhy opadu, s výjimkou celulózy, příliš neliší. Kromě toho, po počátečním poměrně rychlém úbytku hmoty dochází mezi prvním a druhým odběrem ke stagnaci rozkladu listových materiálů. Rychlosti rozkladu jednotlivých druhů opadu se rozrůzňují až při třetím a čtvrtém odběru. Dekompozice celulózy probíhá rychle hned od počátku pokusu bez poklesu

rychlosti kromě situace, kdy se celulóza dekomponuje na písku (Grafy 4.2.3.1.5. až 4.2.3.1.8.).

Při srovnání vlivu použitých substrátů na rychlost dekompozice jednotlivých druhů opadu bylo zjištěno, že dekompozici nejvíce urychluje půda ze stanoviště červeného dubu, zatímco nejpomaleji probíhá rozklad na písku (Graf 4.2.3.1.2.).

Dubová, modřínová a lipová půda nejvíce urychlují rozklad celulózy, na písku pak největší úbytek hmotnosti vykazuje opad lípy.

Na dubové půdě se nejhůře dekomponuje opad červeného dubu a modřínu, velmi podobná situace nastává na modřínovém substrátu. Lipová půda není příznivá rozkladu žádného druhu listového opadu, podporuje pouze rozklad celulózy. Na písku se nejhůře rozkládá celulóza (Graf 4.2.3.1.4.).

Z časového průběhu dekompozice lze zjistit, že vliv půdního substrátu na jednotlivé křivky LDR v čase není výrazný, výjimku tvoří dubová půda, která přispívá u opadu červeného dubu, modřínu a lípy k rychlejší míře rozkladu při třetím a čtvrtém odběru z termoboxu. Zbrždění procesu dekompozice bylo zjištěno u lipové půdy, kde po počátečním úbytku hmoty díky uvolnění rychle rozpustných látek dochází ke stagnaci dekompozice; to opět neplatí pro celulózu (Grafy 4.2.3.1.5. až 4.2.3.1.8.).

**Diskuse**

Celkově nejvyšší rychlost rozkladu celulózy ze všech druhů opadu je pravděpodobně způsobena absencí strukturotvorných součástí, které u listů dřevin zabraňují a zpomalují kolonizaci materiálu dekompozitory (Anderson 1973; Mc Claugherty et Berg 1987; Berg et al. 1993). Tuto domněnku také podporuje fakt, že úbytek hmotnosti celulózy je nejrychlejší na počátku pokusu,

kdežto ke konci dochází ke zpomalování a výsledný úbytek hmotnosti celulózy na konci pokusu je v některých případech nižší, než konečný úbytek hmotnosti některého druhu opadu dřeviny. Celulóza se špatně rozkládá pouze na písku, který je pro procesy dekompozice substrátem nejméně příznivým (viz níže).

Hned po celulóze následuje opad lípy, který je z hlediska svých, zejména fyzikálních charakteristik, velmi přístupný procesům rozkladu. K podobnému výsledku, i když u jiného druhu rodu *Tilia* došli také Cote et Fyles (1994), kdy se opad *Tilia americana* rozkládal nejlépe ze všech jimi studovaných druhů opadu listnatých dřevin. Ale i zde konečný úbytek hmotnosti závisí na půdním substrátu, na kterém se opad lípy rozkládá, neboť zatímco na dubové a modřínové půdě je při posledním odběru prakticky všechen lipový opad rozložen, na lipové půdě dosahuje úbytek hmotnosti necelých 50% původní hmotnosti opadu. To může být způsobeno například vysokým množstvím fenolů v půdě pod lípou, které v kombinaci s dalším vysokým množstvím fenolů v lipovém opadu (kapitola 4.2.1.8.) mohou rozkladné procesy brzdit. Toto zjištění však do jisté míry odporuje tomu, že, jak bylo zjištěno (kapitola 4.1.) probíhá v přirozených podmínkách rozklad opadu lípy velmi rychle. Vysvětlením může být například to, že v přirozeném prostředí mohou hrát vzhledem k příznivému pH půdy velkou roli v rozkladných procesech zástupci megafauny, jako například žížaly, jež jsou z procesu dekompozice v termoboxu vyloučeny (Taylor et Parkinson 1988). Příznivý rozklad lipového opadu na substrátech ze stanoviště červeného dubu a modřínu může vysvětlovat to, že pro dekompozitory na těchto stanovištích, kteří jsou adaptováni na těžko rozložitelný opad, může být opad lípy velmi atraktivní.

Nejnižší LDR vykazují opad červeného dubu a modřínu. To je pravděpodobně dáno jejich fyzikálními a chemickými vlastnostmi, které činí jejich listy vůči dekompozici poměrně odolnými (viz

celkový závěr kapitoly 4.2.1.). Tuto domněnku potvrzují výsledky zkoumání autorů Aber et al. (1990), kdy z mnoha studovaných druhů dřevin byly zjištěny nejnižší hodnoty dekompozičních konstant pro opad jehličnanů a pro opad *Q. rubra*. Opad červeného dubu také vykazoval nejvyšší ligno-celulózový index, který je v nepřímé korelaci s rychlostí dekompozice. Podobně Cote et Fyles (1994) zjistili, že z jimi studovaných druhů opadu listnatých dřevin se nejpomaleji rozkládá právě opad *Q. rubra*.

Že se opad jehličnatých dřevin rozkládá pomaleji než opad listnáčů je obecně známo a prokázáno v mnoha pracech (Aber et al. 1990; Daubenmire 1963; Berg et Staaf 1987 aj.), i když některé práce tomu také odporují (Rustad 1994).

Celkový průběh dekompozice opadu červeného dubu a modřínu je podobný na všech typech substrátu kromě modřínové půdy, která má příznivější vliv na rychlost rozkladu modřínu, pravděpodobně vlivem přítomnosti těch druhů rozkladačů, které jsou na rozklad modřínových jehlic adaptováni.

Fakt, že všechny druhy listového opadu se nejlépe rozkládají na půdě ze stanoviště červeného dubu dokazuje, že tato půda není nijak negativně ovlivněna rozkládajícím se opadem červeného dubu, ale naopak vytváří pro rozkladače příznivé prostředí.

Lipová půda je, pomineme-li rozklad celulózy, pro dekompozici opadu nepříznivým substrátem; úbytek hmotnosti všech druhů listového opadu je na této půdě ze všech substrátů nejnižší. Vysvětlením může být, jak již bylo výše uvedeno, příliš vysoký obsah fenolů, které působí negativně na dekompozitory a brzdí tak rozkladné procesy.

Nejhorším substrátem pro dekompozici je písek, který na počátku pokusu neobsahoval žádné dekompozitory; opad na písku tedy začal degradovat pouze vlivem rozkladačů obsažených v opa-

du, což v případě dekompozice listového opadu na písku nemělo žádný vliv na jejich LDR, neboť počáteční úbytek hmotnosti listů (do druhého odběru) byl na všech půdách prakticky stejný. Jiná situace nastala u rozkladu celulózy na písku, kdy absence dekompozitorů v substrátu i celulóze způsobila značné zpoždění procesu dekompozice až do doby, kdy byla celulóza infikována rozkladači z prostředí termoboxu. Další vlastností písku, která brzdí rozklad organického materiálu na tomto substrátu, je jeho téměř nulový obsah živin a vysoké pH (viz kap 4.2.2.).

Z výsledků vyplývá, že rozklad opadu červeného dubu na jeho stanovišti v přírodních podmínkách pravděpodobně probíhá sice pomalu díky takovým fyzikálním vlastnostem listu, které zpomalují rozkladné procesy, ale nepůsobí v tomto směru na půdu negativně, naopak v ní vytváří vhodné podmínky pro dekompozici.

Podobně to platí i pro rozklad modřínového opadu a jeho vliv na půdu.

Rozklad lipových listů na vlastním stanovišti sice probíhá, podle výsledků zjištěných dekompozičních konstant v kapitole 4.1. rychle, výsledky z kontrolovaných laboratorních podmínek však nasvědčují tomu, že tento rozklad může půdu činit nepříznivou pro procesy dekompozice, což se však v přírodních podmínkách nemusí projevit díky rozklad podporujícím charakteristikám opadu lípy, přítomnosti žížal, nebo vlivem srážkové vody. která vyplavuje z opadu fenoly, které mohou způsobovat zpomalení dekompozice a které se ve velké míře v opadu lípy vyskytují (kapitola 4.2.1.8.).

Zde však je třeba mít na paměti, že půdu a její vlastnosti ovlivňují nejen rozkladné procesy, ale i další vlivy, jako je působení kořenových exudátů, vody stékající z koruny či po kmeni stromu, která může mít, díky obohacení o látky vymývané z listů či z borky, zcela jiné složení než srážková voda a

rozdíl může být i mezi jednotlivými porosty navzájem (Neite et Wittig 1985).

**Závěr**

Kombinačním pokusem rozkladu opadu dubu červeného, modřínu opadavého, lípy srdčité a celulózy na půdních substrátech ze stanovišť těchto dřevin a na písku za konstantních podmínek teploty a vlhkosti v laboratoři bylo zjištěno, že opad dubu červeného a modřínu jsou nejméně přístupné dekompozici díky svým fyzikálním a chemickým charakteristikám.

Opad lípy se rozkládá mnohem lépe a nejvyšší hodnoty relativní dekompoziční rychlosti dosahuje celulóza.

Bylo prokázáno, že půda ze stanoviště červeného dubu působí na procesy dekompozice příznivě, lipová půda a písek naopak nevytvářejí pro rozkladné procesy vhodné podmínky.
Při srovnání LDR jednotlivých druhů opadu na různých půdách bylo zjištěno:

Opad *Quercus rubra* se nejlépe rozkládá na své vlastní půdě, nejhůře na půdě lipové.

Stejná situace platí pro rychlost dekompozice jehlic *Larix decidua*, kde nejvyšší úbytek hmotnosti byl zaznamenán na půdě dubové, nejnižší na lipové.

Listy *Tilia cordata* se chovají podobně jako předchozí dva druhy opadu; největší rychlost dekompozice vykazuje shodně na dubové a modřínové půdě, nejnižší pak na své vlastní.

Zcela jiný průběh dekompozice byl zjištěn u celulózy, která se nejlépe rozkládá na lipové půdě, nejhůře na písku.

### 4.2.3.2. Změna poměru HK/FK během dekompozice opadu

**Úvod**

Humus je definován velmi různě. Podle nejširší definice je to soubor všech organických látek v půdě. To by však znamenalo, zahrnout do tohoto pojetí i živé organismy. Proto se humus podle návrhu názvoslovné komise Ústavu vědeckotechnických informací MZLVH 1962 definuje jako soubor všech odumřelých organických látek rostlinného a živočišného původu, nacházející se v půdě i na povrchu půdy v různém stupni rozkladu, při němž primární organická hmota přechází humifikačními pochody v druhotně nově vytvořené vlastní humusové látky (Prát 1964).

Humus vzniká hlavně z odumřelých rostlinných zbytků, jako jsou jehlice a listy, stonky, pupeny, části květů a plody, kůra, dřevo a kořeny, ale také z odumřelých těl bakterií, hub a půdních živočichů. Proces vzniku humusu se nazývá humifikace a jedná se o soubor dynamických biochemických, chemických a fyzikálních procesů, probíhajících neustále v půdě. Z faktorů, podílejících se na vzniku humusu, jsou nejdůležitější:

- Složení rostlinného krytu a fyzikální a chemické vlastnosti jeho opadu. Na lesní půdě v jehličnatých lesích leží následkem pomalé dekompozice jehlic vrstva surového opadu a díky pomalu probíhajícím mikrobiálním procesům vzniká kyselý humus. Pod listnatými dřevinami se tvoří humus kvalitnější, méně kyselý, a vrstva nerozloženého opadu nebývá tak vysoká (Pelíšek 1961).
- Matečná hornina v součinnosti s vodou zrychluje či zpomaluje humifikaci svým chemismem a obsahem živin (Pelíšek 1961; Grunda et Málek 1978).
- Klimatické faktory jsou pro humifikaci velmi důležité, zejména dostatečné množství srážek a vyšší teplota mají příznivý vliv na mikrobiální humifikační procesy.

- Relief terénu pak hraje roli ovlivňováním teplotních, vlhkostních a větrných poměrů na svazích různé expozice a sklonu.
- Přítomnost a aktivita edafonu.

Humus je jedna z nejdůležitějších součástí půd a organické látky v něm obsažené ovlivňují své okolí rozmanitým způsobem. Flaig (1968), sec. Pospíšil (1978) rozděluje účinky půdních organických látek na a) nepřímé a b) přímé.

a) - vliv na fyzikální vlastnosti půdy (struktura, teplota, výměnná kapacita);

- vliv na chemické procesy v půdě, například má vliv na pH půdy, kdy zvýšený obsah humusu obecně zvyšuje ústojčivost půd vůči okyselování (Sirový 1985), dále reguluje oběh živin, zejména dusíku a uhlíku a podmiňuje tak celý půdotvorný proces. Sorpční nasycenost humusu usměrňuje pohyb půdních částic a živin a tedy také přístupnost těchto živin rostlinám. Důsledkem omezeného přísunu organické hmoty do půdy je snížená schopnost imobilizace minerálního dusíku i dalších živin, při nízké aktivitě mikroflóry je omezena i mineralizace organických látek. Rozkládající se organické látky zvyšují například mobilitu půdního fosforu, draslíku a hořčíku, zvyšují uvolňování fosforu z pevnějších vazeb v půdě (Sirový 1985). Vysoký obsah humusu také zvyšuje tvorbu $CO_2$, který je sorbován vodou a ve formě kyseliny uhličité urychluje zvětrávací procesy (Pelíšek 1961; Prát 1964).

b) - vliv na příjem a rozdělení kovových iontů (mikroelementů) rostlinou;

- ovlivnění adsorpce iontů;

- přímý vliv na tvorbu produktů metabolismu, tj. redukce některých metabolitů (cukry, bílkoviny);

- vliv na biochemické procesy, například Pospíšil (1974) zjistil inhibici enzymu fytázy vlivem huminových kyselin,

dalšími autory, potvrzujícími vliv huminových kyselin na biochemické pochody jsou například Pflug et Ziechmann (1981) nebo Kelting et al. (1998).

- humus rozhoduje o biologické aktivitě, o kvalitě i množství edafonu v půdách (Pelíšek 1961). Byl prokázán pozitivní vliv půdní organické hmoty na rozvoj biologické činnosti v půdě i při méně příznivých hydrotermických podmínkách (Sirový 1985).

Humus jako neživá organická půdní složka má velmi komplikované složení. Skládá se z jednoduchých i složených cukrů, organických kyselin a aminokyselin, ligninu, látek lipidního a fenolického charakteru a dalších složek. Tyto látky jsou v neustálé přestavbě. Nově vzniklé sloučeniny specifické povahy se nazývají humusové látky. Ty tvoří vlastní půdní humus, ve kterém jsou obsaženy humusové kyseliny (huminové kyseliny a fulvokyseliny), huminy a tzv. „humusové uhlí„(Pospíšil 1980; Prát 1964).

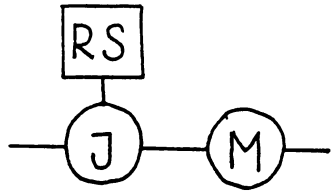
Nejvýznamnější složkou humusových látek jsou humusové kyseliny, jejichž rozdělení na huminové kyseliny a fulvokyseliny je víceméně konvenční, neboť např. Freytag (1962) zjistil, že HK a FK tvoří určitou řadu podle molekulové hmotnosti, kde přechody jsou velmi nezřetelné. HK a FK tedy nejsou chemická individua, ale pouze frakce makromolekul humusových látek. Je tedy možné humusové kyseliny rozdělovat na vysokomolekulární frakci (huminové kyseliny) a nízkomolekulární (fulvokyseliny) frakci humusových kyselin (Pospíšil et Drozdová 1967).

Pro fulvokyseliny je udávána molekulová hmotnost 2000 - 9000. Kromě nižší molekulové váhy se od huminových kyselin liší svou rozpustností ve vodě a zředěných kyselinách (Prát 1964). Mají vyšší obsah kyselých COOH skupin a tato kyselost spolu se snadnou rozpustností ve vodě podmiňuje jejich snadnou

pohyblivost a současné vyplavování dalších látek a živin z půdního profilu. Fulvokyseliny mohou rozkládat křemičitany a jejich rozpustné soli jsou pak ze svrchních vrstev půdy vyplavovány do spodních horizontů profilu. Z rozložených hornin zbývá nerozpustná kyselina křemičitá. Fulvokyseliny jsou obyčejně světlejší barvy a mají oproti HK nižší obsah uhlíku, dusíku a dalších prvků (Pospíšil 1978; Prát 1964).

Huminové kyseliny mají globulární strukturu, jejich molekulová hmotnost se pohybuje okolo 5000 - 100 000. Mají negativní náboj a v půdě jsou pevně vázané s ionty kovů a s jílovými minerály. Mají značně velký povrch a jsou schopné sorbovat minerální ionty, půdní koloidy, enzymy a bílkoviny. Jsou to polymery, avšak bez opakujících se jednotek monomerů, spíše tedy ko-polymery.

Huminové kyseliny jsou amorfní, trojrozměrné polymery, více či méně aromatické povahy. Struktura je velmi složitá, Pospíšil (1970) popisuje, že základní strukturní jednotkou HK může být komplex tvořený jádrem, můstkem a reaktivní skupinou (Obr 4.2.3.2.1.).




kde:

J - jádro (benzen, naftalen, antracen, furan, pyrol atd.)

M - můstek (-O-, -NH-,-S-, $CH_2$-, atd.)

RS - reaktivní skupina (-OH, -COOH, CO, $-NH_2$, $-CH_3$, $-SO_3H$, $-PO_3H_2$, atd.)

Bližší analytickou charakteristiku huminových kyselin a fulvokyselin udává na následující straně tabulka 4.2.3.2.1.

Elementární složení

| prvek | huminové kyseliny % | fulvokyseliny % |
|---|---|---|
| C | 56,72 | 50,92 |
| H | 5,21 | 3,34 |
| N | 2,37 | 0,74 |
| S | 0,35 | 0,26 |
| O (z rozdílu) | 35,35 | 44,74 |

Kyslík obsahující funkční skupiny (mekv/g suchého materiálu bez popele)

| | | |
|---|---|---|
| celková kyselost | 5,7 | 12,4 |
| celkové hydroxyly | 6,9 | 6,9 |
| karboxylové hydroxyly | 1,5 | 9,1 |
| fenolické hydroxyly | 4,2 | 3,3 |
| alkoholické hydroxyly | 2,7 | 3,6 |
| karbonylové hydroxyly | 0,9 | 3,1 |

**Tabulka 4.2.3.2.1.**: Analytická charakteristika huminových kyselin a fulvokyselin (Schnitzer 1965, sec. Pospíšil 1978).

Souhrnně je tedy možné konstatovat, že huminové kyseliny jsou pro fyzikální, chemické a biochemické vlastnosti půdy a pro výživu rostlin příznivější než nestálé, kyselé a živinami chudší fulvokyseliny, i když, jak bylo výše uvedeno, toto rozdělení není striktní a je spíše konvenční.

Povahu humusových látek podobně jako celkovou kvalitu humusu určují jednak vnitřní (složení substrátu), jednak vnější podmínky, určující rozklad půdní organické hmoty a syntézu humusových látek. Velmi výrazný je vztah mezi půdně-klimatickými podmínkami a kvalitou humusu. Je např. známé, že od podzolovaných půd k černozemím a od severu k jihu narůstá stupeň kondenzace huminových kyselin (Kononova 1963, sec. Pospíšil 1974).

Také Martin et al. (1998), podobně Pelíšek (1962) a Pospíšil (1980) uvádějí, že huminové kyseliny z vyšších nadmořských výšek, chladnějších poloh a poloh s vyššími srážkami mají nižší molekulovou hmotnost, menší kondenzované aromatické struktury a vysoký obsah polysacharidů.

Přitom je důležité, že huminové kyseliny podzolovaných půd jsou svými vlastnostmi, např. optickými, velmi podobné fulvokyselinám (Bernát 1962).

Pospíšil (1980) posuzuje kvalitu humusu podle:

a) obsahu huminových kyselin a jejich jednotlivých frakcí (volné, vázané, silně vázané);

b) poměru obsahu huminových kyselin a fulvokyselin (HK:FK), což je významným znakem jak pro posouzení vlastností humusu z hlediska pedogenetického, tak i praktického. Tato hodnota, je-li nižší než 1,0, vyjadřuje převládající procesy tvorby nízkomolekulárních látek (fulvokyselin), které často přecházejí do spodních částí profilu.

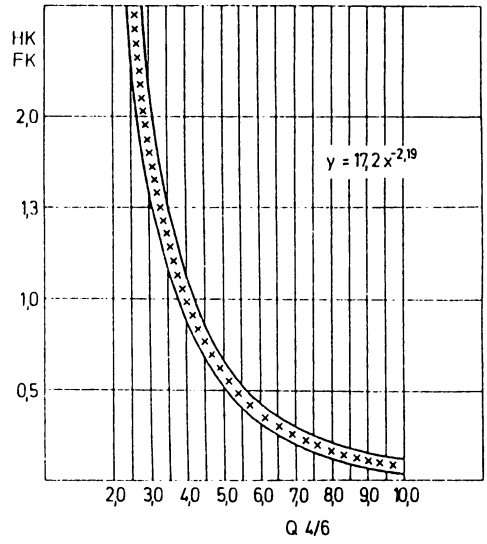
Při studiu složení humusu v půdách Českých zemí od roku 1959 v rámci Komplexního průzkumu půd ČSSR (KPP) zjistil Pospíšil (1980), že ornice našich půd jsou převážně tvořeny humusem, v němž jsou zastoupeny téměř ve stejném poměru HK a FK (HK:FK = 0,5 - 0,1). Procesy degradace, ilimerizace, popřípadě oglejení se projeví snížením obsahu HK a zvýšením obsahu FK. Tmavé, sorpčně nasycené horizonty (a sorpčně nasycené půdy - např. černozemě) jsou charakterizovány vyšším obsahem HK.

Poměr HK:FK tedy vyjadřuje kvalitu půdy, její zásobenost půdními živinami a tedy úživnost vzhledem k rostlinnému pokryvu. Toto měřítko je pouze přibližné; pro zasvěcené zhodnocení kvality humusu je třeba znát obsah jednotlivých frakcí humusových kyselin, pro praktické účely je však i tato hodnota HK:FK postačující (Pospíšil 1980).

**Metodika**

Stanovení poměru HK:FK je možné provádět podrobnou frakcionací humusových látek s následným zjištěním obsahu oxidovatelného uhlíku v jednotlivých frakcích. Toto stanovení je však časově i technicky náročné, proto se pro rychlý odhad kvality humusových kyselin využívá jejich optických vlastností, respektive stanovení koeficientu Q4/6, což je poměr extinkcí roztoku humusových kyselin při vlnových délkách 400 a 600 nm.

Pospíšil et Drozdová (1967) experimentálně zjistili závislost mezi hodnotou Q4/6 a poměrem HK/FK (Obrázek 4.2.3.2.2.). Z rovnice křivky této závislosti je možné vypočíst poměr HK/FK.




**Obr. 4.2.3.2.2.**: Regresní křivka závislosti barevného kvocientu Q4/6 na složení humusových látek HK:FK ve výluhu pyrofosforečnanem sodným.

Rovnice křivky:

$$y = 17,2\ x^{-2,19}$$

kde: x = Q4/6

y = HK/FK

Pro stanovení poměru HK:FK ve studovaných substrátech byl použit kvocient Q4/6, zjištěný extinkcí výluhů humusových látek pyrofosforečnanem sodným při 400 a 600 nm (Králová et al 1991).

Na základě výpočtu byl stanoven poměr HK/FK v půdách pod jednotlivými dřevinami, jako kontrolní vzorek byl použit vyžíhaný sterilní písek.

Pro zjištění změn tohoto poměru během dekompozice různých druhů opadu na různých typech půd byla použita půda, na které se rozkládal opad při pokusu v termoboxu (kap. 4.2.3.1.) a to sada 2, tedy po dekompozici probíhající 118 dní v kontrolovaných laboratorních podmínkách (27.11.1998 - 25.3.1999).

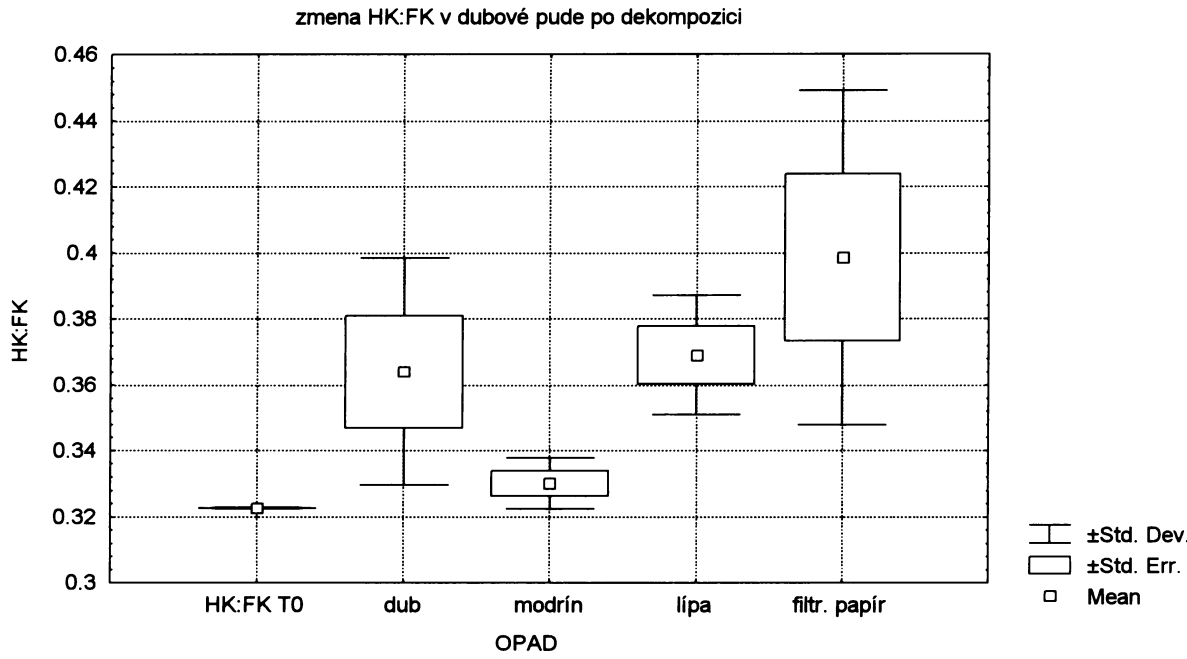
Hodnoty HK:FK před a po dekompozici byly pro jednotlivé půdní druhy analyzovány jednocestnou analýzou variance a vliv jednotlivých druhů opadu na změnu HK:FK v půdě byl testován Duncanovým testem.

**Výsledky**

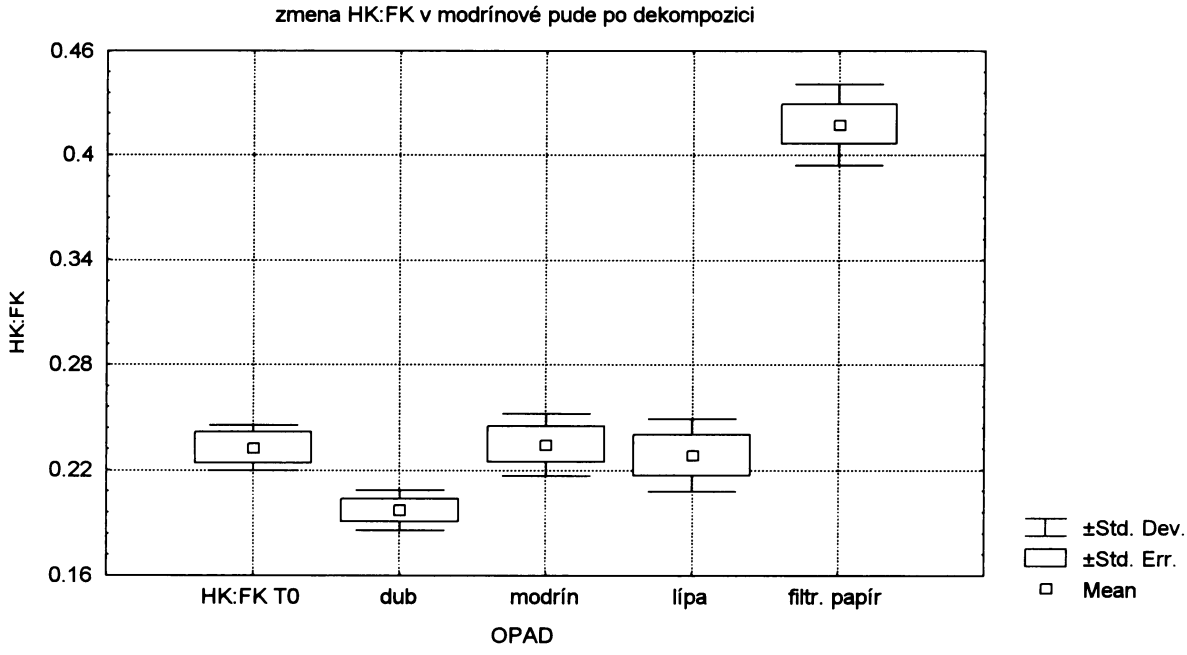
Výsledné hodnoty HK:FK před dekompozicí a po dekompozici spolu s porovnáním, které hodnoty se pro jednotlivé druhy substrátu signifikantně liší, jsou uvedeny v tabulce 4.2.3.2.1. Iniciální hodnoty HK:FK v jednotlivých druzích substrátů jsou zobrazeny v grafu 4.2.2.3. Dále jsou výsledky znázorněny v grafech 4.2.3.2.1. až 4.2.3.2.5.

| | iniciální. HK:FK | | druh dekomponovaného opadu | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | T0 | | T1 | | T1 | | T1 | | T1 | |
| typ substrátu | n | | n | *Q. rubra* | n | *L. decidua* | n | *T. cordata* | n | filtrační papír |
| *Quercus rubra* | 2 | 0,32 ± 0,01 a | 4 | 0,36 ± 0,03 ab | 4 | 0,33 ± 0,01 a | 4 | 0,37 ± 0,02 ab | 4 | 0,4 ± 0,05 b |
| *Larix decidua* | 2 | 0,23 ± 0,01 a | 3 | 0,2 ± 0,01 a | 3 | 0,23 ± 0,02 a | 3 | 0,23 ± 0,02 a | 4 | 0,42 ± 0,02 b |
| *Tilia cordata* | 2 | 0,38 ± 0,04 | 4 | 0,4 + 0,02 | 4 | 0,3 + 0,17 | 4 | 0,46 + 0,07 | 4 | 0,46 + 0,09 |
| písek | 1 | 0,18 | 4 | 0,41 ± 0,08 | 4 | 0,5 ± 0,21 | 4 | 0,45 ± 0,31 | 4 | 0,25 ± 0,09 |

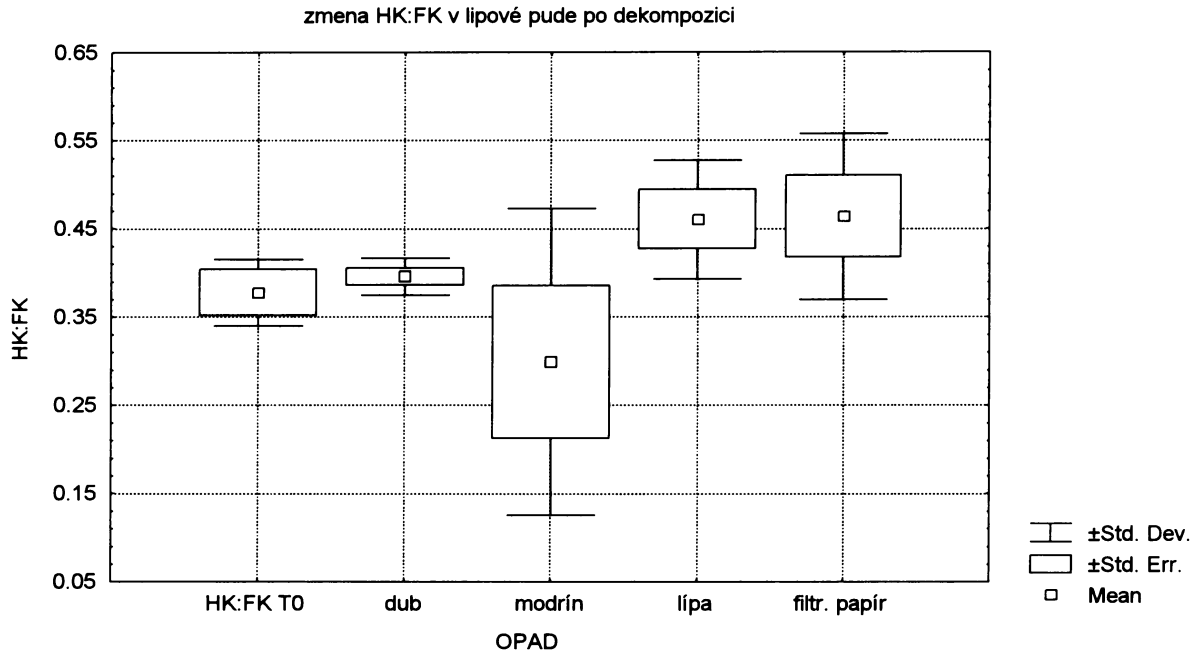
**Tab. 4.2.3.2.1.**: Průměrné hodnoty HK:FK před dekompozicí (T0) a po dekompozici (T1) pro jednotlivé kombinace substrátu a



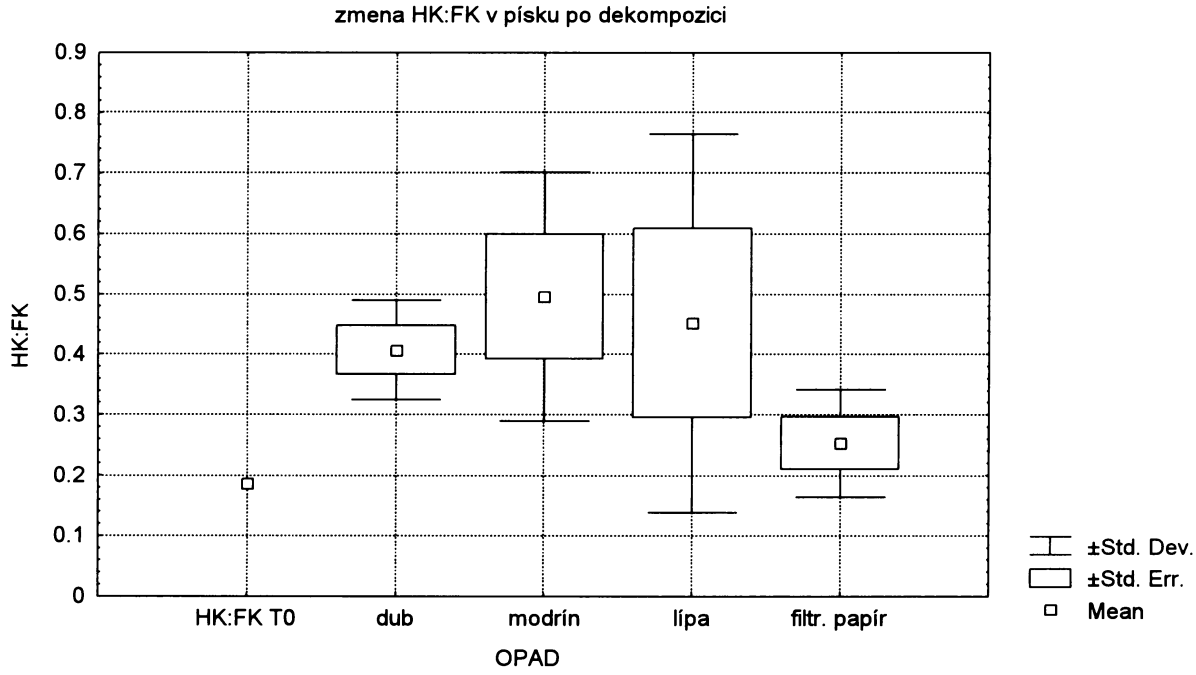

**Graf 4.2.3.2.1.**: Změna poměru HK:FK v dubové půdě během na ní probíhající dekompozice studovaných druhů opadu. HK:FK T0 udává poměr HK:FK v dubové půdě před dekompozicí.



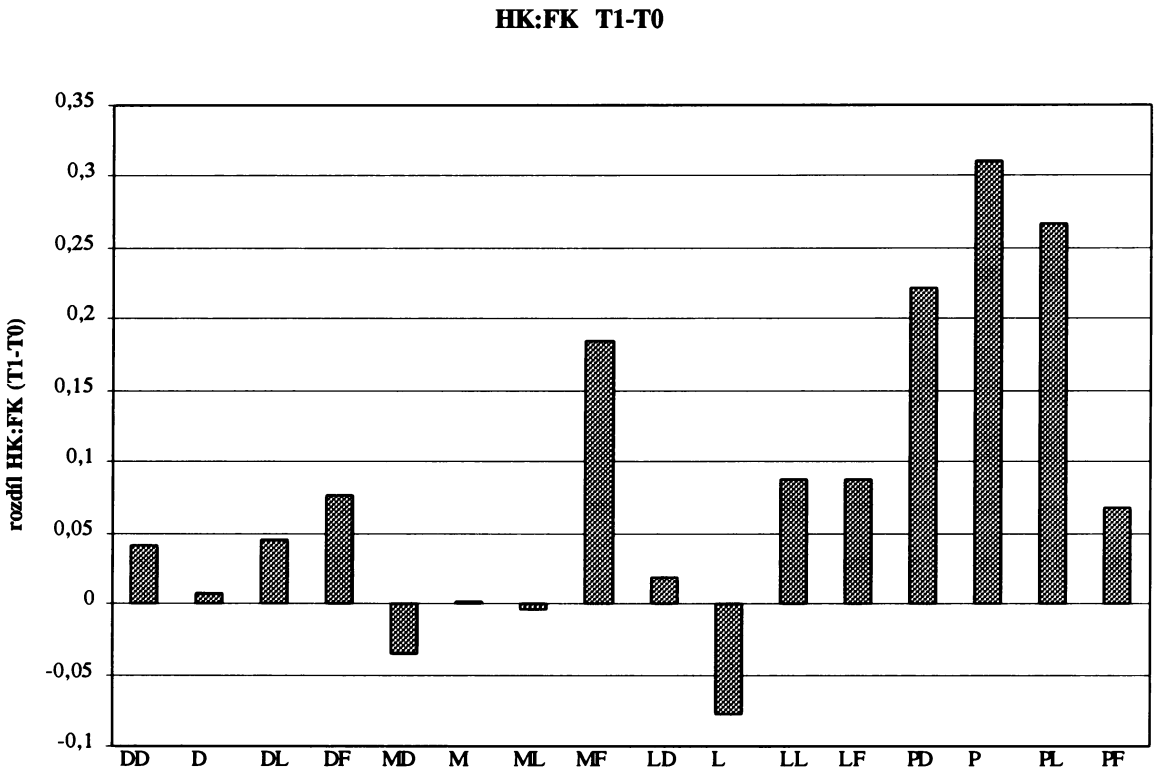

**Graf 4.2.3.2.2.**: Změna poměru HK:FK v modřínové půdě během na ní probíhající dekompozice studovaných druhů opadu. HK:FK T0 udává poměr HK:FK v modřínové půdě před dekompozicí.




**Graf 4.2.3.2.3.**: Změna poměru HK:FK v lipové půdě během na ní probíhající dekompozice studovaných druhů opadu. HK:FK T0 udává poměr HK:FK v lipové půdě před dekompozicí.




**Graf 4.2.3.2.4.**: Změna poměru HK:FK v písku během na něm probíhající dekompozice studovaných druhů opadu. HK:FK T0 udává poměr HK:FK v písku před dekompozicí.




**Graf 4.2.3.2.5.**: Grafické znázornění rozdílu hodnot HK:FK půdy před dekompozicí (T0) a po dekompozici (T1) pro všechny kombinace substrátu a opadu.

dekomponovaného opadu. Stejnými písmeny jsou v řádcích označeny hodnoty, které se od sebe navzájem signifikantně neliší.

Statistickou analýzou dat bylo zjištěno, že výsledné hodnoty HK:FK před a po dekompozici souhrnně pro všechny druhy rozkládajícího se opadu se navzájem signifikantně liší v případě půdy ze stanoviště červeného dubu a modřínu, naopak nebyly prokázány průkazné rozdíly v těchto hodnotách v lipové půdě a v písku. Vzhledem však k velkému rozptylu některých hodnot pro lipovou půdu a písek má toto výsledné porovnání sníženou vypovídací schopnost.

Při bližším zkoumání bylo zjištěno, že iniciální hodnoty HK:FK pro dubovou půdu se od hodnot po dekompozici signifikantně liší jen v případě, kdy se na půdě rozkládala celulóza, pro ostatní druhy opadu se hodnoty průkazně neliší. Lze říci, že se poměr HK:FK po dekompozici jednotlivých druhů opadu zvyšuje, nejméně při rozkladu jehlic modřínu, nejvíce při rozkladu celulózy.

Podobná situace platí i pro modřínovou půdu, kde průkazně odlišné jsou hodnoty HK:FK mezi T0 a T1 pouze v případě celulózy. Na rozdíl od dubové půdy však hodnota HK:FK stoupá pouze při rozkladu celulózy, při dekompozici opadu modřínu a lípy zůstává nezměněna a pro opad červeného dubu dokonce klesá.

U lipové půdy se při analýze variance signifikantně nelišily žádné hodnoty, vypovídací schopnost tohoto rozhodnutí je však také díky velké variabilitě některých dat snížena. Z grafu 4.2.3.2.3. je patrné mírné snížení poměru HK:FK v půdě při rozkladu jehlic modřínu.

Pro písek se stejně jako pro lipovou půdu hodnoty statisticky nelišily, zřejmě díky velké variabilitě hodnot. Z grafu 4.2.3.2.4. je však patrné zvýšení HK:FK po dekompozici opadu červeného dubu, modřínu i lípy.

**Diskuse**

Z výsledných naměřených hodnot HK:FK ve studovaných substrátech před a po dekompozici jednotlivých druhů opadu vyplývá, že nejvíce se zvyšuje tento poměr při dekompozici filtračního papíru (celulózy), výrazná je změna zvláště pro půdní substráty. Je to možná způsobeno vysokou relativní rychlostí rozkladu tohoto materiálu (viz kapitola 4.2.3.1.); v době druhého odběru z termoboxu bylo rozloženo na půdních substrátech přibližně dvojnásobné množství celulózy než ostatních druhů opadu. Tento nepoměr může způsobovat velký rozdíl ve vlivu na HK:FK mezi celulózou a ostatními druhy opadu, neboť existuje pozitivní korelace mezi obsahem Cox v půdě a hodnotou HK:FK (Pospíšil 1980).

Při rozkladu opadu *Quercus rubra* dochází k mírnému zvýšení poměru HK:FK a tedy ke zlepšení kvality půdy z tohoto hlediska, v dubové půdě, při dekompozici na modřínové půdě poměr naopak mírně klesá.

Při rozkladu jehlic *Larix decidua* dochází k mírnému zhoršení kvality substrátu při dekompozici na půdě ze stanovišti lípy.

Opad *Tilia cordata* mírně zvyšuje kvalitu půdy ze stanoviště červeného dubu a ze svého vlastního stanoviště.

**Závěr**

Analýzou poměru HK:FK ve studovaných typech substrátů při dekompozici jednotlivých druhů opadu bylo zjištěno, že změny tohoto poměru jsou průkazné pro rozklad celulózy na půdě ze stanoviště červeného dubu a modřínu, kvalita půdy se v obou případech zlepšuje. Je však třeba mít na paměti, že čistá celulóza není materiál srovnatelný s listovým opadem a její dekompozice probíhá odlišným způsobem (kapitola 4.2.3.1.).

Ostatní rozdíly jsou neprůkazné, ale díky velké variabilitě některých dat pro lipovou půdu a písek je výpovědní hodnota statistických rozhodnutí pro tyto dva druhy substrátu snížena.

Celkově lze říci, že vliv rozkládajícího se listového opadu na poměr HK:FK ve studovaných substrátech nebyl v této fázi dekompozice prokázán.

## 4.3 Dekompozice celulózy v terénu

**Úvod**

Celulóza je jako hlavní součást rostlinných buněčných stěn kvantitativně patrně nejrozšířenější organickou látkou na Zemi (roční produkce $10^{11}$ tun). Po chemické stránce je to 1,4-β-D-glukan a její nerozvětvený řetězec obsahuje asi 3000 zbytků β-D-glukopyranosy, spojených vazbami 1-4 (Šípal et al. 1992; Kindl et Wöber 1981).

Celulóza bývá v rostlinném organismu doprovázena průvodními látkami, jako jsou hemicelulózy, pektiny, ligninové pryskyřice, oleje apod. Její obsah v rostlinách závisí na stáří a druhu příslušné rostliny (Pokorná 1976).

Rozklad celulózy v přírodních podmínkách zajišťují specializované půdní mikroorganismy prostřednictvím enzymů - celuláz. Kromě celulolytických bakterií se rozkladu účastní i mikromycety a aktinomycety. Podobně jako u všech půdních rozkladačů, i množství rozkladačů celulózy v půdě je ovlivňováno především teplotou a vlhkostí půdy a dále jejím pH. V alkalických půdách se rozkladu celulózy účastní hlavně aktinomycety, v kyselých půdách lze nalézt převážně mikromycety, přičemž celkové množství rozkladačů celulózy stoupá od půd chudých k živným (Grunda et Málek 1979). Garret (1963) uvádí, že množství celulolytických bakterií je limitiváno množstvím dusíku v půdě. Je-li obsah dusíku v půdě nízký, je rychlost dekompozice celulózy snížena.

Celulóza je velmi často používána jako standardní materiál pro stanovení dynamiky rozkladných procesů v závislosti na některých stanovištních faktorech, nebo při srovnávacích studiích dekompozice, neboť je na rozdíl od rostlinného opadu v celém svém objemu homogenní. K těmto účelům se používá

celulóza ve formě vaty, šňůry, plátna, celofánu, ale nejčastěji jako filtrační papír (Úlehlová 1989).

**Metodika**

Ke zjištění rychlosti dekompozice celulózy na studovaných stanovištích byla použita klasická metoda detritových sáčků (Tesařová 1987).

Detritové sáčky byly shodné se sáčky použitými pro zjištění rychlosti dekompozice opadu, tedy kruhového tvaru o průměru 10 cm a s velikostí ok 1 mm. Sáčky byly zváženy s přesností na 0,0001 g a do každého byl vložen jeden filtrační papír tvaru kruhu o průměru 9 cm; jeho hmotnost se pohybovala okolo 0,47 g. Poté byly sáčky znovu zváženy a přeneseny do terénu.

Na stanovišti každé ze studovaných dřevin byla vybrána 3 místa tak, aby byla pokud možno na jednotlivých stanovištích vzájemně srovnatelná, tj. podobného mikroreliefu. Na každém z těchto míst bylo po odstranění vrstvy listí umístěno na povrch minerální půdy 10 detritových sáčků, to znamená celkem 30 sáčků na každé stanoviště. Sáčky byly opět zakryty opadem tak, aby dekompozice probíhala v co nejpřirozenějších podmínkách teploty a vlhkosti.

Doba expozice byla 56 dní. Po této době byly sáčky odebrány a exponována další sada (Suffling et Smith 1973). Nutno podotknout, že ne vždy byly všechny sáčky po expozici nalezeny. Celkem bylo exponováno 6 sad a to v následujícím harmonogramu:

| | |
|---|---|
| T1 | 9.4. 1999 - 4.6. 1999 |
| T2 | 4.6. 1999 - 30.7. 1999 |
| T3 | 30.7. 1999 - 24.9. 1999 |
| T4 | 24.9. 1999 - 19.11. 1999 |
| T5 | 19.11. 1999 - 14.1. 2000 |
| T6 | 14.1. 2000 - 11.3. 2000 |

Odebrané sáčky byly přeneseny do laboratoře a vysušeny při 50°C do konstantní hmotnosti. Poté byly opatrně očištěny a zváženy jak se zbytkem filtračního papíru, tak i bez něj, pokud to stav dekomponovaného zbytku dovoloval. Tyto hodnoty byly použity pro výpočet relativní dekompoziční rychlosti a korekce na znečištění sáčku, podobně jako při dekompozičním pokusu rozkladu opadu za konstantních podmínek teploty a vlhkosti v laboratoři (kapitola 4.2.3.1.). Relativní dekompoziční rychlost celulózy byla vypočtena podle stejného vzorce, jako relativní dekompoziční rychlost opadu (LDR - kapitola 4.2.3.1.), rozdíl je pouze v označení veličiny; pro rozklad celulózy bude používána zkratka RDR.

Vyjmuté zbytky filtračního papíru byly žíhány v muflové peci 3 hodiny při 800°C a hodnoty obsahu popelovin byly použity pro korekci na znečištění filtračního papíru (Chlumská 1977).

Výsledné hodnoty byly podrobeny analýze variance a pomocí Duncanova testu byly zjištěny statisticky signifikantní rozdíly v RDR pro jednotlivá časová období.

**Výsledky**

Výsledné hodnoty relativní dekompoziční rychlosti rozkladu celulózy v terénu viz tabulka 4.3.1. a grafy 4.3.1. a 4.3.2.

Zpracování dat analýzou variance prokázalo na 5%ní hladině významnosti signifikantní rozdíly v RDR mezi jednotlivými stanovišti pro všechna časová období měření (graf 4.3.2.). Nejvyšší hodnoty RDR byly zjištěny na stanovišti modřínu, nejnižší na stanovišti lípy. RDR na stanovišti červeného dubu má střední hodnoty.

Podrobnější srovnání pro jednotlivá časová období ukázalo, že v časových obdobích v druhé polovině léta a na přelomu roku (období T3 a T5) se hodnoty RDR celulózy na jednotlivých stanovištích signifikantně nelišily.

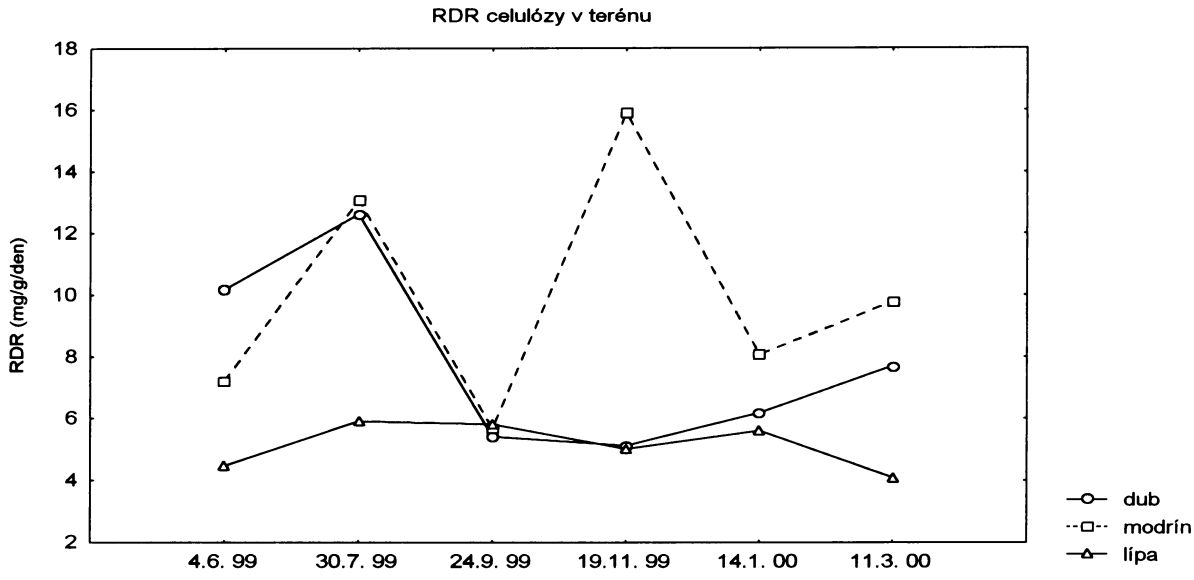
Hodnoty RDR se prokazatelně lišily v jarním období (T1) a to mezi všemi stanovišti. Nejvyšší RDR celulózy vykazuje stanoviště s *Quercus rubra*, nejnižší pak stanoviště s *Tilia cordata*.

Počátkem léta (období T2) se celulóza rozkládala nejrychleji pod modřínem a pod červeným dubem, obě hodnoty se navzájem prokazatelně nelišily. Signifikantně nižší byla zjištěna RDR pod lípou.

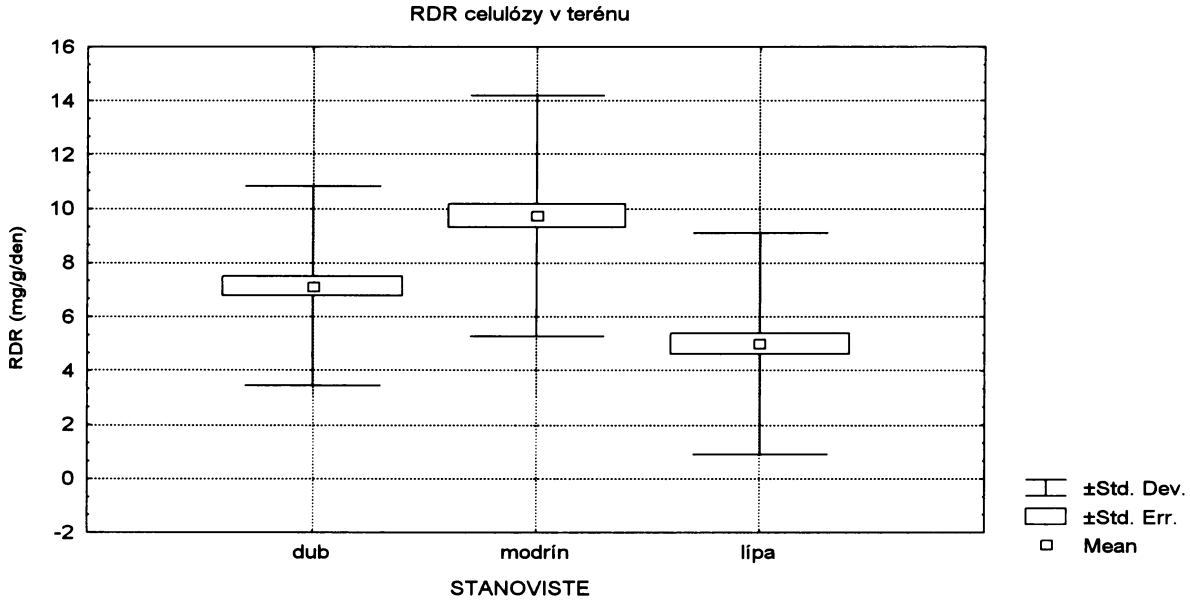
| čas/stanoviště | | *Quercus rubra* | *Larix decidua* | *Tilia cordata* |
|---|---|---|---|---|
| 9.4. – 4.6. 99 | T1 | 10,6 ± 1,74 **a** | 7,19 ± 3 **b** | 4,46 ± 2,45 **c** |
| n | | 9 | 9 | 10 |
| 4.6. – 30.7. 99 | T2 | 12,6 ± 1,37 **a** | 13,07 ± 2,58 **a** | 5,98 ± 3,96 **b** |
| n | | 7 | 7 | 7 |
| 30.7. – 24.9. 99 | T3 | 5,39 ± 1,5 | 5,65 ± 4,05 | 5,77 ± 1,84 |
| n | | 14 | 21 | 21 |
| 24.9. – 19.11. 99 | T4 | 5,1 ± 2,18 **a** | 15,9 ± 0,87 **b** | 5 ± 3,8 **a** |
| n | | 18 | 19 | 20 |
| 19.11. 99 – 14.1. 00 | T5 | 6,17 ± 1,9 | 8,06 ± 2,07 | 5,59 + 5,14 |
| n | | 18 | 19 | 20 |
| 14.1. – 11.3. 00 | T6 | 7,68 + 4,96 **a** | 9,78 + 2,84 **a** | 3,92 + 2,17 **b** |
| n | | 24 | 27 | 27 |

**Tab. 4.3.1.**: Výsledné hodnoty relativních dekompozičních rychlostí celulózy rozkládající se na stanovištích studovaných dřevin. Stejnými písmeny jsou v řádcích označeny hodnoty, které se signifikantně neliší.

Na podzim (období T4) je rozklad celulózy nejrychlejší na stanovišti modřínu, hodnota RDR se také prokazatelně lišila od hodnot RDR na zbývajících stanovištích červeného dubu a lípy, které se od sebe nelišily.




**Graf 4.3.1.**: Hodnoty relativní dekompoziční rychlosti celulózy na jednotlivých stanovištích studovaných dřevin v průběhu devíti měsíců. Detritové sáčky byly odebírány v intervalu 56 dní.




**Graf 4.3.2.**: Celková relativní dekompoziční rychlost celulózy na jednotlivých stanovištích studovaných dřevin pro všechny odběry (1 - 6).

Relativní dekompoziční rychlost celulózy byla koncem zimy (období T6) nejvyšší pod modřínem, její hodnota se však signifikantně nelišila od hodnoty RDR pod červeným dubem. Průkazně nižší byla hodnota RDR ze stanoviště lípy.

Co se týká průběhu relativní dekompoziční rychlosti v jednotlivých obdobích, na stanovišti lípy se RDR celulózy v celém sledovaném čase (ve všech obdobích) průkazně neměnila.

Průběh RDR celulózy během sledovaných časových období u porostu červeného dubu a modřínu byl podobný, signifikantně se RDR těchto dvou porostů odlišovaly pouze v období T1 a T4 (jarní a podzimní měsíce), přičemž počátkem léta (T2) RDR stoupala a v druhé polovině léta (T3) prudce klesala. Na podzim (T4) se hodnoty RDR výrazně rozcházejí, zatímco RDR pod modřínem se prudce zvýšila, dekompoziční rychlost pod červeným dubem mírně klesla. V období T5 došlo opět k vyrovnání hodnot (RDR pod modřínem klesá) a v posledním období se pak hodnoty RDR mírně zvýšily.

| | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Quercus rubra | a | b | c | c | c | c |
| Larix decidua | a | b | a | c | ad | d |
| Tilia cordata | NESIGNIFIKANTNÍ ROZDÍLY | | | | | |

**Tab. 4.3.2.**: Tabulka ilustruje rozdíly v relativní dekompoziční rychlosti celulózy mezi sledovanými časovými obdobími pro jednotlivá stanoviště dřevin. Stejnými písmeny jsou v řádcích označeny situace, kdy se RDR celulózy signifikantně neliší (vždy pro všechna období na jednom stanovišti).

**Diskuse**

Výsledné hodnoty RDR celulózy na jednotlivých stanovištích ukazují, že stanoviště s porostem *Tilia cordata* je pro rozklad celulózy nejméně příznivé. Možným vysvětlením může být inhibice rozkladačů celulózy pravděpodobnou vysokou koncentrací polyfenolů, vyplavujících se z opadu do půdy (kapitola 4.2.1.8.), nebo nedostatečná ochrana povrchu půdy vůči povětrnostním podmínkám (vysychání, mráz).

Nejvyšší rychlost rozkladu celulózy u modřínového porostu naznačuje z hlediska dekompozice celulózy příznivé půdní vlastnosti.

Roli zde pravděpodobně hrají dobré izolační vlastnosti vysoké vrstvy nerozloženého opadu, což se projevuje zejména v suchých letních měsících a v zimě. To by také vysvětlovalo náhlý vzrůst RDR v období T3 a T4 (druhá polovina léta a podzim) a mírné zvýšení této hodnoty v zimních měsících (T5 - T6). Navíc prosvětlená koruna modřínu propouští více slunečního záření a tak je v porostu pravděpodobně i tepleji, což dekompoziční procesy podporuje.

Celková RDR celulózy v porostu červeného dubu vykazuje střední hodnotu, tedy i podmínky pro rozklad celulózy jsou pravděpodobně lepší než u porostu lípy, ale horší než pod modřínem. Izolační schopnosti vrstvy opadu červeného dubu jsou díky značné velikosti listu sníženy (listy nejsou k sobě těsně přimknuty), což by vysvětlovalo pokles a stagnaci v RDR celulózy v letních měsících na tomto stanovišti.

**Závěr**

Sledováním relativní dekompoziční rychlosti celulózy v porostech studovaných dřevin v průběhu šesti časových období po dobu devíti měsíců bylo zjištěno, že nejméně příznivé podmínky pro rozklad celulózy má stanoviště lípy srdčité, naopak

nejpříznivější podmínky poskytuje stanoviště modřínu opadavého. Stanoviště červeného dubu leží mezi předchozími dvěma stanovišti.

Změny v RDR celulózy v průběhu sledovaných časových období jsou pravděpodobně závislé na izolačních vlastnostech a množství ležícího nerozloženého opadu na stanovištích. Lipový porost díky rychlému úbytku opadu (kapitola 4.1.) neskýtá prakticky žádnou ochranu a izolaci povrchu půdy, takže v suchém období půda rychle vysychá a v zimních měsících promrzá.

Naopak vysoká vrstva nerozloženého opadu modřínu má výborné izolační vlastnosti a chrání půdu jak vůči ztrátě vlhkosti, tak i vůči chladnějšímu počasí. Kromě toho prosvětlená koruna modřínu propouští více světla a tepla do porostu a tak jsou i tepelné podmínky pro rozklad příznivější.

Opad červeného dubu poskytuje také určitou ochranu povrchu půdy vůči povětrnostním podmínkám, není však díky nedostatečné slehlosti vrstvy opadu dobře uzavřená a izolační schopnosti jsou sníženy.

# 5. Souhrnné výsledky

Měřením v terénu i v laboratorních podmínkách jsem se pokusila odpovědět na otázky, jak probíhá dekompozice opadu introdukované dřeviny *Quercus rubra* ve srovnání s našimi domácími dřevinami modřínem opadavým a lípou srdčitou, dále jak se vybrané fyzikální a chemické charakteristiky příslušných druhů opadu podílejí na jejich relativní rychlosti rozkladu a jak tento rozklad ovlivňuje svrchní vrstvu půdy a následně i podrost stanoviště čisté kultury.

Analýzou složení bylinného a keřového patra jednotlivých porostů studovaných dřevin pomocí indikačních hodnot podle Ellenberga (1979) bylo zjištěno (kapitola 3.2., tabulka 3.2.3.), že podrost všech tří stanovišť vykazuje znaky vegetace mezofilních, mírně nitrofilních stanovišť ve středně teplých polohách suboceánského rozšíření. Na všech stanovištích studovaných monokultur bylo zjištěno větší zastoupení nitrofilních rostlin v podrostu, zastoupení lesních bylin bylo malé (Poa nemoralis, Scrophularia nodosa, Moehringia trinervia, Hieracium murorum). Jediné průkazné rozdíly byly zjištěny u podrostu modřínu, který vykazoval světlomilnější a bazifilnější znaky než podrost u ostatních dvou stanovišť.

Světlomilnost podrostu je pravděpodobně dána slunnou architekturou koruny modřínu, která propouští světlo lépe než ostatní dva porosty. Větší přísun slunečního záření a tím také větší teplo v porostu modřínu opadavého je také možnou příčinou vysoké pokryvnosti bylinného a keřového patra a jednou z příčin rychlejšího rozkladu celulózy (kapitola 4.3.) na tomto stanovišti.

Otázka bazifilnějšího charakteru podrostu modřínu je do jisté míry neobjasněna, neboť podle výsledků analýzy půdních Ah

horizontů se pH půdy ze stanoviště modřínu průkazně neliší od půdního pH ostatních dvou stanovišť (4,2 pro modřínovou půdu, 5,2 pro půdu pod porostem Q. rubra a 5,3 pro půdu na stanovišti lípy) a extrémně nízké pH výluhu z opadu modřínu (1,17) také spíše nasvědčuje kyselejším podmínkám stanoviště *Larix decidua*. Tento rozpor je možné vysvětlit nedostatky v Ellenbergových indikačních tabulkách, neboť u mnohých druhů bylinného a keřového patra tato ekologická charakteristika chyběla (tabulka 3.2.2.) a tudíž vzhledem ke značné pokryvnosti podrostu na stanovišti modřínu zde mohla sehrát velkou roli náhoda.

Sledováním roční produkce listového opadu u studovaných dřevin a porovnání přísunu a úbytku opadu během roku u listového opadu červeného dubu a lípy (kapitola 4.1., tabulka 4.1.3.) bylo zjištěno, že nejvyšší přísun listového opadu vykazuje porost červeného dubu (2,49 t/ha/rok), dále porost modřínu (2,08 t/ha/rok) a nejnižší produkce listového opadu byla zaznamenána u porostu lípy (1,24 t/ha/rok). dále byla prokázána velmi vysoká rychlost rozkladu lipového listí (95% opadu se rozloží na stanovišti asi za 6,5 měsíce), u kterého byly zjištěny takové charakteristiky (kapitola 4.2.1., tabulka 4.2.1.1.), které jeho rozklad podporují. Opad červeného dubu ze stanoviště mizí pomalu (95% opadu se rozloží asi za 4,3 roku) a má tendenci se hromadit. Příčinou jsou zřejmě takové fyzikální a chemické vlastnosti opadu, které jeho dekompozici brzdí (kapitola 4.2.1., tabulka 4.2.1.1.).

Zkoumáním iniciálních vlastností jednotlivých druhů opadu (kapitola 4.2.1., tabulka 4.2.1.1.) bylo zjištěno, že nejpříznivější vlastnosti z hlediska degradability má opad lípy; příznivé jsou zde zejména charakteristiky jako specifická listová hmotnost, schopnost absorpce vody,

, pH výluhu. Opad lípy však obsahuje velké množství polyfenolů, které by mohly inhibovat rozklad, ale jak v přirozených podmínkách stanoviště (kapitola 4.1., tabulka 4.1.3.), tak v kontrolovaných laboratorních podmínkách (kapitola 4.2.3.1.) nebylo snížení rozkladu lipového opadu potvrzeno. Půda ze stanoviště lípy však při dekompozici opadu v kontrolovaných laboratorních podmínkách brzdící účinek na procesy rozkladu opadu projevila, zde se tedy může projevovat možný nepříznivý vliv polyfenolů, vyplavených z opadu lípy do půdy, neboť v podmínkách termoboxu chybí jednak zástupci megafauny, kteří mohou značnou mírou přispívat k dekompozici opadu v přirozených podmínkách, jednak zde nepůsobí srážková voda, která může část polyfenolů ze svrchních půdních horizontů odplavovat. Polyfenoly mohou rovněž brzdit fyziologické funkce druhů bylinného a keřového patra, čemuž by nízká pokryvnost podrostu na stanovišti lípy mohla nasvědčovat. Je však třeba mít na paměti, že stanovení obsahu polyfenolů není samo o sobě dostatečným důkazem inhibice fyziologických funkcí rozkladačů nebo rostlin, neboť jak bylo řečeno v úvodu kapitoly 4.2.1.8., záleží na konkrétním složení směsi fenolických kyselin, jaký bude výsledný účinek na organismy. V tomto směru by bylo užitečné provést přímý experiment vlivu půdy nebo výluhu z opadu na klíčení a růst rostlin, aby se skutečné účinky projevily.

Opad *Quercus rubra* má pro dekompozici horší předpoklady, neboť má velkou specifickou listovou plochu, malou schopnost absorbovat vodu, nízký obsah vodorozpustných látek a vysoký poměr C/N. Díky těmto vlastnostem probíhá jeho rozklad pomalu a na stanovišti se hromadí. Veliké a těžké listy vytvářejí pak na lesní půdě souvislou vrstvu opadu, která propouští jen málo světla a je pro semenáče rostlin takřka neprostupná, což potvrzují pozorování řady monokulturních porostů *Quercus rubra*

(viz tabulka 3.3.1.), jejichž podrost má malou pokryvnost a vykazuje ostré přechody k porostům jiných dřevin. Nízký obsah polyfenolů nasvědčuje tomu, že se tyto látky pravděpodobně nepodílejí na případném allelopatickém působení tohoto opadu. Vzhledem k malé vypovídací hodnotě obsahu polyfenolů v opadu a k údajům z literatury (Lodhi 1976; Scisciolo et el. 1990) však nelze ani tento vliv vyloučit.

Opad modřínu byl charakterizován jako nepříznivý vůči procesům dekompozice; vysoká specifická hmotnost listu napovídá o velkém množství strukturotvorných, pomalu se rozkládajících složek opadu a zejména velmi nízké pH vodného výluhu z opadu nasvědčuje, že rychlost rozkladu jehlic bude pravděpodobně snížena vytvářením kyselého prostředí pro dekompozitory. Tomuto předpokladu však odporují zjištěné hodnoty pH půdy pod modřínem (kapitola 4.2.2., tabulka 4.2.2.1.), které sice charakterizují kyselou půdu, ale průkazně se neliší od hodnot pH na ostatních dvou stanovištích. Také posun k bazifilnějšímu charakteru podrostu na tomto stanovišti při analýze bylinného a keřového patra pomocí indikačních hodnot (kapitola 3.2., tabulka 3.2.3.) svědčí o pravděpodobně dobré pufrační kapacitě půdy pod porostem modřínu. Modřínový opad obsahuje vyšší množství dusíku a fosforu a vykazuje tedy příznivě nízký poměr C/N , což však může být způsobeno nedostatečnou retranslokací živin před opadem.

Vybranými analýzami Ah horizontů ze stanovišť studovaných dřevin (kapitola 4.2.2., tabulka 4.2.2.1.) bylo zjištěno, že nejlepší vlastnosti má půda ze stanoviště lípy (nízký poměr Cox/N, vysoký poměr HK:FK a příznivé půdní pH). Ani na stanovišti červeného dubu nebyl prokázán nepříznivý vliv této dřeviny na svrchní vrstvu půdy, i když hodnoty byly již oproti lípě o něco méně příznivé. Půda na stanovišti modřínu vykazuje v průměru známky mírného okyselení a nižší poměr HK:FK

napovídá, že rozklad jehlic probíhá pomaleji. Také vysoký poměr Cox/N naznačuje, že obrat organických látek je na tomto stanovišti nejpomalejší.

Sledování relativní rychlosti dekompozice jednotlivých studovaných druhů opadu a celulózy na půdních substrátech ze stanovišť studovaných dřevin a na písku bylo prováděno ve srovnatelných podmínkách teploty a vlhkosti v laboratoři (kapitola 4.2.3.1.). Bylo zjištěno, že listy červeného dubu a modřínu se rozkládaly pomaleji, což odpovídá jejich fyzikálním a chemickým charakteristikám, které jsou pro dekompozici nejméně příznivé. Opad lípy se rozkládal mnohem rychleji, čemuž také odpovídají výsledky bilance přísunu a mizení opadu v terénních podmínkách (kapitola 4.1., tabulka 4.1.3.). Nejvyšší hodnoty relativní dekompoziční rychlosti vykazovala celulóza, která neobsahuje žádné strukturotvorné složky, které by její rozklad zpomalovaly.

Dále bylo prokázáno, že půda ze stanoviště červeného dubu ze všech substrátů nejvíce podporuje rozklad nejen vlastního opadu, ale i modřínového a lipového opadu. Tento fakt lze vysvětlit celkově dobrou kvalitou půdního Ah horizontu na stanovišti červeného dubu (kapitola 4.2.2., tabulka 4.2.2.1.) a možnou přítomností takového druhového spektra rozkladačů, kteří jsou adaptováni na rozklad těžce rozložitelného opadu a proto jim rozklad jehlic modřínu nebo atraktivního opadu lípy nečiní potíže.

Půda ze stanoviště modřínu se projevovala ve vztahu k rozkladným procesům střídavě, vcelku se však její vliv na dekompozici opadu od dubové půdy prokazatelně neodlišoval.

Lipová půda se projevila jako brzdící procesy dekompozice u všech sledovaných druhů opadu. To sice odpovídá výsledkům ze zkoumání dekompozice celulózy v terénu (kapitola 4.3., tabulka

4.3.1.), kdy byla relativní dekompoziční rychlost celulózy také zjištěna prokazatelně nejnižší na stanovišti lípy, ale zde zřejmě hrají roli jiné příčiny, neboť zatímco v laboratorních podmínkách chybí významní zástupci megafauny (žížaly) a mohou se zde projevit vlivy možného vyššího množství polyfenolů (v případě dekompozice opadu lípy),které v půdě zůstávají a neodplavují se srážkovou vodou, v přirozených podmínkách může hrát roli nedostatečná izolační schopnost povrchu půdy vůči vysychání a mrazu nízkou vrstvou opadu lípy. Kromě toho v případě dekompozice opadu *Quercus rubra* a *Larix decidua* na lipové půdě zde může hrát roli nedostatečné druhové spektrum rozkladačů, kteří nejsou adaptováni na dekompozici těžko rozložitelných druhů opadu. Vysoké hodnoty relativní dekompoziční rychlosti celulózy na půdě ze stanoviště lípy v kontrolovaných laboratorních podmínkách tedy zatím zůstávají otevřenou otázkou.

Celulóza má díky svým odlišným vlastnostem (homogenní struktura) zcela jiný průběh dekompozice, nejlépe se v laboratorních podmínkách rozkládala na půdě ze stanoviště lípy.

Lze tedy říci, že původní předpoklad, že *Quercus rubra* zhoršuje na svém stanovišti podmínky pro rozklad listového opadu se nepotvrdil, naopak, ze všech druhů substrátu nejvíce urychluje dekompozici všech druhů listového opadu. Hromadění opadu červeného dubu na povrchu půdy na stanovišti této dřeviny je tedy pravděpodobně způsobeno velkým množstvím (2,49 t/ha, oproti 1,24 t/ha u lípy - tabulka 4.1.3.) pomalu se rozkládajícího opadu, procesy dekompozice jsou pouze zpomaleny, ne však narušeny. Naproti tomu lipová půda i přes své příznivé vlastnosti procesy dekompozice v laboratorních podmínkách brzdila.

Analýzou variance poměru huminových kyselin a fulvokyselin před dekompozicí a po 118 dnech dekompozice za kontrolovaných laboratorních podmínek (kapitola 4.2.3.2., tabulka 4.2.3.2.1.) nebyl prokázán vliv rozkládajícího se opadu na změnu tohoto poměru v půdních substrátech. Signifikantní rozdíly byly zjištěny pouze v iniciálních hodnotách HK:FK mezi jednotlivými substráty, kdy nejnižší poměr byl zjištěn u modřínové půdy (0,23), nejvyšší u půdy z porostu lípy (0,38).

Sledováním rychlosti rozkladu celulózy v terénních podmínkách na stanovištích studovaných dřevin bylo zjištěno, že nejhůře se v průběhu sledovaných 9 měsíců rozkládala celulóza na stanovišti lípy, nejlépe na stanovišti modřínu, RDR celulózy pro porost červeného dubu ležela mezi těmito dvěma stanovišti. Průběh relativních rychlostí celulózy během sledovaného období závisí nejvíce na mikroklimatu půdy, neboť pod vrstvou modřínového opadu se udržují příznivé vlhkostní i teplotní podmínky i během sucha či chladu. Navíc díky řidší koruně modřínu proniká na toto stanoviště více slunečního záření a je zde pravděpodobně i vyšší teplota, což také rozkladné procesy podporuje. Naproti tomu neskýtá opad lípy téměř žádnou ochranu povrchu půdy a ani opad červeného dubu nemá tak dobré izolační vlastnosti jako jehlice modřínu.

Při srovnání těchto výsledků s výsledky dekompozice celulózy v laboratorních podmínkách bylo zjištěno, že celulóza se v laboratorních podmínkách nejlépe rozkládá na půdě ze stanoviště lípy a tento rozpor není uspokojivě vysvětlen. Rozklad celulózy na modřínové a dubové půdě pak probíhal pomaleji, vzájemně se jejich hodnoty RDR celulózy v termoboxu nelišily.

# 6. Závěr

Na základě poznatků z terénu a cílených experimentů bylo zjištěno:

1) Monokulturní porosty dubu červeného (*Quercus rubra*) a lípy srdčité (*Tilia cordata*) mají nízkou pokryvnost bylinného a keřového patra, zatímco porost modřínu opadavého (*Larix decidua*) vykazuje pokryvnost vysokou. Všechny porosty (zejména modřínový) mají hojné zastoupení nitrofilních rostlin bylinného a keřového patra. Podle Ellenbergových indikačních hodnot vykazuje podrost studovaných stanovišť znaky rostlin mezofilních, spíše nitrofilních stanovišť středně teplých poloh a suboceánského rozšíření. Podrost monokultur červeného dubu a lípy má charakter slabých acidofytů na stinných a polostinných stanovištích, podrost kultury modřínu vykazuje posun k bazifilnějším rostlinám polostinných až poloslunných stanovišť.

2) Opad červeného dubu se díky svým strukturním vlastnostem v našich podmínkách rozkládá pomalu, ale jeho dekompozice probíhá poměrně dobře a dřevina svým opadem neznehodnocuje půdu na svém stanovišti ani zhoršením chemických vlastností Ah horizontu, ani pro rozklad celulózy a ostatních druhů opadu. Podrost lesa pak reaguje na mechanickou a světlo málo propouštějící překážku vysoké vrstvy listí malou pokryvností.

3) Lipový opad se díky svým fyzikálně-chemickým charakteristikám rozkládá na stanovišti velmi rychle, ale nicméně v laboratorních podmínkách se projevily takové vlastnosti lipové půdy, které vedou ke zbrždění dekompozice listového opadu při pokusu za kontrolovaných laboratorních podmínek a snížení rychlosti rozkladu celulózy v terénu.

Podrost lesa vykazuje nižší pokryvnost pravděpodobně buď v důsledku většího zastínění, nebo vlivem vysokého obsahu polyfenolů v opadu, které mohou mít allelopatické účinky.

4) Opad modřínu vykazoval pomalý rozklad a procesy jeho dekompozice nejsou pro půdu příznivé, jak se projevilo při experimentu v laboratorních kontrolovaných podmínkách.Zvláště se snižuje poměr HK:FK. Přesto však nebyl prokázán nepříznivý vliv této půdy na relativní dekompoziční rychlost jak jednotlivých druhů opadu, tak i celulózy a také podrost na tomto stanovišti vykazoval nejvyšší pokryvnost, což však mohlo být dáno příznivými světelnými poměry v porostu.

Je však nutné mít na paměti, že celá práce se zabývá porosty nedospělými, které stále rostou, takže tyto závěry nemusí již platit pro porosty vyššího stáří, neboť vlivem růstu a vývoje porostu může dojít ke změně ekologických faktorů.

Jako praktický závěr celé práce se nabízí myšlenka, že pokud je nutné vysazovat nepůvodní dřeviny do našich podmínek, je lépe vytvářet směsi dřevin, neboť mísením různého opadu se omezují do jisté míry vlivy jak nepříznivých charakteristik opadu, tak i vlivy metabolitů jejich rozkladu na lesní půdu. Tak by mohlo být možné vyhnout se zhoršování kvality lesních půd a podpořit rozvoj bylinného a keřového patra i v těchto, člověkem tolik pozměněných porostech.

# 7. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY


ABER J.D., MELILLO J.M. and McCLAUGHERTY C.A. (1990): Predicting long-term patterns of mass loss, nitrogen dynamics, and soil organic matter formation from initial fine litter chemistry in temperate forest ecosystems.- Can. J. Bot., 68: 2201 - 2208.

ANDERSON J.M.(1973):The Breakdown and Decomposition of Sweet Chestnut (Castanea sativa) and Beech(Fagus sylvatica) Leaf Litter in Two Deciduous Woodland Soil. - Oecologia, Berlin, 12: 251 - 274.

BERG B. et STAAF H (1987): Release of nutrients from decomposing white birch leaves and Scots pine needle litter. - Pedobiologia, 30: 55 - 63.

BERG B., McCLAUGHERTY C., JOHANSSON M.B. (1993): Litter mass-loss rates in late stages of decomposition at some climatically and nutritionally different pine sites. Long-term decomposition in a Scots pine forest VIII. - Can. J. Bot., 71: 680 - 692.

BERNÁT J. (1962): Humusstoffe der primitiven Böden. - Sborník: Studies about Humus: 15 - 27.

BLASCHKE H. (1979): Leaching of water-soluble organic substances from coniferous needle litter. - Soil. Biol. Biochem., 11: 581 - 584.

BOUČEK B (1958): Dub červený. - Lesnická práce, 5: 202 - 206.

COTE B. et FYLES J.W. (1994): Leaf litter dissapearance of hardwood species of southern Quebec: interaction between litter quality and stand type. - Ecoscience, 1(4): 322 - 328.

DAUBENMIRE R. (1963): Studies of the decomposition rates of tree litter. - Ecology, 44(3): 589 - 592.

DOSTÁL J. (1989): Nová květena ČSSR 1, 2. - Academia, Praha.

ELLENBERG H: (1979): Zeigerwerte der Gefäspflanzen Mitteleuropas. - Scripta Geobotanica - Univ. Göttingen, 9.

ELWOOD J.W.; NEWBOLD J.D.; TRIMBLE A.F.; STARK R-W. (1981): The limiting role of phosphorus in a woodland stream ecosystem: effects of P enrichment on leaf decomposition and primary producers. - Ecology, 62 (1): 146 - 158.

EMMER I.M. (1998): Methodology of humus form research. Lesnictví - Forestry, 44(1): 16 - 22.

FREYTAG H:E: (1962): Über einige Analogien im Verlaufe pflanzlicher und syntetischen Humifizierungsprozesse. - Sborník: Studies about Humus: 75 - 87.

GALLARDO A. and MERINO J. (1993): Leaf decomposition in two mediterranean ecosystems of southwest Spain: Influence of substrate quality. - Ecology, 74(1): 152 - 161.

GARRET S.D. (1963): Soil fungi and soil fertility. - Pergamon Press, Oxford.

GENG.X., PASTOR J. and DEWEY B. (1993): Decay and nitrogen dynamics of litter from disjunkt congeneric tree species in old - growth stands in north - heastern China and Wisconsin.- Can. J. Bot., 71: 693 - 699.

GILLON D, JOFFRE R, and IBRAHIMA A. (1994): Initial litter properties and decay rate: a microcosm experiment on Mediterranean species.- Can. J. Bot., 72: 946-954.

GODEAS A.M. (1987): Decomposition studies on Pinus taeda forest. II. Decomposition of leaf litter. - Pedobiologia, 30: 323 - 331.

GROESCHL D.A., JOHNSON J.E., SMITH D.W., EDWARDS M.B. (1995): Effects of a summer wildfire on site conditions and vegetation in a mixed oak forest in Virginia. - Proceedings of the Eighth Biennial Southern Silvicultural Research Conference, Auburn, Alabama, 1-3 November 1994.

General-Technical Report Southern Research Station, USDA Forest Service. 1995, No. SRS 1: 564-568

GRUNDA B., MÁLEK J. (1978): Mikrobiální aktivita a vlastnosti humusu v řadách lesních biogeocenóz. - Acta Univ. Agric., Brno, 48: 1 - 4, 119 - 144.

HOLUBČÍK M. (1968): Cudzokrajné dreviny v lesnom hospodárstve. - ÚV KSS, Bratislava.

CHLUMSKÁ J.(1977): Destrukce rostlinného detritu ve vybraných sukcesních stádiích opuštěných polí v Českém krasu.- Ms.[Dipl. práce, depon. knih. kat. bot. Přf UK].

JENSEN V. (1974): Dekomposition of angiosperm tree leaf litter. - In: DICKINSON C.H. and PUGH G.J.F. (edit.): Biology of Plant Litter Decomposition. - Academic. Press, London and New York.

JOHANSSON M.B., BERG B. and MEENTEMEYER V. (1995): Litter mass-loss rates in late stages of decomposition in a climatic transect of pine forests. Long-term decomposition in a Scots pine forest. IX. - Can. J. Bot. 73: 1509 - 1521.

KELTING M.; HARRIS J.R.; FANELLI J.; APPLETON B. (1998): Humate based biostimulants affect early post transplant root growth and sapflow of balled and burlapped red maple. - Hort. Science, 33(2): 342-344.

KINDL et WÖBER (1981): Biochemie rostlin. - Academia, Praha.

KLIMEŠ L. (1987): Použití tabelovaných indikačních hodnot v gradientové analýze vegetace. - Preslia, Praha, 59: 15 - 24.

KOCHY M. et WILSON S.D. (1997): Litter decomposition and nitrogen dynamics in aspen forest and mixed-grass prairie. - Ecology, 78(3): 732 - 739.

KOVÁŘOVÁ M. (1984): Changes of Several Characteristics of Native Litter during Its Exposure in Periodically Flooded Biotopes. - Folia Geobot. Phytotax., Praha, 19: 257 - 278.

KRÁLOVÁ M., DRAŽĎÁK K, POSPÍŠIL F., HADAČOVÁ V., KLOZOVÁ E., LUŠTINEC J., KUTÁČEK M., SAHULKA J. (1991): Vybrané metody chemické analýzy půd a rostlin. - Academia, Praha.

KREMER B.P.(1985): Průvodce přírodou: Stromy. - knižní klub, Praha.

KRÜSSMANN G. (1978): Evropské dřeviny. - SZN Praha.

KUBÍKOVÁ J. (1971): Geobotanické praktikum. - Praha (scripta).

KUBÍKOVÁ J. (1999): Ekologie vegetace střední Evropy - díl I. - scriptum UK, Praha.

KUITERS A.T. and SARINK H.M. (1986): Leaching of phenolic compounds from leaf and needle litter of several deciduous and coniferous trees. - Soil Biol. Biochem., 18(5): 475 - 480.

KUITERS L.(1987): Phenolics acids and plant growth in forest ecosystems. - Free Univ. Press, Amsterdam, pp 148.

LANG G:E: (1974): Litter dynamics in a mixed Oak forest on the New Jersey Piedmont. - Bulletin of the Torrey Botanical Club, 101(5): 277-286.

LARCHER W. (1988): Fyziologická ekologie rostlin. - Academia, Praha.

LHK - Lesní hospodářské knihy pro období od 1.1. 1994 - 31.12. 2003 pro Lesy hl. m. Prahy.

LHOTSKÝ J. (1973): Příspěvek k poznání vlivu druhu dřeviny na kvalitu humusotvorných pochodů z hlediska degradace nebo regradace půdy. - Lesnictví, 19(2): 157 - 172.

LODHI M. (1976): Role of allelopathy as expressed by dominanting trees in a lowland forest in controlling the productivity and pattern of herbaceous growth. - Amer.J. Bot.,63(1): 1 - 8.

LODHI M. (1978a): Comparative inhibition of nitrifiers and nitrification in a forest community as a result of the

allelopathic nature of various tree species. - Amer. J. Bot., 65(10): 1135 - 1137.

LODHI M. (1978b): Allelopathic effects of decaying litter of dominant trees and their associated soil in a lowland forest community. - Amer. J. Bot., 65(3): 340 - 344.

LOOMIS R.M., BLANK R.W. (1981): Estimating northern red oak crown component weights in the northeastern United States. - U.S.Department of Agriculture Forest Service, Research Paper BC - 194, 9p, North Central Forest Experimental Station, St.Paul, Minnesota.

LOUSIER J.D. and PARKINSON D. (1976): Litter decomposition in a cool temperate deciduous forest. - Can. J. Bot., 54: 419 - 436.

MARTIN D.,SRIVASTAVA P.C.,GOSH D. ,ZECH W. (1998):Characteristic of humic substancesin cultivated and natural forest soils of Sikkim. - Geoderma, 84(4): 345 - 362.

McCLAUGHERTY C. and BERG B.(1987): Cellulose, lignin and nitrogen concentration as rate regulating factors in late stages of forest litter decomposition. - Pedobiologia, 30: 101 - 112.

MIKULA A. (1976): Naše stromy a keře. - Mladá fronta, Praha.

MORAVEC J. et al. (1994): Fytocenologie. - Academia, Praha.

NEITE H. et WITTIG R. (1985): Korelation chemischer Bodenfaktoren mit der floristischen Zusammensetzung der Krautschicht im Stammfussbereit von Buchen. - Oecol. Plant., 6(20): 375 - 385.

NĚMEC J. et al. (1997): Chráněná území ČR 2.- AOPK ČR, Praha.

NĚMEČEK J., SMOLÍKOVÁ L., KUTÍLEK M. (1990): Pedologie a paleopedologie. - Academia, Praha.

NEUHÄUSELOVÁ a kol.(1998): Mapa potenciální přirozené vegetace České republiky. - Academia, Praha.

NOVÁK F.-PLACEROVÁ K.(1998):Rychlost rozkladu celulosy v půdě horských smrkových lesů v Beskydech.-Lesnictví, 44: 65-76.

OLSEN R.A., ODHAM G., LINDEBERG G. (1971): Aromatic substances in leaves of Populus tremula as inhibitors of mycorhizzal fungi. - Physiol. Plant., 25: 122 - 129.

OLSON J. S. ( 1963 ): Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. - Ecology, 44 : 322 - 331.

ORNDORFF K.A., LANG G.E. (1981): Leaf litter redistribution in a west Virginia hardwood forest. - Journal of Ecology, 69: 225 - 235.

OVINGTON J.D., HEITKAMP D and LAWRWNCE D.B. (1963): Plant biomass and productivity of prairie, savanna, oakwood and maise field ecosystem in central Minnesota. - Ecology, 44(1): 52 - 63.

PARDO F., GIL L., PARDOS J.A. (1997): Field study of beech (Fagus sylvatica L) and melojo oak (Quercus pyrenaica Wild) leaf litter decomposition in the centre of the Iberian Peninsula. - Plant and Soil 191: 89 - 100.

PELÍŠEK J. (1962): The altitudinal zonality of humus condition in forest areas of Czechoslovakia. - Sborník: Studies about Humus: 195 - 205.

PFLUG W., ZIECHMANN W. (1981): inhibition of malate dehydrogenase by humic acids. - Soil. Biol. Biochem., 13: 293 - 299.

POKORNÁ J. (1976): Rozklad celulózy půdní mikroflórou. - Studijní zpráva ÚVTIZ, Praha.

POSPÍŠIL F. (1970): Výzkum struktury huminových kyselin a jejich funkce. - Závěrečná zpráva VÚRV, Praha - Ruzyně.

POSPÍŠIL F. (1974): Vliv huminových kyselin na enzymatické procesy v půdě. - Dílčí závěr. Zpráva VÚRV, Praha - Ruzyně.

POSPÍŠIL F: (1978): Obsah a složení humusu v půdách českých zemí a vliv humusových látek na rostlinný metabolismus. - Ms.[Doktorská disertační práce; depon. in: Ústř. Zeměď Lesn. knih., ÚVTI Praha].

POSPÍŠIL F.(1980): Složení humusu v půdách v českých zemích. - Studie ČSAV, Praha.

POSPÍŠIL F., DROZDOVÁ D (1967): Optické vlastnosti huminových kyselin. - Vědecké práce Ústředního VÚRV Praha - Ruzyně, 11.

PRÁT S. (1964): Humus a jeho význam. - Nakl. ČSAV, Praha.

PYŠEK P. (1996): Synantropní vegetace. - MŽP ČR, program Phare, Praha.

ROCHOW J:J: (1974): Litter fall relations in a Missouri forest. - Oikos, 25(1): 80-85.

RUINEN J. (1966): The phyllosphere. IV. - Cuticle decomposition by microorganisms in the phyllosphere. - Annls. Inst. Pasteur, Paris,3: 342 - 346.

RUSEK J. (2000): Živá půda (1) Bohatost a rozmanitost života v půdě. - Živa, 1: 25 - 27.

RUSTAD L.E. (1994): Element dynamics along a decay continuum in a red spruce ecosystem in Maine, USA. - Ecology, 75(4): 867 - 879.

RYBÁR C. a kol. (1989): Co je co v Praze. - Pressfoto - vydavatelství ČTK.

SAETRE PETER (1998): Decomposition, microbial community structure and earthworm effect along a birch - spruce soil gradient. - Ecology, 79(3): 834 - 846.

SATCHELL J.E., DOTTIE D.J. (1984): Factors affecting the longevity of earthworms stored in peat. - Journal of Applied Ecology, 21: 285 - 291.

SCISCIOLO B., LEOPOLD D.J., WALTON D.C., SCISCIOLO B. (1990): Seasonal patterns of juglone in soil beneath *Juglans nigra*

(black walnut) and influence of *J. nigra* on understory vegetation. - Journal-of-Chemical-Ecology, 16(4): 1111-1130.

SIROVÝ V. (1985): Regulační funkce humusu v půdním systému. - Závěrečná syntetická zpráva VÚ pro zúrodnění zemědělských půd, Praha.

SKLENÁŘ P. (1994): Topolové výsadby v labské nivě. - Ms.[ Dipl. práce, depon. knih. kat. bot. Přf UK].

SLAVÍKOVÁ J. (1986): Ekologie rostlin. - SPN, Praha.

STACHURSKI A., ZIMKA J.R. (1976 a): Methods of studying forest ecosystems: Microorganism and saprophage consumption in the litter. - Ekol. Pol., 24(1): 57 - 67.

STACHURSKI A., ZIMKA J.R. (1976 b): Methods of studying forest ecosystems: Nutrient release from the decomposing litter - Ecol. Pol., 24(2): 253 - 262.

STOM D:J:(1982): Effect of Polyphenols on Root Growth and on Seed Germination. - Biol. Plant., 24(1): 1 - 6.

SUFFLING R. ET SMITH D.W. (1973): Litter decomposition studies using mesh bags: spillage innaccuracies and the effects of repeated artificial drying. - Can. J. Bot., 52: 2157 - 2163.

SYDES C., GRIME J.P.(1981): Effects of tree leaf litter on herbaceous vegetation in deciduous woodland. - J. Ecol., 69: 237 - 248.

ŠINDELÁŘ J. (1993): Pokusné výsadby modřínu opadavého v Moravskoslezských Beskydech: -Lesnictví, 39(1).

ŠINDELÁŘ J. (1996): Představa o druhovém složení původních přirozených lesů na území České republiky. - Živa, 1: 2 - 3.

ŠÍPAL Z., ANZENBACHER P., PEČ P., POSPÍŠIL J., RŮŽIČKA I. (1992): Biochemie. - SPN. Praha.

TANNER E.V.J.(1981): The decomposition of leaf litter in Jamaican montane rain forest. - J. Ecol., 69: 263 - 275.

TAYLOR B. et PARKINSON D. (1988): A new microcosm approach to litter decomposition studies. - Can. J. Bot., 66: 1933 - 1939.

TIETEMA A. et WESSEL W.W. (1992): Gross nitrogen transformations in the organic layer of acid forest ecosystems subjected to increased atmospheric nitrogen input. - Soil Biol. Biochem., 24(10): 943 - 950.

TOWPASZ K. (1976): The Production, Composition and Mineralization Rate of Litter in Two Forest Associations in Western Carpathians: *Tilio-Carpinetum* (Pogórze Wielickie Region) and *Fagetum carpaticum* (Gorce Mts). - Bulletin de L´Academie Polonaise des sciences, Série dessciences biologiques Cl. II. Vol XXIV, No. 5.

ÚLEHLOVÁ B (1989): Koloběhy minerálních prvků v půdě zprostředkované rozkladači. In: Dykjová et al. (eds.): Metody studia ekosystémů. - Academia, Praha, pp. 539 - 547.

VAN VUUREN M.M.I., BERENDSE F., DE VISSER W. (1993): species and site differences in the decomposition of litters and roots from wet heatlands. - Can. J. Bot., 71: 167 - 173.

VANCE G.F., BOYD S.A., MOKMA D.L. (1985): Extraction of phenolic compounds from a spodosol profile: an evaluation of three extractants. - Soil Sci., 140(6): 412 - 420.

VITOUSEK P.M., TURNER D., PARTON W.J.,SANFORD R.L.(1994): Litter decomposition on the Mauna Loa enviromental matrix, Havai´i: Patterns, mechanisms and models. - Ecology, 75(2): 418 - 429.

WHITEHEAD D.C., DIBB H., HARTLEY R.D. (1981): Extractant pH and the release of phenolic compounds from soils, plant roots and leaf litter. - Soil Boil. Biochem., 13: 343 - 348.

WHITTAKER R.H., COHEN N., OLSON J.S. (1963): Net production relations of three tree species at Oak Ridge, Tennessee. - Ecology, 44(4): 806 - 810.

WITKAMP (1963): Microbial population of leaf litter in relation to enviromental condition and decomposition. - Ecology, 44(2): 370 - 377.

ZAK D.R., TILMAN D., PARMENTER R.R., RICE CH.V., FISHER F.M., VOSE J., MILCHUNAS D., MARTIN C.W. (1994): Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: a continental-scale study. - Ecology, 75(8): 2333 - 2347.

# 8. Přílohy

Seznam příloh:

- **Příloha 1**: Relativní dekompoziční rychlost opadu *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro jeden druh opadu na různých typech půdního substrátu. Doba expozice 59 dní.

- **Příloha 2:** Stejné jako příloha 1. Doba expozice 118 dní.

- **Příloha 3**: Stejné jako příloha 1. Doba expozice 177 dní.

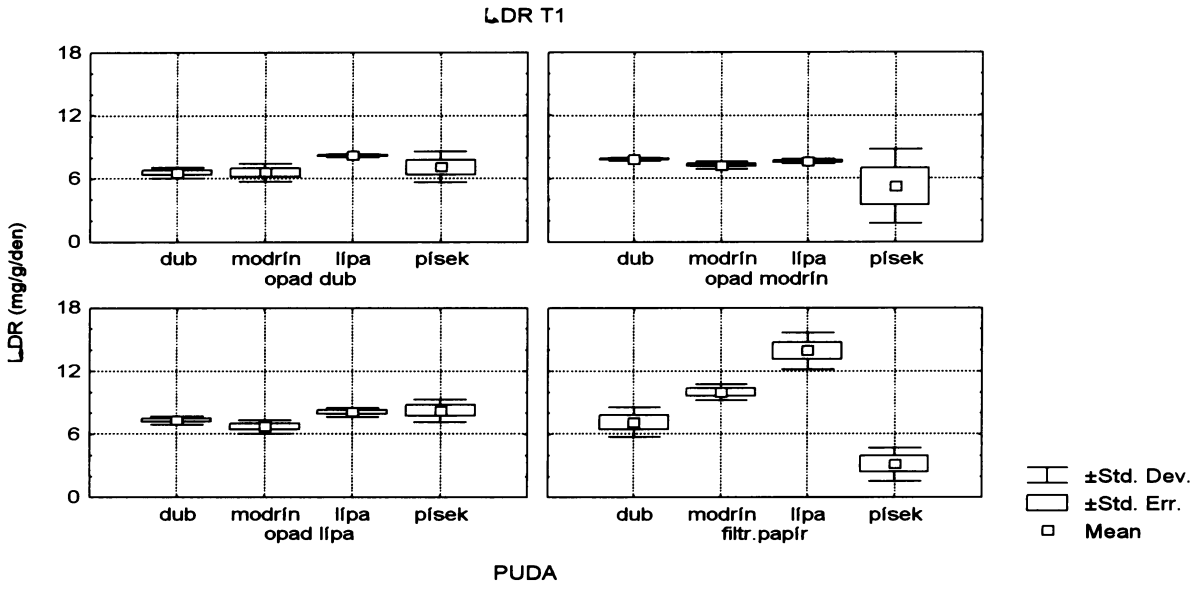
- **Příloha 4**:.Stejné jako příloha 1. Doba expozice 236 dní.

- **Příloha 5**: Relativní dekompoziční rychlost opadu *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro různé druhy opadu na jednom typu půdního substrátu. Doba expozice 59 dní.

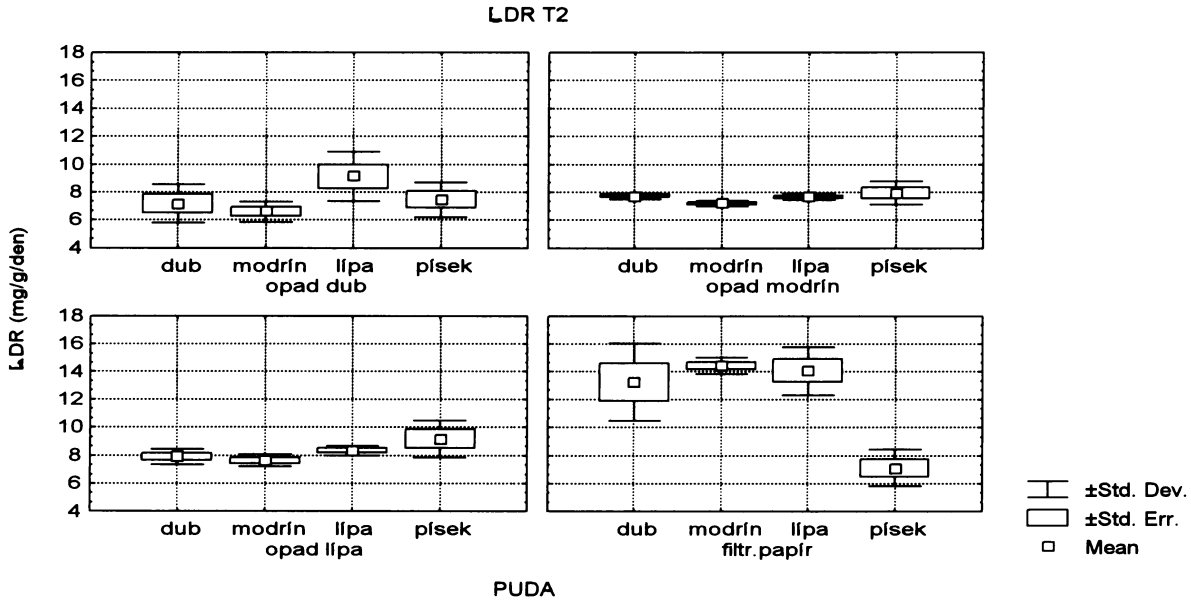
- **Příloha 6**: Stejné jako příloha 5. Doba expozice 118 dní.

- **Příloha 7:**. Stejné jako příloha 5. Doba expozice 177 dní.

- **Příloha 8:**. Stejné jako příloha 5. Doba expozice 236 dní.

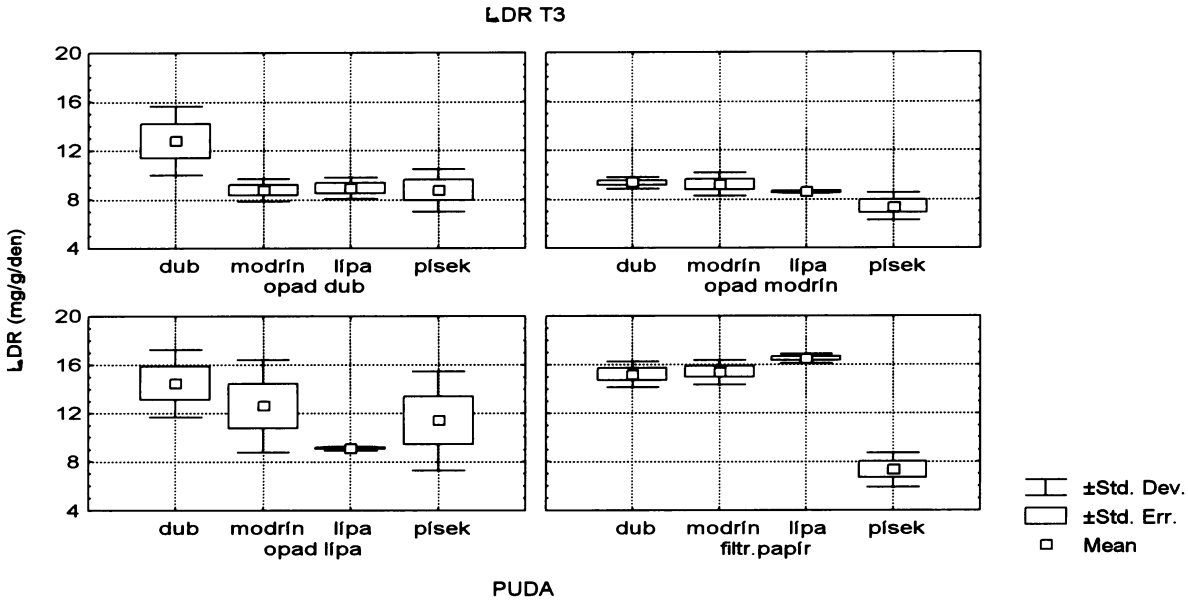



Příloha 1.

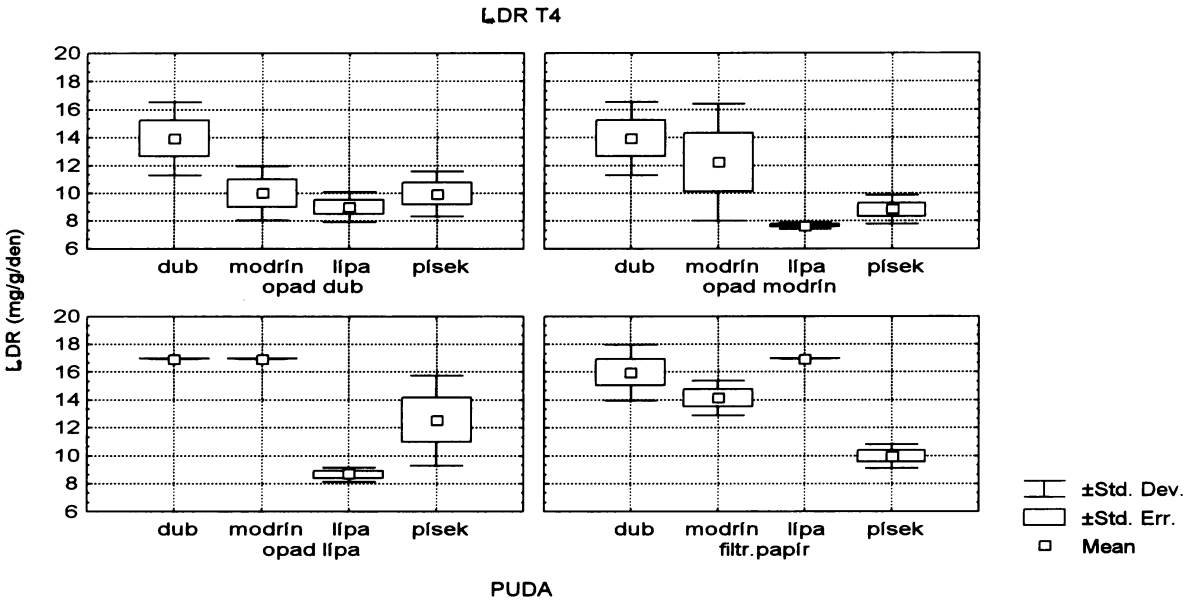



Příloha 2.

**Přílohy 1. a 2.**: Relativní dekompoziční rychlost opadu *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro jeden druh opadu na různých typech půdního substrátu. Doba expozice 59 dní (T1) a 118 dní (T2).

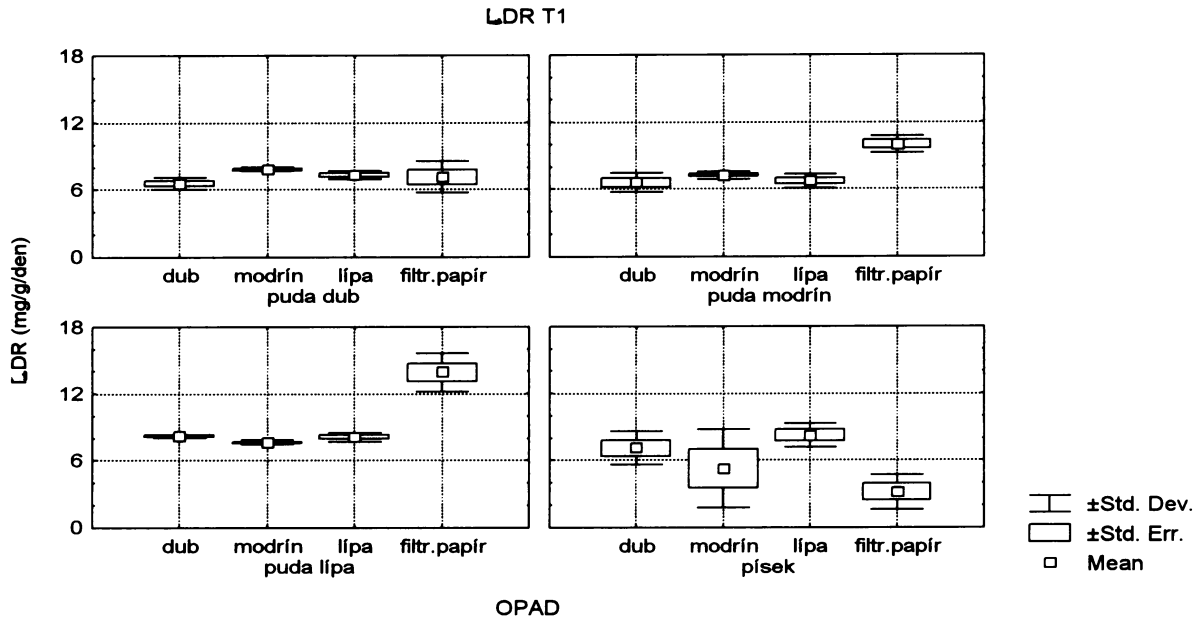



Příloha 3.

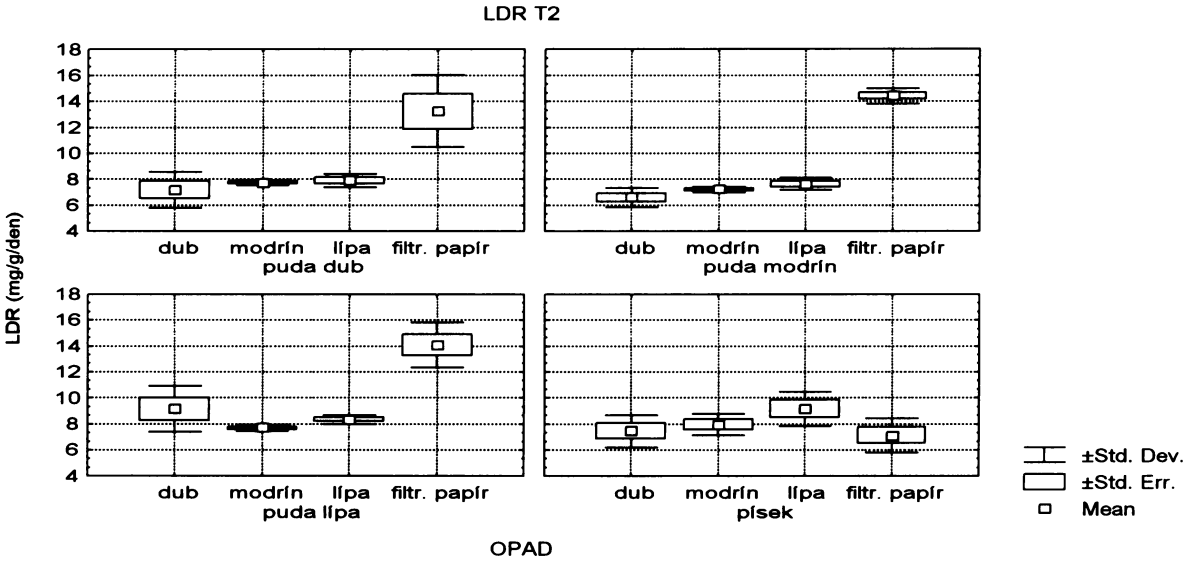



Příloha 4.

**Přílohy 3. a 4.**: Relativní dekompoziční rychlost opadu *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro jeden druh opadu na různých typech půdního substrátu. Doba expozice 177 dní (T3) a 236 dní (T4).

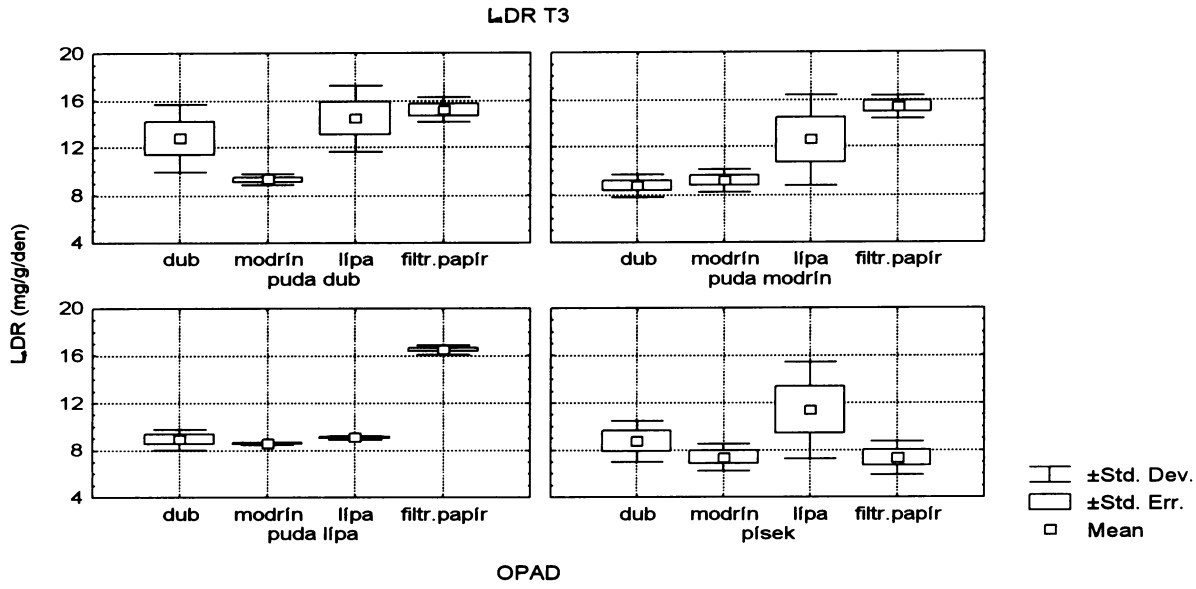



Příloha 5.

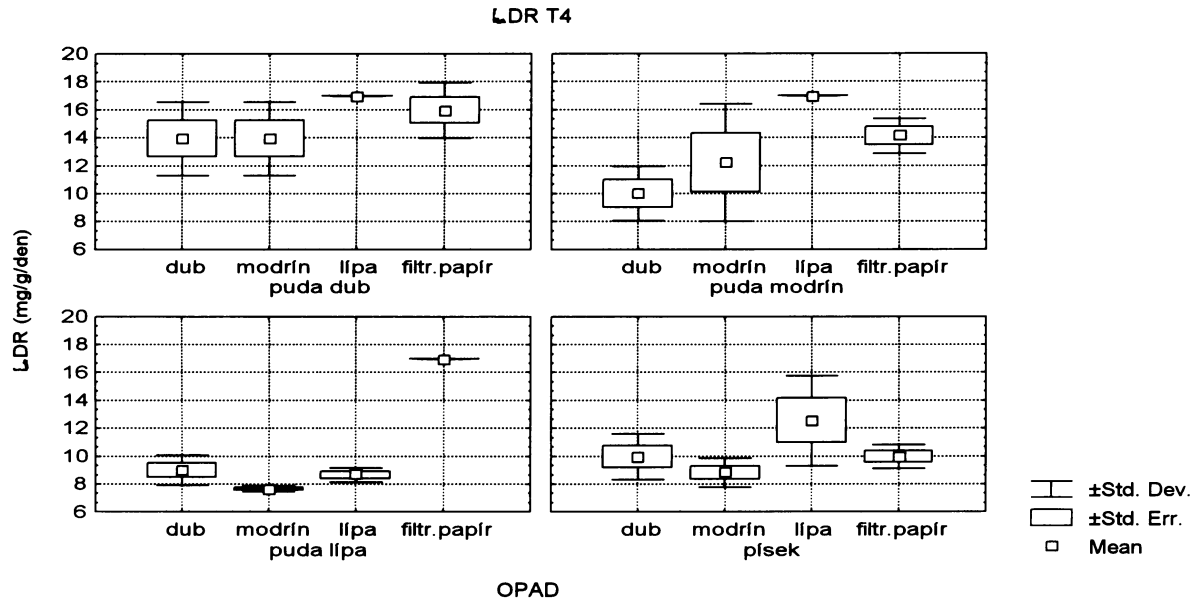



Příloha 6.

**Přílohy 5 a 6:** Relativní dekompoziční rychlost opadu *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro různé druhy opadu na jednom typu půdního substrátu. Doba expozice 59 dní (T1) a 118 dní (T2).




Příloha 7.




Příloha 8.

**Přílohy 7. a 8.**: Relativní dekompoziční rychlost opadu *Quercus rubra, Larix decidua, Tilia cordata* a celulózy, rozkládající se na půdách ze stanoviště těchto dřevin a na písku. Srovnání pro různé druhy opadu na jednom typu půdního substrátu. Doba expozice 177 dní (T3) a 236 dní (T4).

Litter decomposition of selected tree species and its effect on soil quality

This thesis was designed to estimate the effect of the introduced species *Quercus rubra* on the habitat (soil) quality since only poor vegetation appears under the stands of this tree which was planted in monocultures as well as other tree species, on abandoned old fields 30 years ago, in Prague.

Leaf litter decomposition rates were thus compared for *Quercus rubra*, *Larix decidua* and *Tilia cordata*, using the litter-bag method, under constant temperature and moisture in the lab. Each kind of leaf litter and cellulose were exposed on each soil taken from the respective stands of the tree species, and on a sand for control. Mass loss was measured four times with 59 days interval. The leaf litter was also tested for such qualities as water absorbancy, specific leaf mass, and for the content of the main elements (C, N, P) and phenols. The soil on which the leaf material decomposed for 118 days was analyzed to assess the ratio of humic and fulvic acids in the soils, from the Q4/6 quotient. Leaf litter production and its decay rate was also estimated in the field for the particular stands. Cellulose decomposition rates were repeatedly followed in the field, using the litter-bag technique.

It was found that leaf litter of *Quercus rubra* is decomposing very slowly, owing to its quality such as low water absorbancy, high specific mass and high C/N ratio, but no adverse effect on the soil quality was found. Low herb layer abundance is thus probably caused by a high production of hardly decomposable material which accumulates on the soil and creates a mechanical barrier preventing light to reach the plant seedlings. Lime litter was decomposed very quickly in the field, though the lime soil showed some restriction to the decay rate, probably due to a high phenol content of the lime litter. Larch litter showed a slow decay though there was no adverse effect noted of the larch soil on the litter decay rates of the trees studied, neither in the lab nor in the field, where the cellulose decomposed very fast. The herb layer was also of greatest abundance on the larch site.

The practical conclusion from this work would be the recommendation to plant mixed cultures rather than monocultures, to balance the different adverse effects of the leaf litters of the component species.