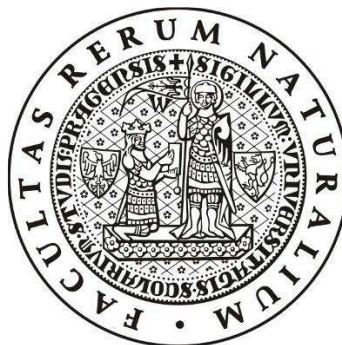


Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
katedra fyzické geografie a geoekologie



**NÍŽINNÉ PODZOLY V ČESKU A JEJICH VÝZNAM PŘI
SEKVESTRACI UHLÍKU**

**PODZOLS OF LOWLANDS IN CZECHIA AND THEIR MEANING IN
CARBON SEQUESTRATION**

(bakalářská práce)

Kateřina Freyerová
Vedoucí práce : RNDr. Luděk Šefrna CSc.

Praha 2010

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně, a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Praze, 21. 5. 2010

.....
Kateřina Freyerová

Ráda bych poděkovala RNDr. Luďku Šefrnovi CSc. za odborné vedení, poskytnutí informací a pomoc při realizování práce. Dále bych chtěla poděkovat za čas a konzultace Ing. Markétě Potůčkové PhD. a Mgr. Stanislavu Bekovi, ačkoli jejich rady budou využity až v práci budoucí. Rovněž děkuji své rodině a všem, kteří mi sepsání této práce umožnili, za podporu, trpělivost a pochopení.

Abstrakt: Nížinný podzol je litogenně podmíněným typem podzolu, pro který je charakteristická především translokace organických látek z povrchu půdy do spodikového Bhs horizontu. Právě při tomto posunu dochází k akumulaci velkého množství organického uhlíku. Kvantifikace zásob uhlíku v českých půdách CzechCarbo se ovšem počítala pro do hloubky 30 cm, proto jsou hodnoty v případě podzolu podhodnocené. V této bakalářské práci bylo provedeno hrubé stanovení zásoby půdního uhlíku, pomocí vzorce použitého v projektu CzechCarbo. Výsledná hodnota je 56,4 tC/ha, tedy zhruba ekvivalent zásoby ve svrchních 30 cm půdy. Nezahrnutí humusem obohacených horizontů podzolů vede k dezinterpretaci výsledků zásob organického uhlíku v půdách a podhodnocení možností sekvestrace uhlíku u těchto půd.

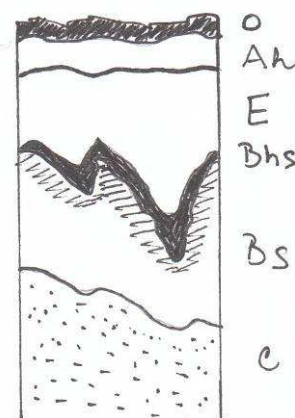
Abstract: Non-boreal podzol is azonal type of podzols in lowlands of middle latitude, for which is especially typical translocation of organics compounds from soil surface into spodic horizon. During this translocation a considerable accumulation of organic matter is developed. Carbon estimation in Czechia is executed in depth upper 30 cm only, and that is why the carbon pools are underestimated in podzols. In this bachelor thesis was executed general estimation of soil organic carbon (SOC) by means of methods used in CzechCarbo project, which led to result of 56,4 tC/ha. This mass is equivalent to upper 30 cm layer. It means that if the spodic horizon is not included in SOC estimation, it could cause misrepresentation in soil organic carbon estimating.

Obsah

1 ÚVOD	6
2 REŠERŠNÍ ČÁST	
2.1 ROZŠÍŘENÍ PODZOLŮ	8
2.2 PODZOLIZACE	10
2.3 ZAŘAZENÍ PODZOLU V KLASIFIKAČNÍCH SYSTÉMECH	13
2.4 UHLÍK V PŮDĚ	17
2.5 CHARAKTERISTIKA VYBRANÉHO ÚZEMÍ	22
2.6 METODY VÝPOČTU ZÁSOB UHLÍKU V PŮDÁCH	23
3 VÝSLEDKY	25
4 DISKUZE	27
5 ZÁVĚR	29
6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	31
7 SEZNAM PŘÍLOH	34

1 ÚVOD

Slovo podzol pochází z ruského výrazu pro popel (=zola, „pod-zola“), díky popelavému zbarvení vyběleného horizontu. Typickou stratigafií půdního profilu je O - Ah - E - Bhs (Bsh) - Bs - C. Humózní Ah horizont se ale v některých případech vůbec nemusí vyskytovat (van Breemen, Buurman; 2003) a eluviální horizont (E) může ležet přímo pod nadložním humusem (Bonifacio et al, 2006). Následuje eluviální horizont akumulace humusových látek a seskvioxidů Bs, velmi často diferencovaný na subhorizonty Bh, Bhs, Bsh dle látek, jejichž akumulace zde převládá. Níže v Bs horizontu se mohou vyskytovat cementované horizonty ortšteinové, nebo tenké proužky organických látek akumulované v podloží. Horizont C je především písčité.



Obr. 1: Profil podzolu (schéma autorka)

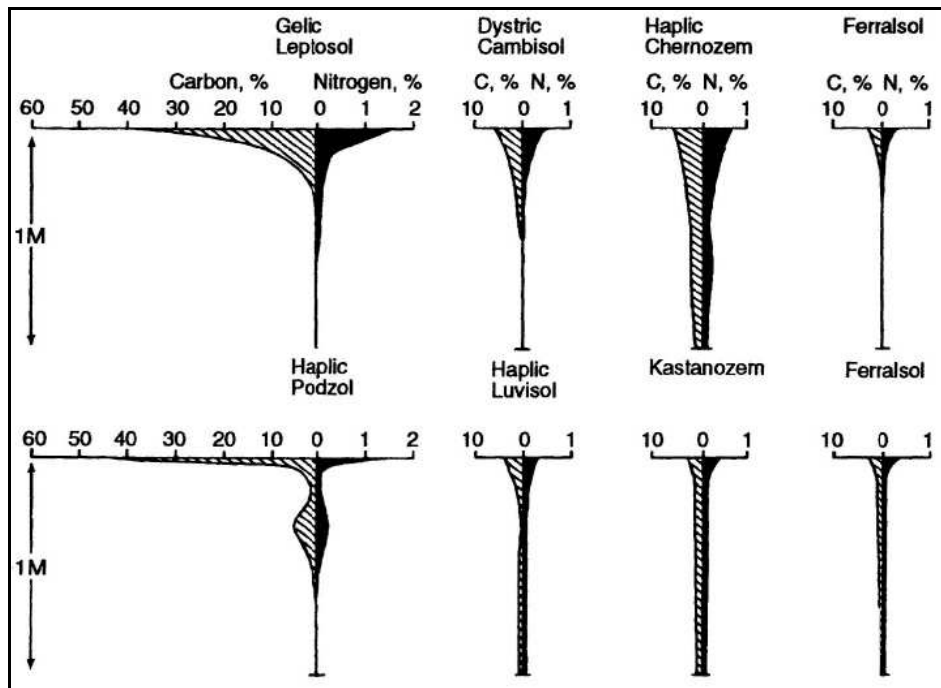
Podzoly jsou v našich končinách často opomíjeny a brány v potaz jen jako půdní typ vysokých zeměpisných a nadmořských výšek, s minimálním významem pro člověka. Často se zapomíná na to, že existují i podzoly tzv. nížinné, které jsou známy především pro svou fotogeničnost. Německou pedologickou společností byl podzol vyhlášen jako „Půda roku 2007“ (DBG, 2006). Podzoly mají velmi nízkou přirozenou úrodnost, tudíž jsou zemědělsky nezajímavé a využívány především v lesnictví. Podzoly přitom dokáží ve svých Bh a Bhs horizontech sekvestrovat, tj. fixovat a dlouhodobě uchovávat značné množství uhlíku, v současnosti asi nejostřeji sledovaného prvku, bez větších rizik jeho rychlého emitování do životního prostředí (Semenov, 2008), a tím i vyrovnávat negativní důsledky činností člověka (např. spalováním fosilních paliv). Díky Kjótskému protokolu se navíc uhlík stal obchodním artiklem, proto může být využití schopnosti půdy a rostlin vázat uhlík a oxid uhličitý ekonomicky přínosné (Cihlar, 2007). V současné době probíhají nejrůznější snahy o přesnou kvantifikaci množství v půdě uloženého uhlíku. V České republice proběhl projekt VaV 640/18/03 CzechCarbo - Studium uhlíku v terestrických ekosystémech České republiky, který měl za cíl zkoumat schopnost krajiny České republiky vázat oxid uhličitý z atmosféry a dlouhodobě tento uhlík akumulovat (CzechCarbo, 2003). Mimo jiné proběhla v rámci tohoto projektu i kvantifikace zásob organického uhlíku v epipedonu půd jak lesních, tak zemědělských. Tento projekt však počítal obsah C pouze pro svrchní 30 cm půdy, a nikoli pro celý profil, proto může dojít u některých půdních typů ke značným zkreslením. Právě u

podzolů, kde může být obsah uhlíku v Bh a Bhs horizontech až ekvivalentní obsahu v humusovém horizontu (Šefrna, Janderková 2007), toto zkruslení může být velmi markantní, a podzoly, zejména ty nížinné, u kterých je nejvýznamnějším procesem translokace a akumulace seskvioxidů a především organické hmoty, mohou být velmi dobrým prostorem pro ukládání uhlíku.



Obr. 2: Nížinný podzol v lokalitě Vrchbělá

Zdroj: foto autorka



Obr. 3: Rozložení organického uhlíku a dusíku v profilech vybraných půdních typů

Zdroj: Parsons a Tinsley, 1975; in van Breemen a Buurman, 2003.

Cílem této práce je alespoň přibližně odhadnout a kvantifikovat zásoby uhlíku v Bhs horizontu podzolu a ukázat tak jeho potenciál v sekvestraci uhlíku. Pro tento účel byl vybrán profil arenického podzolu v bývalém Vojenském výcvikovém prostoru Ralsko, poblíž Bělé pod Bezdězem.

2 REŠERŠNÍ ČÁST

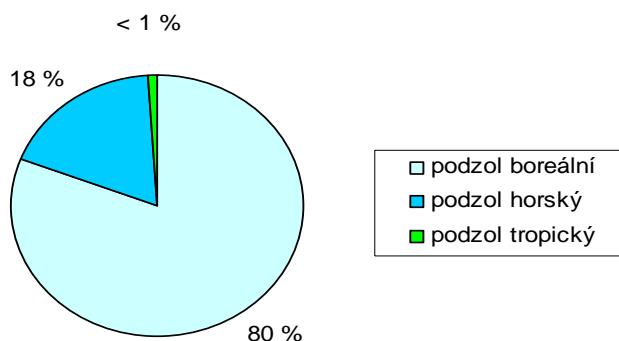
2.1 Rozšíření podzolů

Podzoly pokrývají přibližně 485 milionů hektarů (cca 4 %) veškeré nezamrzlé půdy (FAO, 2003). Procentuální zastoupení jednotlivých podtypů je znázorněno na grafu 1.

Jsou charakteristické zejména pro oblasti vyšších zeměpisných šířek s chladným, vlhkým klimatem, dostatkem srážek a nízkou evapotranspirací, tzv. *boreální* oblasti, kde se vyvíjejí pod smíšenými a jehličnatými lesy či vřesovišti. Substráty bývají často glaciálního původu, středně těžké až hrubozrnné (Lundström, 2000), s relativně velkým množstvím zvětratelných minerálů (Buurman, 2005). V těchto oblastech se jedná o půdy zonální. Jedná se zejména o Rusko, Skandinávii, Kanadu. Ve střední Evropě mají svůj ekvivalent ve vyšších pohorích, kde jsou klimatické a srážkové poměry podobné právě boreálními oblastem.

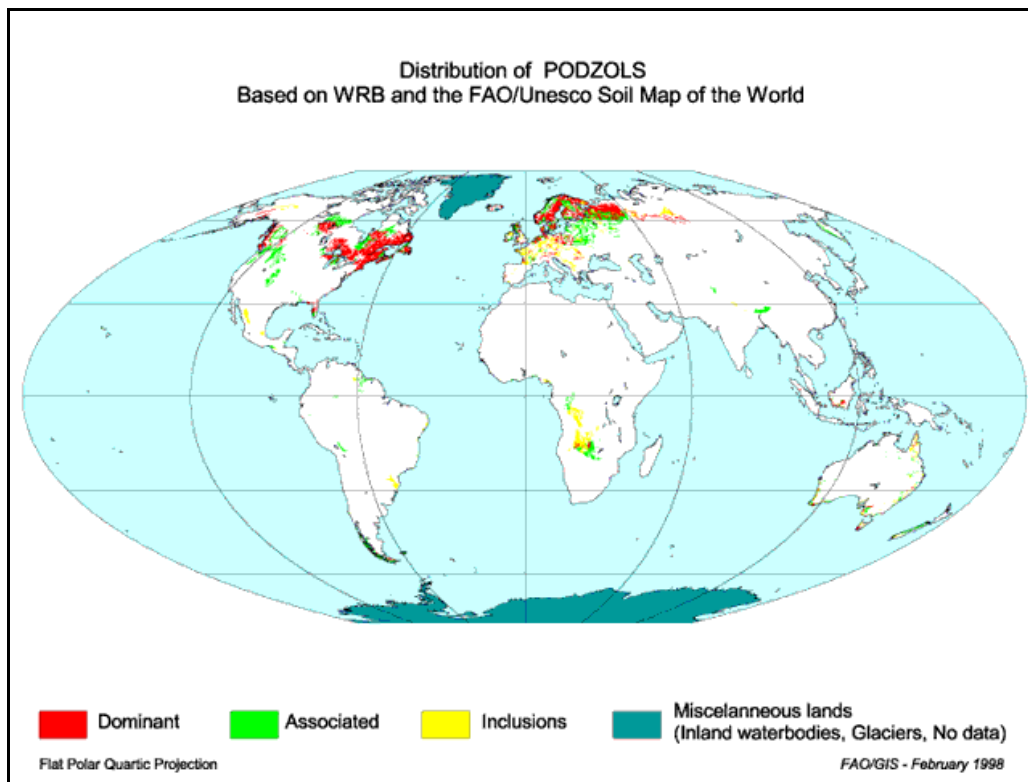
Další oblastí výskytu podzolů jsou minerálně chudé křemičité substráty, říční terasy a šterkopísky a periglaciální písčité uloženiny středních zeměpisných šířek. Tento typ podzolů je vázán na substrát, jedná se tedy o typ *litogenně podmíněný*, jinak také *azonální*. Ve střední Evropě je zastoupen především v severním Německu, Francii a Nizozemí.

Třetím podtypem jsou podzoly ve vlhkých tropech, ale pouze na velmi chudých křemičitých substrátech, na vyzdvižených pobřežních sedimentech (van Breemen, Buurman; 2003). Vlastnostmi jsou blízké neboreálními podzolům, protože jsou taktéž podmíněny především substrátem. Vzhledem k tomu, že se jedná pouze o lokální výskyt, je jejich podíl na celkové výměře podzolů velmi malý (viz graf 1).



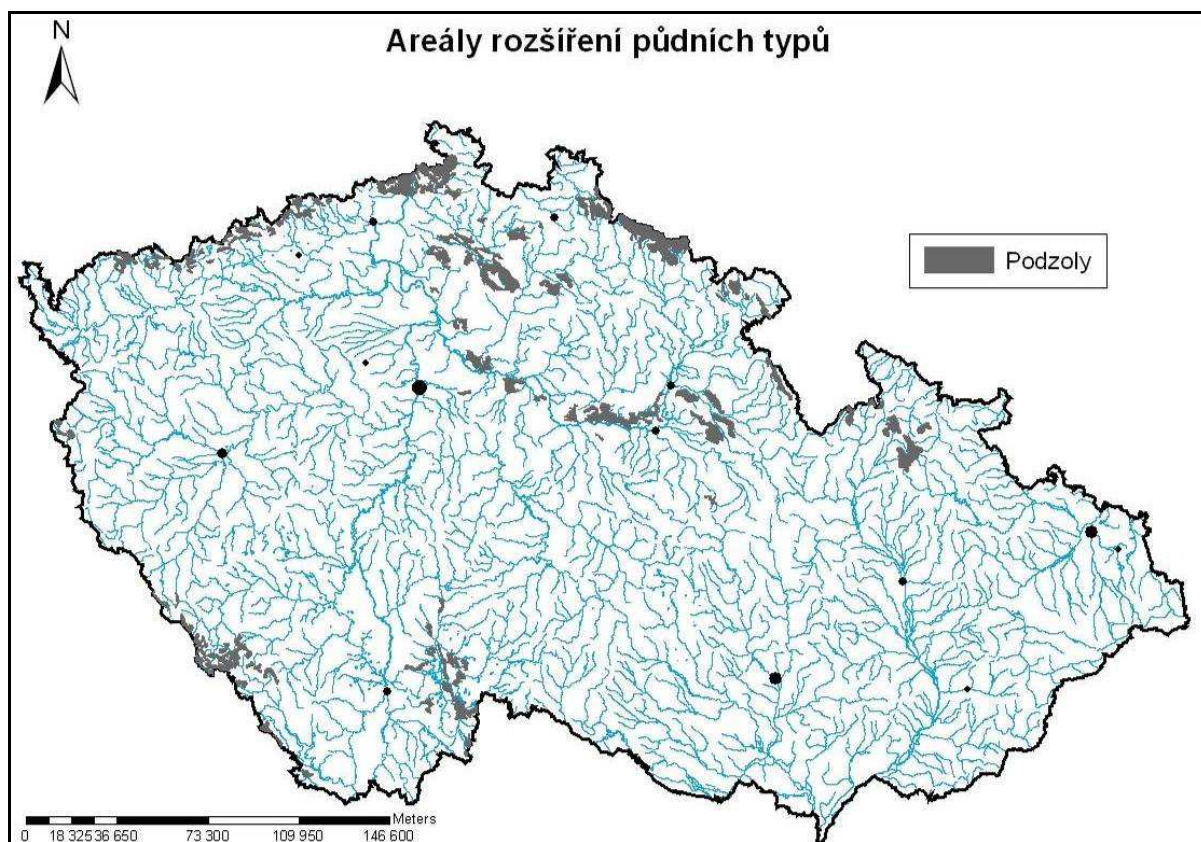
Graf 1: Procentuální zastoupení podtypů podzolu ve světě

Zdroj: Wilding, in Sumner et al., 2000



Obr. 4: Hlavní oblasti výskytu podzolů ve světě

zdroj: FAO AGL, 2003



Obr. 5: Rozšíření podzolů v ČR

zdroj: převzato z půdní mapy 1:50 000, nepublikováno

V ČR se podzoly vyskytují zejména v horských oblastech, jako jsou Krkonoše, Jeseníky, Krušné hory a částečně i na Šumavě. V mokřadech Třeboňské pánve, na vátých písčích v Polabí a v mesozoických sedimentech České křídové tabule v oblasti Ralské pahorkatiny se vyskytují podzoly azonální. Zřejmě proto, že podzoly byly u nás nejnápadnější právě v těchto níže položených územích, a ne na horách, vžil se v ČR pro tento typ podzolu název „nížinný podzol“.

2.2 Podzolizace

Hlavním půdotvorným procesem při tvorbě podzolů je podzolizace, tzn. soubor procesů zahrnujících tvorbu LMW organických látek (= s nízkou molekulární hmotností, tj. fulvokyselin, huminových kyselin), které způsobují uvolňování hliníku (Al) a železa (Fe) z půdních minerálů a jejich následný transport do spodních částí profilu (Němeček, 1990). V současné době není celkový proces podzolizace uspokojivě objasněn, ne všechny její fáze se podařilo nasimulovat, a ačkoli existují částečné důkazy všech částí podzolizace, nevysvětlují dostatečně velkou variabilitu morfologie a chemických vlastností podzolů. Ve většině teorií v současnosti převládá pojetí podzolizace jako souhrn procesů mobilizace-transport-srážení (Buurman, 2005).

Rostliny na minerálně chudých substrátech s nedostatkem bazických kationů (Mg^+ a Na^+) a živin (N a P) produkují těžko rozložitelný a kyselý opad, který se hromadí na povrchu půdy, a který se díky chladnému klimatu, nedostatku půdní bioty pomalu rozkládá. V těchto podmínkách se vytváří organické kyseliny (fulvokyseliny, humínové kyseliny), které jsou dešťovými srážkami vymývány do spodních částí profilu. Taktéž rostliny ukládají více uhlíku do kořenů a mykorrhiz (van Breemen, Buurman; 2003), což způsobuje další přítomnost organických kyselin v půdním profilu.

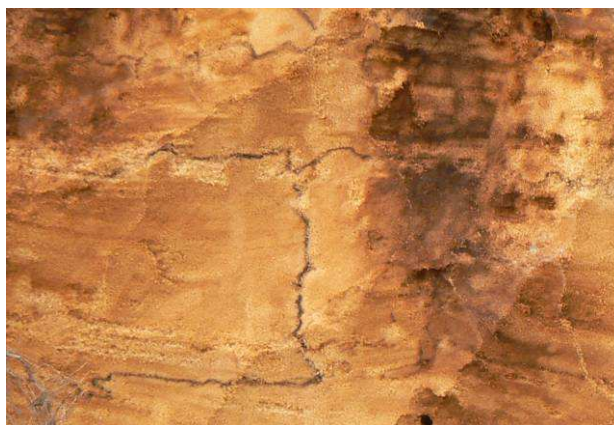
V eluviálním horizontu organické kyseliny rozbíjejí krystalovou mřížku jílových minerálů a váží na sebe seskvioxydy, které transportují do níže položených partií profilu. Výsledkem je vybělený eluviální horizont složený prakticky jen ze zrněk písku. Eluviální horizont obsahuje méně Al a Fe než matečná hornina a je velmi bohatý na zbytkový Si (Lundström, 2000).

Ve spodikovém horizontu dochází k vysrážení seskvioxydů a organických látek a horizont se diferencuje na Bh a Bs (Němeček, 1990). Existuje řada možností, proč k imobilizaci komplexů dochází, například Lundström et al. (2000; 1995 in van Breemen a

Buurman, 2003) vidí jako hlavní příčinu rozložení LMW (Low Molecular Weight) organického nosiče kovu mikroorganismy. Kovy pak utvoří hydroxidy, oxidy nebo amorfní křemičitany. Petersen (1976) v laboratoři prokázal, že po nasycení primárními a sekundárními minerály, které je hlavní příčinou imobilizace organických sloučenin a k nim připojených kovů, a dosažení vrstvy s vysokým obsahem amorfního Fe a Al, se nasycené organokovové komplexy srážejí. Dalším možností srážení komplexů může být nedostatek vody. Van Breemen a Buurman(2003) jsou toho názoru, že v případě vysychání půdního profilu shora se kovy srážejí na hranici vlhkosti, která se v půdě v určité hloubce vyskytuje. Organické sloučeniny vysrážené na povrchu zrněk jsou převážně hydrofobní, proto je velmi obtížné je po opětovném provlhčení profilu znovu mobilizovat.

Nížinné podzoly mají zpravidla nízký obsah zvětratelných minerálů, a proto se u nich neuplatňuje akumulace seskvioxidů v takové míře jako u podzolů zonálních. Ve spodikovém horizontu proto převládá akumulovaná organická hmota (Buurman a Jongmans; 2005; van Breemen a Buurman; 2003).

U podzolů na písčitéch substrátech dochází ještě dalšímu zajímavému jevu, a tím jsou žilky organického materiálu uvnitř Bs, Bsd a C horizontu. Van Breemen a Buurman (2003) vysvětlují jejich vznik v důsledku toho, že část rozpuštěných organických látek se nevysráží na kovových iontech, ale pokračuje v pohybu do spodních částí profilu. Sráží se pravděpodobně až na místech, kde končí pohyb vody, nebo po dosažení bývalé hladiny podzemní vody (Mokma, 2004). Žilky vedou všemi směry a mají velmi nepravidelný tvar, ovlivněný drobnými diskontinuitami mezi póry v půdě a rozvětrané matečné hornině (Smolíková, 1982), podél bývalých kořenových kanálků, vrstevnatostí horniny nebo chodbiček půdní fauny.



Obr. 6: Žilky organického materiálu
Zdroj: foto autorka

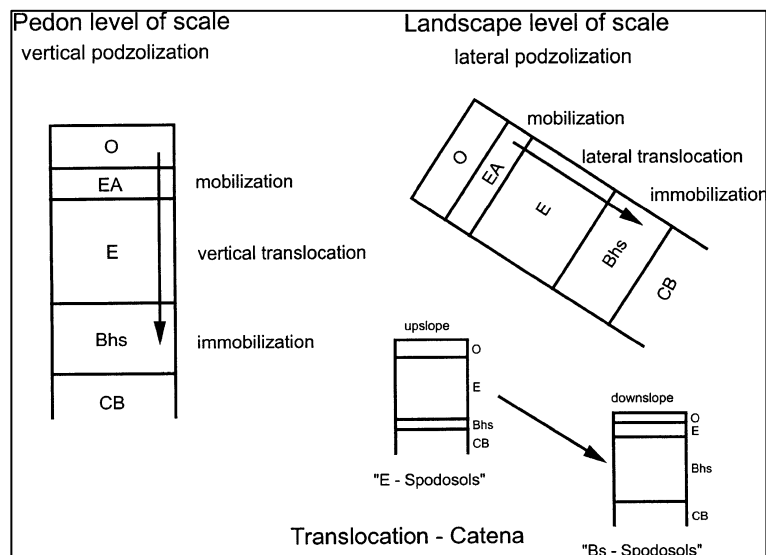
Na konečném procesu tvorby podzolu se podílí kombinace více půdotvorných faktorů, a to především klimatu, matečné horniny a vegetace.

Jako zajímavý příklad vlivu vegetace na půdu bychom mohli uvést endemický druh jehličnatého stromu Kauri (*Agathis australis*) z Nového Zélandu, druhu způsobující asi

nejsilnější a nejrychlejší podzolizaci, jaká je v současné době zdokumentována. Opadaná kůra, která se hromadí kolem stromu a vytváří velmi silnou vrstvu nadložního humusu morového typu, která je základem pro tvorbu organických sloučenin typických pro podzolizaci. Vytvořený profil má oválný vejčitý tvar (Bloomfield, 1953 in Lundström 2000).

Někteří autoři (van Breemen, Lundström, Jongmans, 2000) spekulují o tom, zda mají na podzolizaci hlavní vliv ektomykorrhizní houby, žijící v symbióze s kořeny stromů. Tyto houby byly objeveny v E horizontech podzolů pod borovicí (*Pinus*) i smrkem (*Picea*) ve zkoumaných profilech ve Švédsku, Finsku, Dánsku a Nizozemí. Houby zde mají vytvářet póry v minerálech, kde hyfy hub rozkládají nízkomolekulární organické kyseliny (LMW) a z nich se pak tvoří sloučeniny s rozpuštěným železem a hliníkem. Tato hypotéza se však zatím uplatňuje jen pod stromy boreálních lesů, protože v podzolech tropů se tyto zvětrávatelné minerály prakticky nevyskytují. Avšak u již zmíněného Kauri (*Agathis australis*), u kterého se vyskytují naopak endomykorrhizní houby, se vliv na podzolizaci neprokázal; je tedy málo pravděpodobné že by tyto ektomykorrhizní houby měly vliv na vznik všech podzolů. Na druhou stranu, Olson a Melkerud (2000) ze svých výzkumů minerálů v E a B horizontech podzolu vyvodili, že mykorrhizní zvětrávání hraje velmi důležitou, ne-li hlavní roli při rozpadu uvnitř E horizontu. Lépe odpovídá skutečnému množství zvětralého křemíku a hliníku vysráženého v B horizontu, které je menší, než by mělo být dle teorie translokace koloidů v půdním roztoku.

Při podzolizaci ve svazích ovšem nedochází jen k vertikálnímu, ale i k laterálnímu posunu (obr. 7). Sommer et al. (2001), který zkoumal podzolizaci na svazích v pískovcovém území, došel k závěru, že na vrcholu svahu se vyskytují tzv. „E-podzoly“, tj. podzoly s mocným E horizontem a málo vyvinutým Bs horizontem, a naopak na úpatí svahu se vyskytují „Bs-podzoly“, které mají málo mocný E horizont, ale Bs horizont je zde velmi mocný.



Obr. 7: Koncept vertikální (profil, vlevo) a laterální (krajina, vpravo) podzolizace

Zdroj: Sommer et al., 2001

Podzolizace je velmi rychlý proces, profil začíná být diferencován už po několika málo stovkách let. Mokma (2004) pozoroval u finských písčitych půd viditelné známky translokace již po 230 letech, chemický důkaz translokace pak byl prokazatelný u 900 let starých profilů. Naopak Jahuainen (1973; in Mokma, 2004) byl schopen dříve rozeznat důkazy chemické, než vizuální.

2.3 Zařazení podzolu v taxonomických klasifikačních systémech

Při studiu zahraniční literatury vyvstala potřeba porovnat náš klasifikační systém půd s ostatními světovými klasifikačními systémy. Srovnání zařazení podzolů bylo provedeno v českém (TKSP ČR, 2000), americkém (USDA, 2006) a „světovém“ (WRB, 2007) klasifikačním systému. Dále byly použity systémy Německa (DBG, 2006), Francie (1992, in Sumner et al. 2000) a Kanady (Agriculture and Agri-food Canada, 1998), vhodné pro porovnávání půd mírného pásma.

Ve většině klasifikačních systémů jsou podzoly definovány nejen chemicky, ale i barevně, podle Munsellových tabulek. To je podstatné především pro půdní kartografy a mapovatele, kteří musí určit půdní druh či subtyp přímo v terénu a nemají možnost ani prostředky všechny sondy dodatečně chemicky analyzovat v laboratoři (Mokma, 2004). Doporučenou barvou pro spodikové horizonty je 7,5 YR 4/4 a tmavší a nebo červenější (Mokma, in Němeček, 1990).

2.3.1 Taxonomický klasifikační systém půd ČR – TKSP

Dle Taxonomického klasifikačního systému půd ČR (TKSP) jsou podzoly takové půdy, které mají spodický diagnostický horizont (Bs), s vyběleným nadložním horizontem. Spodické horizonty jsou sorpčně silně nenasycené, a zároveň výrazně nasycené hliníkem, s vysokým obsahem mobilních organominerálních komplexů resp. chelátů Fe a Al s lehkými organickými kyselinami (fulvokyselinami aj.) (TKSP, 2000).

Aby byl horizont diagnostikován jako spodický Bs (nebo rezivý Bsv), musí splňovat určitá kritéria, nejčastěji vzájemné specifické poměry mezi hliníkem a železem (viz tab. 1).

Půdy, horizonty	Podzoly	Kryptopodzoly	Kambizemě
Charakteristiky	Bhs	Bvs	Bv
<i>Fed</i>	83	68	40
<i>Feo</i>	70	49	13
<i>Fep</i>	56	39	3
$\frac{Fep + Alp}{< 2\mu m}$	0,62	0,25	0,03
$\frac{(Fe + Al)p}{(Fe + Al)d}$	0,76	0,71	0,11
$C + Fe + Al^*$	3,5 – 4,2	1,9 – 4,6	0,5 – 1,9

* v pyrofosforečnanu a dithioničitanu sodném (pH 7,3)

Tab. 1: Diagnostické charakteristiky spodikových a kambických horizontů.

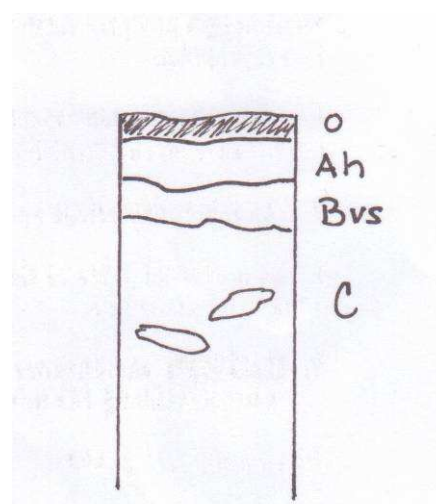
Ald, Fed – hliník a železo dithioničitanové; *Alo, Feo* – hliník a železo oxalátové; *Alp, Fep* – pyrofosfátové, *Fet* – železo totální

Zdroj: převzato z Němečka, 1990

Mezi spodické řadíme horizonty Bs - seskvioxidický, Bvs - rezivý, Bhs (či Bsh) - humusoseskvioxidický, Bh - humusoiluviální (ačkoli dle TKSP není v ČR doposud popsán, zřejmě pro nedostatečnou mocnost) a Bsd- ortštejnový.

Do referenční třídy Podzolosy řadí TKSP půdní typ *Podzol* a *Kryptopodzol*.

Kryptopodzol je půdní typ na rozhraní mezi kambizemí dystrickou a podzolem, kdy limitujícím faktorem pro tvorbu podzolu je množství srážek. Dochází zde již k tvorbě organického horizontu, migraci fulvokyselin a uvolňování a pohybu Fe a Al, ale netvoří se ještě typický eluviální a iluviální horizont (Němeček, 1990). Statigrafie profilu je O-Ah(Ap)-Bvs-(Bv)-C. Kryptopodzoly mají nízkou objemovou hmotnost a kyprý Bvs horizont. V minulosti byl zařazován do tzv. semipodzolů (Smolíková, 1982), v rámci skupiny podzolových půd.



Obr. 8: Profil kryptopodzolu (schéma autorka)

Jiné taxonomické systémy ovšem kryptopodzoly jako samostatný půdní typ vůbec nevyčleňují a zařazují je jako subtyp podzolu. Srovnání zařazení kryptopodzolu ve vybraných světových klasifikačních systémech je uvedeno v tabulce č. 2.

TKSP ČR	WRB 2007	USDA 1999	Deutsche Bodensystematik (2005)
Kryptopodzol	Entic podzol	Entic -ods	Rosterde

Tab. 2: Zařazení kryptopodzolu ve vybraných světových klasifikacích

Zdroj: taxonomické systémy, srovnání autorka

Smolíková (1982) rozlišuje podzoly na pravé, s dokonale vyvinutými horizonty s možností výskytu ortšestnu v B horizontu; humusové, kde se ve větší míře akumulují sloučeniny humusové, především na horninách s malým obsahem železa; železité, kde naopak dochází ve spodikovém horizontu k silné akumulaci především seskvioxidů; železitohumusové, které mají B horizont diferencovaný na svrchní hnědý humusový a spodní okrový až rezivý seskvioxidický subhorizont a představují kombinaci mezi humusovými a železitými podzoly; a glejové, které mají se spodní části profilu známky oglejení, ale svrchní část profilu má typickou stratigrafii podzolu.

Jednotlivé subtypy podzolu se rozlišují podle kritérií dle tab. 3, jak uvádí Němeček (1990).

kritérium	Pz modální	Pz humusový	Pz železitý
$\frac{Fed}{C}$ v horizontech Bh – Bhs	0,2 – 6,0	< 0,2	> 6,0
$\frac{C}{Fep}$ v horizontech Bhs - Bh	3 – 10	> 10	< 3

Tab. 3: Kritéria rozlišení podzolových subtypů.

Fed – železo dithioničitanové, *Fep* – železo pyrofostátové.

Zdroj: Němeček, 1990

V současné české taxonomii existují tyto subtypy: modální (PZm), histický (PZo) , oglejený (PZg), glejový (PZq), litický (PZt), rankerový (PZs), arenický (PZr), humusový

(PZh). Dle této klasifikace se tzv. nížinný podzol dá považovat za podzol arenický, tedy podmíněný písčitém substrátem.

2.3.2 US Soil Taxonomy

Americký klasifikační systém Soil Taxonomy (2006) řadí podzoly do řádu Spodosols, půdní typ má příponu –ods.

Podzol musí mít spodický horizont s $\text{pH} \leq 5,9$ a obsah organického uhlíku $\geq 0,6 \%$, a dále načervenalé nebo tmavé zbarvení, cementované plošky, povlaky zrn a daný obsah oxalátového Fe a Al.

Subtypy jsou : Aquods – vlhké, Cryod – chladné, *Humods* – s vysokým obsahem organické hmoty a Orthods – modální.

2.3.3 World Reference Base for Soil Resources - WRB

Dle WRB jsou podzoly (Podzols) takové půdy, které mají spodický horizont začínající v hloubce méně než 200 cm pod povrchem, ležící pod albickým, histickým, ochrickým nebo umbrickým horizontem, nebo pod horizontem antropogenního původu méně než 50 cm silným (WRB, 2007).

Spodický horizont je definován jako tmavě zbarvený podpovrchový horizont, obsahující iluviovaný amorfní materiál jako je organická hmota amorfní Fe a Al, s hodnotou pH nižší než 5,9 v alespoň 85 % horizontu. Obsah organického uhlíku je zde alespoň 0,5 %.

Subtypy jsou: Haplic, Cambic, Ferric, *Carbic*, Gleyic, Gelic.

2.3.4 The Canadian System of Soil Classification, 3rd edition

Hlavním kritériem pro diagnostiku podzolu (Podzols) je alespoň 10 cm silný podzolový B horizont (podzolic B horizont), s akumulací amorfního materiálu ve formě hnědých nebo černých povlaků zrn až mikroagregátů, zrnitostně hrubozrnější než jíl.

B horizont je diferencován do subhorizontů- Bh, Bf, Bhf, alespoň 10 cm silných, které obsahují 0,5 % org. C (Bf) a více (Bh, Bhf).

Subtypy jsou: *Humic Podzol*, Ferro-Humic Podzol, Humo-Ferric Podzol.

2.3.5 Deutsche Bodensystematik

I v německé klasifikaci (2005) má podzol (Podsol) ve své definici zakotven horizont eluviální vybělený, a obohacený tmavý, s akumulací humusu a oxidů železa a hliníku.

Subtypy jsou: Normpodsol, Eisenpodsol, Humuspodsol, Bändchenpodsol, Braunerde-Podsol, Parabraunerde-Podsol, Pseudogley-Podsol, Stagnogley-Podsol, Gley-Podsol, Kolluvisol-Podsol, Plaggenesch-Podsol.

2.3.6 Référentiel Pédologique Français 1992

Ve francouzském klasifikačním systému jsou podzoly (Podzosoly) půdy s procesem přeměny a destrukce silikátových minerálů fulvokyselinami a tvorba volného Al a Fe. Tímto procesem vzniká světlý, ochuzený eluviální horizont, a tmavší obohacený, o větší obsah organického materiálu a seskvioxidů než materiál původní.

Subtypy jsou: Duric (cementovaný B horizont), Humo-Duric, Soft (jemný B horizont), Placic, Ochric, Humic, Post (antropogenně modifikovaný se zbytky B horizontu), Eluvial.

2.4 Uhlík v půdě

Uhlík v půdě může být organického či anorganického původu. Jejich součtem je uhlík celkový – totální. Anorganický uhlík je vázán v karbonátech a vápnitých sedimentárních horninách, do půdy se mlže dostat i jako tvrdá podzemní voda, nebo atmosferickou depozicí (HCO_3^-) (Stolbovoi, 2002). Pokud ovšem není půda z vápencové matečné horniny, nebo není důvod domnívat se, že by mohla obsahovat sekundární karbonáty (např. cicváry, pseudomycelia), vyskytuje se anorganického uhlíku v půdě poměrně málo a proto se často jeho podíl na celkové uhlíkové hmotě zanedbává.

Uhlík se do půdy dostává především díky biologické aktivitě půdy. V půdě odumírají a rozkládají se kořínky rostlin; souběžně s tím, jak rostlina roste, dostává se na povrch půdy opad, který je do půdy zapravována i díky turbačním mechanismům, jako jsou např. norující živočichové a jiné bioturbace. Pokud tento mechanismus chybí, organická hmota zůstává ležet na povrchu půdy a velká část rozkladu se tak děje v horizontu opadanky. Obecně se dá říci, že SOM je tím více rozkládána, čím hlouběji se nachází. Finální produktem rozkladu je

pak humus: tmavě hnědá, mikrobiálně odolná, komplexní koloidní sloučenina, která je z původní sloučeniny nebo materiálu vysoce modifikována pomocí mikroorganismů.

Půdní organismy využívají organické zbytky jako zdroj energie a C. Každý organismus má svou roli v rozkladovém řetězci, od primárních rozkladačů, jako jsou brouci, mravenci, termiti a houby, až po rozkladače, kteří se živí zbytky po primárních rozkladačích, jsou to bakterie, houby a mezo a makrofauna. Výsledkem je úplné vyčerpání energie z chemických vazeb, zvýšená odolnost půdy proti mikrobiální exploataci, a snižování C:N poměru v SOM. Míra rozkladu je kontrolována velkým množstvím faktorů vzhledem ke kvalitě organické hmoty a přírodním podmínkám které ovlivňují biologickou aktivitu. Jednoduché organické kyseliny, cukry a škroby jsou mikroorganismy velmi rychle zužitkovány. Proteiny, chitin, celulóza a hemicelulóza jsou použity méně rychle; lignin, tuky, a vosky jsou nejvíce odolné proti rozkladu. Biologická aktivita je nejvyšší když má půda pH mezi 6 a 8 a teplotu 20-40°C a pokud zde není žádný deficit živin (Chadwick a Graham, 2000). I půdní mikrobiální organismy a v nich vázaný uhlík se dá zahrnout do celkového organického uhlíku v půdě. Jejich počty jsou však v půdě proměnlivé, a proto je velmi obtížné stanovit konkrétní hodnoty. Semenov et al. (2008) hovoří o hodnotách mezi 2 až 6 % z hodnoty celkového uhlíku v půdě.

Pokud půda obsahuje 12-20 % organického uhlíku, je považována za půdu organickou, pokud má méně než 12 % organického uhlíku, jedná se o půdu minerální. Bylo prokázáno, že podíl SOM na celkové produkci CO₂ v lesních půdách dosahuje 41 %. Více než 80 % tohoto množství C-CO₂ je produkováno v důsledku dekompozice rostlinných zbytků, a zbytek díky mineralizaci humusových látek (Semenov et al., 2008).

V dalších podkapitolách jsou rozebrány některé formy uhlíku organického.

2.4.1 Soil organic matter (SOM) – půdní organická hmota

Pojetí tohoto pojmu je různé, ale většinou byl a je používán jako shrnutí všech organických materiálů nacházejících se v půdě, žijící půdní biomasy a nerozložených produktů rostlin a živočichů. Proto je důležité, aby v každé práci bylo uvedeno, jak danou definici autor používá a jak ji chápe. Za půdní organickou hmotu (SOM) tedy můžeme považovat sumu veškeré hmoty biologického původu, pozměněné biologicky či termicky, bez ohledu na její zdroj a stadium rozkladu. Mohou to být jak živé, tak neživé organismy, ale nejsou do ní zařazeny nadzemní části rostlin.

SOM je klíčovou složkou půdy a hraje důležitou roli ve fyzikálních, biologických i chemických procesech (Baldock 2007, in NLWRA, 2007). Zajišťuje energii pro biologické procesy (Fontaine et al. 2003, in NLWRA, 2007), zlepšuje a upravuje strukturu půdy, její hydrologické a termické vlastnosti půdy, zvyšuje pH a přispívá k lepším hodnotám výměnné kapacity půdy. Čím vyšší je stabilita půdní organické hmoty (SOM), tím nižší je produkce oxidu uhličitého (Semenov et al. 2008).

2.4.2 *Soil organic carbon (SOC) – půdní organický uhlík*

Půdní organický uhlík (SOC) je hlavní složkou SOM. Jedná se o veškerý organický uhlík obsažený v půdě bez ohledu na svůj původ nebo stadium rozkladu (Stolbovoy et al., 2007), ale i o zbytkový uhlík z pozůstalosti po případných požárech. Jeho podíl na tvoří podle NLWRA (2007) 50 – 58 % SOM, dle van Breemena a Buurmana (2003) 45 – 60 % SOM.

Hodnoty SOC v půdě jsou velmi důležitým ukazatelem stavu půdy, a kvantifikace SOC může mít také významnou roli z hlediska zmírnění emisí skleníkových plynů. Je ovšem nutné rozlišovat mezi kvantifikací samotného uhlíku a kvantifikací veškeré půdní organické hmoty, protože špatnou interpretací můžeme zásoby uhlíku v půdě nadhodnotit, nebo naopak podhodnotit množství SOM.

2.4.3 *Particulate organic C (POC, nebo matter POM) – částicový organický uhlík (hmota)*

Částicový organický C (POC) je definován jako uhlík nacházející se ve fragmentech organických zbytků s rozeznatelnou buněčnou strukturou (někdy také uváděno jako resistantní rostlinná hmota – RPM). POC může být jakéhokoliv původu, ale obvykle se jedná o rostlinné struktury. Obecně se dá říci, že z pohledu rozkladu se jedná o přechodné stadium uhlíku (Burt, 2004; in Bláhová, 2009).

2.4.4 *Dissolved organic C (DOC) – rozpuštěný organický uhlík*

Rozpuštěný organický uhlík (DOC) je malou ale důležitou a dynamickou složkou SOM, především díky své vysoké mobilitě jak v půdě, tak mezi půdou a podzemní vodou či povrchovými vodami. Zajišťuje mobilní zdroj energie pro rostliny a chová se jako reaktivní složka půdního roztoku, usnadňující transport ostatních materiálů. Do půdy se dostává vyluhováním z vegetace a opadu. Většinou se jedná o částice menší než 0,45 μm .

2.4.5 Humus

Humus je to, co nám zbude ze SOM, když z ní oddělíme DOC a mikroorganickou hmotu (rostlinný opad a zuhelnatělé zbytky) vyluhováním ve vodě a vše rozdělíme podle velikosti částic a jejich hustoty (Baldock a Nelson, in Sumner et al., 2000). Humus má velkou plochu a vysokou chemickou reaktivitu, snadno tvoří sloučeniny s anorganickými složkami. Humus je tak komplexní sloučenina, že se definuje jako soubor složený z fulvokyselin (rozpustné jak v alkáliích, tak v kyselinách); humínových kyselin (rozpustné jen v alkáliích), a humínové frakce (rozpustná jak v kyselinách, tak v alkáliích). Fulvokyseliny jsou rozkládány na látky s nízkou molekulární hmotností, mají nejvyšší počet kyselých skupin a nejvyšší kationtovou výměnnou kapacitu. Naopak humínové jsou rozkládány na látky o vyšších molekulárních hmotnostech, mají nižší počet kyselých skupin a nejnižší výměnnou kapacitu (Chadwick a Graham, 2000).

V alkalických a neutrálních půdách je humus hlavní organickou složkou, díky rychlému rozkladu rostlinných zbytků mikroorganismy a půdní faunou. V kyselých půdách jsou hlavní organickou složkou rostlinné zbytky, ale i přesto zde humus významně přispívá k procesům v půdě (např. u podzolizace). Humus je nejstabilnější složkou SOM, a proto představuje hlavní rezervoár sekvestrovaného uhlíku (Semenov et al., 2008).

2.4.6 Inert organic matter (IOM) - Inertní uhlík

Jedná se o vysoce karbonizovanou organickou hmotu zahrnující dřevěné uhlí, zuhelnatělé zbytky, grafit a uhlí (a samozřejmě i diamanty). Je to velmi stabilní, biologicky inertní frakce půdního uhlíku o relativně malém objemu. (Bláhová, 2009).

2.4.7 Organický uhlík v podzolech

V podzolech se uhlík vyskytuje ve větší části profilu, nejen v nejsvrchnějších horizontech nadložního humusu a v humózních horizontech. Největší, koloidní frakce se nachází v horizontech nadložního humusu, humózním horizontu a částečně i v E horizontu, kde se organický uhlík vyskytuje přechodně v době transportu níže do půdního profilu. Pod E horizontem obsah koloidního uhlíku klesá a narůstá podíl LMW organického uhlíku (Riise et al., 2000). Názory, proč tomu tak je, se různí. Může to být způsobeno selektivním filtrováním

většího koloidního uhlíku, nebo tím, že tyto částice jsou hydrofobnější, než LMW uhlík (Herbert a Bertsch, 1995; in Riise et al. 2000).

Při laterální podzolizaci není obsah uhlíku v půdě nijak ovlivněn, pokud započteme svrchní horizonty nadložního humusu. Pokud ovšem bereme v úvahu jen samotnou minerální půdu, projeví se nárůst organického uhlíku ve směru od E-podzolů k B-podzolům.

Mokma (2004) zjišťoval, zda souvisí stáří podzolů s množstvím organického uhlíku, proto aplikoval regresní analýzu. Výsledkem je vztah $C_{org}=0,0002 t + 0,1963$, s koeficientem determinace $r^2=0,77$. Můžeme tedy říct, že množství organického uhlíku narůstá spolu se stářím profilu podzolu.

2.4.8 Kvantifikace uhlíku v půdě

Stanovit a kvantifikovat obsah uhlíku v půdě můžeme pomocí nejrůznějších metod, které byly shrnuty v příručce National Exposure Research Laboratory (Schumacher, 2002). Metody mohou být prováděny manuálně nebo automaticky v detekčních zařízeních. Vzorek je nutno připravit, a to prosetím přes 2mm síto, promíchá a nechá vysušit na vzduchu, nebo v peci při 105°C minimálně po dobu 48 hodin (Pearson, 2005).

Ke stanovení obsahu uhlíku se používá buď suchá, nebo mokrá cesta. Využívá se převodu C na CO₂. Suchou cestou se rozumí spalování ve speciálních pecích udržující stálou teplotu (např. LECO CHN-2000) a jímajících unikající oxid uhličitý, případně jednoduše rozdílem hmotností vzorku před a po spálení. Speciální zařízení spalují vzorek při velmi vysokých teplotách (i více než 1350°C), při kterých se ovšem spalují i karbonáty a anorganický uhlík. Výsledek tedy může být ovlivněn, a proto musí být před analýzou karbonáty odstraněny.

Mokrou cestou se rozumí rozklad vzorku chemicky. Nejznámější je tzv. Walkley-Black metoda, poprvé popsána již v roce 1934, která se v několika modifikacích používá dodnes (LULUCF, 2005). V této metodě se vzorek smíchá s dichromanem draselným (K₂Cr₂O₇) a koncentrovanou kyselinou sírovou H₂SO₄. Při exotermické reakci se půdní uhlík oxiduje, uniká CO₂ a spotřebovává při tom dichroman z roztoku. Právě z jeho spotřeby se zjistí množství uniklého CO₂. I u této metody nemusí dojít ke kompletní oxidaci uhlíku, na výsledky je se proto násobí korekčním koeficientem 1,33 (Schumacher, 2002).

Kvalitativní metody stanovení organické hmoty nám umožňují zjistit typ a strukturu organické hmoty – sacharidy, lignin aj. Hlavní metody jsou dvě, a to NMR (nukleární

magnetická rezonance) spektroskopie a DRIFT (diffuse reflectance infrared Fourier transform). Nevýhodou jsou vysoké pořizovací ceny analytických zařízení.

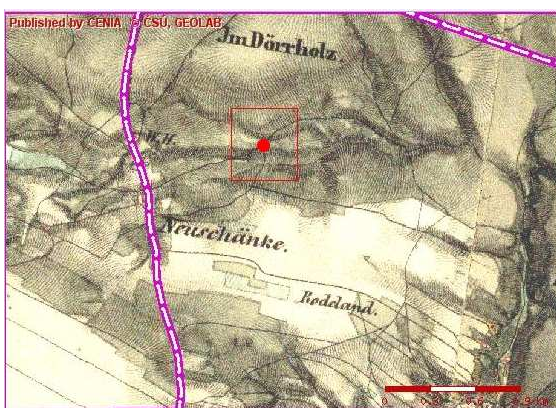
Dá se říci, že pro minerální půdy se hodí spíše mokré metody stanovení, zatímco pro půdy organické spíše metody suché (Stolbovoi, 2007). Metodická příručka pro „audit vodních a půdních zdrojů“ v Austrálii (NLWRA, 2007) doporučuje metodu Walkley-Black pro půdy s méně než 8,5 % C.

Zatímco v ČR jsou většinou používány metody mokré oxidace, a jimi stanovený obsah uhlíku je označován jako C_{ox} , v zahraničí jsou častěji používány metody oxidace suché v různých detekčních zařízeních.

Nejjednodušším způsobem kvantifikace SOM je vynásobení hodnoty SOC koeficientem 1,724. Koeficient ovšem může podle Baldocka a Nelsona (in Sumner et al., 2000) nabývat hodnot od 1,72 – 2, podle Nelsona a Sommerse (1996, in Schumacher, 2002) aby lépe reflektoval obsah SOC v půdě (Baldock a Nelson, in Sumner et al., 2000), proto je tato metoda spíše orientační. V ČR se používá hodnota koeficientu 1,724.

2.5 Fyzickogeografická charakteristika zájmového území (BVVP Ralsko – lokalita Vrchbělá)

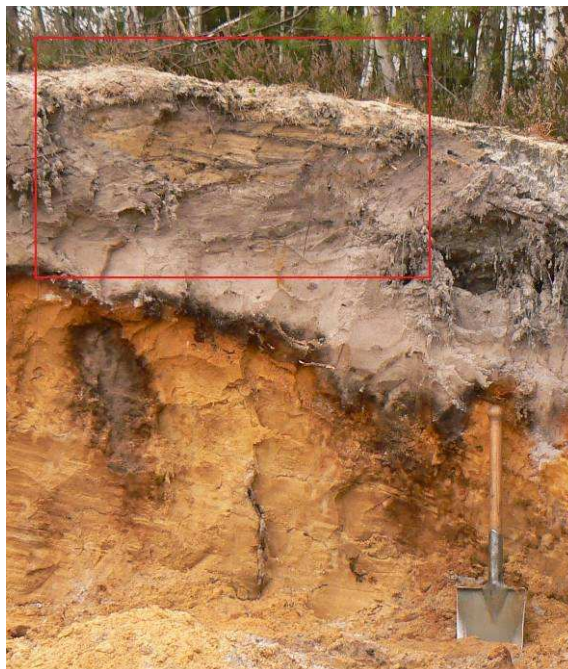
Zájmová lokalita, tzv. Vrchbělá, se nachází u města Bělá pod Bezdězem, v okrese Mladá Boleslav při hranicích s okresem Česká Lípa. Přehledová mapka se zakreslenou lokalitou a mapa půdních poměrů jsou uvedeny v přílohách této bakalářské práce. Vzhledem k zemědělsky nezajímavé půdě zde zůstaly zachovány reliktní bory a lokalita byla využívána především pro lesnické účely, jak je vidět i na mapách z II. vojenského mapování, které probíhalo v letech 1809 – 1869.



Obr. 9: Zájmová lokalita na mapách II. vojenského mapování (zdroj: www.geoportal.cenia.cz)

Ve 20. století pak byla tato lokalita součástí vojenského výcvikového prostoru Ralsko, a využívána jako dělostřelecká střelnice. V důsledku průjezdů pásové těžké techniky a výbuchů dělostřeleckých granátů zde byl přemístěn materiál podobně, jako je tomu v důsledku například stromových vývrátů. V půdním profilu se pak objevují například další vložené mikroprofily (obr. 10).

Po odchodu sovětských vojsk byl prostor vyčištěn od nebezpečné munice a ponechán přirozenému vývoji. Dnes jsou zde travní porosty postupně zarůstající sukcesními druhy jako je bříza (*Betula*), borovice (*Pinus*). Klimaticky se jedná o oblast mírně teplou, fytogeograficky jde o oblast Českomoravského mezofytika. V typologii krajiny je oblast dle svého reliéfu zařazena do krajiny rozřezaných tabulí. Průměrné roční teploty se pohybují mezi 8-9 °C a průměrný roční úhrn srážek činí cca 600 mm.



Obr. 10: Přemístěný materiál - mikroprofil v profilu podzolu (foto autorka)

2.6 Metody výpočtu zásob uhlíku v půdách

Ze zjištěného obsahu uhlíku ze vzorku půdy můžeme pomocí různých metod spočítat zásobu uhlíku na jednotku plochy půdy. Většina vzorců pro výpočet vychází se stejných dat, a to: zjištěný obsah uhlíku (%), objemové hmotnosti půdy ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$), objemu hrubozrnných částic či skeletu (%) a hloubky dané vrstvy půdy nebo celého profilu (cm). Výsledné vzorce se pak většinou liší jen ve způsobu zahrnování kritéria přítomnosti skeletu, nebo v použitých jednotkách.

2.6.1 Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost ρ_d ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$) je definována jako poměr hmotnosti pevné fáze půdy k celkovému objemu odebraného vzorku. Vzorek půdy se odebere pomocí Kopeckého válečků, které mají objem 100 cm^3 . Následně se vzorek v laboratoři umístí do porcelánové

misky a zváží (hmotnost misky se musí zvážit předem a odečíst), a to v přirozeném stavu a po vysušení v sušárně do konstantní hmotnosti. (VÚMOP, 2010; ústní podání). Výsledek vydělíme objemem válečku (v případě Kopeckého válečku 100 cm^3) a získanou hodnotu v g. cm^{-3} .

Většina půd nabývá typických hodnot v rozmezí 1,3 až $1,7 \text{ g. cm}^{-3}$ (Šefrna, Janderková; 2007). Půdy s vyšším podílem organických hmot dosahují nižších hodnot objemové hmotnosti – přibližně do $0,5 \text{ g. cm}^{-3}$.

2.6.2 Metody pro stanovení zásob uhlíku v půdě

Vztah, uvedený v příručce LULUCF (Pearson, 2005):

$$C(t/ha) = (D \times E \times C) \times 100$$

kde D je objemová hmotnost v g.m^{-3} , E je hloubka půdy v cm, a C je hodnota uhlíku. Případná přítomnost hrubozrnných částic a skeletu je zde zohledněna již ve výpočtu objemové hmotnosti (Pearson, 2005).

Podobný výpočet používá ve své práci i Stolbovoi (2002):

$$SCD = C \times V \times H \times S$$

kde C je obsah v %. V je objemová hustota v kg.m^{-3} , H je tloušťka horizontu v metrech a S je korekční koeficient skeletovitosti, který nabývá hodnot od 1 (bez skeletu) do $<0,1$ (skelet je dominantní). Výsledkem je zásoba uhlíku v kg.m^{-2} .

Dalším vztahem pro zásoby uhlíku v půdě je vzorec dle Feller (1995) Batjese (1996) (in Schwartz a Namri, 2002) :

$$Q_i = C_i D_i E_i (1 - G_i)$$

Výsledky se udávají v t/ha. Zásoba půdního uhlíku Q_i (t.ha^{-1}) ve vrstvě půdy nebo vzorkované vrstvě i s hloubkou E_i (m) závisí na obsahu C_i (%), objemové hmotnosti D_i (g.cm^{-3}) a objemu frakce hrubých částic G_i . Vzhledem k tomu, že tento vzorec byl použit v projektu CzechCarbo, byl vybrán pro použití i v této práci.

3 VÝSLEDKY

3.1 Vlastní výsledky

Pro výpočet zásoby uhlíku v horizontu Bhs byla použita stejná metodika jako v projektu CzechCarbo: $Q_i = C_i D_i E_i (1 - G_i)$. Výsledkem je zásoba půdního uhlíku v t/ha. Vzhledem k tomu, že půdní profil byl písčítý, bez obsahu skeletu, hodnotu G_i je možno zanedbat a použít zjednodušený vzorec

$$Q_i = C_i D_i E_i .$$

Obsah uhlíku byl zjišťován ze 4 odebraných vzorků Bhs horizontu pomocí metody mokré oxidace. Obsahy C_{ox} v jednotlivých vzorcích jsou shrnuty v tabulce č. 4.

vzorek	% C_{ox}	odběr
1	0,48	listopad
2	0,41	duben
3	0,21	duben
4	0,18	duben

Tab. 4: Obsahy C_{ox} v jednotlivých vzorcích

Zdroj: VÚMOP

Pro určení objemové hmotnosti byly odebrány 3 vzorky půdy a uvažovaná objemová hmotnost D_i je průměrem těchto tří objemových hmotností po vysušení.

V našem případě jsme kvůli příliš malým rozměrům Bhs horizontu nemohli použít



Obr. 11: Místa odběru Bhs pro stanovení objemové hmotnosti (foto autorka)

standardní Kopeckého válečky, odběr proto probíhal do válečků o objemu 28,096; 34,445 a 33,303 ml. Vzorky jsme v sušárně sušili při teplotě 105°C po dobu 76 hodin, a následně byly pro kontrolu dodatečně dosušeny při pokojové teplotě další 4 dny. Vzorky byly váženy v přirozeném stavu, po vysušení v sušárně a po dodatečném vysušení.

Jednotlivé objemové hmotnosti a barvy odebraných vzorků jsou shrnuty v tabulce 5. Průměrná objemová hmotnost je 1,398 g/cm³.

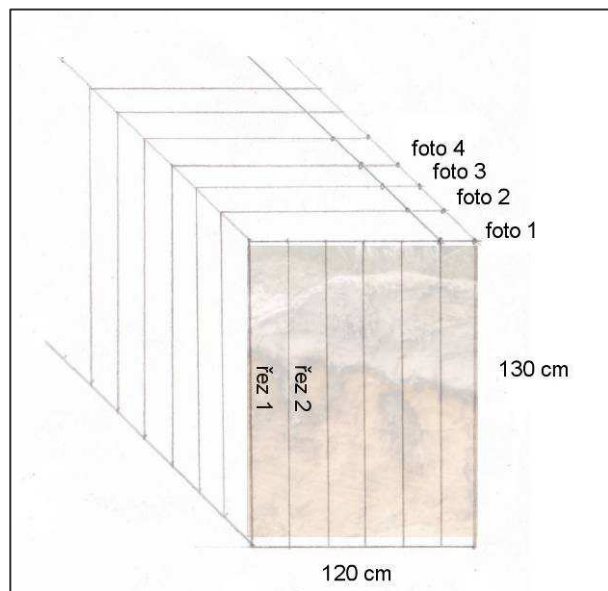
Číslo vzorku	před vysušením	po vysušení při 105°C	po dosušení	Barva za sucha	Barva za vlhka
I	1,526935783	1,393462376	1,398801312	5/6 10YR	3/3 10YR
II	1,489325213	1,383359579	1,387714331	4/1 10YR	3/1 10YR
III	1,534411325	1,460843659	1,46234504	2/1 10YR	2/1 10YR

Tab. 5: Objemové hmotnosti a barvy půdních vzorků

Zdroj: vlastní výpočty

Pro stanovení byl vybrán odkryv profilu arenického podzolu o šířce 120 cm a výšce přibližně 130 cm (výška byla proměnlivá v závislosti na terénu, viz fotografie 2, 10, 11). Profil byl odkopáván po 10 cm, tímto způsobem vzniklo celkem 13 jednotlivých profilů znázorňujících prostorové rozložení horizontů a jejich změny. Poněkud problematické bylo zjišťování mocnosti Bhs horizontu. Jelikož myšlenka kvantifikovat zásobu uhlíku v něm obsaženém vznikla až po destrukci profilu, bylo nutné mocnosti interpolovat zpětně z pořízených fotografií. Problémem při stanovování průměrné zásoby uhlíku bylo rovněž prostorové rozložení Bhs horizontu, které je patrné z pořízených fotografií. Horizont přechází do četných záteků podél současných i bývalých kořenů vegetace. Řešením by bylo vytvořit 3D model morfologie Bhs horizontu a mocnosti odečítat přímo z něj, zde jsme ovšem narazili na problém. Bylo zjištěno, že samotný sběr dat a následná tvorba modelu by svým rozsahem překročily rozsah této bakalářské práce a proto se hodí spíše k dalšímu zpracování v bakalářské či diplomové práci.

Proto byla pro účely výpočtu vytvořena dodatečná síť „70 sond“ na fotografiích, jak je znázorněno na schématu (obr. 12; 7 řezů na 10 fotografiích. 3 fotografie byly pro nekompletnost profilu vyřazeny). Mocnosti Bhs horizontu byly přepočteny podle známého měřítka. Ukázka výpočtů mocností a zásob uhlíku v jednotlivých „sondách“ je uvedena v příloze.



Obr. 12: Řezy profilem

Zdroj: schéma autorka

4 DISKUZE

Výsledné hodnoty zásoby uhlíku v Bhs horizontu jsou shrnuty v tabulce 6, průměrná zásoba uhlíku v tomto horizontu je 56,4 tC/ha. Jedním z výstupů projektu CzechCarbo byla mimo jiné i mapa zásob uhlíku v epipedonu lesních půd (obr. 13; Macků, 2007; in CzechCarbo, 2008). Půdy byly rozděleny do ekologických řad a lesních vegetačním stupňů (tab. 8, mapový výstup viz příloha 3) a kategorizovány podle zjištěné zásoby uhlíku (tab. 7) za účelem vytvoření mapy zásob půdního uhlíku (obr. 14).

	Qi1	Qi2	Qi3	Qi4
foto 1	93,5833728	79,9358	40,94273	35,09376
foto 2	91,1030112	77,81716	34,16363	34,16363
foto 3	86,3433984	73,75165	37,77524	32,37877
foto 4	89,829312	76,7292	39,30032	33,68599
foto 5	105,247776	89,89914	46,0459	39,46792
foto 6	74,9471424	64,01735	32,78937	28,10518
foto 7	73,1371488	62,47131	31,9975	27,42643
foto 8	61,4727456	70,65958	36,19149	31,02128
foto 9	61,4727456	52,50797	26,89433	23,05228
foto 10	97,1363232	82,97061	42,49714	36,42612
průměr Qi	83,4272976	73,07598	36,85977	32,08214
celkové Qi	56,36129435			

Tab. 6: Průměrné zásoby C v jednotlivých profilech a celková průměrná zásoba v celém půdním tělese

Zdroj: vlastní výpočty

Obsah Cox v t .ha ⁻¹	Kategorie
≤ 50	1
51 - 60	2
61 - 80	3
81 - 110	4
≥ 111	5

Tab. 7: Kategorizace obsahu Cox v půdách zemědělských i lesních

Zdroj: Šefrna, Janderková, 2007.

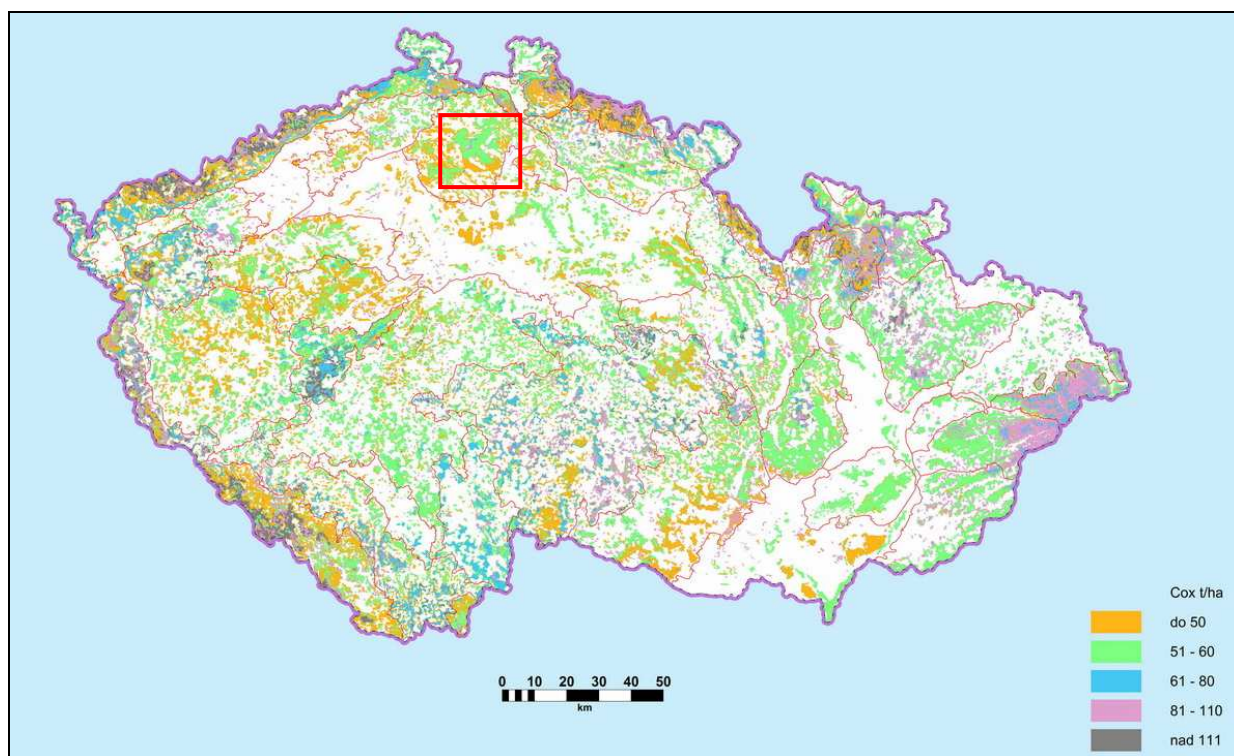
Dle legendy k uvedeným ekologickým řadám patří podzoly do řady kyselé. Pohledem na mapu zásob uhlíku a do legendy k této mapě zjistíme, že oblast Ralska je klasifikována kategoriemi 1 a 2, tj. zásobami do 60 tC/ha. Tento výsledek je způsoben tím, že do výpočtu bylo zahrnuto pouze svrchních 30 cm, u lesních půd včetně nadložního humusu (vyjma horizont opadanky, kvůli jeho vysoké variabilitě obsahu C; Šefrna, Janderková, 2007). Jedná

se tedy o hodnoty pro O (bez opadanky L) a Ah, částečně E (ačkoli zde je množství uhlíku minimální). Pokud tedy k této hodnotě přidáme výsledky pro Bhs horizont, hodnota se nám zdvojnásobí.

Ekologická řada	Lesní vegetační stupeň				
	0	1 - 2	3 - 4	5 - 6	7 - 9
	Kategorie půd podle obsahu uhlíku				
E – extrémní	1	5	2	3	4
K – kyselá	1		2	3	5
Z – živná	4	1	2	4	
J – javorová		2		3	5
L – lužní		2		3	5
g – oglejená	2			3	5
G - podmáčená	2		3	5	
R – rašelinná	4		4		

Tab. 8: Kategorie půd podle obsahu Cox v humusových horizontech a svrchní minerální vrstvě půdy (do celkové hloubky 30 cm) použité pro zpracování půdní mapy

Zdroj: převzato z materiálů CzechCarbo, 2008



Obr. 13: Mapa zásoby uhlíku v epipedonu lesních půd (s vyznačenou oblastí BVVP Ralsko)

Zdroj: Macků 2007; převzato z materiálů CzechCarbo, 2008

V současné době probíhá většina výpočtů pouze pro svrchních 20 – 30 cm půdy. Je to dáno tím, že u většiny půd se již hlouběji 30 centimetrů nenachází velké množství uhlíku. Navíc u půd obdělávaných člověkem může orbou dojít k přiorání anorganických karbonátů z vápencového podloží, což by mohlo zkreslovat snahy o přesnější kvantifikaci. (NCAS, 1999). Na druhou stranu je ovšem třeba zdůraznit, že existují půdy charakteristické vysokým obsahem organického uhlíku i hlouběji v profilu. Jsou jím např. černozemě, šedozemě, koluvizemě, i podzoly (Šefrna, Janderková, 2007), a proto by bylo vhodné rozšířit hloubky pro kvantifikaci na alespoň 100 cm, nebo ideálně na celý profil. Právě rozšířením o celý profil by došlo k výraznému nárůstu (na více než dvojnásobek) podílu kategorie půd s obsahem Cox 81 – 110 t.ha⁻¹ v kategoriích obsahu Cox (tab. 7), zejména díky zahrnutí půd černozemního charakteru s hlubokým molickým humusovým horizontem (Šefrna, Janderková, 2007). V tomto případě by i nížinné podzoly s připočteným uhlíkem z Bhs horizontu spadaly do této kategorie.

Pokud se budeme snažit o mezinárodní srovnání zásob uhlíku v půdě, musíme si dát pozor na nejednotnou metodiku. Můžou nám ale dobře posloužit alespoň rozbory podzolů ze zahraničí, kde se běžně analyzuje hodnota Corg. Srovnání hodnot Cox v této práci s hodnotami Corg „mladých podzolů“ (< 1800 let) z práce Mokmy (2004) je uvedeno v tab. 9.

BP Cox	0,48	0,41	0,21	0,18	----	----	%
Mokma (2004)	0,2	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,7

Tab. 9: Hodnoty obsahu Corg podzolů ČR a Finska

Zdroj: autorka a Mokma (2004)

5 ZÁVĚR

Tato práce si kladla za cíl alespoň přibližně odhadnout zásoby uhlíku v Bhs horizontech nížinného podzolu. Toho bylo docíleno odběrem vzorků půdy v terénu, jejich zpracováním v laboratoři a následným propočítáním získaných hodnot podle vzorce použitého v metodice CzechCarbo $Q_i = C_i D_i E_i$. Zjištěná průměrná zásoba uhlíku v Bhs horizontu zkoumaného podzolu je 56,4 tC.ha⁻¹, vzhledem k tomu že se jedná o ekvivalent zásoby v nadložních horizontech, je to hodnota velmi významná. S jistotou tedy můžeme říct, že podzoly dokáží ve svých Bhs horizontech vytvořit velké rezervoáry pro akumulování uhlíku. Nejvýznamnější na tomto zjištění je, že uhlík akumulovaný v Bhs horizontech je relativně stabilně uložený a nehrozí jeho zpětné rychlé uvolnění do atmosféry.

Bohužel v Česku zatím chybí možnost srovnání s hodnotami zjištěnými v jiných lokalitách a oficiálních projektech. Výsledky projektu CzechCarbo zatím nebyly publikovány, a program Národní inventarizace lesů (ÚHUL, 2007) hodnotil v rámci charakteristiky lesních stanovišť pouze obsah Cox (a taktéž jen v povrchovém horizontu). Navíc zde chybí jakákoli provázanost mezi zjištěnou hodnotou Cox a půdním typem, inventarizace lesů porovnává obsah Cox jen s ekologickými řadami. Doufejme že do budoucna se tato situace zlepší a kvantifikace zásob uhlíku v Česku se dostane do širšího povědomí.

Touto prací bych ráda položila základ pro budoucí přesnější stanovení zásob organického uhlíku v celém profilu podzolu. K tomu bude zapotřebí odebrat větší množství vzorků půdy ze všech horizontů na potřebné analýzy, aby bylo dosaženo reprezentativních výsledků, a rozšířit zájmové území na větší plochu než na jediný profil, případně porovnat hodnoty z více podzolových lokalit z České republiky. V neposlední řadě by bylo vhodné vytvořit 3D model Bhs horizontu, aby bylo možné vytvořit si přehled o prostorovém rozložení uhlíku pro jeho lepší kvantifikaci.

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- AUSTRALIAN GOVERNMENT - NATIONAL LAND & WATER RESOURCES AUDIT (NLWRA). *Soil condition – soil organic carbon*. 2007. 12 s.
- BALDOCK, J.A.; NELSON, P.N. *Handbook of soil science*. Edited by M. E. Sumner et al. [s.l.] : CRC Press, 2000. Soil organic matter, s. 25-84. ISBN 0-8493-3136-6.
- BONIFACIO, E., SANTONI, L., CELI, L., ZANINI, E. Spodosol-Histosol evolution in the Krkonoše National Park (CZ). *Geoderma*. 2006, vol. 131, s 237-250.
- BLÁHOVÁ, Štěpánka. *Dynamika obsahu C v půdách*. Praha, 2009. 81 s. Diplomová práce. Univerzita Karlova.
- BRÄNDLI, R.C. et al. Quantification of activated carbon contents in soils and sediments using chemothermal and wet oxidation methods. *Environmental Pollution*. 2009, vol. 157, s. 3465-3470.
- BUURMAN, P., JONGMANS, A.G. Podzolization and soil organic matter dynamics. *Geoderma*. 2005, vol.125, s. 71-83.
- CHADWICK, O.A.; GRAHAM, R.C. *Handbook of soil science*. Edited by M. E. Sumner et al. [s.l.] : CRC Press, 2000. Pedogenic Processes, s. E41-E75. ISBN 0-8493-3136-6.
- FREI, E. *Boden – Agrarpedologie: Eigenschaften, Entstehung, Verbreitung, Klassierung, Kartierung des Bodens und Nutzung im Pflanzenbau*. Bern : Haupt, 1991. 190 s. ISBN 3-258-04467-8.
- IUSS WORKING GROUP WRB. *World Reference Base for Soil Resources 2006*. Rome : FAO. First update 2007.
- LUNDSTRÖM, U. S., VAN BREEMEN, N., BAIN, D. The podzolization process- A review. *Geoderma*. 2000, vol. 94, s. 91-107.
- LUNDSTRÖM, U. S., et al. Advances in understanding the podzolization process resulting from a multidisciplinary study of three coniferous forest soils in the Nordic Countries. *Geoderma*. 2000, vol. 94, s. 335-353.
- MACKŮ, J., ŠEFRNA, L., JANDERKOVÁ, J. *Problematika půdního uhlíku v podmínkách ČR*. In Cienciala, E. *Kniha k projektu CzechCarbo – nepublikováno*. 2008, 61 s.
- MOKMA, D.L.; EVANS, C.V. *Handbook of soil science*. Edited by M. E. Sumner et al. [s.l.] : CRC Press, 2000. Spodosols, s. E307-E321. ISBN 0-8493-3136-6.
- MOKMA, D. L., YLI-HALLA, M., LINDQUIST, K. Podzol formation in sandy soils of Finland. *Geoderma*. 2004, vol. 120, s. 259-272.

- NATIONAL CARBON ACCOUNTING SYSTEM (NCAS). *Estimation of Changes in Soil Carbon Due to Changed Land Use. Technical Report No. 2.* Australian Greenhouse Office. 1999, 97 s.
- NĚMEČEK, J. *Taxonomický klasifikační systém ČR.* Praha : VÚMOP, 2000.
- NĚMEČEK, J., SMOLÍKOVÁ, L., KUTÍLEK, M. *Pedologie a paleopedologie.* Praha : Academia, 1990. 552 s. ISBN 80-200-0153-0.
- OLSON, M.T., MELKERUD, P.A. Weathering in three podzolized pedons on glacial deposits in northern Sweden and central Finland. *Geoderma.* 2000, vol. 94, s. 149-161.
- PEARSON, T., WALKER, S., BROWN, S. *Sourcebook for land use, land-use change and forestry projects.* LULUCF, 2005. 64 s.
- RIISE, G. et al. Mobility of different size fractions of organic carbon, Al, Fe, Mn and Si in podzols. *Geoderma.* 2000, vol. 94. s. 237-247.
- SEMENOV, V.M. et al. Mineralization of Organic matter and the Carbon Sequestration Capacity of Zonal Soils. *Eurasian Soil Science.* 2008, vol. 48. s. 717-730.
- SCHUMACHER, B.A. *Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments.* Las Vegas : National Exposure Research Laboratory, 2002. 25 s.
- SCHWARTZ, D., NAMRI, M. Mapping the total organic carbon in the soils of the Congo. *Global and Planetary Change.* 2002, vol. 33, s. 77-93.
- SMOLÍKOVÁ, Libuše. *Pedologie 2.* Praha : SPN, 1982. 293 s.
- SOIL SURVEY STAFF. *Keys to soil taxonomy.* United States Department of Agriculture, 2006. 341 s.
- SOIL SURVEY STAFF. *Soil taxonomy.* United States Department of Agriculture, 1999. 871 s.
- STOLBOVOI, V. Carbon in Russian Soils. *Climatic Change.* 2002, vol. 55. s 131-156.
- STOLBOVOY, V., et al. *Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union.* European Commission – Institute for Environment and Sustainability. 2007, 56 s.
- ŠEFRNA, L., JANDERKOVÁ, J. *Obsah oxidovatelného uhlíku v půdních asociacích mapy 1:500 000; Zemědělské půdy. Dílčí zpráva pro projekt VaV 640/18/03 Czech Carbo - Studium uhlíku v terestrických ekosystémech České republiky.* 2007. 7 s.
- ÚHUL. *Národní inventarizace lesů v České republice 2001-2004 (NIL).* Brandýs nad Labem : ČTK Repro, 2007. 224 s.

- VAN BREEMEN, N., BUURMAN, P. *Soil formation*. Kluwer Academic Publisher, 2003. 404 s. ISBN 1-4020-0718-3.
- VAN BREEMEN, N., LUNDSTRÖM, U. S., JONGMANS, A.G. Do plants drive podzolization via rock-eating mycorrhizal fungi?. *Geoderma*. 2000, vol. 94, s. 163-171.
- VÚMOP. *Metodika pro výpočet objemové hmotnosti půdy*. Praha, 2010. ústní podání.
- WILDING, L.P. *Handbook of soil science*. Edited by M. E. Sumner et al. [s.l.] : CRC Press, 2000. Classification of Soils, s. E175-E183. ISBN 0-8493-3136-6.
- ŽIGOVÁ, A. Studijní materiály a poznámky k předmětu *Geografie půd a ochrana půdního fondu ČR*. Nепublikováno, 2009.

Elektronické zdroje :

- Agriculture and Agri-food Canada: The Canadian System of Soil Classification, 3rd edition. 1998. <<http://sis.agr.gc.ca/cansis/taxa/cssc3/index.html>>. cit. 26.2.2010
- ArcČR: Digitální geografická databáze 1:500000. [CD-ROM]. Ver.2.0a. Praha. ArcData Praha s.r.o. 2003
- Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG): Boden des Jahres 2007. 2006 – Podsol. <www.dbges.de/wb/pages/boden-des-jahres.php>. cit. 22.3.2010
- Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft (DBG): Bodensystematik. 2006. <www.bodensystematik.de>. cit. 22.3.2010
- Oficiální web projektu CzechCarbo. <<http://www.usbe.cas.cz/czechcarbo/info.htm>>. cit. 10.3.2010
- Mapový portál České národní informační agentury (CENIA): <<http://geoportal.cenia.cz>>. cit. 20.4.2010
- World Reference Base for Soil Resources, FAO - Land and Water Development Division: <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/wrb/wrbmaps/htm/podzols.htm>>. cit. 18.4.2010

Seznam příloh

Příloha 1: Zájmové území

Příloha 2: Půdní poměry lokality

Příloha 3: Výskyt ekologických řad

Příloha 4: Ukázka výpočtů zásob půdního uhlíku pro hodnotu C_i 1

Příloha 5: Mapa zásob půdního organického uhlíku v Evropě