



VÝZKUMNÝ ÚSTAV LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A MYSLIVOSTI

**NÁVRH SYSTEMATICKÉHO PRŮZKUMU LESNÍCH PŮD
V ČESKÉ REPUBLICĚ**

Certifikovaná metodika

V. Šrámek, V. Fadrhonsová, K. Neudertová Hellebrandová,
L. Borůvka, J. Čechmánková, K. Komprdová, R. Novotný, O. Sážka,
M. Sážka, R. Vašát



OBSAH

Obsah.....	1
1 Cíl metodiky.....	2
2 Vlastní popis metodiky	3
2.1 Průzkumy lesních půd v České republice	3
2.2 Průzkumy lesních půd v dalších zemích střední Evropy	11
2.3 Návrh postupu v průzkumech lesních půd v České republice.....	15
3 Srovnání novosti postupů.....	23
4 Popis uplatnění metodiky.....	23
5 Ekonomické aspekty.....	24
6 Seznam použité související literatury:.....	25
7 Seznam publikací, které předcházely metodice	27
8 Oponenti.....	29
9 Dedikace	29

Autorský kolektiv:

Výzkumný ústav lesního hospodářství a myslivosti, v.v.i.

doc. Ing. Vít Šrámek, Ph.D., Ing. Věra Fadrhonsová, Mgr. Klára Komprdová, Ph.D., Mgr. Kateřina Neudertová Hellebrandová, Ph.D., Ing. Radek Novotný, Ph.D.

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.

Ing. Jarmila Čechmánková, Ph.D.

Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravních a přírodních zdrojů

Prof. Dr. Ing. Luboš Borůvka, Ing. Radim Vašát

Masarykova univerzita Brno, RECETOX

Ing. Milan Sáňka, Ph.D., Mgr. Ondřej Sáňka, Ph.D.

1 CÍL METODIKY

Poptávka po informacích o vlastnostech lesních půd narůstá. V nově vzniklém Československu byl v roce 1922 založen lesnický Biochemický ústav, který se zabýval především problematikou půd na neúrodných lokalitách a v oblastech s poruchami růstu dřevin. Od druhé poloviny dvacátého století byly na řadě pracovišť u nás i v zahraničí intenzivně studovány vlastnosti lesních půd v souvislosti s acidifikací a úbytkem bazických živin, které vedly ke zvýšení péče o půdu jak formou přihnojování výsadeb či vápnění, tak formou biologické meliorace. V silně znečištěných oblastech byla pozornost věnována dynamice těžkých kovů a dalších zátěžových prvků v lesních půdách. V současné době je poptávka po informacích o půdách velmi komplexní. Zároveň se netýká pouze omezených odborných kruhů, ale je celospolečenská.

- Informace o zásobách uhlíku v lesních půdách jsou významné pro reporting v rámci sektoru LULUCF (Land Use Land Use Change and Forestry).
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2016/2284 (NEC Directive) vyžaduje jako parametry pro monitoring dopadů znečištění suchozemských ekosystémů mimo jiné kyselost půdy, výměnné frakce bazických kationtů (nasycení bázemi) a výměnný hliník v půdě, dále poměr uhlíku a dusíku (C/N) a celkové množství dusíku v půdě (N_{tot}) s četností odběrů jednou za deset let.
- Národní plán adaptace na změnu klimatu ukládá v souvislosti s lesními půdami následující opatření:
 - o2_5.1: Vymezit oblasti ohrožení lesních půd acidifikací a nutriční degradací, nedostatkem vláhy, eutrofizací a erozí
 - o2_5.2: Zpracovat metodiku inventarizace uhlíku vázaného v lesních půdách a stanovit vliv způsobu hospodaření na jeho množství
 - o2_5.3: Zpracovat projekt monitoringu půdních vlastností, v rámci kterého bude sledováno množství a charakter humusu, pH, sorpční nasycenost, poměr bází/Al, C/N, fyzikální vlastnosti, a dále navazující výzkum a sledování stavu a vztahů kořenového systému a mykorrhizy, půdní biota
 - o2_5.4: Vyhodnocovat vliv chemických meliorací na fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půdního prostředí a zdravotní stav lesních porostů a stanovit doporučení pro použití chemických meliorací v rámci adaptačních opatření
- Aplikační dokument Státní lesnické politiky přijatý usnesením vlády ČR 72/2021 mezi dílčími plněními a opatřeními k dosažení dlouhodobých cílů specifikuje např.
 - A.3.1: Ukládání uhlíku v lesních půdách - šetření v rámci NIL a lesnické typologie a monitoringu VÚLHM – obsah uhlíku v lesních půdách. Jednotný systém hodnocení stavu a ukládání uhlíku v lesních půdách (2023)
 - B.1.4: Regenerace lesních půd, zlepšení jejich infiltrační a retenční schopnosti a snížení ztrát vody nepřírozným odtokem, zajištění trvale udržitelného hospodaření s živinami - Monitoring vývoje nutričního stavu lesních půd, zpracování komplexních metod pro udržení živinové bilance včetně odnosu biomasy, biologické meliorace a chemické meliorace
 - B.3.1: Ponechávání lesních těžebních zbytků (nehroubí) k zetlení v lesních porostech (...) – Monitorovat využívání lesních těžebních zbytků a jeho dopad na stav lesního ekosystému. Zpracovat metodiku navrácení bazických prvků do lesní půdy.

Lesním půdám a průzkumu jejich vlastností je již v současné době věnována pozornost. Předkládaná metodika si klade za cíl nastínit možnosti zvýšení efektivnosti a využitelnosti dat ze stávajících průzkumů, jejich doplnění do systému, který by poskytoval potřebné komplexní, relevantní a mezinárodně srovnatelné informace v potřebném časovém rozložení.

2 VLASTNÍ POPIS METODIKY

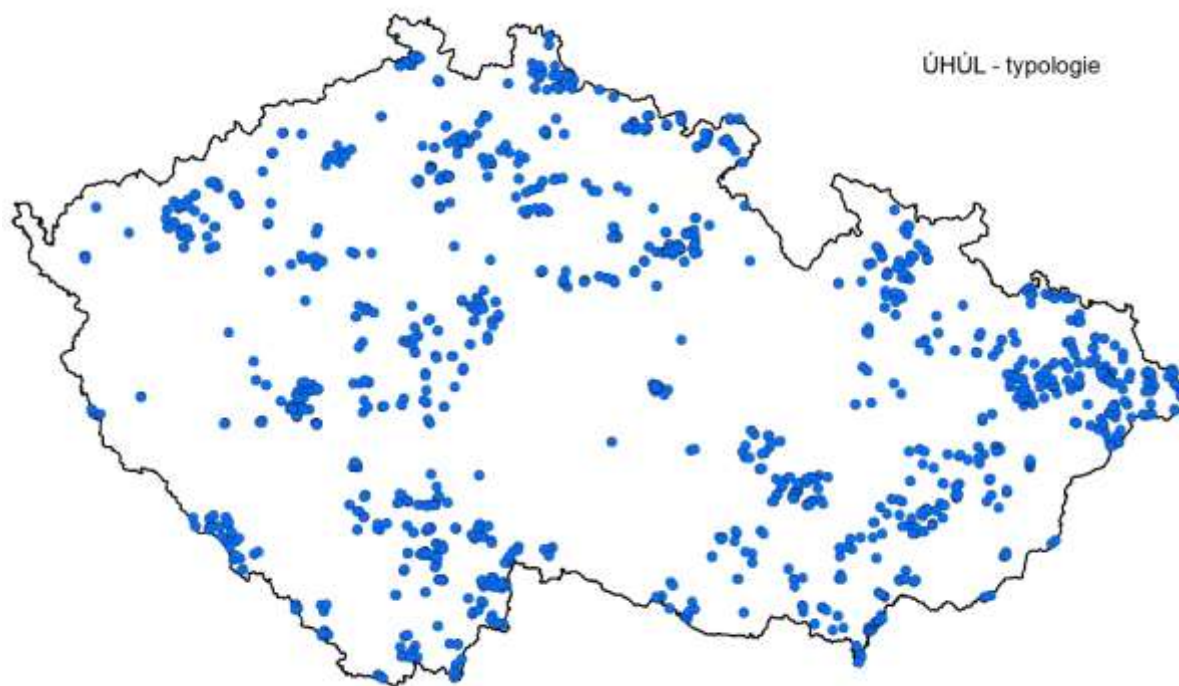
2.1 Průzkumy lesních půd v České republice

2.1.1 Typologický průzkum

Systematický typologický průzkum byl zahájen Ústavem pro hospodářskou úpravu lesů v roce 1956. V rámci tohoto prvního průzkumu byly používány dvě typologické školy: geobiocenologická škola prof. Zlatníka (především v karpatské oblasti) a stanovištně typologický systém Mezery, Mráze a Samka (Vokoun 1999). V roce 1969 byla publikována práce Typologické podklady pěstování lesů (Průša, Plíva 1969), která se stala podkladem pro typologický průzkum a mapování v letech 1971-1980. Po roce 1981 se v plošném typologickém průzkumu nepokračovalo (Vokoun 1999), půdní průzkum však probíhal na tzv. trvalých zkušných plochách. K obnovení plošného typologického průzkumu došlo až koncem 90. let 20. století v souvislosti s přijetím vyhlášky MZe č. 83/1996 Sb. (ta byla následně nahrazena vyhláškou MZe č. 298/2018 Sb.). V současné době je lesnická typologie široce využívána nejen pro účely hospodářské úpravy lesů (Smejkal 2012).

V rámci typologického průzkumu jsou rovněž popisovány půdní sondy a odebírány vzorky půd pro chemickou analýzu. Vzorky jsou odebírány podle genetických horizontů, ne ve všech případech jsou ovšem odebrány všechny horizonty. U některých odběrů závisí na úvaze typologa, které parametry a ve kterých půdních vrstvách mají být analyzovány, jde tedy především o analýzy pro potřeby diagnostiky půdních typů. Vyvíjely se i metody stanovení jednotlivých pedochemických parametrů. Z nejstarších dat z padesátých let dvacátého století je pro srovnávací studie prakticky možné použít pouze hodnoty aktivního pH (in: Slodičák 2009). Analýzy obsahují následující parametry:

- Půdní reakce: aktivní pH(H₂O) a výměnná pH(KCl)
- Obsah oxidovatelného uhlíku (C_{ox}): do roku 2004 titrace hydrochinonem (oxidačně titrační metoda); od roku 2005 spalovací metodou podle Dumase
- Celkový dusík (N_{tot}): do roku 2004 Kjeldahlovou metodou; od roku 2005 metodou podle Dumase
- Obsah přístupných živin: fosfor, draslík, vápník, hořčík do roku 2004 stanoveny ve výluhu kyselinou citronovou, od roku 2005 výluh Mehlich III
- Celkový (pseudototální obsah živin ve výluhu 20% HCl - fosfor, draslík, vápník, hořčík, hliník, mangan
- Kationtová výměnná kapacita (KVK)
- Nasycení sorpčního komplexu bázemi – součtovou metodou jako podíl obsahu výměnných bází (stanovených v roztoku BaCl₂) a KVK



Obrázek 1: Plochy s analýzami půd v rámci typologického průzkumu v agregované databázi (období 2000 – 2019)

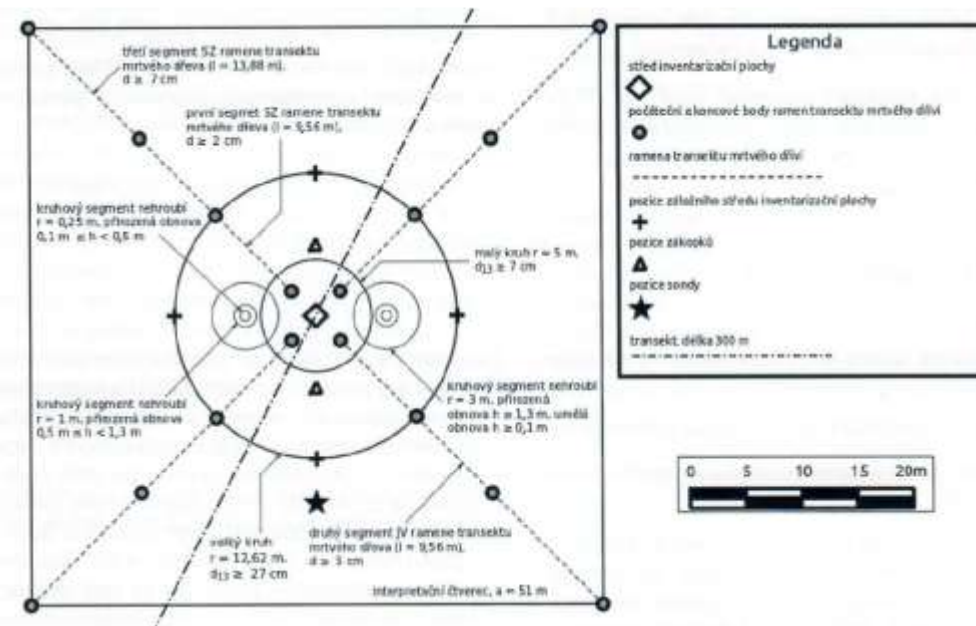
2.1.2 Národní inventarizace lesů

V prvním cyklu Národní inventarizace lesů v letech 2001-2004 byly odebírány pouze vzorky nadložního humusu a povrchového horizontu, kde byly stanovováno pH, oxidovatelný uhlík a celkový dusík (Anonymus 2007). Podrobný půdní průzkum byl prováděn ve druhém cyklu Národní inventarizace lesů (NIL2). Zatímco popis humusové formy, půdního typu, skeletovitosti a mocnosti půdních horizontů z půdních zákopků probíhal na všech inventarizačních plochách, na plochách rozšířeného šetření NIL2 byly vykopány standardní půdní sondy až na substrát zvětralé horniny (horizont C), ze kterých byly mj. odebírány vzorky pro půdní analýzy. Plocha rozšířeného šetření vznikla náhodným výběrem jednoho z inventarizačních bodů ve čtvercích 4 x 4 km (obr. 2), detailnější popis viz (Adolt a kol. 2013, Kučera a Adolt 2019).

Odběry probíhaly podle genetických horizontů. Pro stanovení pedochemických charakteristik byly vzorky odebrány ze všech horizontů s výjimkou vzorků opadu (L) a fermentačního nadložního organického horizontu (F). Pro stanovení kvantitativních a kvalitativních vlastností nadložního humusu byly odebrány vzorky z horizontu L a souhrnně z fermentačního horizontu (F) a humifikačního nadložního organického horizontu (H). Dále byly odebrány neporušené vzorky pro stanovení fyzikálních vlastností ze všech horizontů s výjimkou L a F. Půdní analýzy byly provedeny v pedologické laboratoři ÚHÚL. Zjišťovány byly následující parametry:

- Půdní reakce: pH(H₂O) a pH(KCl)
- Obsah oxidovatelného uhlíku (C_{ox}) spalovací metodou podle Dumase
- Celkový dusík (N_{tot}) metodou podle Dumase
- Obsah přístupných živin ve výluhu Mehlich III – fosfor, draslík, vápník, hořčík
- Pseudototální obsah živin ve výluhu 20% HCl - fosfor, draslík, vápník, hořčík, hliník, mangan

- Kationtová výměnná kapacita (KVK)
- Nasycení sorpčního komplexu bázemi – součtovou metodou jako podíl obsahu výměnných bází (stanovených v roztoku $BaCl_2$) a KVK



Obrázek 2: Schéma inventarizační plochy sítě NIL2 rozšířeného šetření (převzato z Kučera a Adolt 2019)



Obrázek 3: Plochy s analýzami půd v NIL2 v agregované databázi

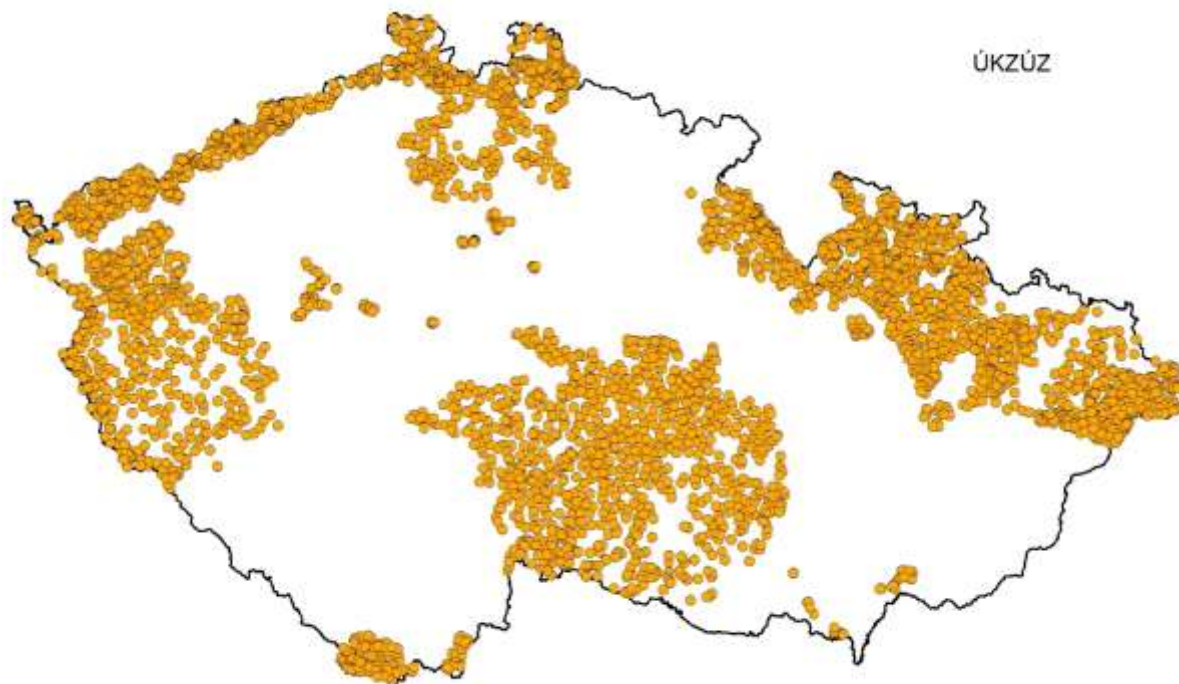
2.1.3 Průzkum půdních vlastností lesních pozemků a vlastností vegetačních orgánů lesních dřevin

V roce 1998 byl do zákona o hnojivech č. 156/1998 začleněn §11 „Zjišťování půdních vlastností lesních pozemků a vlastností vegetačních orgánů lesních dřevin“. Tímto půdním průzkumem byl pověřen Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský v Brně (dále ÚKZÚZ), a to v oblastech, kde byly zjištěny projevy poruch růstu či zhoršeného zdravotního stavu lesů, v oblastech zatížených znečištěným ovzduším a v porostech určených pro záchranu a reprodukci genových zdrojů. V rámci průzkumu půd jsou odebírány vzorky z horizontu nadložního humusu (L+F+H), vzorky organominerálního horizontu nacházejícího se pod horizontem nadložního humusu (zpravidla 2 – 10 cm) a minerálního horizontu ležícího pod ním (zpravidla do hloubky 40 cm). Na jednom odběrném místě se odebíral směsný vzorek téhož horizontu z několika míst v okruhu cca 5 m. Na stejných či blízkých lokalitách jsou odebírány vzorky asimilačních orgánů dřevin. V případě stálezelených jehličnanů jsou separátně analyzovány vzorky jednoletého (1. ročník) a dvouletého (2. ročník) jehličí (Fiala et al. 2013). U půdních vzorků jsou v laboratořích ÚKZÚZ analyzovány následující parametry:

- Půdní reakce: pH(H₂O) a pH(CaCl₂)
- Obsah oxidovatelného uhlíku (C_{ox}): do roku 2002 spalovací metodou; od roku 2003 metodou NIRS (Near Infrared Spectroscopy)
- Celkový obsah dusíku (N_{tot}): do roku 2002 Kjeldahlovou metodou; od roku 2003 metodou NIRS
- Extrahovatelný (pseudototální) obsah P, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, ve výluhu HNO₃, v nadložním humusu rovněž pseudototální obsahy Zn, Cu, Pb, Cd, Cr
- V organominerálním a minerálním horizontu obsah přístupných prvků P, K, Ca, Mg ve výluhu Mehlich III

V asimilačním aparátu jsou stanovovány následující parametry:

- P, K, Ca, Mg, B, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Al, Cu, Ni, Na, Cr metodou mineralizace na suché cestě, kdy je popel rozpuštěn v HNO₃.
- Obsah S mineralizací na mokré cestě pomocí HNO₃ a H₂O₂.



Obrázek 4: Plochy s analýzami půd v rámci průzkumu ÚKZÚZ v agregované databázi (období 2000 – 2019)

2.1.4 Monitoring půdních vlastností v rámci programu ICP Forests

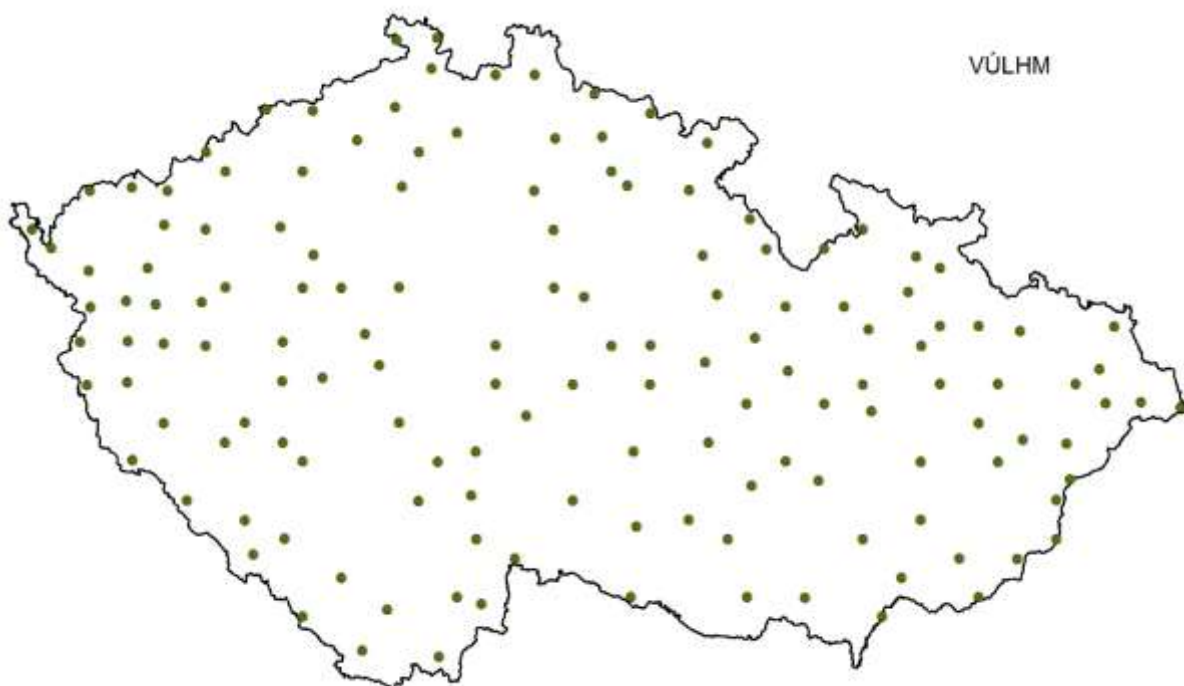
Mezinárodní program monitoringu lesů ICP Forests, který primárně sledoval změny zdravotního stavu dřevin ve vztahu ke znečištění ovzduší, byl zahájen pod hlavičkou UN ECE v rámci naplňování Koncepce o přenosu škodlivin přes hranice států (CLRTAP) v roce 1986. Síť plošného monitoringu byla od roku 1994 rozšiřována o koncept ploch „intenzivního monitoringu lesních ekosystémů“ (tzv. úroveň II), na kterých je sledována celá řada parametrů, které zdravotní stav lesa ovlivňují (půda, chemismus půdního roztoku, meteorologie, depozice), i podrobnější parametry stavu ekosystémů (fytocenologie, růst dřevin, výživa dřevin, fenologie). V současné době se každoroční šetření provádí na plochách základní sítě (16 x 16 km) a vybraných plochách národní sítě (8 x 8 km) v celkovém počtu 306 ploch (tzv. úroveň I). Dále je v České republice v současné době šetřeno 16 ploch intenzivního monitoringu, intenzivní kontinuální sledování pak na 7 z těchto ploch (Vejpustková 2019).

V plošné síti monitoringu proběhla dvě šetření. První půdní průzkum v letech 1995–1996 zahrnoval odběr vzorků půd a asimilačních orgánů na 100 plochách, především ve smrkových porostech. Vzorky nadložní organické vrstvy (humusu) a minerální půdy v hloubkách 0–10 cm a 10–20 cm byly odebírány z pěti míst na každé monitorační ploše a dále byly odebírány půdní vzorky minerální půdy z půdní sondy v pravidelných 10 cm vrstvách až na podloží (Fabiánek 2004). Druhý průzkum proběhl v rámci projektu BioSoil v letech 2005–2008 a zahrnoval odběry půd na 146 plochách systematického monitoringu a na plochách intenzivního monitoringu lesních ekosystémů. Odebírány byly směsné vzorky nadložní organické vrstvy (FH) a minerální půdy z konstantních vrstev 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm a 40–80 cm vždy z šesti míst na každé ploše. Dále byly na každé ploše odebrány vzorky z půdních sond v pravidelných 10 cm vrstvách až na podloží. Na plochách intenzivního monitoringu byly kromě vzorků

z půdních sond odebrány tři sady směsných vzorků nadložní humusové vrstvy a minerální půdy z konstantních vrstev 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm a 40–80 cm, přičemž každý směsný vzorek zahrnoval odběry na osmi místech (Šrámek et al. 2011, Fadrhonsová a Šrámek 2020). Odběry i analýzy probíhaly a probíhají podle manuálu mezinárodního programu ICP Forests (aktuálně Cools a De Vos 2020), laboratoře účastníci se programu musejí pravidelně procházet mezinárodními kruhovými testy. Analyzovány byly následující parametry:

- Půdní reakce: $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ a $\text{pH}(\text{CaCl}_2)$, v řadě případů i $\text{pH}(\text{KCl})$
- Obsah uhlíku: v průzkumu 1995-96 jako oxidovatelný uhlík (C_{ox}) stanovený metodou mokrého spalování ve směsi dichromanu draselného a kyseliny sírové, od průzkumu BioSoil jako celkový uhlík stanovený elementární analýzou
- Celkový obsah dusíku (N_{tot}): v průzkumu 1995-96 Kjeldahlovou metodou; od průzkumu BioSoil elementární analýzou
- Celkový obsah síry elementární analýzou
- Výměnný (potenciálně přístupný) obsah K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Na ve výluhu roztokem BaCl_2
- obsah přístupného fosforu ve výluhu $\text{HCl}+\text{H}_2\text{SO}_4$ (analýza nad rámec manuálu ICP Forests)
- Extrahovatelný (pseudototální) obsah P, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Na, Zn, Pb ve výluhu lučavkou královskou, v nadložním humusu rovněž pseudototální obsahy Cu, Cd
- Celkový obsah Hg na analyzátoru AMA 254

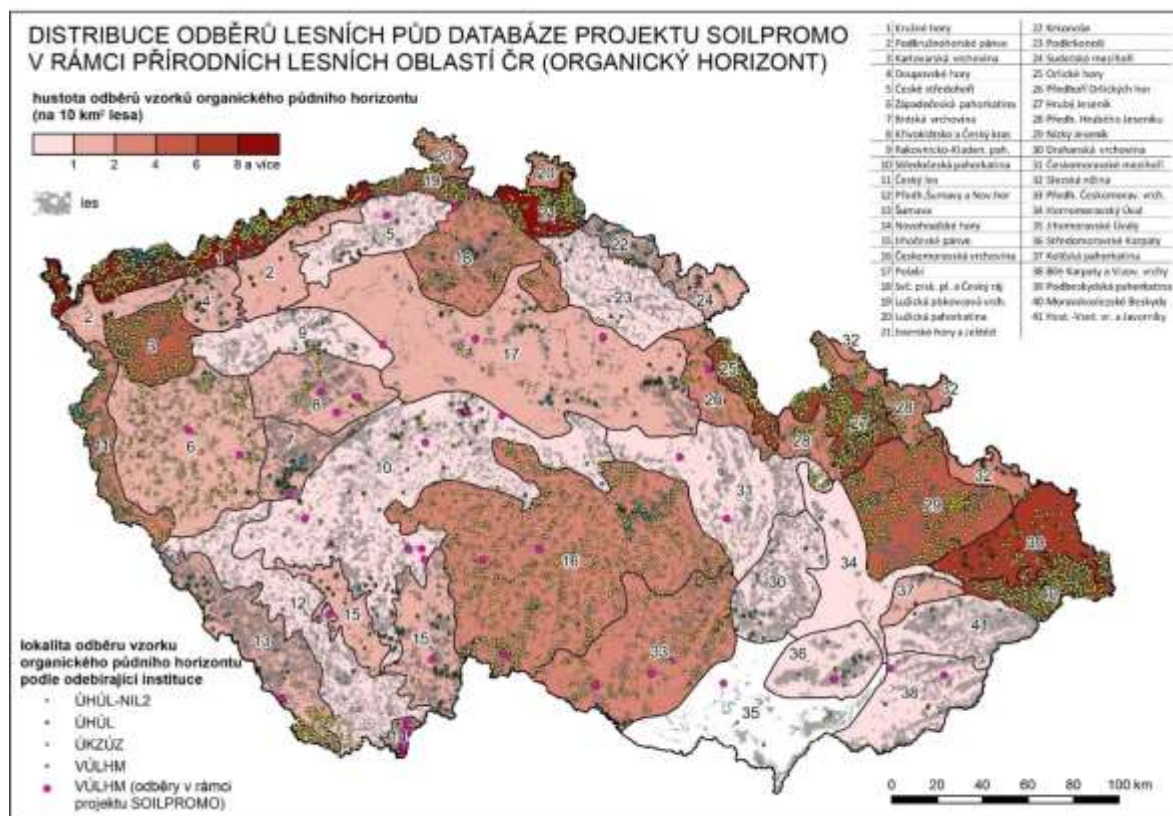
Chemické analýzy půd na plochách intenzivního monitoringu probíhají zhruba v pětiletém intervalu. Mimo to jsou metody programu ICP Forests uplatňovány v řadě dalších aktivit VÚLHM. V současné době se tak počet lokalit s komplexní půdní analýzou blíží pěti stům.



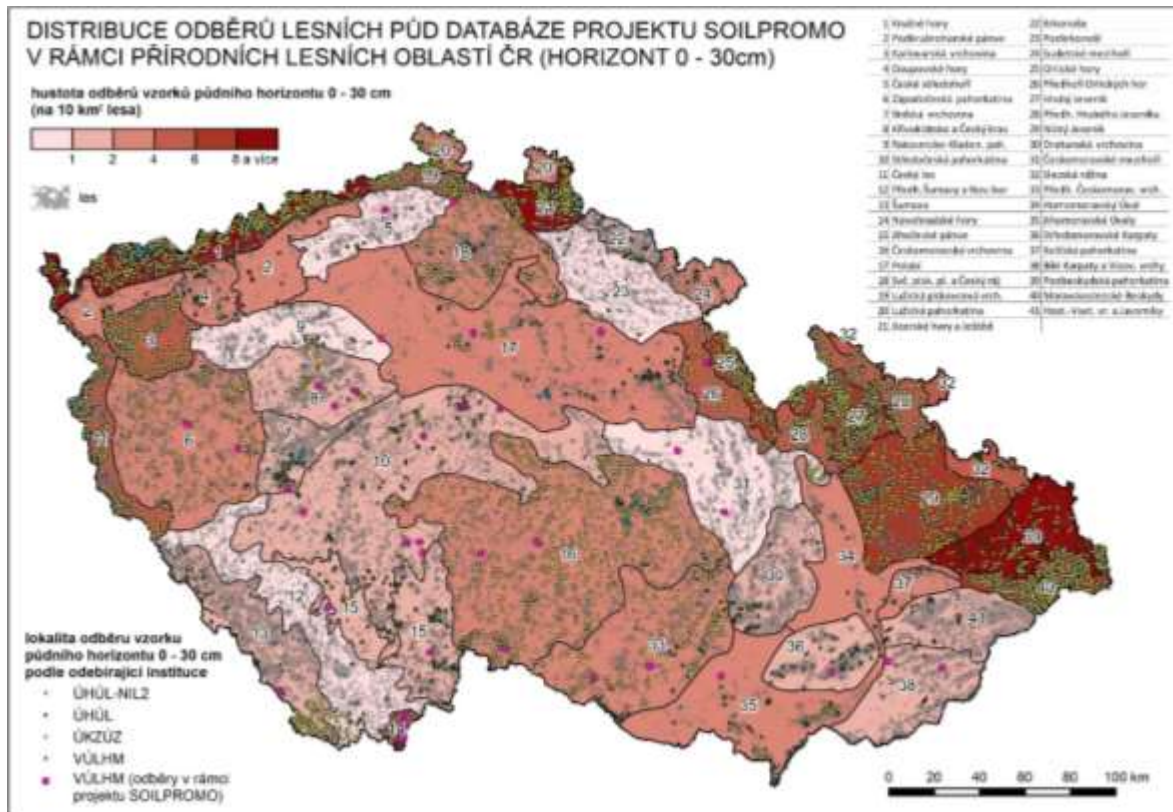
Obrázek 4: Plochy s analýzami půd v rámci plošného monitoringu ICP Forests – projekt BioSoil (2005 – 2008)

2.1.5 Agregovaná databáze vlastností lesních půd České republiky

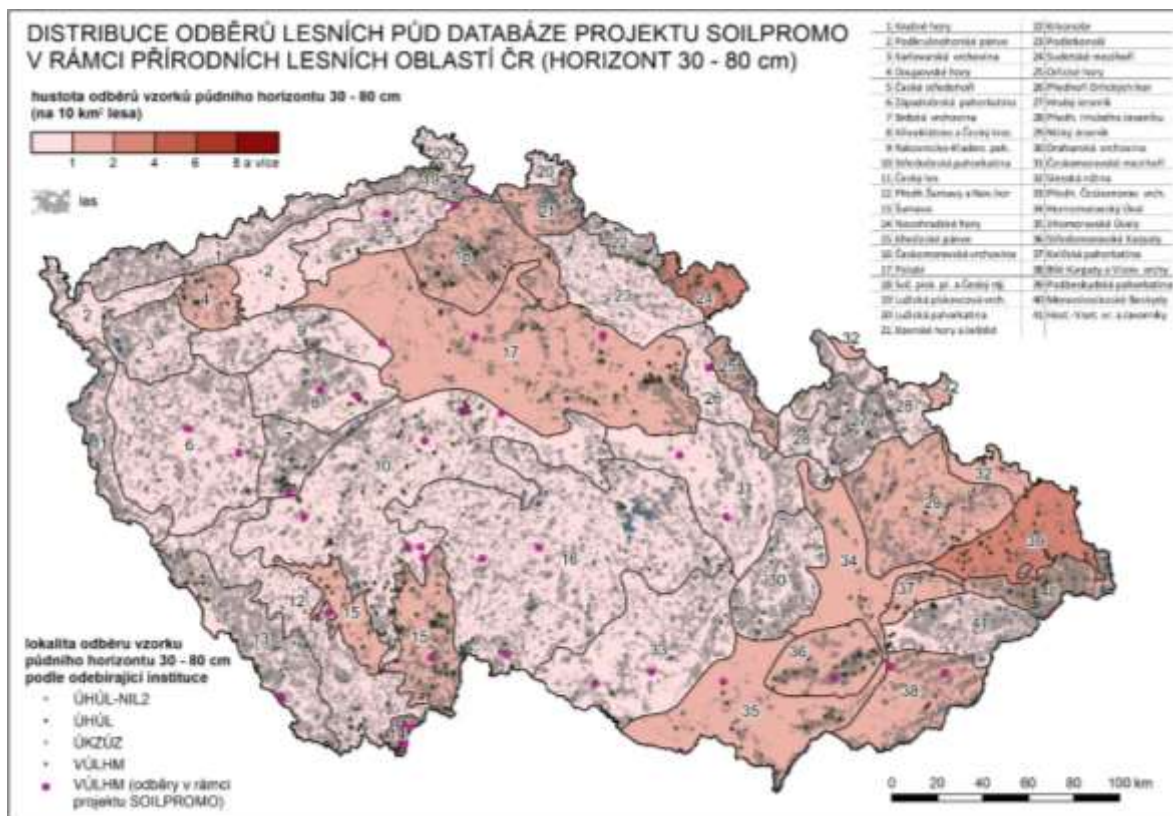
V rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum NAZV QK1920163 „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice“ byla soustředěna data o chemismu lesních půd z databází VÚLHM, ÚHÚL a ÚKZÚZ z půdních průzkumů v letech 2000 – 2019. Do databáze byla soustředěna data z půdních průzkumů popsanych v kapitolách 2.1.1 – 2.1.4 i data z řady dalších projektů VÚLHM, která prošla kontrolou kvality (Šrámek et al. 2020), přepočtem výsledků z různých metod chemických analýz (Čechmánková et al. 2021) a následně byla metodou vážených průměrů převedena na tři půdní vrstvy – nadložní organický horizont (FH), svrchní vrstvu minerální půdy v hloubce 0–30 cm (M03) a spodní vrstvu minerální půdy v hloubce 30–80 cm (M38). Pro plochy NIL2 není možno získat přesné souřadnice, v databázi jsou proto uvedené s „rozostřenými“ koordinátami, tedy s náhodným posunem středu plochy o 0–300 m. Databáze tak obsahuje údaje z 6.876 lokalit pro povrchový humus, 8.051 lokalit pro vrstvu 0–30 cm a 2.260 lokalit pro vrstvu 30–80 cm. Je patrné, že rozložení odběrů není rovnoměrné ani mezi jednotlivými půdními vrstvami, ani mezi jednotlivými přírodními oblastmi (obr. 5 – 7). V tabulce 1 pak uvádíme výhody a nevýhody jednotlivých průzkumů lesních půd z pohledu plošného hodnocení chemických vlastností lesních půd.



Obrázek 5: Distribuce odběrových míst a hustota odběrů pro svrchní organický horizont FH



Obrázek 6: Distribuce odběrových míst a hustota odběrů pro svrchní minerální půdu 0–30 cm



Obrázek 7: Distribuce odběrových míst a hustota odběrů pro svrchní minerální půdu 30–80 cm

Tabulka 1: Zjednodušený přehled výhod (+) a nevýhod (-) jednotlivých typů průzkumů pro územní hodnocení chemických vlastností lesních půd v České republice

Typologický průzkum	Národní inventarizace lesů	Průzkum půdních vlastností ÚKZÚZ	ICP Forests
+ hustá síť bodů + návaznost na historická data	+ hustá síť bodů + reprezentativní pokrytí	+ velmi hustá síť bodů + kvalitní laboratorní analýzy + odběry dle konstatních hloubek + zahrnuje i asimilační orgány dřevin	+ rovnoměrné pokrytí + kvalitní laboratorní analýzy + návaznost na starší průzkumy + metodická návaznost na zahraniční průzkumy
- nekompletní spektrum analýz - horší kvalita laboratorních analýz - nerovnoměrné pokrytí	- nedostupnost souřadnic - nekompletní spektrum analýz	- nerovnoměrnost pokrytí území ČR - nezahrnuje hlubší vrstvy půdy	- nedostatečná hustota pokrytí území ČR

2.2 Průzkumy lesních půd v dalších zemích střední Evropy

2.2.1 Spolková republika Německo

V Německu je půdní průzkum (Bodenzustandserhebung – BZE) navázán na plochy ICP Forests. Celoevropská síť ICP Forests, která zahrnuje body rastru 16 x 16 km, je zahuštěna na síť Národní inventarizace lesních půd v kroku 8 x 8 km. Tato síť zahrnuje asi 1900 odběrových míst. Dále probíhá průzkum půd společně s řadou dalších parametrů (zdravotní stav dřevin, depozice, meteorologie) na 68 plochách intenzivního monitoringu lesních ekosystémů (úroveň II), jejichž činnost je od roku 2010 ustavena federálním zákonem. První průzkum půd a výživy lesů v síti 8 x 8 km probíhal v letech 1987 – 1992, druhý v rámci programu BioSoil v letech 2006 – 2008 (Wellbrock et al. 2019). V některých spolkových zemích existují odchylky – např. v sousedním Sasku je síť odběrových míst zahuštěna na 4 x 4 km, přičemž druhý průzkum v síti 4 x 4 km probíhal v letech 2012 – 2014 (Jacob, Andreae 2018). Odběry se při plošném monitoringu řídí národním manuálem (BMELF 1994), odběry vzorků probíhají z půdní sondy ve středu plochy a z osmi satelitních odběrů ve vzdálenosti 10 m od sondy. Nadložní organická vrstva se odebírá zvláště pro horizonty L (opad), F (fermentační horizont) a H (humifikační horizont), pokud je jejich tloušťka větší než 1 cm. Minerální půda se odebírá podle konstantních hloubek z vrstev 0–5 cm, 5–10 cm, 10–30 cm, 30–60 cm a 60–90 cm. Na 68 plochách intenzivního monitoringu probíhají odběry i analýzy podle manuálu programu ICP Forests (viz kapitola 2.1.4).

- Půdní reakce: pH(H₂O), pH(KCl), ve druhém průzkumu i pH(CaCl₂)

- Obsah uhlíku: v průzkumu 1987-92 byla kromě elementární analýzy v některých spolkových zemích použita metoda mokrého nebo suchého spalování, v průzkumu BioSoil 2006-2008 probíhalo stanovení uhlíku pouze elementární analýzou
- Celkový obsah dusíku (N_{tot}): v průzkumu 1987-92 Kjeldahlovou metodou nebo elementární analýzou; v průzkumu BioSoil pouze elementární analýzou
- Celkový obsah síry elementární analýzou
- Výměnný (potenciálně přístupný) obsah K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Na, stanovený ve výluhu chloridem amonným, v půdách obsahujících karbonáty chloridem barnatým.
- Extrahovatelný (pseudototální) obsah P, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Na, Zn, Pb byl v průzkumu v letech 1987-92 byl analyzován v různých spolkových zemích celkem ve 4 typech půdního výluhu, které však neposkytovaly srovnatelná data, v průzkumu BioSoil tak byl jednotně používán pouze výluh lučavkou královskou.
- Celkový obsah Hg na analyzátoru AMA 254

Kromě půd jsou na plochách v rámci průzkumu odebírány a analyzovány vzorky asimilačních orgánů dřevin, aby bylo možno hodnotit vliv vývoje půdních vlastností na výživu dřevin. Další půdní průzkum v síti 8 x 8 km je plánován na období 2022 – 2024, na federální úrovni v síti 8 x 8 km, ve spolkové zemi Sasko v síti 4 x 4 km (ústní sdělení N. Wellbrock, H. Andreae).

2.2.2 Polská republika

V Polsku nebyl proveden žádný systematický monitoring lesních půd s výjimkou programu BioSoil realizovaného v letech 2005–2008. V roce 2017 byly opakovaně odebrány vzorky na 147 plochách monitoringu ICP Forests, při odběrech i analýzách byl dodržován manuál programu (Sztabkowski 2018). V nejbližší době se nepředpokládá další kolo půdního průzkumu, odběr na 147 výše uvedených lokalitách bude přicházet v úvahu v roce 2028 (ústní sdělení P. Lech).

2.2.3 Slovenská republika

Na Slovensku byl systematický průzkum půd realizován v rámci programu ICP Forests – obdobně jako v České republice nejprve v průběhu devadesátých let dvacátého století a následně v letech 2005 – 2008 v rámci projektu BioSoil. Průzkum probíhal na 112 plochách plošného monitoringu v pravidelné síti 16 x 16 km i na plochách intenzivního monitoringu lesních ekosystémů. Odběrové metody i metody analýz plně odpovídaly manuálu ICP Forests (kap. 2.1.4) (Pavlanda et al. 2009, Pavlanda et al. 2011). Vzhledem k nedostatečnému pokrytí území SR byly ve dvou cyklech provedeny i odběry půdních vzorků – zejména pro kvantifikaci zásob uhlíku – i na části ploch národní inventarizace lesů. V letech 2005–2006 proběhly odběry půd v síti 4 x 4 km, v letech 2015–2016 v síti 4 x 8 km. Odběry zahrnovaly pouze svrchní vrstvy půdy: nadložní organický horizont; minerální vrstvu 0–10 cm a minerální vrstvu 10–20 cm. V prvním cyklu byl rozsah analýz omezený pouze na pH, organický uhlík a celkový dusík, v letech 2015–2016 proběhly ještě analýzy výměnných kationtů. Metody analýzy byly i v tomto případě převzaty z manuálu programu ICP Forests.

Další půdní průzkum na plochách národní inventarizace lesů nejsou v současné době plánovány. Opakování odběrů v síti ICP Forests je plánováno na roky 2021 – 2024. V roce 2021 proběhla testovací fáze odběrů na cca 20% ploch (ústní sdělení P. Pavlanda).

2.2.4 Maďarsko

V Maďarsku je monitoring lesních půd založen na národní síti ochrany lesů, která je zahuštěním sítě ICP Forests. První fáze půdního průzkumu probíhala na plochách v síti 4 x 4 km v 90. letech 20. století. Vzorky byly odebrány na přibližně 1.200 ploch. Odběrové metody se odlišovaly od metod programu ICP Forests – vzorky byly odebírány podle genetických horizontů v celém půdním profilu až na mateční horninu, případně do hloubky 200 cm. V případě, že byla mocnost horizontů větší než 50 cm, byly pro odběry rozděleny do dvou vrstev. Analytické metody odpovídaly manuálu programu ICP Forests. Odběry v rámci programu BioSoil byly provedeny v letech 2005 – 2008 na plochách sítě ICP Forests 16 x 16 km (78 ploch). Odběry v této síti byly zopakovány v roce 2020. Další průzkumy lesních půd (kromě opakování odběrů na plochách BioSoil) nejsou v současné době plánovány (ústní sdělení K. Nagy).

2.2.5 Rakousko

V Rakousku byl systematický odběr půd proveden poprvé v letech 1987 – 1990 v síti 8,7 x 8,7 km (529 ploch), která představuje výběr z bodů Národní inventarizace lesů a zároveň zahuštěnou sítí ICP Forests. Odběry probíhaly v návaznosti na program ICP Forests s drobnými odlišnostmi. Na každé ploše byly vykopány tři půdní sondy, ze kterých byly odebírány směsné půdní vzorky pro jednotlivé vrstvy. Z nadložního humusu nebyl odebírán horizont opadu (L), pouze fermentační a humifikační horizont (FH). Odlišovaly se také odebírané půdní vrstvy, které byly pro minerální půdu následující: 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm a 30-50 cm. Ve vzorcích byly analyzovány C_{org} , N_{tot} , přístupné obsahy prvků ve výluhu $BaCl_2$ a pseudototální obsahy prvků ve výluhu lučavkou královskou. Dále byly provedeny analýzy na 20 plochách intenzivního monitoringu, které zcela sledovaly manuál programu ICP Forests (Blum et al. 1999). Projekt BioSoil v letech 2005 – 2008 byl realizován v síti 16 x 16 km (139 ploch), což byla podmnožina ploch z prvního půdního průzkumu. Zároveň byly odebrány vzorky z 16 ploch intenzivního monitoringu ICP Forests. Odběry na těchto 16 plochách jsou opakovány v období 2021-2022 (ústní sdělení B. Kitzler).

2.2.6 Slovinská republika

Program BioSoil byl realizován v letech 2005 – 2006 na plochách v síti 16 x 16 km. V roce 2007 pak byly doplněny odběry o dalších 150 ploch ze sítě 8 x 8 km. Na těchto plochách bylo analyzováno pouze pH, celkový obsah uhlíku a objemová hmotnost v hloubce do 30 cm. Metody analýz odpovídaly manuálu ICP Forests. V současné době je připravován projekt (2022–2023), ve kterém by měly proběhnout analýzy v síti 8 x 8 km (část sítě Národní inventarizace lesů). Kromě pravidelné sítě by měl projekt zahrnovat rovněž plochy v mokřadech a v intravilánech měst. Analýzy budou zaměřeny primárně na zásobu uhlíku, vzorky budou kompletně archivovány, aby bylo možné doplnit data o dalších chemických parametrech (ústní sdělení P. Simončič).

2.2.7 Švýcarsko

První plošný průzkum půd proběhl v 80. letech 20. století v rámci sítě Národní inventarizace lesů (NFI) v kroku 1 x 1 km. Odebírány byly pouze svrchní vrstvy půd. V 90. letech proběhl odběr vzorků v síti 8 x 8 km. Síť ICP Forests je ve Švýcarsku součástí sítě NFI, odběry tedy zahrnovaly i tyto plochy v síti 16 x 16 km. V devadesátých letech rovněž proběhly odběry na plochách intenzivního monitoringu. Projekt BioSoil v letech 2005 – 2008 byl realizován i ve Švýcarsku, přestože není součástí EU (rozpočet nebyl

hrazen z prostředků Evropské komise). Od roku 2021 je realizován půdní průzkum na plochách v síti 8 x 8 km, který zahrnuje i plochy ICP Forests. Metody odběru i analýz jsou stejné jako v 90. letech, je však maximálně zajištěna srovnatelnost s metodami ICP Forests. Průzkum by měl probíhat do roku 2025. V letech 2022 – 2025 je také plánován odběr a analýzy půdních vzorků na plochách intenzivního monitoringu ICP Forests. Kromě těchto průzkumů lesních půd probíhaly v minulosti další kampaně půdních průzkumů, např. národní půdní průzkum (NEBO) nebo půdní průzkumy organizované jednotlivými kantony (ústní sdělení P. Waldner).

Tabulka 2: Přehled systematických průzkumů lesních půd v některých zemích střední Evropy

	Německo	Polsko	Slovensko	Maďarsko	Rakousko	Slovinsko	Švýcarsko
	1987 - 1992 státy bývalé NDR v 90. letech síť 8x8 km	90. léta síť 16x16 km	90. léta síť 4 x 4 km odběry dle genetických horizontů	1987-1990 529 ploch síť 8,7 x 8,7 km, ICP Forests + NIL, modifikace odběrových vrstev	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	80. léta NIL, 1x1 km, povrchové horizonty; 90. léta ICP Forests + NIL 8x8 km
1. průzkum							
2. průzkum (BioSoil)	2005 - 2008 síť 8x8 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II	2005 - 2008 síť 16x16 km + úroveň II
další průzkum / modifikace	2012 - 2014 některé země (Sasko) zahuštění síť na 4x4 km	2017 - 2018 147 ploch II. úroveň monitoringu ICP Forests; metody odběru i analýz dle manuálu	2005-2006 síť 4x4 km, 2015-2016 síť 4x8 km obojí pouze povrchové horizonty, pH, C _{tot} přístupné kationty			2007 síť 8x8 km pouze povrchové horizonty do 30 cm, pH, C _{tot} , obj. hmotnost	
3. průzkum / plán	2022 - 2024 síť 8x8 km (4x4 km); modifikace půdních vrstev; základ metod ICP Forests, + přístupný P v citrátu, +výluh HNO ₃	zatím neplánován; možné opakování II. úrovně ICP Forests v letech 2027-2028	2021-2024 síť 16x16 km metody ICP Forests	2020 síť 16x16 km metody ICP Forests	2021-2022 opakování analýz na plochách II. úrovně	2022-2023 síť 8x8 km, primárně zásoby uhlíku	2021-2025 ICP Forests + NIL 8x8 km, metody jako v 90. letech + harmonizace s manuálem ICP Forests 2022-2025 II. úroveň ICP Forests

2.3 Návrh postupu v průzkumech lesních půd v České republice

Odběry i chemické analýzy půd – a lesních půd zejména – jsou náročné na čas, kvalifikaci osob, které je zajišťují, a v neposlední řadě také na finanční prostředky. Z toho vyplývá nutný kompromis mezi extenzivností, tedy hustotou pokrytí sledovaného území, a intenzitou, tedy komplexností a kvalitou zjišťovaných parametrů. Čím podrobnější odběr vzorků a čím širší spektrum aplikovaných analýz v rámci daného rozpočtu či časového rámce naplánujeme, tím méně lokalit lze vzorkovat. Přitom

současné požadavky na půdní průzkumy jsou poměrně pestré. Zajímá nás například role lesních půd v ekosystémové bilanci uhlíku, změny obsahu živin ve vztahu k volbě dřevin i postupům lesnického managementu, pokračující acidifikace či naopak regenerace půd po dlouhodobém imisním znečištění, změny obsahu zátěžových prvků, biodiverzita půdních organismů, fyzikální vlastnosti lesní půdy ve vztahu k zadržování vody, erozi i její zhutňování mechanizací. Většinu těchto parametrů je nutné popsat jak v čase, tak v prostoru. Získávané parametry musí být tedy pokud možno reprezentativní pro studované území, dostatečně komplexní pro zodpovězení zadaných otázek a zjišťované dostatečně robustními metodami, které minimalizují možnosti chyb a poskytují prostor pro identifikaci trendů. Jak vyplývá z kapitoly 2.1, průzkumům lesních půd v České republice je věnována značná pozornost. Vzhledem k jejich nízké provázanosti však není možné zcela využít potenciál získávaných dat. Budoucí systém získávání dat o lesních půdách by se dle našeho názoru měl opírat o dvě úrovně – o agregovanou databázi lesních půd, která by průběžně sumarizovala informace ze všech probíhajících půdních průzkumů a poskytovala informaci o základních půdních parametrech v husté síti bodů, a o Komplexní monitoring lesních půd, který by na omezeném počtu lokalit zajišťoval pravidelné podrobné sledování půdních parametrů, umožňoval hodnocení jejich vývoje v čase a pomáhal naplňovat mezinárodní závazky ČR.

2.3.1 Agregovaná databáze lesních půd

Jak bylo popsáno v kapitole 2.1.5, Agregovaná databáze lesních půd vznikla v rámci projektu NAZV QK1920163 jako podklad pro tvorbu modelů a následně map lesních půd. Byla v ní shromážděna data půdního chemismu z typologického průzkumu, Národní inventarizace lesů (obojí ÚHÚL), průzkumů výživy lesa (ÚKZÚZ), monitoringu ICP Forests a výzkumných projektů VÚLHM za roky 2000-2019, která byla převedena do vrstev nadložního humusu (FH) svrchní minerální půdy (0–30 cm) a hlubších minerálních horizontů (30–80 cm). U dat Národní inventarizace lesů neobsahuje databáze přesné souřadnice. V současné době je zpřístupnění (vstupních) dat ze strany ÚHÚL a ÚKZÚZ vázáno pouze na využití v rámci programu NAZV. Navrhujeme:

- **Agregovanou databázi nadále provozovat jako otevřenou databázi přístupnou i třetím subjektům**
- **Pravidelně v ročním či pětiletém intervalu doplňovat databázi daty z nových průzkumů**

Pro tento postup je nutný souhlas Ministerstva zemědělství, které je zřizovatelem všech poskytovatelů dat a ve většině případů také formálním vlastníkem dat. Dále je nutná dohoda všech tří poskytujících organizací (ÚHÚL, ÚKZÚZ a VÚLHM), zajištění správy databáze a systému poskytování dat třetím osobám. Poskytování dat by bylo vhodné řešit ve dvou modulech – i) zjednodušené verzi, která by obsahovala základní půdní parametry (pH, BS, obsahy hlavních živin) a byla využitelná pro laické uživatele – správce a vlastníky lesů, státní správu, veřejnost a ii) v kompletní verzi, která by obsahovala veškeré parametry (pro agregované horizonty) s podrobnějšími informacemi o odběrových a analytických metodikách pro odborné subjekty. Tento postup zvýší dostupnost dat pro vlastníky a správce lesů (data jsou získávána na jejich majetcích), zvýší povědomí o problematice lesních půd jak v rámci odborné, tak i laické veřejnosti a v neposlední řadě umožní komplexnější využití dat v rámci různých studií prováděných nezávislými subjekty.

Dosavadní využití Agregované databáze pochopitelně ukázalo problémy s nedostatečnou srovnatelností dat, která je logicky způsobena odlišnými odběrovými i analytickými metodami. Sladění postupů v různých průzkumech je vždy komplikované, nejen z hlediska návaznosti na předchozí kola

průzkumu, ale i z hlediska naplnění cílů, které jsou od toho či onoho šetření očekávány. Z našeho pohledu by bylo užitečné diskutovat pro příští půdní průzkumy alespoň o následujících možnostech:

v rámci Národní inventarizace lesů

- **Nahradit/doplnit odběry podle genetických horizontů odběry podle konstantních hloubek**

Odběry podle genetických horizontů jsou základem půdní diagnostiky a mají opodstatnění v typologickém průzkumu. V plošných půdních šetřeních však nejsou využívány kvůli některým nedostatkům – pro odběry je potřeba vyšší kvalifikace a i při vysoké kompetenci odebírajících pracovníků mohou být rozdíly ve stanovení hranic jednotlivých horizontů nezanedbatelné. V některých případech jsou konkrétní horizonty příliš úzké (typicky organominerální horizont A) a je obtížné z nich odebrat vzorek, nebo naopak příliš mocné – v takových případech pak často není odebrán vzorek reprezentativně. Další komplikace vznikají vnášením nepřesností při přepočtech na konstantní hloubky, které jsou nutné pro společné hodnocení jednotlivých parametrů v prostoru (srovnání více lokalit) či v čase (srovnání časových řad půdních odběrů) a často i pro hlášení půdních parametrů do mezinárodních databází (zásoba uhlíku v půdě do 30 cm). V rozsáhlých plošných průzkumech půd ve střední Evropě (viz tab. 2) není odběr podle genetických horizontů používán.

- **Doplnit elementární analýzu uhlíku a dusíku**

V rámci NIL2 byly zjišťovány obsahy oxidovatelného uhlíku C_{ox} a celkového dusíku N_{tot} metodou podle Dumase. Pro stanovení celkové zásoby v lesních půdách doporučujeme doplnit rovněž stanovení celkového uhlíku C_{tot} elementární analýzou. V takovém případě by bylo vhodné rovněž celkový obsah dusíku stanovit elementární analýzou, která je v současné době široce používaná (na rozdíl od metody dle Dumase). Výsledky by tak získaly lepší srovnatelnost s dalšími šetřeními v národním i mezinárodním měřítku.

- **Změnit metodu výluhu pro stanovení pseudototálních obsahů prvků nebo provést srovnání s běžnými metodami**

V rámci NIL2 byly obsahy pseudototálních prvků stanoveny ve výluhu 20% HCl. Tato metoda není dle našich poznatků v jiných průzkumech lesních půd používána. Doporučujeme přechod na výluh lučalkoi královskou či HNO_3 , nebo alespoň provést srovnávací studii o výtěžnosti této metody ve srovnání se standardními postupy.

- **Posílit systém zajištění a kontroly kvality v laboratořích**

V rámci kontrol půdní databáze NIL2 bylo zjištěno vyšší procento podezřelých hodnot než v datech ICP Forests či datech ÚKZÚZ. Doporučujeme zvážit posílení kontroly kvality např. formou účasti v kruhových testech, pravidelným používáním referenčních vzorků apod.

V rámci průzkumu půdních vlastností lesních pozemků a vlastností vegetačních orgánů lesních dřevin prováděného ÚKZÚZ

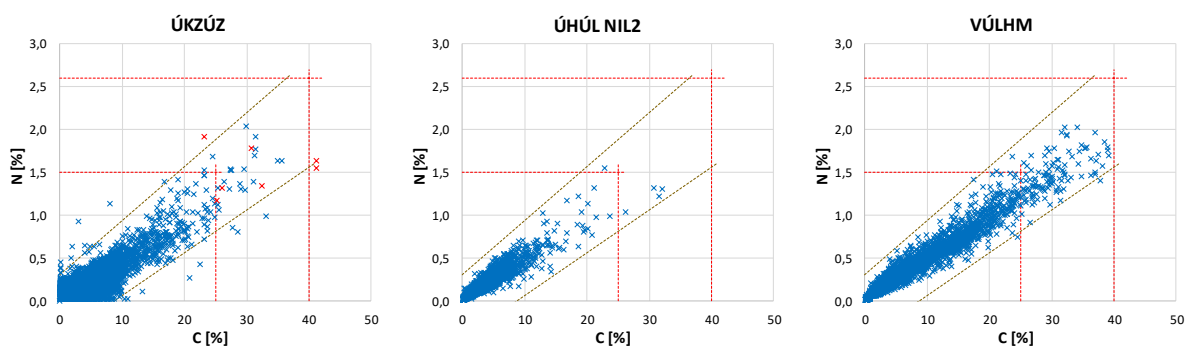
- **Systematizovat síť odběru vzorků**

Současný průzkum ÚKZÚZ je limitován pouze na vybrané lesní přírodní oblasti (PLO), přičemž výběr odběrových míst není – dle našich informací – podřízen systematickému ani náhodnému výběru. Není ošetřeno ani pravidelné opakování odběrů, takže některé přírodní oblasti, které byly vzorkovány v 90. letech, se do našeho výběru s daty z let 2000 – 2019 vůbec nedostaly. Jde například PLO v jižní části karpatských pohoří 37: Kelečská pahorkatina, 38: Bílé Karpaty a Vizovické vrchy a 41: Hostýnsko –

Vsetínské vrchy a Javorníky, které jsou ovšem zahrnuty v publikaci shrnující data z let 1996–2011. Vznikají tak ostré hranice mezi hustě vzorkovanými PLO a PLO s výrazně nižším množstvím dat (obr. 4), které bohužel negativně ovlivňují i parametrizaci matematických modelů a tím i přesnost výsledných map. Pro další postup tak doporučujeme systematizovat síť odběru vzorků tak, aby pokrývala rovnoměrně celou rozlohu lesů v České republice a aby byl zajištěn opakovaný odběr vzorků na těchto lokalitách přinejmenším v intervalu 15 let. Jako optimální bychom navrhovali propojení takovýchto lokalit se sítěmi, kde jsou shromažďovány další informace o stavu lesů – odběrová místa je možné rozvrhnout tak, aby např. doplňovala stávající odběrovou síť na plochách NIL či ICP Forests. Dle plánovaného rozsahu analýz je rovněž možné zvážit zahrnutí odběrů vzorků z hlubších vrstev půdy, a to i za cenu odpovídajícího snížení celkového počtu odběrových míst.

- **Doplnit elementární analýzu uhlíku a dusíku**

V současné době jsou obsahy uhlíku a dusíku stanovovány metodou NIRS, která umožňuje rychlé a finančně nenáročné zjištění obsahu těchto prvků. Přestože srovnání této metody s elementární analýzou vykazuje vysokou závislost i shodné střední hodnoty, pro jednotlivé případy není metoda zcela přesná – jde spíše o odhad hodnoty, než o její stanovení. Projevuje se to i v grafickém rozložení bodů výsledků analýz ÚKZÚZ ve srovnání s ÚHÚL a VÚLHM (obr. 8). Domníváme se, že při významu těchto parametrů pro hodnocení kvality lesních půd a vzhledem k analytickým možnostem ÚKZÚZ by bylo velmi vhodné tento typ analýzy doplnit.



Obrázek 8: Výsledky srovnání obsahů uhlíku a dusíku ve svrchních vrstvách minerální půdy. Je patrné, že metoda NIRS používaná ÚKZÚZ dává širší spektrum rozptylu hodnot zejména při nižších koncentracích.

Doporučení pro odběry vzorků a analýzy v rámci sítě ICP Forests jsou shrnuty v následující kapitole 2.3.2.

Poznámka k používaným výluhům pro stanovení prvků

Pro stanovení výměnných – potenciálně přístupných – prvků v minerální půdě používá VÚLHM extrakci v chloridu barnatém, ÚHÚL a ÚKZÚZ činidlo Mehlich III. Tato extrakční činidla dávají různou výtěžnost (nejbližší je u vápníku). Přijatelná převoditelnost je možná u Ca, K, Mg, Mn (Čechmánková et al. 2021) a také u fosforu, který je ve VÚLHM stanovován ve výluhu HCl+H₂SO₄ (Čechmánková, zatím nepublikováno). U dalších prvků sorpčního komplexu (Al, Fe, Na) nejsou výsledky srovnatelné. V žádném ze zahraničních průzkumů lesních půd uvedeném v tab. 2 není výluh v činidlo Mehlich III

používán, převládají výluhy v BaCl_2 a NH_4Cl (dříve ještě citrátové výluhy, Fe a Mn také v oxalátovém výluhu), které jsou poměrně dobře srovnatelné a dobře charakterizují celý sorpční komplex. Výluh v Mehlich III je tedy přijatelný pro stanovení základních živin, další parametry jsou obtížně srovnatelné v mezinárodním měřítku.

Pseudototální obsahy prvků jsou v každé instituci stanovovány v odlišném výluhu. ÚHÚL používá extrakci v kyselině chlorovodíkové, ÚKZÚZ v kyselině dusičné a VÚLHM v lučavce královské. Převoditelnost mezi HNO_3 a lučavkou královskou je omezená, v zásadě je možná pro Ca, P, Mn a Pb (Čechmánková et al. 2021). Pro ostatní prvky je závislost nedostatečná. Pro srovnání HCl s jinými typy výluhů nemáme data. Mezinárodní průzkumy lesních půd uvedené v tabulce 2 používají pro stanovení pseudototálních živin ve většině případů extrakci v lučavce královské, v některých případech (SRN) HNO_3 . Částečnou mezinárodní srovnatelnost tedy poskytují obě metody.

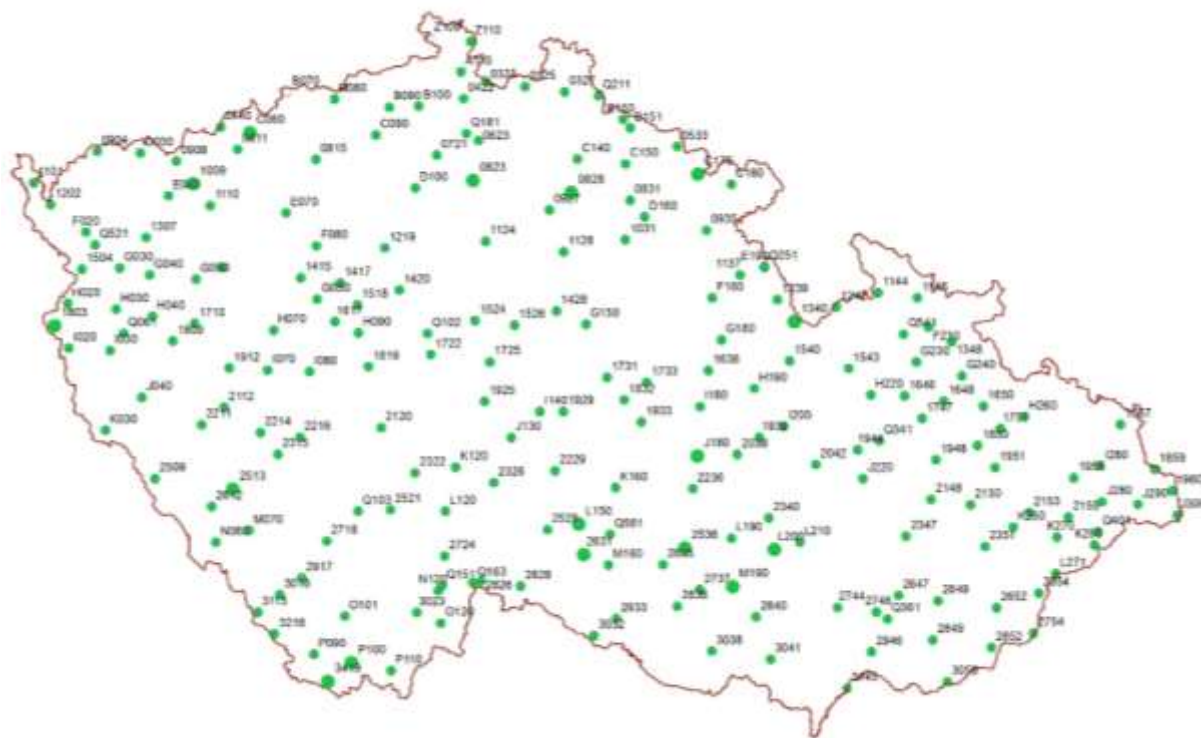
2.3.2 Komplexní monitoring lesních půd

Systém 221 ploch

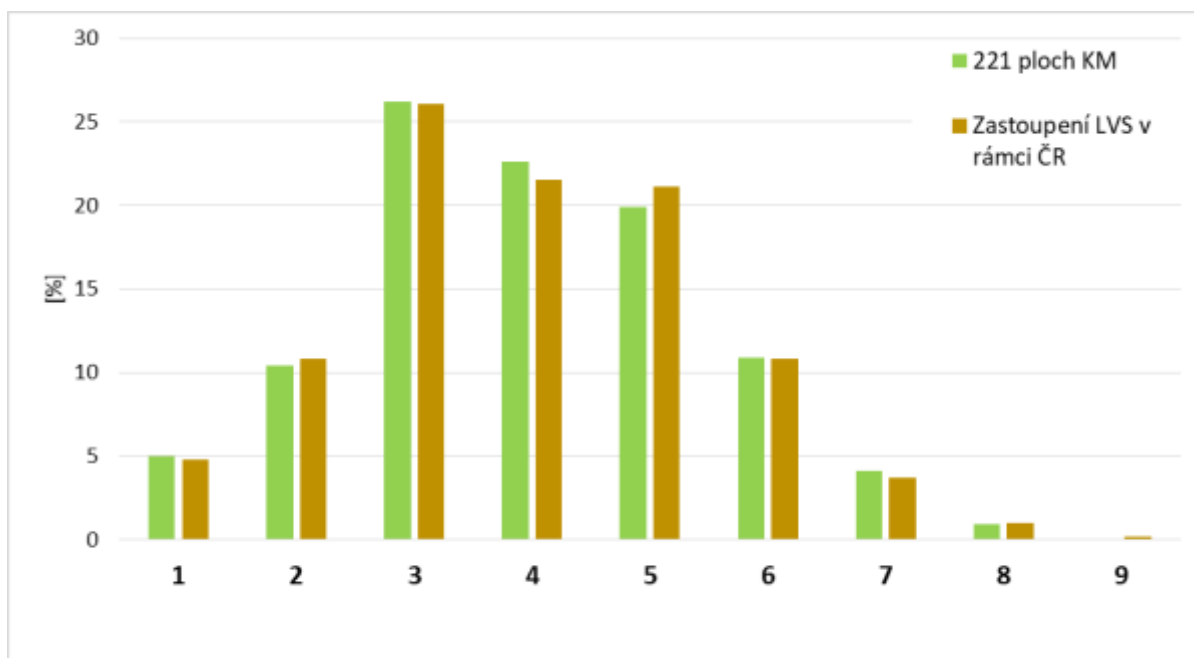
Jak vyplývá z tabulky 2, podrobný monitoring vlastností lesních půd je ve většině středoevropských zemí založen na opakované analýze půd na plochách ICP Forests v síti 16 x 16 km, případně 8 x 8 km. Hustší síť umožňuje lépe popsat variabilitu půdního prostředí, zajištění odběrů a analýz je však pochopitelně nákladnější. Pro síť komplexního monitoringu lesních půd navrhujeme využít síť ploch ICP Forests, pro které jsou již dostupná data z minulosti:

- Plochy ICP Forests, které byly součástí projektu BioSoil (146 ploch)
- Plochy intenzivního monitoringu lesních ekosystémů (16 ploch)
- Další plochy ICP Forests, na kterých jsou dostupné analýzy půd z let 1995-96 či z pozdějších odběrů (59 ploch)

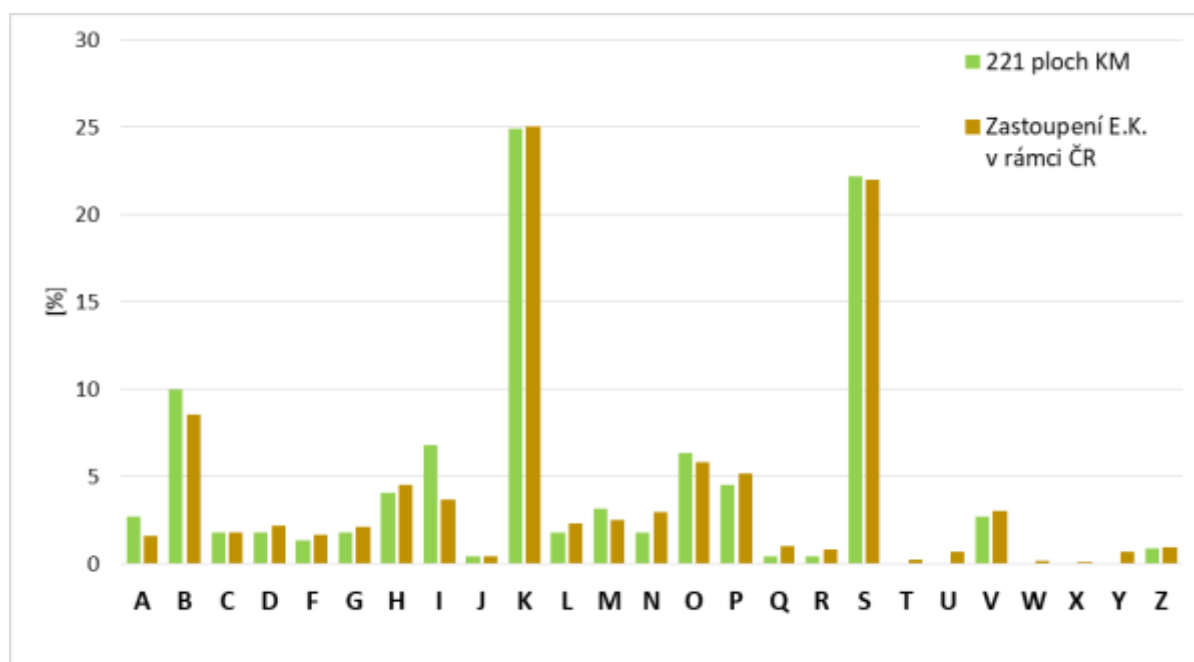
Celkem jde o systém 221 ploch s návazností na mezinárodní aktivity s již existujícími historickými daty a s pravidelným hodnocením zdravotního stavu porostů, s hustotou 1 plochy na 121 km^2 , což by při pravidelném rozložení představovalo síť 11 x 11 km (obr. 9). Vybrané plochy jsou reprezentativně rozloženy jak v lesních vegetačních stupních (obr. 10), tak v jednotlivých edafických kategoriích (obr. 11). Lze konstatovat, že i zastoupení dřevin v zásadě odpovídá druhové skladbě lesů v České republice. Tato situace se ovšem v současné době kvůli kůrovcové kalamitě velmi rychle mění. Vzhledem k rovnoměrnému rozložení ploch v rámci lesního půdního fondu České republiky je velmi pravděpodobné, že i změna druhové skladby na nově obnovovaných plochách bude dostatečně podchycena.



Obrázek 9: Návrh sítě Komplexního monitoringu lesních půd opírajícího se o 221 ploch programu ICP Forests



Obrázek 10: Relativní rozložení ploch Komplexního monitoringu lesních půd (KM) v rámci lesních vegetačních stupňů v porovnání se zastoupením lesních vegetačních stupňů v ČR



Obrázek 11: Relativní rozložení ploch Komplexního monitoringu lesních půd (KM) v rámci edafických kategorií v porovnání se zastoupením edafických kategorií stupňů v ČR

Odběry 2023–2025, vyhodnocení 2026–2027

Odběrovou kampaň navrhujeme pro období 2023–2025, což se překrývá s odběrovou kampaní ve většině střeoevropských zemí. Zároveň to umožňuje důkladnou přípravu – kodifikaci metod, proškolení odběrových týmů, přípravu laboratoří a zajištění financování v průběhu roku 2022. Dokončení chemických analýz, detailní vyhodnocení půdního průzkumu, hodnocení vývoje půdních vlastností a publikace výsledků a jejich uvolnění do veřejné databáze (viz kapitolu 2.3.1.) by měla probíhat v letech 2026 – 2027, celkem by tedy šlo o pětiletou kampaň. Opakování takového půdního průzkumu předpokládáme po dalších deseti letech. U odběrů na plochách intenzivního monitoringu lesních ekosystémů doporučujeme udržet pětiletý interval.

Mezinárodně kompatibilní odběrové i analytické metody

Je zcela zřejmé, že základ odběrových i analytických metod by se opíral o manuál programu ICP Forests (Cools, De Vos 2020) což umožní jednak srovnání s předchozími průzkumy v síti ICP Forests, jednak snadnou porovnatelnost (a možnost použití dat) v mezinárodním měřítku. Oproti minulým průzkumům v síti ICP Forests budou navrženy některé odchylky, buď za účelem zefektivnění činností, nebo pro zvýšení využitelnosti získaných dat. Tyto změny by neměly narušit kompatibilitu výsledků se zahraničními průzkumy:

- **Odběry vzorků humusu pro stanovení objemové hmotnosti z 5 míst na každé ploše** – při hodnocení dat Agregované databáze se stanovení objemové hmotnosti a zásoby humusu ukázalo jako klíčový parametr nejen pro stanovení zásoby uhlíku, ale i dalších prvků v nadložní organické vrstvě lesních půd. Tento parametr zároveň vykazuje na ploše vysokou variabilitu a je nutné věnovat mu zvýšenou pozornost.

- **Odběry směsných vzorků pro nadložní organickou vrstvu a minerální vrstvy do hloubky 40 cm** – v rámci projektu BioSoil byly odebírány jednak vzorky z půdní sondy, jednak směsné vzorky z šesti míst v rámci monitorační plochy pro pokrytí variability půdního prostředí. Pro každou plochu tak existovaly dvě sady analýz. Na plochách intenzivního monitoringu lesních ekosystémů byly kromě vzorků ze sondy odebírány dokonce 3 sady směsných vzorků. V rámci nového průzkumu navrhujeme na plochách systematického monitoringu odebírat pouze jednu sadu vzorků, přičemž pro nadložní organickou vrstvu a minerální vrstvy do 40 cm budou odebrány směsné vzorky z 5 míst (sonda + 4 vrtané odběry v rámci plochy), pro hlubší vrstvy půdy budou odebrány pouze vzorky z půdní sondy. Významně se tak sníží množství analýz a zároveň zůstane v rámci plochy pokryta variabilita svrchních půdních vrstev. Na plochách intenzivního monitoringu lesních ekosystémů doporučujeme současný systém odběrů zachovat.
- **Doplnění odběrů z více vrstev půdy** - manuál ICP Forests předpokládá odběry z konstantních vrstev půdy 0–10 cm, 10–20 cm, 20–40 cm a 40–80 cm. Některé organizace ovšem vyžadují předávání dat v jiných vrstvách. Pokyny Mezivládního panelu pro změnu klimatu (IPCC) doporučují pro hodnocení a hlášení zásob půdního uhlíku hloubku 0–30 cm (IPCC 2006). Vzhledem k tomu, že podstatné zásoby uhlíku jsou uloženy i v hlubších vrstvách půdy, jsou pro půdní průzkumy doporučeny odběry i z hlubších vrstev půdy (FAO 2019, Smith et al. 2019), které mohou být ještě efektivně ovlivňovány působením člověka, např. 30–100 cm. Data pro požadované vrstvy lze přepočítat, nicméně výsledky pro konkrétní lokality mohou obsahovat i významné odchylky (Šrámek, Fadrhonsová 2022?). To zohledňují např. i metody odběrů v SRN, které (s výjimkou ploch intenzivního monitoringu) používají jiné hranice odběrových vrstev. Z tohoto důvodu navrhujeme rozdělit odběrovou vrstvu 20 – 40 cm na dvě (20–30 cm a 30–40 cm) a zahrnout do odběru i hlubší vrstvy půdy (80–100 cm, resp. 80–120 cm), pokud se na dané lokalitě vyskytují.
- **Analýza pouze celkového (pseudototálního) obsahu prvků v nadložním humusu** – byt to manuál ICP Forests mezi povinnými parametry nevyžaduje, byly v minulých průzkumech v organických horizontech analyzovány jak celkové, tak výměnné obsahy prvků. Z hlediska možné interpretace to považujeme za nadbytečné.
- **Zvýšená pozornost zjišťování objemové hmotnosti půdy** – v minulých průzkumech byla v minerální půdě objemová hmotnost stanovována pomocí pedotransferových funkcí. Vzhledem k významu tohoto parametru pro výpočty zásob a modelování půdních vlastností bude věnována zvýšená pozornost exaktnímu zjištění této vlastnosti. V podmínkách, které to umožňují, budou odebírány objemové vzorky do Kopeckého válečku.
- **Zajištění fotografické dokumentace** – zatímco z půdního průzkumu v letech 1995–96 byla pořizována kvalitní fotografická dokumentace půdních sond, v průzkumu v rámci projektu BioSoil nebyly fotografie systematicky pořizovány. Vzhledem k dynamické situaci s vrcholící kůrovcovou kalamitou, která již řadu ploch postihla, považujeme za důležité při odběrech pořizovat fotografickou dokumentaci půdního profilu i stavu porostu na ploše a uchovat tyto informace v databázi.

Souběžné analýzy asimilačních orgánů

Dobrý stav lesních půd je předpokladem zajištění výživy lesních porostů a udržitelné bilance živin v lesních ekosystémech. V České republice se na podstatné části území pohybujeme na přirozeně spíše chudých a kyselých půdách, které byly navíc dlouhodobě zatěžovány kyselou depozicí a stále jsou ovlivňovány nadměrnou depozicí dusíku. Poměrně častý je nedostatek bazických kationtů, který se

může projevovat v nedostatečné výživě a v extrémních případech i v narušeném zdravotním stavu lesních porostů (např. Novotný et al. 2020). V Evropě je navíc v současné době pozorován trend poklesu výživy fosforem v lesních porostech (Talkner et al. 2015). Za této situace jsou extrémně cenné souběžné informace o chemických vlastnostech lesních půd a výživě lesních dřevin v různých věkových stupních. Informace o výživě dřevin ve formě analýz listoví je rovněž požadována Směrnicí NEC EP (2016/2284). Souběžné odběry asimilačních orgánů na plochách ICP Forests mohou tyto informace poskytnout. Odběry a analýzy budou probíhat podle manuálu programu ICP Forests (Rautio et al. 2020).

Možnosti doplnění dalších parametrů, archivace vzorků

Rozsáhlý a komplexní průzkum lesních půd bude vhodné doplnit sledováním dalších půdních parametrů. Jednou z potenciálních možností je některá z metod totální analýzy, která je vhodná jednak pro určení skutečné celkové zásoby prvků v půdách a jednak pro parametrizaci modelů zvětrávání. Je také možné uvažovat o podrobnějších analýzách těžkých kovů a zátěžových prvků ve svrchních horizontech lesních půd (Borůvka et al. 2015). Dále by bylo přinejmenším pro svrchní horizonty vhodné doplnit rovněž rozbor biologických vlastností lesních půd. Je zřejmé, že naplnění těchto dalších analýz není realizovatelné v rámci jednoho pracoviště a že je v tomto směru nutná širší spolupráce s dalšími institucemi. V současné době již byla navázána komunikace např. s Mikrobiologickým ústavem AV ČR a některými univerzitními pracovišti. V každém případě se počítá s dlouhodobou archivací všech odebraných vzorků, aby bylo možné v budoucnosti doplnit ještě některé další potřebné analýzy.

3 SROVNÁNÍ NOVOSTI POSTUPŮ

Dosavadní postupy při průzkumu lesních půd v České republice jsou podrobně popsány v kapitole 2.1. Navrhovaný systém není jejich negací, naopak se snaží o maximální využití existujících dat a harmonizaci postupů. Kombinace využití dat ze současných průzkumů v Agregované databázi a zajištění pravidelného průzkumu v rámci ploch ICP Forests zajistí existenci kvalitních a harmonizovaných dat, která budou na jedné straně zajišťovat dostatečnou prostorovou hustotu odběrů (NIL, ÚKZÚZ), na druhou stranu i dostatečnou komplexitu získaných dat, možnost jejich interpretace a návaznost na mezinárodní aktivity. Novost je tedy především v propojenosti jednotlivých průzkumů, která by měla vést i k jejich vyšší efektivnosti.

4 POPIS UPLATNĚNÍ METODIKY

Metodika je určena pro organizace, které provádějí půdní průzkumy pro rezort lesního hospodářství – primárně tedy pro Ústav pro hospodářskou úpravu lesů, Výzkumný ústav lesního hospodářství a Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský. Pokud budou základní principy metodiky

Ministerstvem zemědělství přijaty, bude dalším krokem těchto institucí etablování a zajištění provozu Agregované databáze. ÚHÚL a ÚKZÚZ dále mohou zvážit pro své průzkumy náměty uvedené v kapitole 2.3.1. VÚLHM ve spolupráci se zřizovatelem a případně i dalšími institucemi bude realizovat průzkum na plochách ICP Forests tak, jak je uvedeno v kapitole 2.3.1.

5 EKONOMICKÉ ASPEKTY

Ekonomické aspekty využití metodiky jsou nepřímé. Spočívají zejména v efektivním využití finančních prostředků, které jsou vynakládány na různé druhy půdních průzkumů v České republice. Využití metodiky může výrazně rozšířit potenciál získávaných dat při jejich společném zpracování a vyhodnocení a zpřístupnit je dalším subjektům.

6 SEZNAM POUŽITÉ SOUVISEJÍCÍ LITERATURY:

Adolt R. a kol., 2013: Pracovní postupy pozemního šetření NIL2. ÚHÚL, Brandýs nad Labem ISBN 978-80-905423-2-7

Anonymus, 2007: Národní inventarizace lesů v České republice 2001-2004. Úvod, metody, výsledky. ÚHÚL, Brandýs nad Labem, 222 s.

Borůvka, L., Sáňka, M., Šrámek, V., Čechmánková, J., Čupr, P., Drábek, O., Fadrhonsová, V., Fraňková A., Hofman, J., Horváthová V., Houška, J., Rotter, P., Sáňka, O., Skála J., Slavíková Amemori A., Novotný, R., Šindelářová, L., Šudoma M., Tejnecký, V., Vácha R., Vašíčková, J., Jurkovská L., 2015: Srovnávací hodnoty pro hodnocení kontaminace lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 5/2015, 58 s.

Blum, W.E.H., Englisch M., Nelhiebl P., Schneider W., Schwartz S., Wagner J., 1999: Soil Survey and Soil Data in Austria. In: Soil Resources of Europe. P. Bullock, R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds). European Soil Bureau, Research Report No.6, EUR 18991 EN, 29-42

Cools N., De Vos B., 2020: Part X: Sampling and Analysis of Soil. In: UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 29 p + Annex [<http://www.icpforests.org/manual.htm>]

Čechmánková, J., Šrámek, V., Sáňka, M., Drábek, O., Fadrhonsová, V., Skála J., 2021: Porovnání metod pro stanovení přístupných a pseudototálních forem živin a prvků v lesních půdách. Zprávy lesnického výzkumu 66: 115-125.

Fabiánek P. (ed.), 2004: Monitoring stavu lesa v České republice 1984-2003. Ministerstvo zemědělství a VÚLHM, 431s.

Fadrhonsová V., Šrámek V., 2020: Sledování chemických vlastností půd a atmosférické depozice v rámci Monitoringu zdravotního stavu lesa ICP Forests. Lesnická práce 99: 26-29.

FAO 2019: Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1). Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome, FAO. 170 pp. [<http://www.fao.org/3/ca2934en/CA2934EN.pdf>]

Fiala P., Reininger D., Samek T., Němec P., Sušil P., 2013: Průzkum výživy lesa na území České republiky 1996–2011. Brno, ÚKZÚZ: 148 s.

IPCC 2006: 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Chapter 2: Generic methodologies applicable to multiple land-used categories. Intergovernmental Panel on Climate Change, 59 s. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf]

Jacob F., Andreae H., 2018: Sächsischer Waldbodenbericht. Aktueller Waldbodenzustand und dessen Veränderung. Staatbetrieb Sachsenforst, Graupa, 160 s.

Kučera M., Adolt R., 2019: Národní inventarizace lesů v České republice. Výsledky druhého cyklu 2011-2015. ÚHÚL, Brandýs nad Labem, 439 s.

Novotný R., Fadrhonsová V., Šrámek V., 2020: Stav lesních půd, úroveň minerální výživy a vývoj zdravotního stavu smrkových mlazin v Orlických horách v období 2002–2018. Zprávy lesnického výzkumu 65, 175-189

Pavlenda P., Bucha T., Ďurkovičová J., Ištoňa J., Krůpová D., Leontovyc R., Pajtik J., Pavlendová H., Priwitzer T., Stančíková A., Tóthová S., Vodálová A., 2009: Monitoring lesov Slovenska. Správa za Forest Focus a ČMS Lesy 2008. Zvolen, NLC, 113 s.

Pavlenda P., Capuliak J., Stančíková A., 2011: Klasifikácia a niektoré vlastnosti kambizemí na trvalých monitorovacích plochách v lesoch Slovenska. In: Sobocká J. (ed) Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd. Societas Pedologica Slovaca, VÚPOP, 105-110

Průša E., Plíva K., 1961: Typologické podklady pěstování lesů. Státní zemědělské nakladatelství, 401 s.

Rautio P., Fürst A., Stefan K., Raitio H., Bartels U., 2020: Part XII: Sampling and Analysis of Needles and Leaves. UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.): Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany, 18 p. + Annex

Slodičák M. (ed.), 2009: Lesnické hospodaření v Jizerských horách. Nakladatelství Lesnická práce, 232 s.

Smejkal J., 2012: Vývoj lesnické typologie v Česku. Lesnická práce 91, 140-143

Smith, P., Soussana J–F., Angres D., Schipper L., Chenu C., Rasse D. P., Batjes N. H., van Egmond F., McNeill S., Kuhnert M., Arias–Navarro C., Olesen J. E., Chirinda N., Fornara D., Wollenberg E., Álvaro–Fuentes J., Sanz–Cobena A., Klumpp K., 2019: How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. Global Change Biology 26, 219–241

Sztabkowski K., 2019: Właściwości fizyko-chemiczne gleb leśnych i ich zmiany w latach 2007–2017. In: Wawrzoniak J (ed.): Stan zdrowotny lasów w Polsce w 2018 roku na podstawie badań monitoringowych, IBL, 93-97

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., 2022?: Odběr vzorků lesních půd podle fixních hloubek – odchylky chemických vlastností při přepočtu z různých půdních vrstev. Zprávy lesnického výzkumu (v redakci)

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Čechmánková J., Borůvka L., Sážka M., Novotný R., 2020: Kontrola kvality dat v rozsáhlých databázích chemických vlastností lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 10/2020, 43 s.

Šrámek V., Vortelová L., Fadrhonsová V., Hellebrandová K., 2011: Výsledky výzkumu lesních půd v rámci programu BioSoil v České republice – zajištění výživy dřevin základními živinami. In: Sobocká J. (ed.): Diagnostika, klasifikácia a mapovanie pôd. Bratislava, Výskumný ústav pôdoznectva a ochrany pôdy: 182–190.

Talkner U., Meiwes K. J., Potočić N., Seletković I., Cools N., De Vos B., Rautio P., 2015: Phosphorus nutrition of beech (*Fagus sylvatica* L.) is decreasing in Europe. Annals of Forest Science 72, 919–928

Vejpustková M. (ed.), 2019: Monitoring zdravotního stavu lesa v České republice v rámci programu ICP Forests a navazujících projektů. Data do roku 2018. VÚLHM 2019, 92s.

Vokoun J., 1999: Typologický systém ÚHÚL a cesty k jeho dalšímu rozvoji. Lesnická práce 78, 111-113

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 83/1996 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 298/2018 Sb., o zpracování oblastních plánů rozvoje lesů a o vymezení hospodářských souborů

Zákon č. 156/1998 Sb. Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd

7 SEZNAM PUBLIKACÍ, KTERÉ PŘEDCHÁZELY METODICE

Borůvka, L., Sáňka, M., Šrámek, V., Čechmánková, J., Čupr, P., Drábek, O., Fadrhonsová, V., Fraňková A., Hofman, J., Horváthová V., Houška, J., Rotter, P., Sáňka, O., Skála J., Slavíková Amemori A., Novotný, R., Šindelářová, L., Šudoma M., Tejnecký, V., Vácha R. Vašíčková, J., Jurkovská L., 2015: Srovnávací hodnoty pro hodnocení kontaminace lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 5/2015, 58 s.

Borůvka, L., Sáňka, M., Šrámek, V., Vácha, R., Čechmánková, J., Čupr, P., Drábek, O., Fadrhonsová, V., Fraňková, A., Hofman, J., Houška, J., Horváthová, V., Rotter, P., Sáňka, O., Skála J., Šindelářová L., Tejnecký, V., Vašíčková, J., Vortelová, L., 2015: Metodika hodnocení kontaminace lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 6/2015, 63 s.

Čechmánková, J., Šrámek, V., Sáňka, M., Drábek, O., Fadrhonsová, V., Skála J., 2021: Porovnání metod pro stanovení přístupných a pseudototálních forem živin a prvků v lesních půdách. Zprávy lesnického výzkumu 66: 115-125.

Fadrhonsová V., Šrámek V., 2020: Sledování chemických vlastností půd a atmosférické depozice v rámci Monitoringu zdravotního stavu lesa ICP Forests. Lesnická práce 99: 26-29.

Novotný, R., Buriánek, V., Šrámek, V., Hůnova, I., Skořepová, I., Zapletal, M., Lomský, B., 2017: Nitrogen deposition and its impact on forest ecosystems in the Czech Republic - change in soil chemistry and ground vegetation. iForest – Biogeosciences and Forestry 10, 48-54.

Novotný R., Fadrhonsová V., Šrámek V., 2020: Stav lesních půd, úroveň minerální výživy a vývoj zdravotního stavu smrkových mlazin v Orlických horách v období 2002–2018. Zprávy lesnického výzkumu 65, 175-189

Novotný, R., Lomský, B., Šrámek, V., 2017: Changes in the nutrition and health status of young Norway spruce stands in the Krkonoše Mts. in a 17-year period. Journal of Forest Science 63, 344-354.

Novotný, R., Lomský, B., Šrámek, V., 2018: Changes in the phosphorus and nitrogen status and supply in the young spruce stands in the Lužické, the Jizerské and the Orlické Mts. in the Czech Republic during the 2004–2014 period. European Journal of Forest Research 137: 879-894.

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., 2018: Srovnání obsahů a zásob prvků v humusové vrstvě porostů buku lesního, smrku ztepilého a ve smíšených porostech těchto dřevin v České republice. Zprávy lesnického výzkumu 63, 61-72.

Šrámek V., Fadrhonsová V., Jurkovská L., 2014: Ca/Al ratio in Norway spruce fine roots on monitoring plots in the Czech Republic. Journal of Forest Science, 60, 121-131

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Jurkovská, L., 2014: Metodika výběru ploch pro vápnění lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 7/2014, 32s.

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., 2019: Nutrition of Douglas-fir in four different regions of the Czech Republic. Journal of Forest Science 65, 1-8

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Čechmánková J., Borůvka L., Sážka M., Novotný R., 2020: Kontrola kvality dat v rozsáhlých databázích chemických vlastností lesních půd. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 10/2020, 43 s.

Šrámek, V., Fadrhonsová, V., Neudertová Hellebrandová, K., Novotný R., 2021: Doporučené metody nakládání s těžebními zbytky v lesních porostech s významnou produkční funkcí z hlediska udržitelnosti bilance hlavních živin. Certifikovaná metodika. Lesnický průvodce 3/2021, 57 s.

Šrámek V., Jurkovská L., V. Fadrhonsová V., Hellebrandová-Neudertová K, 2013: Chemismus lesních půd ČR podle typologických kategorií - výsledky monitoringu lesních půd v rámci projektů EU "BioSoil". Zprávy lesnického výzkumu 58, 314 – 323

Šrámek V., Lomský B., Novotný R., 2009: Hodnocení obsahu a zásoby živin v lesních porostech – literární přehled. Zprávy lesnického výzkumu, 54: 307 – 315.

Šrámek V., Novotný R., Fadrhonsová V., 2015: Chřadnutí smrkových porostů a stav lesních půd v oblasti severní Moravy a Slezska (PLO 29 a 39). Zprávy lesnického výzkumu 60, 147-153

Šrámek V., Novotný R., Fiala P., Neudertová Hellebrandová K., Reininger D., Samek T., Čihák T., Fadrhonsová, V., 2014: Vápnění lesů v České republice. Ministerstvo zemědělství: 91 s.

Šrámek, V., Novotný, R., Lubojacký, J., 2015: Průzkum výživy žlutnoucích smrkových porostů na Opavsku a Šternbersku. Lesnická práce 94: 816-817.

8 OPONENTI

Ing. Pavel Pavlenda, Ph.D. Národní lesnické centrum, Zvolen

Ing. Norbert Buchta, Ministerstvo zemědělství

9 DEDIKACE

Metodika byla zpracována v rámci řešení projektu Národní agentury pro zemědělský výzkum QK1920163 „Vývoj a verifikace prostorových modelů vlastností lesních půd v České republice a za podpory Ministerstva zemědělství – institucionální podpora MZE-RO0118.