

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE  
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ  
KATEDRA EKOLOGIE



Využití stabilních izotopů dusíku pro identifikaci  
středověkého hnojení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. RNDr. Michal Hejman, Ph.D. et Ph.D.

Autor bakalářské práce: Pavla Staňková

2012

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením pana profesora RNDr. Michala Hejcmana, Ph.D. et Ph.D. Další informace mi poskytli Mgr. Kateřina Součková, RNDr. Miroslav Jetmar, Ph.D. a PhDr. Tomáš Klír, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 27. 4. 2012

.....

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce panu profesoru RNDr. Michalu Hejčmanovi, Ph.D. et Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a hlavní díky patří mé konzultantce Mgr. Kateřině Součkové, která mi svými komentáři, skvělými nápady a spoustou obětovaného času nesmírně pomohla.

## **Abstrakt**

Výzkum probíhal na zaniklé středověké vesnici Spindelbach, která se nachází v Krušných horách u dnešní obce Výsluní a je kryta lesním porostem. Cílem této práce bylo zjistit, zda je možné pomocí analýzy stabilních izotopů dusíku v půdě identifikovat organické hnojení na bývalých polích (plužinách) této zaniklé osady. Na lokalitě byly odebrány půdní vzorky na dvou plužinách a byl měřen podíl těžkého dusíku ( $^{15}\text{N}$ ) z celkového obsahu N v půdě. Zjistila jsem, že v půdě v blízkosti bývalých domů je zvýšený obsah  $^{15}\text{N}$  a tento obsah se snižuje na plužině se vzdáleností od bývalých domů. Na lokalitě se tedy používala organická hnojiva. Nepřímým důkazem hnojení hnojem jsou i střepy keramiky nalezené po celé délce plužiny.

**Klíčová slova:** organická hmota, středověké osídlení, zaniklé osady, lesní porosty

## **Abstract**

The research was performed in deserted mediaeval village Spindelbach, which is located in the Ore Mountains nearby present day village Výsluní and covered by Norway spruce forest. The aim of this thesis was to study the use of  $^{15}\text{N}$  signature as a measure of organic fertilizer application on abandoned medieval fields. In the study site, soil samples were collected on two abandoned medieval fields and proportion of  $^{15}\text{N}$  from total N content in the soil was determined. I recorded increased concentration of  $^{15}\text{N}$  in soils in vicinity of former houses and this content decreased with an increase in distance from houses on abandoned fields. Organic fertilizers were thus used at the study site. In addition, the use of organic fertilizers was indirectly indicated by presence of pottery shreds in the soil of former fields.

**Keywords:** organic matter, medieval settlements, deserted villages, forests

# Obsah

<b>1. Úvod .....</b>	<b>6</b>
1.1. Středověk .....	6
1.1.1. Středověké zemědělství a hnojení .....	7
1.1.2. Výzkum zaniklých středověkých osad .....	9
1.1.3. Zaniklé středověké osady a jejich plužiny .....	10
1.2. Možné metody výzkumu .....	11
1.2.1. Geofyzikální metody .....	12
1.2.2. Geochemické metody .....	12
1.2.3. Stabilní izotopy (isotopy) .....	12
<b>2. Hlavní cíl práce:.....</b>	<b>16</b>
<b>3. Metodika.....</b>	<b>17</b>
3.1. Teoretická část .....	17
3.1.1. Výběr lokality .....	17
3.1.2. Přírodní podmínky .....	18
3.2. Praktická část .....	21
3.2.1. Sběr dat .....	21
3.2.2. Statistická analýza (ANOVA) a regrese .....	22
<b>4. Výsledky.....</b>	<b>23</b>
<b>5. Diskuse.....</b>	<b>27</b>
<b>6. Závěr .....</b>	<b>28</b>
<b>7. Použitá literatura .....</b>	<b>29</b>
<b>8. Další zdroje .....</b>	<b>33</b>
<b>9. Seznam obrázků.....</b>	<b>34</b>
<b>10. Seznam příloh.....</b>	<b>35</b>

# 1. Úvod

Tuto bakalářskou práci jsem si zvolila nejen proto, že mě zaujalo propojení archeologického výzkumu se zemědělstvím, ale také proto, že si myslím, že je důležité hledat spojitosti mezi všemi vědními obory.

Práce je koncipována do dvou částí, které jsem se snažila spojit dohromady tím, podle mne nejlepším, způsobem. Jde o propojení rešerše a experimentálního výzkumu, který je prováděn v Krušných horách (viz příloha č. 1) na lokalitě zvané Spindelbach (viz příloha č. 2).

Výzkum je zaměřen na otázku hnojení na již zmiňované lokalitě Spindelbach, která byla specializována hlavně na výrobu skla a jeho směnu. Což dokládají archeologické výzkumy a nálezy střepů keramiky a kapek skla na lokalitě (Crkal & Černá, 2008).

## 1.1. Středověk

Co je Středověk? Na tuto otázku lze dát velice jednoduchou odpověď, je to období mezi starověkem a novověkem. Ale kdy začíná a končí, je už poměrně těžké určit.

Ve většině knih, kronik i učebnic se dočteme, že středověk začal, když se rozpadla západořímská říše, a to pod náporom germánských kmenů, v roce 476. Tohoto roku germánský vojevůdce Odoaker sesadil posledního západořímského císaře Romula Augusta. Skutečností však je, že středověk není oddělen od pozdně antického období žádnou převratnou událostí. Jednalo se o postupný a snad i několik staletí probíhající proces tvorby nových sociálních struktur. Na tomto procesu se podílela jak „barbarská“ germánská společenstva, tak i předcházející formy civilizace (Drška & Picková, 2004).

Určit konec středověku je otázkou poněkud složitější. Velkým nešťastným avšak rozhodujícím faktem, který přispěl ke konci středověku, a jak se jinak nazývá toto období, době temna, byl mor tzv. Černá smrt. Krize, bída a nouze byly iniciátory obyvatelstva k obrácení se k víře v Boha. Náboženství a následné vzdělávání měly za následek rozkvět literatury, výtvarného umění a ve znamení expanzivní dynamiky Západu, byly dobrodružné povahy poháněny i k cestám po světových mořích (Biermann & Hanus, 1992).

Italští učenci v 15. století se domnívali, že právě v jejich době začíná nový věk dějin. Jejich přesvědčení zesílilo hlavně poté, co Kryštof Kolumbus objevil roku 1492 Ameriku. Jinou teorií je, že středověk končil až rokem 1648, kdy skončila třicetiletá válka. Jisté ale je, že v 15. století byl vynalezen knihtisk a byl objeven Nový Svět, a toto jsou důvody, proč lze středověk datovat od konce 5. do konce 15. století (Drška & Picková, 2004).

Nicméně existenci zaniklé osady Spindelbach lze doložit nejen současnými nálezy, ale také písemnými prameny, které zmiňují osadu v letech 1356 – 1481. Jedná se o dobu vrcholného až pozdního středověku (Crkal & Černá, 2008).

Jelikož je celá práce soustředěna na studium zemědělské činnosti, a to na identifikaci organického hnojení na zaniklých středověkých polích, považuji za nutnost lehce nahlédnout do středověkého zemědělství.

#### **1.1.1. Středověké zemědělství a hnojení**

Středověká pole se zakládala buď na travnaté celině, konkrétně na druhotně vzniklé stepi nebo na místě lesa. Lesy se odstraňovaly klučením (úkon odstraňující z určité plochy veškeré stromy i s kořeny), anebo mýcením. Můžeme předpokládat, že ve vesnici Spindelbach se používalo spíše klučení, protože vesničané spotřebovávali dřevo do sklářských pecí, na tvorbu sklářských výrobků, se kterými obchodovali. Při mýcení lesa se také používal oheň – žárové zemědělství. To se ovšem používalo jen okrajově (Beranová & Kubačák, 2010).

Velmi často se dočteme v historické literatuře o tzv. bludném kruhu středověkého zemědělství. Zjednodušeně vysvětleno se jedná o to, že lidé chovali málo dobytka, a proto nebyl dostatek hnoje. A protože nebyl dostatek hnoje, bylo málo úrody a musely se osívat větší plochy (Harrison, 1984).

Existují však záznamy, kde rolníci považovali půdy za velmi úrodné. Proto docházelo jen k lehkému obdělávání půdy. Nehnojilo se vůbec anebo poměrně málo. Lidé dokonce občas považovali hnojení za škodlivé, důvodem bylo to, že po něm bujely plevele, vysušovala se půda a obilí polehávalo. Příkladem by mohl být novorossijský kraj na jihu Ruska (Beranová & Kubačák, 2010). Dalším příkladem by mohlo být několik tisíc vesnic v Podyjí, které existovaly už roku 1250. S rozrůstáním osídlení se zvyšoval i rozsah obdělávané půdy (Kirchner & kol., 2003).

Dále ve středověku bylo využíváno zaorávání, hnojení před orbou nebo až po ní, a také setí přímo do hnoje, tzv. zelené hnojení (zaorávání drnu), hnojení popelem apod. (Beranová & Kubačák, 2010).

V našem případě se zajímáme o způsob hnojení přibližně od 13. – 15. století. Jedenáctá kniha od Crescentia: *Vo regulích, tj. vo zprávách prací a díl (děl) polních*, v 13té části informuje takto: *Studená a vlhká země výborně skrze zapálení drnu a posypání popelem opravena bývá. ...Popel výborně místo hnoje na poli posypán bývá. ....Hnůj kterýž jest roční, dosti jest užitečný, aniž bylin plodí. Pakli jest starý, méně jest prospěšnější. Nový hnůj prospívá lukám k hojnosti trávy. ...Pohnojovány mají být pole hustěji na pahrbcích a na rovině řidčeji, když se měsíc umenšuje; nebo když se to zachová, činí se tím překážka bylinám. Času letního nemá více hromádek hnojných rozmetáno býti, cožby se toho dne nemohlo zavorati. Není prospěšno jednoho času příliš hnojit, ale často a pomalu. Pole vodnaté více žádá hnoje, suché pak méně. Jestliže se hojnost hnoje nedostává, výborně místo hnoje bývá, aby v obláskovém neboli škrobnatém místě křidu, v studeném pak hlínu a v křidnatém a příliš hustém škrob sypat, nebo to vosením prospívá. ...Aneb ať jest setý římský hrách, kterýžto když roste téměř k slušné míře, ať jest vyvrácen voráním. Bláto, vzaté ze dna louží a moklin neboli močidl, tučné a úrodné činí pole. ...Pole na vrší neboli pahrbcích řidce a málo mají hnojeny býti. Ale na nízkých místech hnojení nepotřebují* (Crescentius 1471 in Beranová & Kubačák, 2010). Přestože ve středověku již existovaly stáje resp. chlévové domy, a hnůj musel být k dispozici, přesto se s ním příliš nehnojilo, pole se vylepšovala především vápnem, slínem nebo kompostem či drny (Beranová & Kubačák, 2010).

Na začátku středověku byla půda obdělávána celodřevěným rádlem. Celina se dala rozrušit jednoduchým dřevěným rádlem, které bylo používáno zřejmě jen k rozorávání půdy, neobracela se, šlo o mělké orání. Od 8. století bylo rádlu opatřováno železnou radlicí, to pomáhalo snížit opotřebení rádlu. Ať už porovnáme jakékoliv období středověku mezi 8. – 13. stoletím, lze říci, že mezi radlicemi se nezjistily podstatné rozdíly, ačkoliv určitá rozmanitost forem existovala (Sweeney, 1995). Na území Čech Moravy a Slezska byly učiněny nálezy, kdy se na jednom území vyskytovalo i několik tvarů radlic. Diferenciace nebyla krajová nebo časová, ale účelová (Beranová & Kubačák, 2010).

Předpokládá se, že do rádlu se zapřahal hovězí dobytek. Zápřah dobytka měl lidem usnadnit práci obzvláště z fyzického hlediska (Beranová & Kubačák, 2010).



Na lokalitě Spindelbach však pozůstatky radlic zatím nebyly nalezeny. Vesnice byla průmyslově založena, a z toho lze vyvodit, že jejich specializace se soustředila na výrobu skla. Toto tvrzení dokládá nález sklářské pánve, který byl objeven spolu se zlomky běžné užitkové keramiky (Crkal & Černá, 2008).

Za každým domem se nacházel lán, ten však zřejmě neměl jednotný typ hospodaření. Část lánu určitě sloužila jako pole, protože i dnes jsou na lokalitě vidět jednotlivé brázdy. Další části však mohly sloužit jako pastva nebo louka. Samotná orba v plužinách byla dokumentována ve Velké Británii a je doložena povrchovými průzkumy zaniklých plužin (Dohnal, 2011).

### **1.1.2. Výzkum zaniklých středověkých osad**

Abychom mohly začít mluvit o historii středověkých osad, měli bychom nejdříve definovat, co **zaniklá osada** je: „...místo na němž osada stála, na němž jsou, ale také nemusejí být reliéfové nebo barevné nebo jiné přímé či nepřímé stopy její existence“. Historický geografický výzkum se zaměřuje jen na zaniklé vsi nebo městečka, zaniklá sídla však existují v různých formách. Jako příklady těchto forem si můžeme uvést mlýny, sklárny, ovčiny, dvory, hrady, tvrze, hradiště, samoty a již zmíněné vsi a městečka (Černý, 1979).

Intenzivní rozvoj archeologie středověku začal někdy kolem poloviny 20. století (Dudková & kol., 2008). Výzkum na lokalitách v Čechách měl zpočátku především záchranný charakter (Nekuda, 1974). Studované zaniklé vesnice včetně příslušných polí, plužin, byly a stále jsou předmětem řady archeologických studií. Průzkum se týká i původních komunikací, které se kolem lokality nacházely, pak také starých rybníků, hrází, kamenolomů. Dále se zkoumá, jestli se na lokalitě nenaleznou relikty například středověkého dolování, hutnictví, uhlířství, sklářství a další. De facto se snažíme zrekonstruovat kulturní obraz určité historické epochy, zkoumá se management krajiny (Černý, 1979). Zanikání středověkých vesnic ve 14. – 15. století historici, zkoumající sociální a hospodářské dějiny, spojují s krizovými jevy této neklidné doby (Dudková & kol., 2008).

Výzkum středověkých vesnic probíhal a stále ještě probíhá po celé České republice. Pozůstatky středověkých vesnic byly nalezeny např. na Plzeňsku, Chomutovsku, kolem Prahy i v samotné Praze. Jsou tedy položeny jak v nížinách, tak i na horách.

Některé případy průzkumu zaniklých středověkých osad byly zkoumány, jak je uvedeno výše na Plzeňsku. Jedna z takovýchto osad byla pojmenována Dolany. Nalézá se v okrese Plzeň – sever, v katastrálním území Hlinice. Byla objevena již roku 1833. V černém popelu tam byly nalezeny nože, talíře a prý i vidličky. V letech 1975 a 1978 probíhal povrchový sběr a byl získán soubor keramických úlomků. V období let 2005 – 2008 byly provedeny povrchové sběry a nedestruktivní výzkum lokality. Jedná se o osadu, která byla situována spíše v nížinných polohách (Dudková & kol., 2008). Rozdíl mezi osadou Dolany a vesnicí Spindelbach je zřejmý. Lokalita Spindelbach je lokalizována v Krušných horách, tudíž se jedná o horskou osadu. Byla objevena až roku 2006, pak proběhl povrchový průzkum a s vykopávkami se začalo vzápětí v letech 2009 - 2010. Avšak obě lokality se datují do 12. – 15. století. Tudíž do období vrcholného středověku (Crkal & Černá, 2008).

A ještě pro další srovnání bych uvedla zaniklou vesnici, která se nachází na Chomutovsku, tudíž poblíž našeho zkoumaného území a také ve vyšší nadmořské výšce, a to 660 m n. m. Jedná se o zaniklou vesnici Nebovazy (Nokowitz). Tato vesnice se od předchozích liší hlavně tím, že zcela zanikla až v 1. polovině 70. let minulého století. Zatímco obě předchozí zmíněné vesnice zmizely někdy v 16. století, vesnice Nebovazy přežila téměř až do nynější doby. A stále je ještě možné na místě, kde se nacházela nalézt poslední dům a dokonce bývalý ovčín (Binterová, 1997).

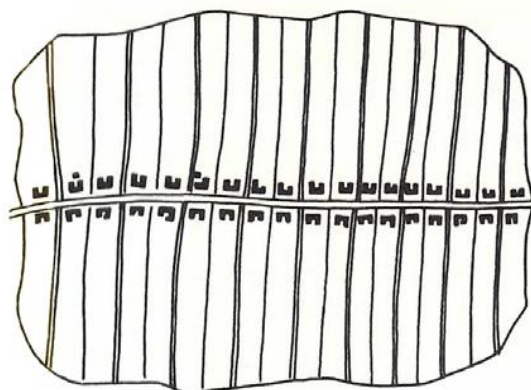
### **1.1.3. Zaniklé středověké osady a jejich plužiny**

Studium plužin se zakládá na souběžném hodnocení tvarů základních jednotek obdělávané země. Nejčastěji jsou to majetkové parcely a zemědělsky užívané půdy (Oberbeck, 1958). Plužinu jako takovou lze definovat jako pole náležející k jedné vesnici (Michal Hejcman, 2012, osobní sdělení). Je jisté, že základní tvar plužiny není náhodný jev. Souvislost mezi tvarem plužiny a dobou jejího vzniku je možné dokázat pomocí katastrálních plánů z oblastí a různým historickým hospodářským vývojem (Štěpánek, 1968). Kartografické znázornění plužin nás obvykle upozorní, že plužina je zpravidla rozdělena na více částí. Tyto části se od sebe mohou odlišovat svým tvarem, svou velikostí a také svým geografickým vztahem k zaniklé osadě (Černý, 1979).

Plužiny se dají dělit na několik typů, a to podle vzájemného uspořádání částí anebo podle charakteru parcel. Existují například plužiny úsekové (skládají se z nestejně velkých částí), plužiny dělených úseků (pravidelné, rovnoběžné kratší pásové parcely), plužiny traťové (několik obdélníkových pravidelných částí (viz obr. č. 1)), záhumenicové plužiny (viz obr. č. 2) a řada dalších (Černý, 1979).



obr. č. 1: Traťová plužina



obr. č. 2: Záhumenicová plužina

Zaniklá osada Spindelbach by se dala zařadit mezi záhumenicové plužiny. Jsou nejvyhraněnějším a také nejméně sporným typem sídelních oblastí (Mortensen, 1947). Jsou tvořeny dlouhými pásy polí, které jsou většinou 50 – 150 m široké a často až 2000 m dlouhé. Pásové polí probíhají od vesnice přes ornou půdu, louky, pastviny a většinou i les, až k hranici katastru (Štěpánek, 1968). Charakteristickým znakem pro záhumenicové plužiny je přímé napojení obytné a hospodářské usedlosti s polem (Černý, 1979).

## 1.2. Možné metody výzkumu

Zkoumání zaniklého ne vždy musí souviset s vykopávkami. Neinvazivní způsob, jak získat poznatky se nazývá nedestruktivní archeologie<sup>1</sup>. Nedestruktivní postupy jsou archeology používány odjakživa, ale teprve v současné době se začíná doceňovat jejich používání. Význam nedestruktivních metod stále stoupá, už nemá jen doprovodný charakter výzkumu, ale může přinášet i smysluplné poznatky o minulosti. A to tím kvalitnější, čím více se postupy integrují (Kuna, 2004).

Mezi tyto nedestruktivní způsoby výzkumu patří letecká archeologie, dálkový průzkum, průzkum pomocí detektorů kovů, povrchový výzkum reliéfových tvarů, průzkum pomocí geofyzikálních metod, geochemických metod (Kuna, 2004). Pak

<sup>1</sup> Soubor technik, metod a teorií, které nevyžadují provedení destruktivního zásahu (Kuna, 2004).

také analýza stabilních izotopů, patří mezi tyto metody. Izotopy dusíku byly použity v této práci. Ráda bych některé z výše zmíněných metod blíže uvedla.

### **1.2.1. Geofyzikální metody**

Některými autory je geofyzika v archeologii označována jako ‚*archeogeofyzika*‘ (Křivánek, 2004). Hlavní náplní geofyziky je studium různých fyzikálních polí v zemském tělese a jeho okolí (Mareš & kol. 1990). Dle fyzikálního principu, charakteru sledovaného fyzikálního pole a způsobu měření lze rozdělit na skupiny základních geofyzikálních metod. Těmito metodami jsou například: gravimetrie, magnetometrie, geoelektrické metody, radionuklidové metody aj. Všeobecně je princip geofyzikálních metod založen na tom, že se sledují změny fyzikálních veličin v prostoru (Křivánek, 2004).

### **1.2.2. Geochemické metody**

Stanovení obsahu chemických prvků, které jsou obsaženy v půdě, se dnes provádí většinou instrumentálními postupy fyzikální chemie. Chemická prospekce obecně je poněkud zdlouhavou, ale také dražší záležitostí. (Nejdůležitějším a nejčastěji stanovovaným prvkem v archeologické prospekci je fosfor). Tato metoda by se měla používat tam, kde nelze použít např. metody geofyzikální. Její předností a výhodou ale je, že je schopna prokazovat jevy, jejichž příčiny a vyvolavatele není možné zjistit ani geofyzikálně, ani archeologickým odkryvem. Metody archeologické geochemie se opírají o propracované půdoznalecké a o agrochemické analýzy, které jsou vhodně modifikované a aplikované mimo oblast zemědělství. Zkoumá se, jak se liší stratifikovaný vzorek ve srovnání s okolím (Majer, 2004).

### **1.2.3. Stabilní izotopy (isotopy)**

Slovo „isotopy“ pochází z řeckého slova *isos* = stejný, rovný a slova *topos* = místo, což je předpokladem k jejich specifické „adrese“ v rámci periodické tabulky prvků. Všechny atomy jsou složeny z atomového jádra a elektronového obalu (Dawson & Brooks, 2001). Každé atomové jádro je charakterizováno třemi čísly. Protonové (nebo atomové) číslo  $Z$  udává počet protonů v jádře, nukleonové (hmotnostní) číslo  $A$  udává celkový počet nukleonů a neutronové číslo, které vychází z rovnice  $N = A - Z$ , poskytuje počet neutronů v jádře (Navrátil, 1992).

Jádro je složeno z protonů ( $Z$ ) a neutronů ( $N$ ), které tvoří většinu hmotnosti atomu. Protony mají kladný náboj ( $Z^+$ ), elektrony záporný ( $e^-$ ) a neutrony náboj nemají ( $N^0$ ). Nuklid nebo izotop specifického atomu je prvek stabilní nebo radioaktivní, definovaný počtem jeho unikátního počtu protonů ( $Z$ ) a neutronů ( $N$ ). Izotopy jsou atomy stejného prvku, které mají stejné  $Z$  a  $e$  ale různé  $N$  (Dawson & Brooks, 2001). Prvky, které mají stejné neutronové a odlišné nukleonové číslo se nazývají izotony a prvky, které mají stejné  $A$  a různé  $Z$  jsou řazeny do izobarů (Navrátil, 1992).

V přírodě můžeme nalézt 329 nuklidů, z nichž je 273 stabilních a 56 radioaktivních, tudíž nestabilních (Kovačiková & Brůžek, 2008)

Jeden prvek může tvořit směsici několika izotopů, nejčastěji v počtu 1 – 4. Například prvek dusík je tvořen třemi izotopy, dva se vyskytují v přírodě a tři lze vytvořit synteticky. Jedná se o tyto izotopy:  $^{14}_7N$  (99,63%)  $^{15}_8N$  (0,37%), kdy je v závorkách uvedeno relativní procentuální zastoupení příslušného izotopického nuklidu ve vzduchu. Uměle byly vytvořeny radioaktivní izotopy  $^{12}N$ ,  $^{13}N$  a  $^{16}N$  (Bowen & Attendorf, 1994). Izotopy stejného prvku se od sebe odlišují relativní atomovou hmotností, a také ovlivňují konečnou relativní hmotnost celého prvku (Kovačiková & Brůžek, 2008). Izotopy vlastních prvků se od sebe ale neliší chemickými vlastnostmi (Dawson & Brooks, 2001). Existence izotopů byla objevena pomocí hmotnostní spektrometrie (popsáno níže) (Kovačiková & Brůžek, 2008).

**Stabilní izotopy** – nemají tendenci se přeměňovat na jiné nuklidy, když už byly jednou utvořeny, nedochází tedy k uvolňování energie při přeměně. Lze říci, že mají nekonečný poločas rozpadu (Dawson & Brooks, 2001).

**Nestabilní izotopy** – taktéž nazývané jako radioizotopy. Podléhají spontánním transmutacím. Rozpadají se a při rozpadu se uvolňuje energie v podobě radioaktivity (radioaktivního záření). Jak již bylo zmíněno, vyskytují se v přírodě, ale jsou také vyráběny uměle. Radioaktivní záření může být rozděleno do tří skupin. Jedná se o  $\alpha$  (alfa) záření, které je tvořeno jádrem Helia ( $^4_2He$ ), tj. částice tvořené dvěma protony a dvěma neutrony, lze odstínit listem papíru.  $\beta$  (beta) záření je tvořeno elektrony ( $\beta^-$ ) nebo pozitrony ( $\beta^+$ ), vyšší energie než u  $\alpha$  záření. Odstínění kovovým plechem. Třetím typem záření je  $\gamma$  (gamma) záření. Účastní se ho fotony, vždy je doprovázeno zářeními  $\alpha$  i  $\beta$ . Neprojde dostatečnými mocnostmi olova a betonu (Mikulaj, 1992). Existují obrovské rozdíly mezi poločasy přeměny (poločasy rozpadu  $T_{1/2}$ ), ale zároveň je rychlost přeměny u každého prvku stálá (Jevremovic, 2009).

## Dusík

Obdělávání a kultivace půd pro poskytování potravin a také krmiva změnila přirozený výskyt cyklu dusíku v mnoho suchozemských ekosystémech. Změny v hodnotách stabilního izotopu dusíku (podíl mezi  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  vyjádřen jako hodnota  $\delta^{15}\text{N}$ ) v půdách a rostlinách jsou používány při výzkumu antropogenního vlivu, který cyklus dusíku ovlivňuje v různých časových a prostorových škálách (Templer & kol., 2007). Tyto změny, jak je již výše zmíněno se udávají v hodnotách  $\delta^{15}\text{N}$ . Samotné značení  $\delta$  je vyjádřeno jako  $\delta = \left( \frac{R_{\text{vzorek}}}{R_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 10^3$ , kde R je poměr mezi těžkým a lehkým izotopem (např.  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ) a  $R_{\text{vzorek}}$  a  $R_{\text{standard}}$  je podíl těžkého a lehkého izotopu, a to vzorku a očekávaného standardu, což je poměr  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  v atmosférickém dusíku ( $\text{N}_2$ ) (Dawson & Brooks, 2001, Fraser & kol., 2011). Vzorec bychom mohly pro upřesnění vyjádřit takto:

$$\delta^{15}\text{N} = \left( \frac{\left( \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}} \right)_{\text{vzorek}}}{\left( \frac{^{15}\text{N}}{^{14}\text{N}} \right)_{\text{standard}}} - 1 \right) \times 10^3.$$

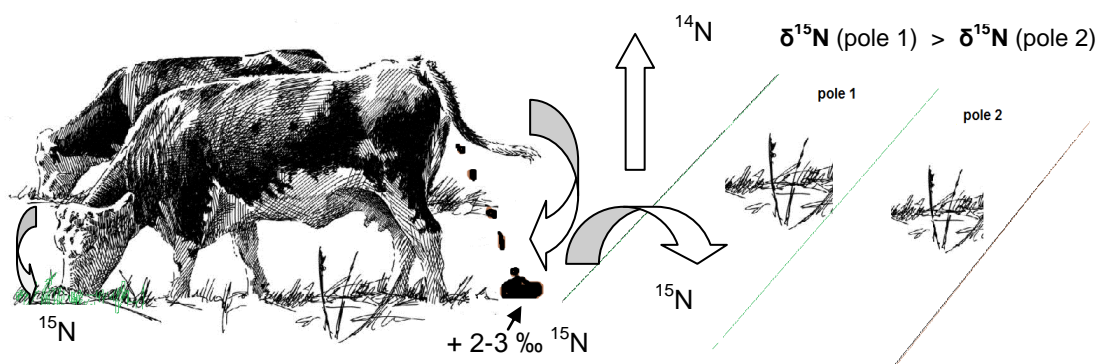
Stabilní izotopy většiny prvků jsou zastoupeny převážně jedním převládajícím izotopem a jedním nebo dvěma dalšími, které jsou zastoupeny v minoritním množství. Nízký výskyt jednoho z izotopů poskytuje možnost použít tyto izotopy jako „značení“ (tracers) v biochemických, biologických a ekologických studiích (Robinson, 2001). Jelikož se vyskytují v nepatrném množství, udávají se v tisícinách, tedy v jednotkách promile (‰). Studuje se izotop, který se vyskytuje v minoritním množství, v našem případě  $^{15}\text{N}$ . Hodnotí se, zda je ho více nebo méně, než ve standardu:  $\delta = 0$  (‰). Pokud je  $\delta < 0$  (‰), jedná se o ochuzení, pokud  $\delta > 0$  (‰) jde o obohacení (Dawson & Brooks, 2001).

Jeden z efektů, které nejvíce ovlivňují obsah dusíku v půdě v rámci zemědělské činnosti, je aplikace hnoje, jinak řečeno organického hnojení (viz obr. č 3). Touto aplikací se snažíme o zlepšení úrodnosti půdy (Bol & kol., 2008). Z hnoje může vytékat  $\text{NH}_3$  (amoniak). Dochází k mikrobiálním procesům, může dojít k nitrifikaci a denitrifikaci. Tyto procesy přeměňují  $\text{NH}_3$  na inertní  $\text{N}_2$  (Groenesteina & Van Faassen, 1996). Především díky bakteriálně zprostředkovaným reakcím, kde lehčí  $^{14}\text{N}$  vyprchává do ovzduší, se zvyšuje obsah  $^{15}\text{N}$ , který zůstává v půdě a obohacuje minerální půdy (Kendall & kol., 2007). Tento postup má za následek zvýšení hodnoty  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě (Bol & kol., 2008).

Metodu stabilních izotopů dusíku použila například Bogaard (2007) ve své studii, kde zkoumala vliv hnojení na poměry izotopů dusíku v obilovinách. Šlo o dva

dlouhodobé experimenty trvající více než 100 let, zahrnující archivní vzorky obilovin z první dekády experimentu. Tyto vzorky byly vybrány s cílem posoudit dlouhodobou aplikaci hnoje na  $\delta^{15}\text{N}$  v obilovinách. Výsledky studie prokazují, že hnojení signifikantně zvyšuje  $\delta^{15}\text{N}$  v obilných zrnech. Jämtgård & kol. (2010) pokládají za pravděpodobné, že rostliny jsou schopné převzít dusík (N) z obou forem, ať už organické nebo anorganické. Koncentrace a relativní podíly různých forem dusíku v půdách jsou determinanty ovlivňující jejich N výživu. Izotopový signál rostlin reflektuje signál půdy (Aquilera & kol., 2008).

Metoda stabilních izotopů se dá považovat za poměrně mladou techniku výzkumu. Jde o studium kvantitativních poměrů přirozených izotopů obsažených v organických látkách. Lze ji používat proto, že stabilní izotopy nepodléhají radioaktivnímu rozpadu, ale přetrvávají po staletí (Dupouey & kol., 2002). Peterken & Game (1984) uvádí patrné rozdíly v biodiverzitě současných lesů, které byly způsobeny vlivem zemědělské činnosti. Tyto změny jsou pozorovatelné i po 400 letech. Tato zjištění jsou podložena jak záznamy, tak starověkými mapami. Na tomto základě Dambrine & kol. (2007) zkoumali otázku, jak dlouho jsou rozpoznatelné následky zemědělství. Ukázalo se, že následky zemědělství jsou rozpoznatelné i po dvou tisíciletích.



obr.č. 3: Princip organického hnojení

Použití analýzy stabilních izotopů dusíku v půdě použité na zaniklých polích středověké vesnice Spindelbach na identifikaci používání organických hnojiv je jedním z prvních v České republice. Samozřejmě, že tato metoda je už déle v archeologii používána, a to ke studiu potravní nabídky zvířat a lidí, kde se zkoumá podíl těžkého izotopu dusíku v kostech a zubech nalezených při archeologickém výzkumu (Smrčka & kol., 2005).

## **2. Hlavní cíl práce:**

Cílem této práce bylo zjistit, zda je možné pomocí analýzy stabilních izotopů dusíku v půdě identifikovat organické hnojení na zaniklých středověkých polích v Krušných horách.



## 3. Metodika

### 3.1. Teoretická část

#### 3.1.1. Výběr lokality

Lokalita Spindelbach byla lokalizována v roce 2006 v okrese Chomutov v katastrálním území obce Výsluní (viz příloha č. 3) v Krušných horách. Jedná se o lánovou středověkou osadu (pro ilustraci viz obr. č. 4 a obr. č. 5), která byla objevena díky povrchovému průzkumu, kdy byl nalezen zlomek střepeu sklářské pánve. V souvislosti s novou výsadbou lesního porostu a nájezdu těžké techniky byla jedna část osady odkryta, a zároveň znehodnocena (Crkal & Černá, 2008).



obr. č. 4: Lány viditelné v dnešní krajině

obr. č. 5: Lány viditelné v dnešní krajině

Ve vsi a okolo ní byly nalezeny sklárny, které se na území severozápadních, a potažmo i celých Čech nenachází v takovémto úzkém propojení se středověkou vesnicí. Tato situace tedy dává jedinečnou příležitost ke sledování výrobních vztahů se zemědělstvím (Crkal & Černá, 2008). Zaniklá osada Spindelbach je na území České republiky unikátní nejen tak úzkým propojením skláren se středověkou vesnicí, ale také tím, že vesnicí procházela zemská cesta. Tato cesta se používala k obchodování a zároveň jako přechod přes hory (Michal Hejcman, 2011, osobní sdělení).

Na lokalitě jsou díky současné lesní cestě vidět pozůstatky hranic jednotlivých plužin (viz příloha č. 9) a v lesním porostu lze najít i pozůstatky domů, které jsou stále viditelné (viz příloha č. 10).

V písemných pramenech můžeme dohledat, že osada střídala své majitele a po dobu 114 let byla rozdělena na dvě části. Poslední zmínka o zaniklé osadě je z již zmíněného roku 1481. Jedná se o prodejní smlouvu, díky které se spojují právě

tyto dvě rozdělené části osady. Další osud vsi je však nejasný. Je však známo, že středověké sklářství bylo závislé především na jedné surovině, kterou je dřevo, tudíž docházelo k častým posunům hutí. Proto lze předpokládat, že na lokalitě bylo vytěženo dřevo a vesničané se přesunuli jinam. Přesná doba zániku však není známa, ale muselo to být před rokem 1490 (Crkal & Černá, 2008).

### **3.1.2. Přírodní podmínky**

#### **Geomorfologické podmínky**

Ze dvou systémů, které se podílejí na geomorfologickém členění České republiky, se zaniklá obec Spindelbach nachází v systému Hercynském (Boháč & Kolář, 1996). Systém je v hierarchickém členění nejvyšší geomorfologická jednotka, která odpovídá základní strukturně-tektonické jednotce. Nižší geomorfologická jednotka než-li systém je subsystém, pak následují provincie, subprovincie a nejmenší jednotkou, do které budeme zařazovat naši lokalitu jsou oblasti (Demek & kol., 1987). Lokalita patří do subsystému Hercynská pohoří (Boháč & Kolář, 1996). Subsystém je tvořen rozsáhlejším horstvem nebo nížinou, odpovídá orografickému komplexu základní strukturně-tektonické jednotky. Území České republiky se člení na 4 provincie, z nichž největší část zabírá provincie Česká vysočina (Demek & kol., 1987). Česká vysočina je také provincií, na které se nalézá zkoumaná lokalita. Z deseti možných subprovincií se obec Spindelbach nachází v Krušnohorské subprovincii a v oblasti Krušnohorská hornatina (Boháč & Kolář, 1996).

#### **Geologické podmínky**

V okolí Výsluní a Hory Sv. Šebestiána, kde se nalézá i lokalita Spindelbach, tvoří rozsáhlé území dvojslídne až biotické pararuly s přechody do dvojslídnych svorů, místy s hojnými porfyroblasty živce. Od těchto míst směrem na východ lze nalézt několik pruhů stejného složení (Zoubek & Škvor, 1963). Na lokalitě samotné jsem odebrala vzorek horniny, který jsem zkontrolovala. Jednalo se o drobnozrnnou ortorulu, složenou z křemene, kyselého živce, muskovitu, biotitu a dalších příměsí. Množství křemene a živce v hornině i podíl muskovitu a biotitu je kolísavý (Miroslav Jetmar, 2011, osobní sdělení). Slídy tvoří souvislé plst'ovité vrstvičky, v místech silnějšího prohnětení bývají hruběji šupinaté s převahou muskovitu. Množství porfyroblastů živce je zpravidla závislé na vzdálenosti od ortorulových těles a proniků. Velice častá je možnost pozorování pozvolných přechodů dvojslídnych až

biotických pararul přibýváním množství porfyroblastů živce do migmatitů a dále do drobnozrnných muskovitických ortorul. Na některých místech se vyskytují hojné tenké vložky jemnozrnnějších celistvých křemenných rul, které byly při deformaci diktujícími polohami, došlo k detailnímu a disharmonickému provrásnění okolních pararul (Zoubek & Škvor, 1963).

Z geologického hlediska se lokalita nachází na jižním křídle kateřinohorské klenby v krušnohorském krystaliniku<sup>2</sup>(Miroslav Jetmar, 2011, osobní sdělení)

### **Půdní podmínky**

Samotné půdy lze rozpoznávat dle taxonomického klasifikačního systému půd České republiky. Tento klasifikační systém byl sjednocen za spolupráce lesnický a zemědělsky orientovaných pedologů, kteří dopomohli ke sjednocení různých pedologických map. Systém prezentuje hlavní a nerozšířenější jednotky systému. Kategorie tohoto systému jsou *referenční třídy půd*, které umožňují korelaci mezi zahraničními systémy a systémy českých půd (substantivum končící – sol). Dále jsou to *půdní typy* (hlavní jednotky klasifikačního systému), *půdní subtypy* (výrazné modifikace půdního typu dle znaků), *půdní variety* (charakterizují výskyt horizontů a znaků ve svrchních vrstvách u lesních půd), *ekologické fáze* (jedná se o formy nadložního humusu lesních půd), *degradační a akumulární fáze* (vyjadřují projevy kontaminace, intoxikace, eroze, akumulace aj.) a posledními jsou *půdní formy* (popisují typ substrátu, zrnitost, vrstevnatost a mineralogického složení) (Němeček & kol., 2001). Půdní profil, který byl určen na lokalitě, spadá pod referenční třídu půd: kambisoly (Michal Hejzman, 2011, osobní sdělení).

Kambisoly v užším pojetí hnědých půd se vyskytují především v humidním mikrotermálním až v humidním mezotermálním klimatu. V případě lokality Spindelbach se jedná o humidní mezoderмальní (boreální a frigidní horské) klima (Němeček & kol., 1990). V širokém areálu jejich rozšíření mají jednoduchou stratigrafii: O-Ah nebo Ap- Bv- IIC (Němeček & kol., 2001).

Jedná se o půdní typ Kambizem KA, jsou to půdy s kambickým hnědým (braunifikovaným) horizontem. Tento horizont se vyskytuje převážně v hlavním souvrství svahovin magmatických, metamorfických a sedimentárních hornin (Němeček & kol., 2001). Kambizem se dělí na několik subtypů, kterými jsou například subtyp modální, luvický, dystrický, melanický, umbrický, oglejený, glejový

---

<sup>2</sup> komplex krystalických hornin, tj. metamorfitů a magmatitů především granitoidů (Prof. Jan Petránek)

a další. (Němeček & kol., 1990). Půdní horizont určený na lokalitě patří do subtypu dystrického (viz obr. č. 4). Ve výsledku jde tedy o: Kambisol - kambizem dystrickou (Michal Hejcman, 2011, osobní sdělení).

<b>O - organický horizont</b>
<b>A - povrchový horizont</b> Ah-humózní les., Ap-orniční
<b>Bv - kambický hnědý horizont</b>
<b>C - vlastní půdotvorný substrát (matečná hornina)</b>

obr. č. 6: Rozdělení půdního horizontu pro kambizem dystrickou



obr. č. 7: Odkryv půdního horizontu na lokalitě Spindelbach (foto: Pavla Hejcmanová)

### Klimatické podmínky

Lokalita se nachází v Krušných horách (viz příloha č. 1). Průměrná roční teplota se pohybuje mezi 5 – 6°C. Průměrný počet srážek je měřen mezi 800 – 1000 mm a počet dní se sněžením je průměrně hodnocen na 80 – 100 dní (Voženílek & kol., 2007). Vesnice Spindelbach je lokalizována podél potoka. Horní část vesnice se nachází v 880 m n. m. a dolní část v 800 m n. m. (Crkal & Černá, 2008).

Jak je již výše zmíněno lokalita se nachází v humidním mikrotermálním klimatu, toto klima je charakterizováno chladnými zimami (teplota nejchladnějšího měsíce je menší než 3°C) s trvalou sněžnou pokrývkou, dlouhými bezmrazovými obdobími s ostrými sezónními kontrasty teplot, a velkou variabilitou teploty rok od roku. Průměrná teplota nejteplejšího měsíce je vyšší než 10°C. Dělí se na humidní, kontinentální a subarktické (Němeček & kol., 1990).

V současné době se na lokalitě nachází hlavně smrk (*Picea abies*). Jedná se o smrkovou monokulturu v mýtním období (viz příloha č. 4). Stáří smrkového porostu je odhadováno na 90 let (Hejcman, 2011, osobní sdělení).

Hlavním důvodem proč byla k průzkumu vybrána právě lokalita Spindelbach je to, že od dob středověku nebyla tato oblast zemědělsky využívána a neprobíhalo žádné novověké hnojení.

## **3.2. Praktická část**

### **3.2.1. Sběr dat**

Sběr dat proběhl na dvou plužinách (viz příloha č. 5) na zaniklé středověké vesnici Spindelbach. Vzorky byly odebírány půdní sondou (Ø 5 cm) (viz příloha č. 6 a č. 7) ve dvou řadách, na každé plužině, tudíž ve 4 transektech (a,b,c,d)(viz příloha č. 5). Místa odběru půdních vzorků byla v blízkosti domů a pak v různé vzdálenosti, a to 25, 50,100, 250, 500 a 750 m od těchto domů. Vzorky byly odebírány z A horizontu = humusové vrstvy (viz příloha č. 8). Pro dostatečné množství vzorku bylo nutné odebrat směsný vzorek (3 odběry sondou). Celkem bylo odebráno 28 směsných vzorků.

Vzorku bylo potřebné dostatečné množství, protože velká část z něj byla potřebná pro chemickou analýzu, malá část pak byla použita na analýzu stabilních izotopů dusíku.

Před jakýmkoli dalšími analýzami bylo nutné sesbírané vzorky řádně vysušit a přesít (Ø 2 mm).

Vysušené vzorky byly zhomogenizovány, aby celý směsný vzorek měl co nejvíce shodné složení. Homogenizace byla nutná z důvodu možného zkreslení, ke kterému by jinak pravděpodobně došlo, protože pro izotopovou analýzu je potřeba jen velmi malé množství vzorku. Všechny vzorky byly naváženy na stejnou hmotnost a poté byla provedena analýza stabilního dusíku ve spolupráci s izotopovou laboratoří Úrv. Byl použit spektrometr v Ruzyni (EuroVector, Milan, Italy).

Princip hmotnostní spektrometrie spočívá v tom, že jakákoli obsažená látka ve vzorku se nejdříve ionizuje ve vakuu. Ionizované částice jsou oddělovány a podle svých rozdílných hmotností dochází k jejich detekci při průchodu elektrickým/magnetickým polem (Kovačiková & Brůžek, 2008).

### 3.2.2. Statistická analýza (ANOVA) a regrese

V práci jsem použila analýzu rozptylu (ANOVA, analysis of variance). Je to metoda, která se používá pro porovnání libovolného počtu průměrů. Přesněji šlo o analýzu rozptylu při jednoduchém třídění (one-way ANOVA). Tato metoda analyzuje rozdíly průměrů sledované závisle proměnné mezi skupinami, které určuje nezávisle proměnná. Je zkoumáno, jestli skupiny vytvořené tímto klasifikačním faktorem jsou podobné, anebo zda tvoří jednotlivé průměry jakékoliv identifikovatelné shluky (Hendl, 2009). Porovnávala jsem obsah těžkého dusíku ( $^{15}\text{N}$ ) v odebraných půdních vzorcích z jednotlivých transektů, a také rozdíly mezi blízkým okolím domu a plužinou.

Regresní analýza neboli také regrese je metoda, která nám umožňuje zkoumat vztahy mezi dvěma proměnnými. Pro příklad proměnné X a Y. Jde o to přesněji popsat tvar vztahu mezi X a Y a také charakterizovat jeho vhodnost pro predikaci hodnot závisle proměnné pomocí hodnot nezávisle proměnné. Je díky ní možné určit zda se jedná o vztah lineární, kvadratický aj (Hendl, 2009). V práci jsem použila lineární regresi. Zjišťovala jsem závislost obsahu těžkého dusíku ( $^{15}\text{N}$ ) v půdě na vzdálenosti od vesnice.

## 4. Výsledky

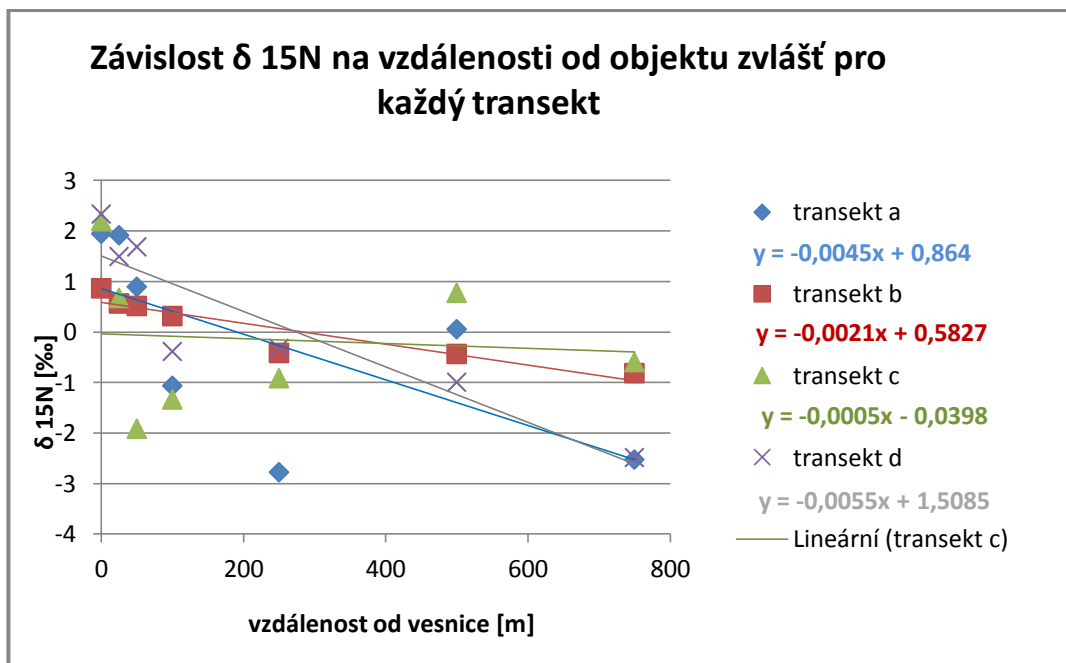
Sběr vzorků byl proveden ve čtyřech transektech, jak ukazuje obrázek č. 8. Ve všech čtyřech transektech (a,b,c,d) se signifikantně prokázalo, že obsah těžkého dusíku v půdě klesá se vzdáleností od objektu, tedy samotného domu a zároveň tedy i ve vzdálenosti od vesnice, což ukazuje i obrázek č. 10.

Dále jsem testovala, zda se jednotlivé plužiny od sebe vzájemně lišily obsahem těžkého dusíku. Jak je vidět na obrázku č. 9. Je zde jasně viditelné, že mezi obsahem dusíku v jednotlivých plužinách nebyl žádný signifikantní rozdíl.

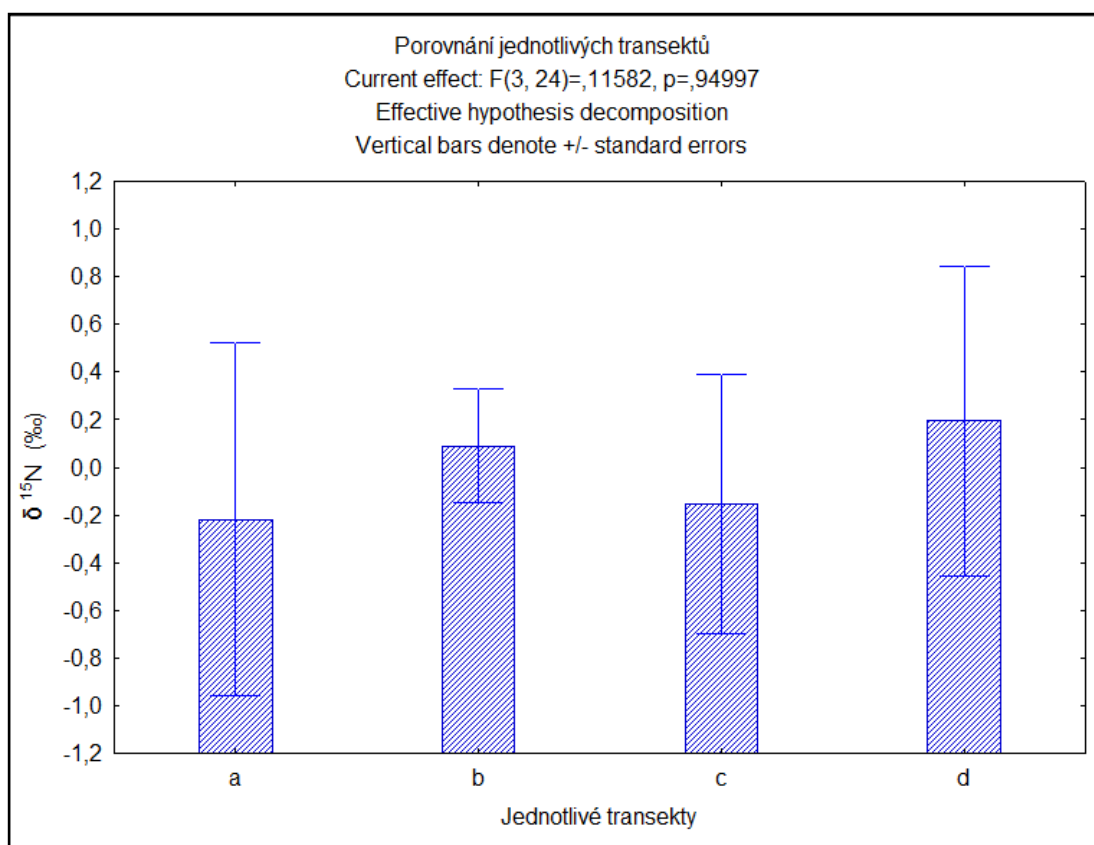
Jelikož nebyl statisticky průkazný rozdíl v obsahu  $^{15}\text{N}$  v jednotlivých transektech, všechny transekty byly analyzovány společně.

Obrázek č. 11, na kterém je znázorněn graf závislosti výskytu těžkého dusíku na místě odběru, ukazuje, že se signifikantně liší dům a jeho blízké okolí od zbytku lánového pole. Jinak lze výsledek interpretovat tak, že obsah těžkého dusíku u vzorků odebraných u domů a jejich blízkém okolí (do 25 m) byl vyšší než vzdálenější část plužiny.

Zjištěné hodnoty v obsahu  $\delta^{15}\text{N}$  v určitých vzdálenostech od domu jsou uvedeny v tabulce č. 1.

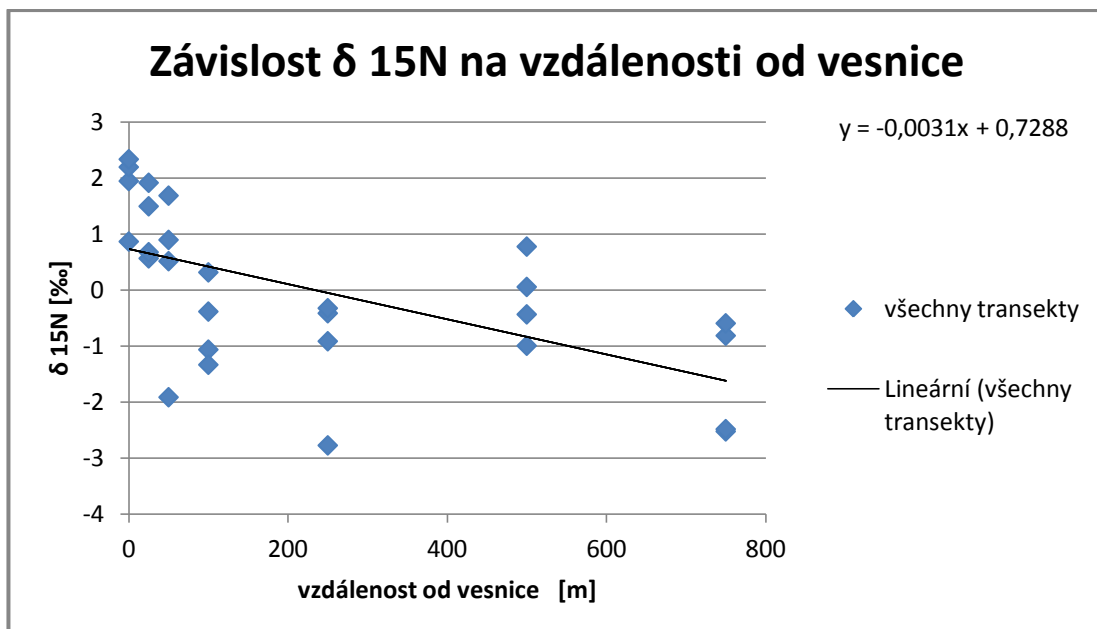


obr. č. 8: Závislost obsahu  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě na vzdálenosti od objektu zvlášť pro každý transekt

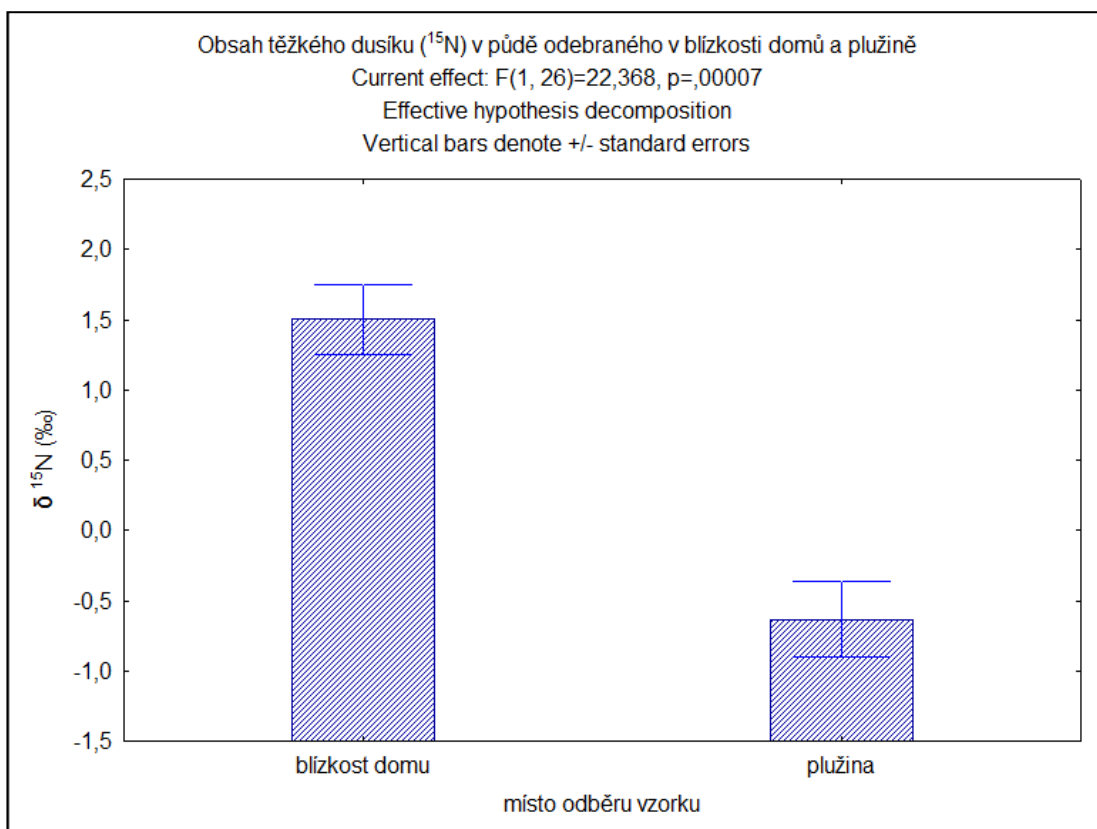


obr.č. 9: Porovnání obsahu  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě v jednotlivých transektech (a,b,c,d)





obr. č. 10: Obsah těžkého dusíku  $\delta^{15}\text{N}$  v půdních vzorcích v závislosti na vzdálenosti od vesnice



obr. č. 11: Obsah těžkého dusíku  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě odebraného v blízkosti domů a plužině

Vzdálenost [m]	Průměr $\delta^{15}\text{N}$ [‰] $\pm$ S.E.
0	1,84 $\pm$ 0,333
25	1,1675 $\pm$ 0,326
50	0,3 $\pm$ 0,776
100	-0,6125 $\pm$ 0,370
250	-1,1025 $\pm$ 0,571
500	-0,145 $\pm$ 0,376
750	-1,6 $\pm$ 0,522

tab.č.1: Zjištěné hodnoty obsahu  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě v určitých vzdálenostech od domu

S.E. = standard error of mean

## 5. Diskuse

Zvýšený obsah těžkého dusíku ( $^{15}\text{N}$ ) v půdě odebrané na zaniklých středověkých polích ukazuje na používání organických hnojiv. Zvýšená hladina těžkého dusíku se porovnává se standardem, kterým je atmosférický dusík ( $\text{N}_2$ ). Pokud je  $\delta^{15}\text{N}$  kladná, můžeme mluvit o zachovalém středověkém signálu ( $\delta^{15}\text{N}$ ), který odpovídá na organické hnojení. Nepřímým důkazem hnojení na této lokalitě jsou nalezené střepy keramiky po celé délce plužin, které tam byly odhozeny spolu s kuchyňským odpadem. S tímto tvrzením souhlasí Miller (1994), která totéž vyvozuje z nálezů podkov a jiných předmětů po celé délce pole.

Obsah těžkého dusíku v půdě klesá se vzdáleností od vesnice, což je spojeno s fyzickou náročností aplikací organických hnojiv po celé délce plužin. Více byly tedy hnojeny části plužiny u domu. Dambrine & kol. (2007) ve svém výzkumu římského zemědělství uvádějí, že diverzita rostlin se silně zvyšuje směrem k centru osídlení. Tento jev je doprovázen zvýšením pH, fosforu (P), ale také hlavně  $\delta^{15}\text{N}$ . Toto indikuje dlouhotrvající účinek bývalých zemědělských praktik. Úroda v blízkosti domu byla také více chráněna.

Zvýšený obsah  $^{15}\text{N}$  v půdě u domů a jejich blízkém okolí (do 25 m) ukazuje, že domy pravděpodobně zároveň sloužily jako stáje pro dobytek. Jak demonstroval Bol & kol. (2008), používání organických hnojiv významně zvyšuje obsah  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě. Tudíž se dá předpokládat zvýšený obsah  $^{15}\text{N}$  v půdách na bývalých stájích, kde docházelo k defekaci zvířat.

Na základě zvýšeného obsahu těžkého dusíku ( $^{15}\text{N}$ ) v půdě, usuzujeme, že na zaniklé lokalitě Spindelbach bylo použito organické hnojivo a signál hnojení je měřitelný dodnes. Je vysoce pravděpodobné, že tedy lidé v tehdejší době vyváželi za svůj pozemek spolu s hnojem i vše nepotřebné. Toto tvrzení nepřímo potvrzují nálezy keramických střepů po celé délce plužin, což bylo zjištěno při archeologickém výzkumu (Tomáš Klír, 2011, osobní sdělení). Tyto nálezy indikují, že se za dům vyvážel veškerý odpad, který byl vyprodukován obyvateli domu.

## 6. Závěr

Analýza stabilních izotopů dusíku v půdě byla již použita pro identifikaci zemědělské činnosti v západní Evropě (Dupouey & kol., 2002; Bogaard & kol., 2007; Aquilera & kol., 2008), ale nikdy nebyla použita v České republice. Na lokalitě Spindelbach bylo zjištěno, že zvýšený izotopový signál ( $^{15}\text{N}$ ) používáním organických hnojiv je měřitelný dodnes. Nepřímým důkazem používání organických hnojiv jsou nálezy keramiky na zaniklých polích. Také chov zvířat v blízkosti domu se jeví jako vysoce pravděpodobný, protože obsah těžkého dusíku v oblasti kolem domu je výrazně zvýšený oproti ostatním částem plůžiny.

Samotná metoda má velký potenciál. Mohla by se podílet na nových aspektech využití v archeologii. Je velice pravděpodobné, že s metodou stabilních izotopů se bude pokračovat v dalších budoucích studiích.

## 7. Použitá literatura

Aguilera M., Araus J. L., Voltas J., Rodríguez-Ariza M. O., Molina F., Rovira N., Buxó R. & Ferrio J. P., 2008: Stable carbon and nitrogen isotopes and quality traits of fossil cereal grains provide clues on sustainability at the beginnings of Mediterranean agriculture. *Rapid Communications in Mass Spectrometry* 22: 1653–1663.

Beranová M. & Kubačák A., 2010: Dějiny zemědělství v Čechách a na Moravě. Nakladatelství Libri, Praha.

Biermann K. & Hanus F. [eds], 1992: Kronika lidstva. Fortuna Print, Bratislava.

Binterová Z., 1997: Zaniklé vesnice Chomutovska VII. díl. Okresní muzeum v Chomutově, Chomutov.

Bogaard A., Heaton T.H.E., Poulton P. & Merbach I., 2007: The impact of manuring on nitrogen isotope ratios in cereals: archaeological implications for reconstruction of diet and crop management practices. *Journal of Archaeological Science* 34: 335–343.

Boháč P. & Kolář J., 1996: Vyšší geomorfologické jednotky České republiky. Český úřad zeměměřický a katastrální, Praha.

Bol R., Ostle N. J., Petzke K. J., Chenu C. & Balesdent, J., 2008: Amino acid <sup>15</sup>N in long-term bare fallow soils: influence of annual N fertilizer and manure applications. *European Journal of Soil Science* 59: 617–629.

Bowen R. & Attendorn G., 1994: *Isotopes in the Earth Sciences*. Chapman and Hall, London, UK.

Crkal J. & Černá E., 2008: Nové objevy v Krušných horách - zaniklé středověké sklárny na k. ú. Výsluní, okr. Chomutov. *Archaeologica historica* 33: 503 - 521.

Černý E., 1979: Zaniklé středověké osady a jejich plužiny. Československá akademie věd, Praha.

Dambrine E., Dupouey J.-L., Laüt L., Humbert L., Thinon M., Beaufiles T. & Richard H., 2007: Present forest biodiversity patterns in France related former Roman agriculture. *Ecology* 88: 1430–1439.

Dawson T. E. & Brooks P. D., 2001: *Fundamentals of Isotope Chemistry and Measurement*. In: Unkovich M., Pate J., McNeill A. & Gibbs J. [eds]: *Isotope*

Techniques Book in the Study of Biological Processes. Kluwer academic publishers, Holandsko: 1-18.

Demek J. & kolektiv, 1987: Zeměpisný lexikon ČSR, Hory a nížiny. Academia, Brno.

Dohnal M., 2011: Středověké plužiny Velké Británie a jejich význam pro poznání zemědělského vývoje v českých zemích . Český lid: Etnologický časopis 98: 337-357.

Drška V. & Picková D., 2004: Dějiny středověké Evropy. Skřivan, Praha.

Dudková V., Orna J., Vařeka P. & kol., 2008: Hledání zmiazelého, Archeologie zaniklých vesnic na Plzeňsku. Západočeské muzeum v Plzni, Plzeň.

Dupouey J. L., Dambrine E., Laffite J. D., & Moares C., 2002: Irreversible impact of past land use on forest soils and biodiversity. Ecology 83: 2978–2984.

Fraser R. A., Bogaard A., Heaton T., Charles M., Jones G., Christensen B.T, Halstead P., Merbach I., Poulton P.R., Sparkes D. & Styring A. K., 2011: Manuring and stable nitrogen isotope ratios in cereals and pulses: towards a new archaeobotanical approach to the inference of land use and dietary practices. Journal of archaeological science 38: 2790-2804.

Groenestein C. M. & Van Faassen H. G., 1996: Volatilization of Ammonia, Nitrous Oxide and Nitric Oxide in Deep-litter Systems for Fattening Pigs. Journal of Agricultural Engineering Research 65: 269-274.

Harrison J. F. C., 1984: The Common People: A History from the Norman Conquest to the Present. Harper Collins Publishers, UK

Hendl J., 2009: Přehled statistických metod: analýza a metaanalýza dat. Portál, Praha.

Jämtgård S., Näsholm T. & Danell K. H., 2010: Nitrogencompounds in soilsolutions of agriculturalland. Soil Biology and Biochemistry 42: 2325-2330.

Jevremovic T., 2009: Nuclear principles in engineering. Springer, UK.

Kendall C., Elliott E. M. & Wankel S.D., 2007: Tracing Anthropogenic Inputs of Nitrogen to Ecosystems. In: Michener R., Lajtha K. [eds]: Stable Isotopes in Ecology and Environmental Science. Blackwell Publishing, Oxford: 375-449.

Kirchner K., Andrejkovič T., Hofírková S. & Petrová A., 2003: Reliéf Národního parku Podyjí a jeho antropogenní transformace. Geomorfologický sborník 2. Západočeská univerzita, Plzeň: 31-38

Kovačiková L. & Brůžek J., 2008: Stabilní izotopy a bioarcheologie - výživa a sledování migrací v populacích minulosti (1). Živa 1: 42-45.

Křivánek R., 2004: Geofyzikální metody. In: Kuna M. [ed]: Nedestruktivní archeologie. Academia, Praha: 117-183.

Kuna M., 2004: Nedestruktivní terénní postupy v archeologii. In: Kuna M. [ed]: Nedestruktivní archeologie. Academia, Praha: 15-26.

Majer A., 2004: Geochemie v archeologii. In: Kuna M. [ed]: Nedestruktivní archeologie. Academia, Praha: 195-235.

Mareš S. & kol., 1990: Úvod do užité geofyziky. SNTL - Nakladatelství technické literatury, Praha.

Mikulaj V., 1992: Nuclear transmutation. In: Navrátil O. [eds]: Nuclear chemistry. Academia, Praha : 34 - 81.

Miller N. F., 1994: The Archaeology of Garden and Field. University of Pennsylvania Press, Philadelphia.

Mortensen H., 1947: Zur Entstehung der deutschen Dorfformen, insbesondere des Waldhufendorfs. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen.

Navrátil O., 1992: Subatomic structure of matter. In: Navrátil O. [eds]: Nuclear chemistry. Academia, Praha: 13-33..

Nekuda R., 1974: Příklad historické archeologie k výzkumu zaniklých středověkých osad v Evropě. Archaeologia historica I.

Němeček J., Smolíková L. & Kutílek M., 1990: Pedologie a paleopedologie. Academia, Praha.

Němeček J., Vokoun J., Smejkal J., Macků J., Kozák J., Němeček K. & Borůvka L., 2001: Taxonomický klasifikační systém půd. ČZU Praha, VÚMOP Praha, Praha.

Oberbeck G., 1958: Neue Ergebnisse der Flurformen forschung in Niedersachsen. Deutschen Landesk : 125-142.

Peterken G. F. & Game M., 1984: Historical factors affecting the number and distribution of vascular plant species in the woodlands of central Lincolnshire. *Journal of Ecology* 72: 155-182.

Robinson D., 2001:  $\delta^{15}\text{N}$  as an integrator of the nitrogen cycle. *Trends in Ecology Evolution* 16:153-162.

Smrčka, V., Bůzek F., Erban V., Berkovec T., Dočkalová M., Neumanová K. & Fišáková M., 2005: Carbon, nitrogen and strontium isotopes in the set of skeletons from the neolithic settlement at Vedrovice (Czech Republic). *Anthropologie* 43: 315-323.

Sweeney D. [ed], 1995: *Agriculture in the Middle Ages: Technology, Practice, and Representation*. University of Pennsylvania

Štěpánek M., 1968: Plužina jako pramen osídlení. *Československý časopis historický* 16: 247-274.

Templer P., Arthur M., Lovett G. & Weathers K., 2007: Plant and soil natural abundance  $\delta^{15}\text{N}$ : indicators of relative rates. *Oecologia* 153(2): 399-406.

Voženílek V. & kol., 2007: *Atlas podnebí Česka*. Český hydrometeorologický ústav, Praha.

Zoubek V. & Škvor V., 1963: *Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000*. Československá akademie věd, Teplice, Chabařovice .



## 8. Další zdroje

Petránek J., Geologická encyklopedie, Česká geologická služba, Praha, Online: [http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?krusnohorske\\_\\_krystalinikum](http://www.geology.cz/aplikace/encyklopedie/term.pl?krusnohorske__krystalinikum), cit. 18.3.2012

Vomáčková V., Vendy atelier, Moravské Budějovice, Online: <http://vendyatelier.cz/krava-0>, použito: 10.4.2012 (obrázek)

Bína J., Geomorfologická mapa, Online: <http://www.treking.cz/regiony/celky.htm>, použito: 29.3.2012

Seznam.cz, a.s., Mapa lokalizující zkoumanou lokalitu, Online: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz), použito: 14.9.2011

Klír T., Mapa zaniklé lokality Spindelbach, Výzkum zaniklých vesnic - Pohled archeologických pramenů, použito: 29.2.2012

Součková K., Mapa – lokalizace lokality Spindelbach v rámci České republiky, Identifikace zemědělské činnosti na zaniklých středověkých vesnicích, použito: 20.2.2012

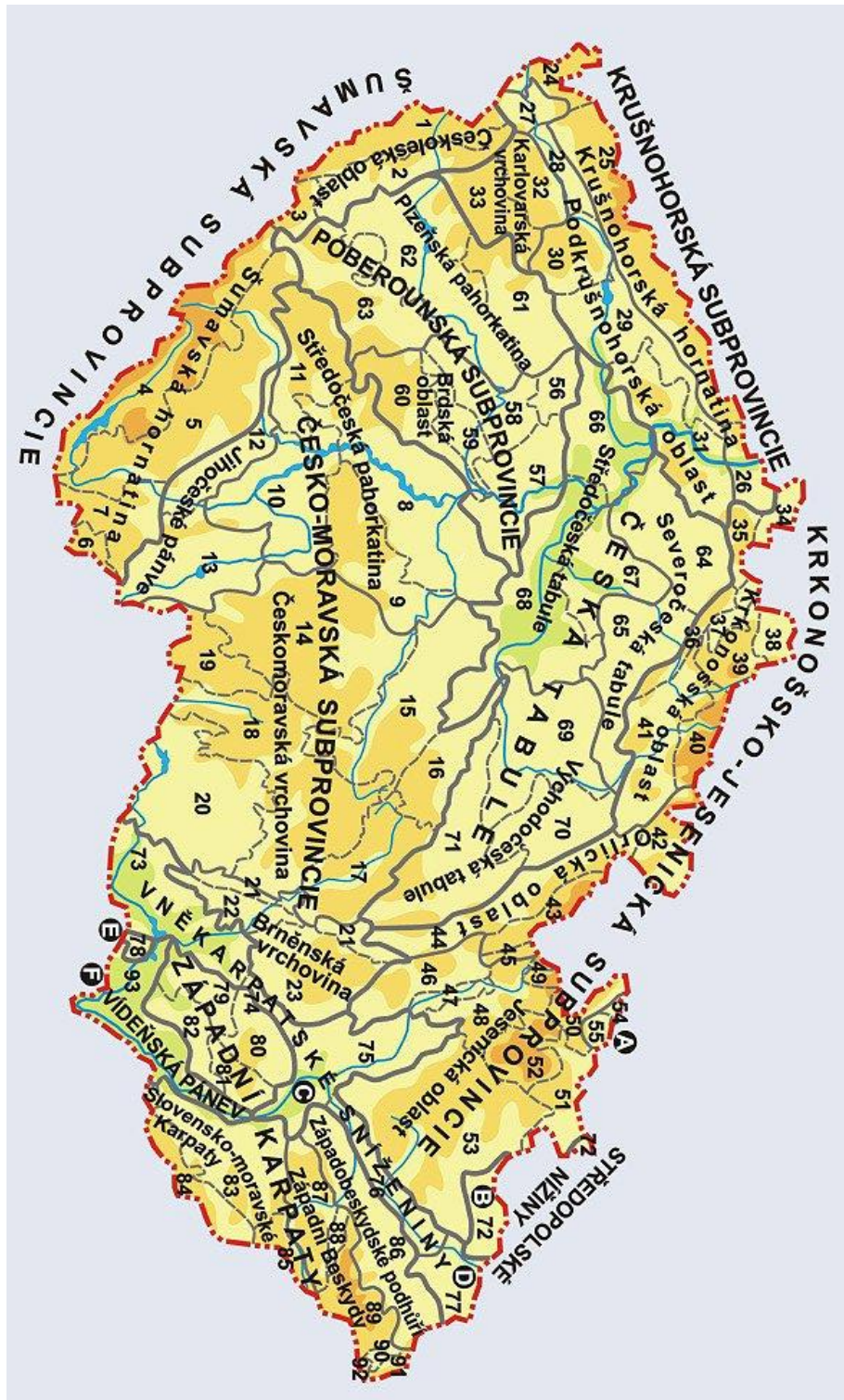
## 9. Seznam obrázků

- **obr. č. 1:** Traťová plužina (převzato: Černý, 1979)
- **obr. č. 2:** Záhumenicová plužina (převzato: Černý, 1979)
- **obr. č. 3:** Princip organického hnojení (zdroj: <http://vendyatelier.cz>)
- **obr. č. 4:** Lány viditelné v dnešní krajině (převzato: Dohnal, 2011)
- **obr. č. 5:** Lány viditelné v dnešní krajině (převzato: Dohnal, 2011)
- **obr. č. 6:** Rozdělení půdního horizontu pro kambizem dystrickou
- **obr. č. 7:** Odkryv půdního horizontu na lokalitě Spindelbach (foto: Pavla Hejcmanová)
- **obr. č. 8:** Graf: Závislost obsahu  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě na vzdálenosti od objektu zvlášť pro každý transekt
- **obr. č. 9:** Graf: Porovnání obsahu  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě v jednotlivých transektech (a,b,c,d)
- **obr. č. 10:** Graf: Obsah těžkého dusíku  $\delta^{15}\text{N}$  v půdních vzorcích v závislosti na vzdálenosti od vesnice
- **obr. č. 11:** Graf: Obsah těžkého dusíku  $\delta^{15}\text{N}$  v půdě odebraného v blízkosti domů a plužině

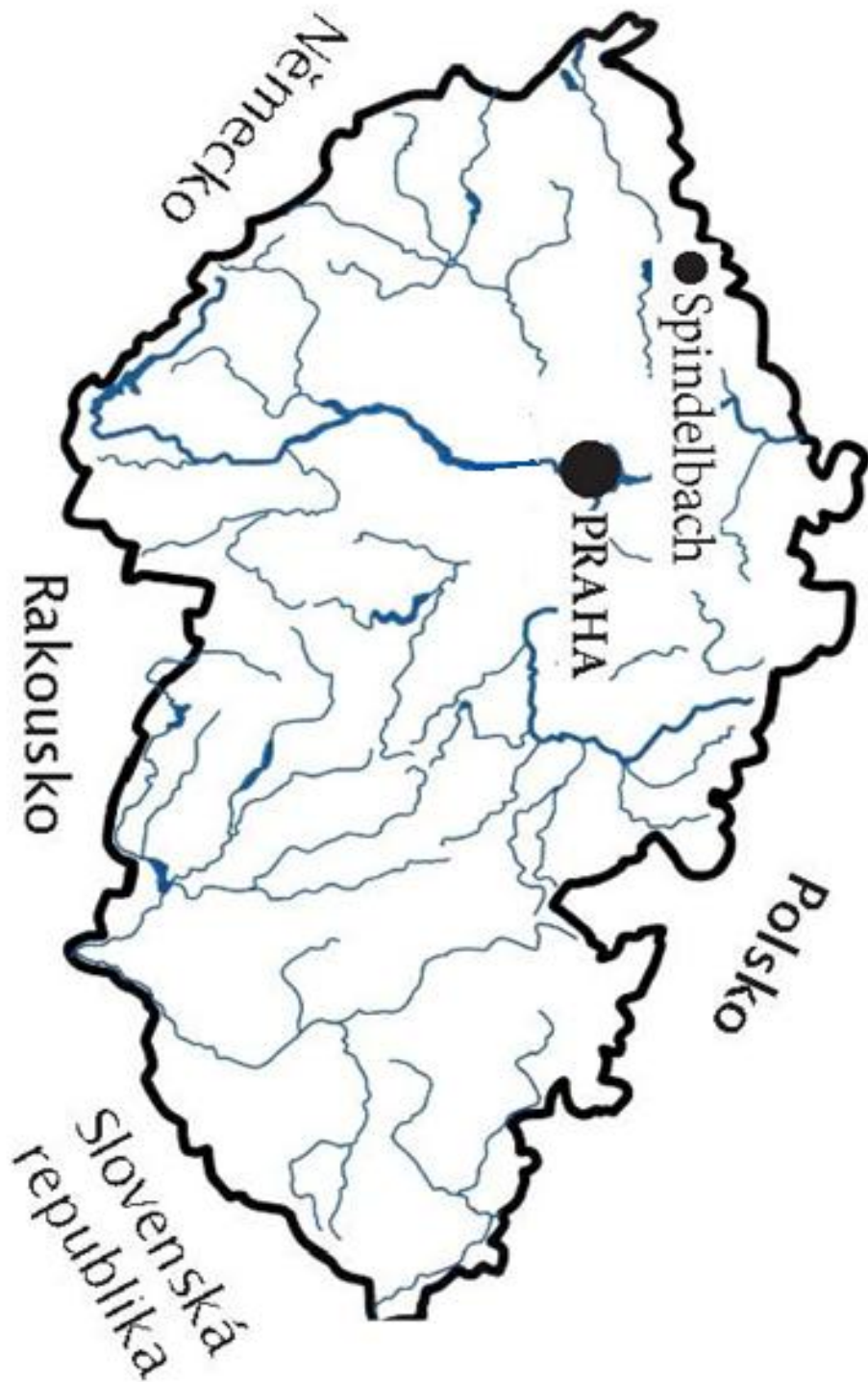
## 10. Seznam příloh

- **příloha č. 1:** Krušné hory v rámci České republiky (převzato: [www.treking.cz](http://www.treking.cz))
- **příloha č. 2:** Lokalita Spindelbach v rámci České republiky (převzato od: Kateřina Součková)
- **příloha č. 3:** Bližší lokalizace osady Spindelbach (převzato: [www.mapy.cz](http://www.mapy.cz))
- **příloha č. 4:** Smrková monokultura (foto: Pavla Staňková)
- **příloha č. 5:** Plánek lokality Spindelbach s naznačenými plužinami a transekty odběrů vzorků ( převzato od: Tomáš Klír)
- **příloha č. 6:** Odběr vzorků – první typ půdní sondy (foto: Pavla Staňková)
- **příloha č. 7:** Odběr vzorků – druhý typ půdní sondy (foto: Pavla Hejcmanová)
- **příloha č. 8:** Možné podoby odebraných vzorků (foto: Pavla Staňková)
- **příloha č. 9:** Orientačně vyznačené zdi domu dodnes viditelné v krajině (foto: Pavla Staňková)
- **příloha č. 10:** Viditelné hranice plužin v terénu (foto: Pavla Staňková)

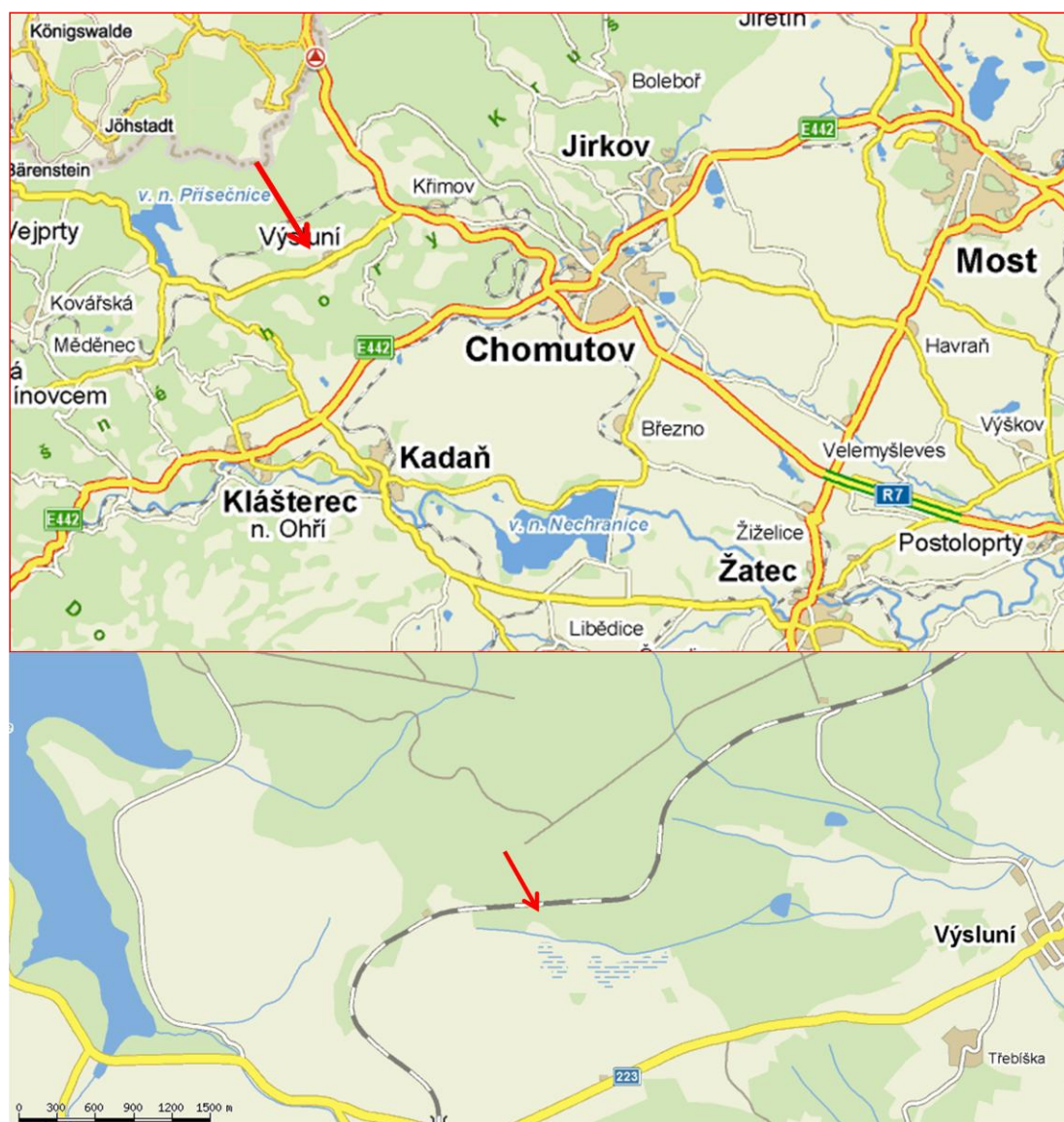
Příloha č. 1: Krušné hory v rámci České republiky



Příloha č. 2: Lokalita Spindelbach v rámci České republiky



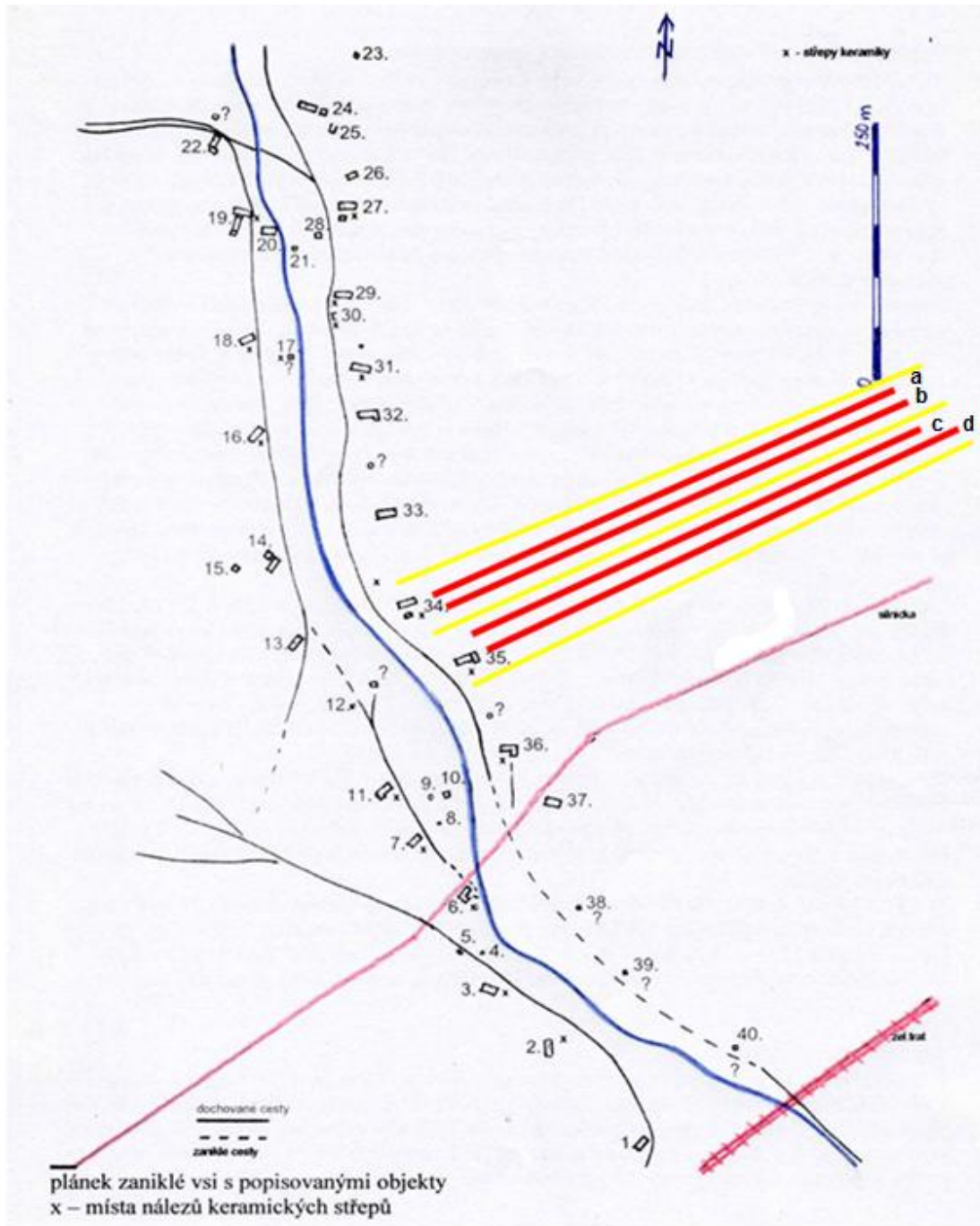
### Příloha č. 3: Bližší lokalizace osady Spindelbach



#### Příloha č. 4: Smrková monokultura



**Příloha č. 5: Plánek lokality Spindelbach s naznačenými plužinami a transekty odběrů vzorků**



legenda: modrá linie – potok  
 žluté linie – hranice mezi plužinami  
 červené linie – jednotlivé transekty



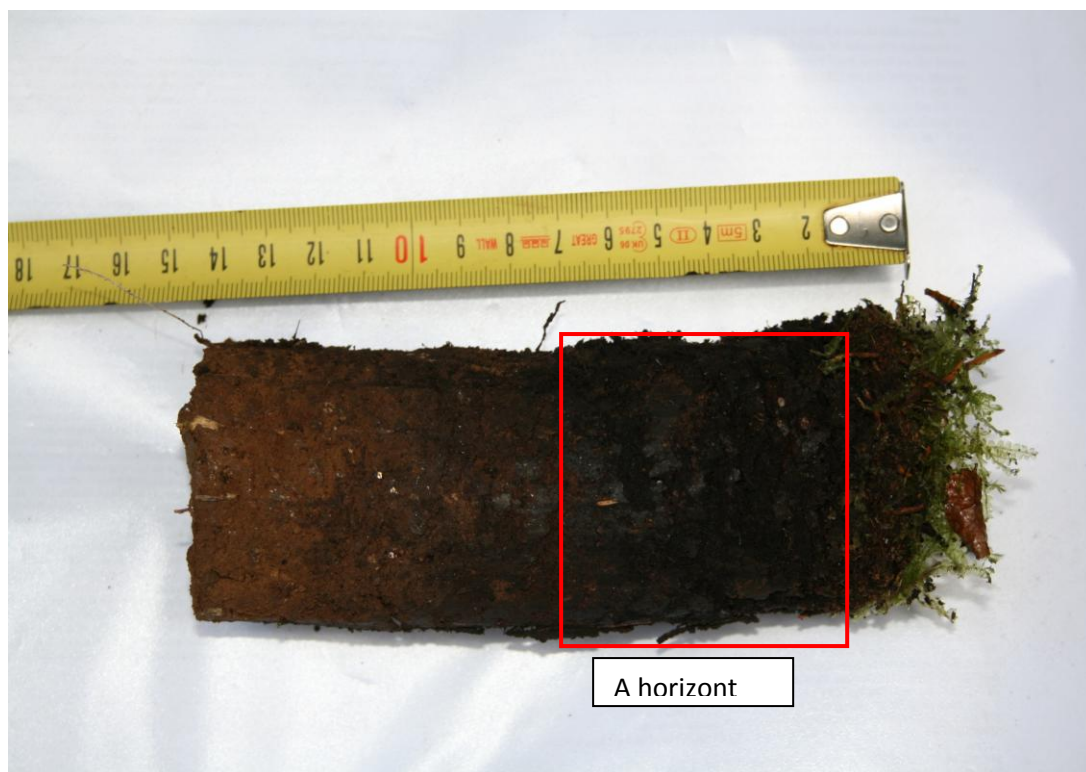
**Příloha č. 6: Odběr vzorků – první typ půdní sondy**



**Příloha č. 7: Odběr vzorků – první typ půdní sondy**



**Příloha č. 8 : Možné podoby odebraných vzorků**



**Příloha č. 9: Viditelné hranice plužin v terénu**



**Příloha č. 10: Orientačně vyznačené zdi domu dodnes viditelné v krajině**

