Metodika odběrů a zpracování vzorků pro geoarcheologický výzkum

„Výzkum sedimentárního záznamu“

Certifikovaná metodika

Autorský tým: Aleš Bajer – Lenka Lisá

Certifikovaná metodika zpracovaná v rámci projektu programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní kulturní identity NAKI (DF13P01OVV005)

Mendelova univerzita v Brně, Masarykova univerzita

2016

http://www.phil.muni.cz/whvk/home/publikace

Autorský tým:
Doc. Aleš Bajer, PhD., Mgr. Lenka Lisá, PhD.,

Oponenti metodiky:
Prof. PhDr. Eva Semotanová, DrSc.
Historický ústav AV ČR v.v.i., Prosecká 76, 190 00, Praha 9

Doc. PhDr. Pavel Vařeka, Ph.D.
Západočeská Universita v Plzní, Filozofická fakulta
Sedláčkova 38, 306 14, Plzeň

Kontakty na autory:
Doc. Mgr. Aleš Bajer, Ph.D., Mendelova Universita v Brně
Zemědělská 1, 613 00, Brno
bajer@mendelu.cz

Mgr. Lenka Lisá, PhD., Masarykova Universita
Kotlářská 2, 602 00, Brno
lisa@gli.cas.cz

Obsah:

1. Úvod a cíl metodiky……..……....4
2. Geoacheologie jako vědní disciplína……..……..5
3. Obecný rámec metodiky……... …….…….. 6
3.1. Vývoj metodických přístupů geoarcheologie u nás ……..……6
3.2. Vývoj metodických přístupů geoarcheologie v zahraničí …….....7
3.3. Studium sedimentárního záznamu….……8
3.3.1. Příprava před terénním výzkumem ……... ……...13
3.3.2. Základní terénní popis ……...14
……...3.3.3. Základní charakteristiky popisu sedimentu……16
4. Laboratorní analýzy, metodiky……23
4.1. Mikromorfologie ……23
4.2. Zrnitostní analýza ……26
4.3. Analýza magnetických vlastností ……28
4.4. Stanovení pH ……...29
4.5. Stanovení obsahu CEC …….....31
4.6. Stanovení hodnot LOI, TOC, Cox a Corg ……...32
4.7. Stanovení fosforu – fosfátová analýza….…….....33
4.8. Víceprvkové (multielementární) geochemické analýzy ……34
4.9. Shrnutí laboratorních metod…… ……....35
5. Aktuální otázky geoarcheologie …….....37
5.1. Metodické trendy v geoarcheologii ……...37
5.2. Význam spolupráce archeologa a geologa/pedologa…….....38
5.3. Využití geoarcheologie k ochraně národního dědictví ……..40
5.4. Vztah ekologie (lesnické a krajinné) a geoarcheologie (environmentální archeologie) ….……40
6. Shrnutí…….....43
7. Seznam tabulek a obrázků……...44
8. Použitá literatura ……45

1. Úvod a cíl metodiky

Geoarcheologie je dnes dynamicky rozvíjející se obor, který se v poslední době významně uplatňuje jako součást archeologických výzkumů především v západní Evropě a Americe. V České republice byla geoarcheologie dlouho chápána zejména ve smyslu určování původu artefaktů, vytipování těžebních okrsků, určení stavebních materiálů, strusek, apod. (Přichystal 2009). V poslední době i u nás došlo k posunu v chápání tohoto meziborového studia, a to směrem k aplikování geovědních disciplín a jejich metod v rámci interpretace formačních procesů archeologických situací a záznamů. Vidění archeologických situací v kontextu geologie, geomorfologie a pedologie může přinést nový pohled v celkové archeologické interpretaci nebo ve směru jakým se bude další archeologický výzkum ubírat. Na rozdíl od principu popisnější archeologie, poskytuje geoarcheologie informace o životním prostředí, využívání a vývoji konkrétních archeologických lokalit a jejich okolí. Může také objasnit způsoby a důvody jejich opuštění. Východiskem georcheologických technik jsou uznávané exaktní metodické nástroje využíváné zejména v geologických vědách. Konkrétní aplikace geoarcheologických metod výzkumu vždy závisí na konkrétní archeologické situaci a tyto mohou být být plně využity pouze při plné součinnosti mezi archeologem a geologem, pedologem (geoarcheologem).

Předkládaná metodika si klade za cíl představit a popsat vybrané metody odběru a zpracování vzorků pro konkrétní výzkumné geoarcheologické analýzy. Určena je především terénním archeologickým pracovníkům, studentům přírodovědných archeologických oborů se zájmem o vývoj antropogeně ovlivěné krajiny a všem zájemcům, kteří si chtějí prohloubit znalosti v dané problematice. Metodika je uplatnitelná všemi pracovníky organizací a firem zabývajících se terénní archeologií.

2. Geoarcheologie jako vědní disciplína

Vzájemná interakce člověk/krajina je předmětem rozsáhlého počtu publikací (Forman a Gordon, 1993; Roberts, 1998; Turk a Thompson, 1995) představujících tuto problematiku z různých hledisek. Krajina je nedílnou součástí přírodního prostředí, ve kterém se člověk pohybuje. Jako taková je ovlivňována či lépe řečeno modelována především neantropogenními vlivy jako například vývojem klimatu a s tím souvisejícím vývojem geomorfologie, půdního fondu či vegetace (Czudek, 2005; Birkeland, 1999). S postupným intenzivnějším rozšířením člověka cca od neolitu (Roberts, 1998) se zvyšuje i tlak na přeměnu krajiny a člověk se tak stává dalším významným modelačním faktorem.

Spolu s detailnějším studiem archeologického záznamu a tedy i vlivu krajiny na člověka nebo intenzity vlivu člověka na krajinu, nastala v posledních desetiletích čím dál tím větší potřeba studia sedimentárního záznamu, ve kterém, je vývoj krajiny uchován (Ložek, 2011; Holliday, 2004). S tím souvisí i výběr správných metodických nástrojů, které byly původně používány v jiných oborech, například v sedimentární geologii, geografii či pedologii. Vzniká tak doslova nový obor – geoarcheologie nebo environmentální archeologie, někdy také nazývaná archeologická geologie (Butzer, 1982). Velmi dobře člověka geoarcheologa charakterizuje Renfrew (1976).

„Tato disciplína využívá vědce-geologa, jeho zájmu o půdy, sedimenty a tvary v krajině (geomorfologie), soustřeďuje jeho dovednosti na archeologické stanoviště. Tato nová disciplína - geoarcheologie se primárně zabývá kontextem, ve kterém se archeologické artefakty nacházejí. A jelikož archeologie, nebo přinejmenším pravěká archeologie přichází téměř ke všem základním poznatkům pomocí vykopávek, každý archeologický výzkum začíná jako geoarcheologický výzkum.“

3. Obecný rámec metodiky

Geoarcheologie, jako metodický přístup, může být chápána z několika pohledů. Čistě z principu slovního spojení jde o aplikaci geologických principů na řešení či lépe řečeno zpřesňování interpretací archeologických situací. Někteří autoři však tento pojem vykládají poměrně odlišně nebo naopak pro podobné metodické přístupy používají jiná slovní označení. Například Přichystal (2009) chápe pod pojmem geoarcheologie především studium lithického materiálu a provenienční studie, které jsou ve výsledku aplikovány pro řešení archeologických otázek. Jiní autoři, např. Štelcl a Malina (1974) tento metodický přístup shrnují pod pojem petroarcheologie, Butzer (1982) jej potom označuje jako archeologická geologie. Stejně tak se setkáváme s tím, že pod pojmem geoarcheologie může být výhradně chápáno studium keramického materiálu (Key a Gaskin, 2000), resp. jeho minerálního složení, či například studium vývoje půd v kontextu s lidským osídlením (Holliday, 2004). Toto však nic nemění na faktu, že geoarcheologie jako celek by měla být chápána v širším kontextu a to především z multidisciplinárního metodického hlediska, které by mělo využívat exaktní poznatky jak z geologie, geografie, pedologie či dalších přírodovědných oborů (Rapp a Hill, 2006; Goldberg a Macphail, 2005; French, 2002).

Geoarcheolog pracuje s krajinou na mnoha úrovních. V širším, obecnějším a časově rozsáhlejším pojetí geoarcheologické problematiky lze řešit otázky spojené především s interpretací geomorfologie terénu (například přirozené bezlesí versus odlesňování krajiny na počátku neolitu a s tím spojený nástup eroze a degradace půd, detekovatelný napříč mnoha ekosystémy (Van Andel, 1990). Na nižší úrovni, tzv. regionálního pohledu lze potom pohlížet z hlediska geoarcheologie na interpretaci jednotlivých sídlišť nebo objektů a s nimi spojené aktivity (kultivace, cesty atd.) (Goldberg a Macphail, 2006). Nejdetailnějším stupněm geoarcheologického výzkumu je úroveň mikroskopických a fyzikálně-chemických znaků jednotlivých facií sedimentu nebo jeho artefaktuální náplně (Macphail a Goldberg, 2010).

3.1. Vývoj metodických přístupů geoarcheologie u nás

Za průkopníky geoarcheologie u nás mohou být považováni především badatelé, kteří jsou zároveň průkopníky v souvisejících oborech, jako je pedologie či kvartérní geologie. Za jednoho z nich může být u nás považován Josef Pelíšek, který byl významným terénním pedologem 1. pol. 20. stol. a založil pedologickou školu na Moravě (Pelíšek 1940; 1966). Součástí jeho práce bylo však zároveň studium spraší, fluviálních a jeskynních sedimentů a

s tím související i řešení archeologických otázek (Pelíšek, 1944; 1959). Právě Pelíšek jako jeden z prvních používá metody zjišťování zrnitosti, měření obsahu karbonátů nebo obsahu organické hmoty v půdách v přímém archeologickém kontextu (Pelíšek, 1959). Pelíšek spolupracoval s mladšími kolegy, jako je Žebera, Musil a Valoch. Žebera ve svých pracích využívá přírodovědných metod při studiu archeologických situací (Žebera 1936; 1958). Konkrétně se postupně zaměřuje na studium spraší, ledovcových sedimentů nebo fluviálních sedimentů. Musil a Valoch se začali specializovat především na výzkum spraší, pohřbených půd a jeskynních sedimentů (Valoch et al., 1969, 1985; Musil a Valoch, 1957) a i oni používají stejné metodické přístupy, které od Pelíška převzali. Dalších přírodovědců, kteří se cca od poloviny dvacátého století začali podílet na environmentálních výzkumech spojených s interpretací archeologických lokalit a vývoje klimatu a krajiny, je poměrně dlouhá řada a není předmětem této práce je zde všechny vyjmenovávat. K nejvýznamnějším patří Ložek a Kovanda (malakologie), Smolíková (mikromorfologie), Kukla (vývoj klimatu), Demek, Czudek, Karásek (geomorfologie), Rybníček, Rybníčková, Jankovská, Svobodová (palynologie), Šibrava, Tyráček a Sýkora, kteří se zabývali především přirozenými geologickými procesy kvartérního vývoje krajiny. Rozsah použitých metodik se tím pádem rozšířil podle specializací toho kterého vědce, nicméně základní fyzikální a chemická charakteristika sedimentů (půdy) zůstává velmi podobná tomu, jak jí hodnotil sám Pelíšek. Další generace přírodovědců nastupuje s rozvojem a aplikací erudovanějších fyzikálních a geochemických metod a modernějšího přístrojového vybavení. Tak se do popředí dostávají metodické přístupy jako je studium magnetických vlastností spraší, fluviálních či jeskynních sedimentů (Kadlec et al., 2009, 2000; Šroubek et al., 2001; Lisá et al., 2012) a geochemické studium aluviálních a deluviálních sedimentů, ale i zemědělských a lesních půd (Grygar et al, 2010; Hejcman et al., 2013a, b, c; Hejcman a Smrž, 2010; Malý 1998, Hošek et al., 2014; Součková, 2013).

3.2. Vývoj metodických přístupů geoarcheologie v zahraničí

Pojem geoarcheologie se v zahraničí objevuje definicí tohoto termínu a je shrnut v mnoha publikacích (Gladfelter, 1977; Hassan, 1979; Renfrew, 1976; Shackley, 1978). Později definice geoarcheologie rozšiřují Butzer (1982) či Rapp and Gifford (1985). Rapova kniha se stává doslova manuálem pro studium geoarcheologie, výčet metod které jsou v ní uváděny, se však omezuje především na definice jednotlivých prostředí a formační procesy

sedimentárního záznamu. Podobně je pojata publikace shrnující problémy aluviální geoarcheologie (Brown, 1997). V 90. letech minulého století je rozvoj geoarcheologie velmi dynamický. Postupně se objevují publikace psané pedology (Holliday, 2004) nebo mikromorfology (Goldberg, Holliday, Ferring, 2001; French, 2002; Goldberg, Macphail, 2006). Tito autoři již ve svých publikacích shrnují možné metodické přístupy derivované z klasické geologie a pedologie. Holliday (2004) uvádí dokonce porovnání výsledků měření stejných parametrů různou metodikou. Celkem inovativní je použití mikromorfologie v archeologickém kontextu. Tato metodika byla derivována z klasické půdní mikromorfologie (Kubiena 1934) a později modifikována Brewerem (1964), Bullockem et al. (1985), Courtym (1989), Kempem (1985) a Stoopsem (2002) a dnes je nedílnou součástí většiny multidisciplinárních archeologických výzkumů.

3.3. Studium sedimentárního záznamu

Základním metodickým přístupem pro studium sedimentárního záznamu je v první řadě makroskopický sedimentární popis, který následuje po zhodnocení reliéfu v těsné blízkosti lokality a studiu geologických a geomorfologických mapových podkladů (Lisá a Bajer, 2015; Rejšek, 1999; Birkeland, 1999). Tato terénní část je mnohdy opomíjena a to na škodu dalším interpretacím utvořených na základě specializovaných mnohem dražších metod. To, co si archeologové mnohdy neuvědomují, je výpovědní hodnota sedimentů, které obklopují či tvoří nálezovou situaci. Sedimenty a s tím spojená znalost formačních procesů (Pettijohn, 1975) jsou tedy základním stavebním kamenem geoarcheologie. Při sedimentárním popisu je třeba brát na zřetel základní znaky jako je mocnost vrstvy, její horizontální průběh, přechod do nadloží a podloží, zrnitostní složení a s tím související vytříděnost, procentuální zastoupení, tvar a zaoblení hrubozrnných částí (obsah artefaktů či ekofaktů) a texturních či strukturní prvků. Za ty je považována půdní struktura vyjádřená především konzistencí matrix či obsah texturních prvků jako je vrstevnatost přítomnost mrazových či výsušných puklin, mikrozlomů nebo konvolučního zvrstvení. Samostatnou částí terénního popisu je určení barevnosti. To by mělo být již dnes prováděno standardně za použití Munsellovy srovnávací škály, a sice ve dvou fázích. První určení je na čerstvém profilu za přímého denního světla, druhé potom v laboratoři na vysušeném vzorku. Dalším krokem popisu sedimentu v terénu je určení zrnitosti a to vylučovací metodou, kdy je materiál postupně hněten do kuličky, stáčen do tyčinky a ohýbán. Vždy když nelze postoupit k dalšímu kroku je možné materiál zrnitostně

zařadit. Poté by mělo být běžnou součástí makroskopického popisu také orientační zjištění obsahu karbonátu, které je prováděno za pomoci reakce s desetiprocentní HCl.

Makroskopické zhodnocení sedimentů a s tím související okolní geomorfologie má v sobě velký potenciál pro pochopení formačních procesů a identifikaci zdrojové oblasti sedimentů. Například jedna z nejznámějších archeologických lokalit v Pompejích je překryta až čtyřmi metry vulkanického materiálu, který byl deponován při výbuchu. Již samotný fakt, že jsme schopni identifikovat tefru in situ nám dovoluje interpretovat zánikové okolnosti na této lokalitě (Giuntoli, 1994). Druhým příkladem z domácí půdy je například identifikace formačních procesů při utváření sedimentů na ranně slovanské lokalitě v Roztokách u Prahy. Díky znalosti sedimentologie zde byly podložní sedimenty interpretovány jako zakorytové sedimenty řeky Vltavy místy s redeponovanými terasovými sedimenty. Naproti tomu výplně archeologických objektů nenesly známky přirozeného zanášení povodňovými sedimenty a tím byla již v první fázi výzkumu vyloučena jedna ze zánikových hypotéz této lokality (Novák et al., 2012; Kuna et al., 2013). Přechody a horizontální průběh mezi jednotlivými vrstvami jsou důležitým indikátorem možných hiátů nebo naopak přirozeného půdního vývoje sedimentu což ukazuje například Hejcman et al (2013b) na příkladu pravěké mohyly v Třebohosticích, kde dokázal na základě přechodů mezi sedimenty a chemickým složením identifikovat rozdíly mezi pohřbenou půdou a vrstvami souvisejícími s antropogenní činností. Zrnitostní složení odráží provenienci materiálu a s tím související vytříděnost následně odráží formační procesy, které při utváření sedimentárního záznamu hrály zásadní roli (Bajer a Lisá, 2009). Tímto způsobem spolu s provenienční studií založenou na obsahu asociací těžkých minerálů popsal Bajer et al. (2013a) relikt ottnangských sedimentů v paleolitické jeskyni Pod Hradem v Moravském krasu. Například procentuální zastoupení uhlíků jako klastických součástí sedimentu ukazuje na míru antropogenního impaktu. Macklinovi et al. (2014) se podařilo na základě faciální analýzy doplněné o radiokarbonové datování popsat a interpretovat výkyvy v povodňových aktivitách Nilu, které měly velký vliv na formování zemědělství v severním Súdánu. Z domácího prostředí např. Lisá et al. (2013a, b) vyčlenila na základě zrnitostního složení a vytříděnosti základní formační procesy, které hrály roli při zaplňování příkopů neolitických rondelových struktur. Texturní a strukturní znaky ukazují především na postsedimentární procesy spojené se změnou klimatu, typem vegetace a s tím souvisejícím půdním vývojem. Jedním z mnoha příkladů je práce Antoine et al. (2013), ve které autor velmi dobře popsal a interpretoval na základě faciální analýzy, postavené právě na tomto kontextu a dalších environmentálních metodách, stratigrafii profilu v Dolních Věstonicích –

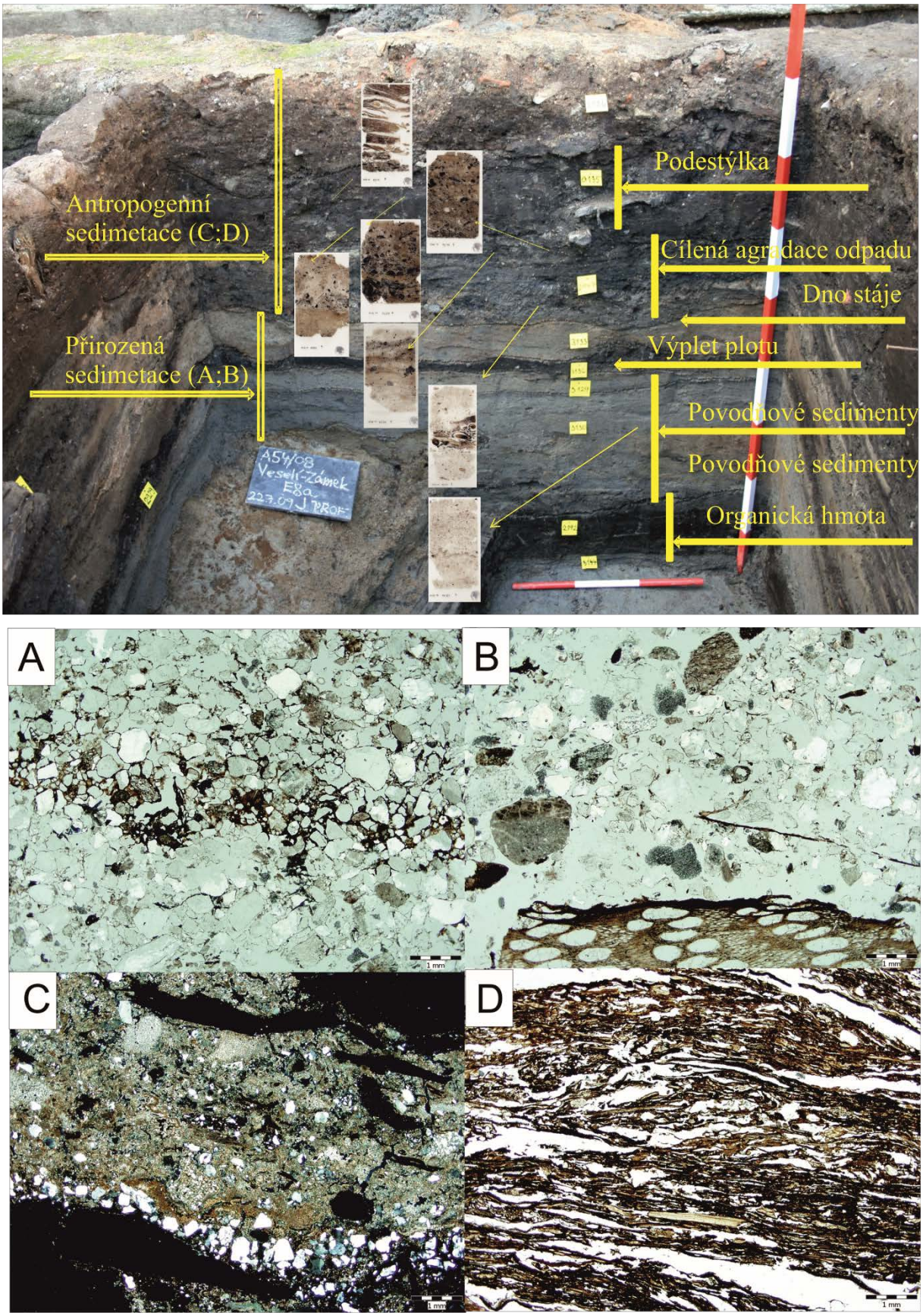
kalendáři věků, která je zásadní pro pochopení klimatického vývoje posledního klimatického cyklu na našem území. Barva sedimentu odráží především jeho minerální složení mnohdy ovlivněné antropogenní činností. Je nutné brát v úvahu, že barva je mnohdy způsobena postsedimentárními procesy (nasycení roztoky bohatými na hydroxidy železa, oxidačně redukční procesy, odvápnění, akumulace jílových minerálů v důsledku přirozených půdních procesů (Bridges, 1990). Na lokalitě Chrást v Polabí tímto způsobem vyčlenil Petr et al. (2013) několik facií odrážejících různé fáze sedimentace, přičemž jednou z nich, následně interpretovanou jako vrstvu vzniklou v důsledku postsedimentárních procesů byla dopleritová vrstva, která zde vznikla druhotně po rozkladu slatiny ovlivněné antropogenní činností. Vápnitost sedimentu potažmo jeho pH odráží opět provenienci, postdepoziční procesy, ale má zároveň i výraznou výpovědní hodnotu z hlediska případného zachování různých typů artefaktů nebo organických zbytků a pylů. V případě lokality Veselí na Moravě, kde je substrát kyselý a navíc pod vlivem redukční zóny, byly dokumentovány unikátní situace s velmi dobře zachovanou organickou hmotou (Bajer et al., 2013b; Dejmal et al., 2014) naproti tomu vrstvy obsahující velmi dobře zachované kosterní pozůstatky velkých savců byly dokumentovány na lokalitě Předmostí (Beresford-Jones et al., 2010) právě v důsledku vysoké alkalinity substrátu, který je tvořen pozdnoglaciálními silně vápnitými sprašemi.

Terénní interpretace tvoří základ velké části geoarcheologické práce a představuje nejefektivnější a nejlevnější přístup pro porozumění formačních procesů. Může nebo nemusí být doplněna o laboratorní analýzy, ty ovšem musí být vybrány s ohledem na konkrétní stratigrafii a testovatelné představy o vzniku té které situace. V mnoha případech by měly terénní práce zahrnovat studie přírodních analogů pro určení míry lidského impaktu v té které konkrétní situaci. Tato část práce je mnohdy limitována jak finančně tak i například tím když se samotný výzkum nachází uprostřed města. V těchto případech jsou nezbytné zkušenosti s obecnou sedimentologickou a pedologickou historií širší oblasti. Jako první krok musí ten kdo geoarcheologický výzkum provádí porozumět přírodním geomorfologickým procesům, které ve studované oblasti v minulosti probíhaly. To může být v některých případech poměrně lehké a na první pohled zřejmé, jindy však může jít o poměrně komplexní vývoj krajiny a je nutné provést samostatný geomorfologický výzkum. Jakým způsobem například v zájmové oblasti dochází k erozi? Dochází na lokalitě zároveň k depozici materiálu nebo je oblast poměrně stabilní s minimálními zásahy, které by ústily v současnou morfologii lokality? Které faktory se mohou v té které oblasti podílet na vytváření sedimentárního záznamu? Na kolik je tento záznam schopný poskytnout relevantní informace o formačních procesech?

Spojit všechny tyto informace většinou vyžaduje poměrně velký rozhled v diskutované problematice. Tak se může stát, že ta samá stratigrafická sekvence bude popsána a interpretována různými způsoby, podle toho zda jí bude posuzovat geolog, pedolog nebo archeolog. Proto je vždy nutné klást důraz na to, aby byly různé typy informací zpracovávány s důrazem na to získat co nejlepší obraz o depoziční, environmentální ale i archeologické historii studovaného profilu.

Ke zhodnocení a interpretaci formačních procesů lze a je zároveň vhodné, použít větší množství zdrojů. Po studiu geomorfologických a geologických map, případně ortografických nebo lidarových snímků, dostupných v archivech na webu nebo v mapových podkladech je vhodné věnovat dostatečný čas pro prochození samotného terénu. První seznámení s litologií a podložím je možné z přírodních odkryvů nebo z menších výkopků, ovšem tak, aby nedošlo k případnému narušení archeologické situace. Vhodným prostředkem je také použití vrtáků. Ty mohou být ruční nebo strojové. Při rekognoskaci terénu je obyčejně využíván hlavně ruční tenký (1-2 cm průměr) zatloukací vrták. V prachovitých terénech je možné tímto způsobem obyčejně dosáhnout hloubek 1 – 4 metry, v případě organických sedimentů je možné dosáhnout až hloubek 10ti metrů to však v tom nejideálnějším případě.

Dodatečně je nutno říci, že způsob jakým jsou jednotlivé kontexty poskládány v té, které interpretaci se může lišit, podle toho zda interpretujeme sedimentární historii, pedologickou historii nebo posloupnost antropogenního vlivu na lokalitě. Individuální jednotky mohou být sloučeny v závislosti na změně depozičních podmínek, na změně klimatu nebo na změně intenzity lidského impaktu. Příkladem může být stratigrafická sekvence na archeologické lokalitě Veselí nad Moravou. Na této sekvenci lze vyčlenit jednotlivé vrstvy jak na základě zrnitosti měnící se od štěrku přes písek, nevyříděné prachovitopísčité sedimenty až po jílovité nebo jílovito prachovité organické sedimenty. Z hlediska formačních procesů lze vyčlenit fáze přirozené depozice, lidské depozice, lidské eroze nebo degradace. Z hlediska složení materiálu lze vyčlenit vrstvy s převažující minerální nebo organickou složkou, vrstvy obsahující místní nebo exogenní materiál. Z hlediska postdepozičních procesů lze vyčlenit fáze druhotného posunu organické hmoty a jílů nebo degradace organické hmoty (obr. 1). Všechny tyto procesy a přístupy v popisu je nutno brát v úvahu při finální interpretaci lokality (Dejmal et al., 2015).



Obr. 1 - Ukázka stratigrafické segvence na archeologické lokalitě Veselí nad Moravou

Problémy interpretace sedimentárního záznamu jsou často spojené s malými zkušenostmi nebo zároveň s nedostatkem času pro jejich dostatečné zhodnocení. Jak již bylo řečeno, mnohdy je tato část evaluace sedimentu opomíjena což má za následek desinterpretace paradoxně založené na precizní a drahé metodice. Je nutné si uvědomit, že sedimentární popis je zásadním stavebním kamenem intepretací, nicméně mnohdy po něm musí následovat další detailní zhodnocení na základě fyzikálních a chemických metod nebo mikromorfologie. Pokud není archeolog dostatečě zkušený, je vhodnější přizvat na geoarcheologickou analýzu specialistu. Pokud toto není možné je alternativou dokonalá fotografická dokumentace a odběr vzorků souvislého profilu do plechových boxů o velikosti 50 x10x10 cm. (obr. 2)

3.3.1. Příprava před terénním výzkumem

Základním principem kvalitního geoarcheologického výzkumu je nejen postupovat od makra k mikru, ale také umět se zorientovat v již publikované literatuře. Kde hledat potřebnou literaturu? Prvním krokem by mělo být studium geologické, případně topografické mapy nebo leteckých snímků. Geologické a pedologické mapy lze stáhnout on-line na www.geology.cz, v případě pedologických map existuje podrobný atlas půd (Kozák et al., 2011). Satelitní snímky terénu lze stáhnout například z aplikace www.googlemap.com. Tímto způsobem si dokážeme udělat přehled o geomorfologii a geologii terénu a možných typech formačních procesů, které se dají v terénu očekávat.

Obr. 2 – Ukázka odběru celého profilu do plechových boxů.

Publikovanou literaturu je možné dohledat v knihovním systému, nepublikovaná geologická literatura zahrnující například nepublikované podrobnější mapy, vrty nebo zprávy z průzkumů je deponována v Geofondu (www.geofond.cz).

3.3.2. Základní terénní popis

Charakter depozičních prostředí – základní struktury

Půdy se vytvářejí na rozvětralém horninovém podloží nebo na sedimentech. Sedimenty vznikají konkrétními sedimentárními procesy v konkrétním prostředí. Rozeznání typů depozičního prostředí začíná společně při popisu zrnitostního složení a vytříděnosti sedimentu. Jemnozrnný sediment obyčejně nepotřebuje velkou sílu depozice, naopak čím hrubší je složení sedimentu tím větší energie je nutná pro přemístění jednotlivých částic. Kontrastem je například rychle proudící voda v korytě versus poměrně malá energie při ukládání nivních sedimentů. Pokud je sediment vytříděný, tzn., že obsahuje jednu hlavní zrnitostní frakci, lze předpokládat, že jeho depozice byla dlouhodobá a homogenní. Naopak pokud je sediment nevytříděný, tj. obsahuje větší množství zrnitostních frakcí (například valounky v prachovité frakci) musíme počítat s krátkodobým energeticky náročným transportem. Příkladem může být spraš versus bahnotok. Morfologie terénu a znalost geologického podloží doplněná o dosavadní znalosti případného antropogenního vlivu většinou usnadní primární interpretace formačních procesů. Přestože budeme pokračovat s dalšími analýzami v laboratoři, abychom upřesnili primární intepretace v terénu, žádné vzorky ať již jsou odebrány s jakoukoli přesností nebo objemu nemohou nahradit „in situ“ zhodnocení sedimentů přímo v terénu.

Sedimentární textury mohou být rozděleny do dvou hlavních kategorií, a sice na primární a sekundární. Každá z nich má určitý vztah k procesu, díky němuž vznikla. Primární textury vznikají tím, jakým způsobem byl sediment uložen, a odrážejí depoziční energii a fluidum, které při depozici hrálo hlavní roli. Tím může být vítr, voda, gravitace nebo lidská aktivita. Rozlišujeme potom sedimenty eolické, fluviální, gravitační a antropogenní ale i například ledovcové, jeskynní nebo organické. Sekundární textury vznikají díky postdepozičním modifikacím sedimentů nebo půd a odrážejí tak procesy, které původní stratigrafii mohly pozměnit, např. suprecentní mikrotektonik (obr. 3). Pravděpodobně tím mechanicky nejintenzivnějším procesem jsou mrazové pochody, které probíhaly v chladných fázích Pleistocénu a vyústily v mrazové víření, vznik mrazových klínů nebo jiných tvarů.

Mechanické postdepoziční změny mohou být samozřejmě způsobeny také člověkem jako například zahlubování objektů, tvorba jam, lůmků ale i například orba nebo jiné aktivity.

Obr. 3 – Odkryté čelo podzemního kolektoru se zřetelnou ukázkou posunu sedimentární vrstvy po mikrozlomu jako důsledek subrecentní mikortektoniky

Postdepoziční změnou dobře viditelnou v malém měřítku je například posouvání změn mezi jednotlivými vrstvami v důsledku pedogeneze, změna barvy a zrnitosti daná pedogenním procesem. Tak dochází k často matoucímu vyčleňování nových kontextů, které nejsou ničím jiným než přirozenými změnami po uložení sedimentu. Jedním z příkladů je i vznik iluviálních vrstviček s ostrými přechody do nadloží a podloží, které mohou v některých případech připomínat například nášlapové vrstvy. Na tomto místě bychom rádi upozornili na rozdíl mezi strukturou a texturou, protože mezi českou a anglosaskou literaturou došlo při ustálení terminologie k záměně slov struktura – structure a textura – texture !!! Texturou se rozumí makroskopické, ale i mikroskopické uspořádání částic v sedimentu. Zahrnuje znaky vrstevnatosti a primárního zvrstvení, ale i synsedimentární a sekundární porušení vrstev, a to jak mechanické tak biogenní (Růžičková et al., 2003).

Druhým zásadním rozeznávacím znakem formační historie sedimentů je struktura. Strukturou sedimentů se rozumí souhrn charakteristik, které jsou dány: 1. zrnitostním složením (vyjádřeným různými způsoby – obsahem jednotlivých zrnitostních frakcí, zrnitostními parametry jako jsou průměr zrnitosti, koeficienty vytřídění, symetrie aj.; 2. vztahem hrubě klastické složky k matrix (jemnozrnné hmotě); 3. charakteristikou vyjadřující tvar klastů (stupeň zaoblení, tvar, sféricita); 4. charakteristikou povrchu klastů (Růžičková et al., 2003). Struktura a vytřídění jsou zásadními charakteristikami minerálního složení

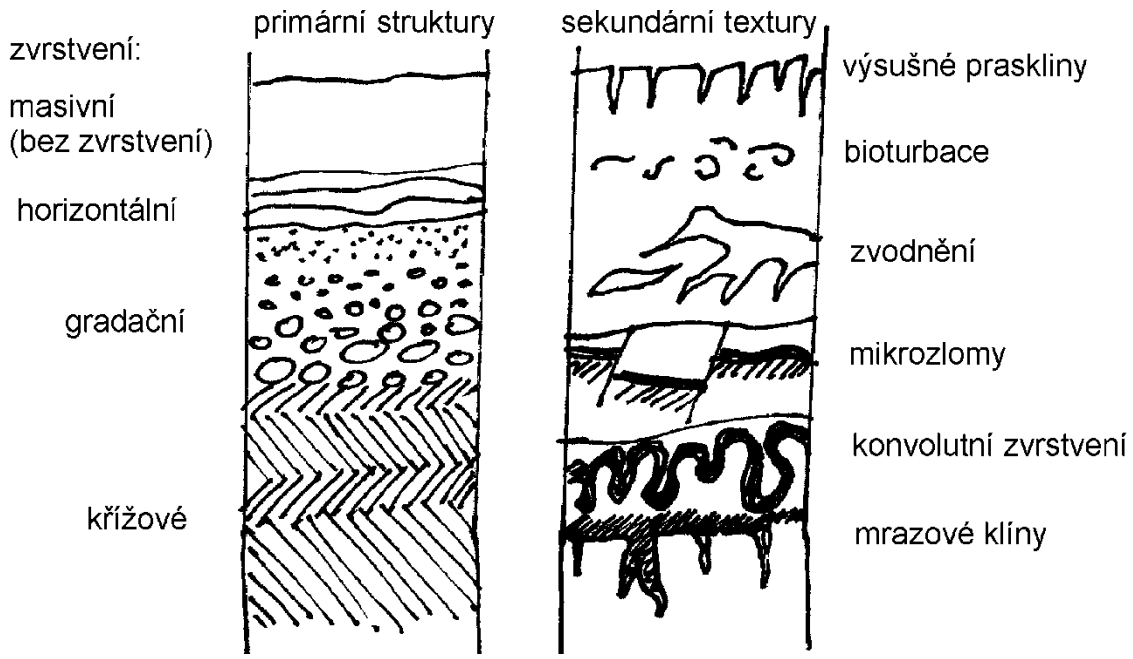
sedimentu a jejich rozpoznání je důležité pro správné porozumění depoziční historie a následných postdepozičních změn. K tomuto se vztahuje i správné rozpoznání hraničních přechodů do nadloží či podloží. Například pozvolný gradační přechod do podložních sedimentů indikuje, že zde neproběhla žádná eroze, těžba sedimentů, nebo že nedošlo k přerušení sedimentace. Na druhou stranu ostrá hranice mezi vrstvami může indikovat například přerušení sedimentace, erozní event nebo zásadní změnu environmentálních podmínek. Zde je však nutno vzít v úvahu i případný vliv pedogeneze protože při vzniku některých typů půd (například podzoly) může docházet ke vzniku relativně ostrých přechodů mezi postsedimentárně vzniklými texturními prvky. Pokud je možnost sledovat přechody mezi jednotlivými vrstvami nejen ve vertikálním, ale i v horizontálním směru, máme možnost získat další informace o případných formačních procesech, které ovlivňovaly v minulosti zkoumané stanoviště. Například plynulý a nepřerušovaný přechod může v určitých případech indikovat minimální výskyt lesní vegetace, která by svými kořeny tento přechod porušovala, zvlněný až nerovný povrch může indikovat právě výskyt kořenů spojený navíc s půdními procesy jako je podzolizace nebo luvický proces. Pokud je horizontální průběh změny hranice mezi nadložím a podložím polámaný, indikuje to nejspíše vývrat případně lidskou aktivitu.

3.3.3. Základní charakteristiky popisu sedimentu

Na studovaném profilu je po rozlišení jednotlivých horizontů možné určit:

1) Strukturní a texturní prvky – to, co je vidět na profilu.

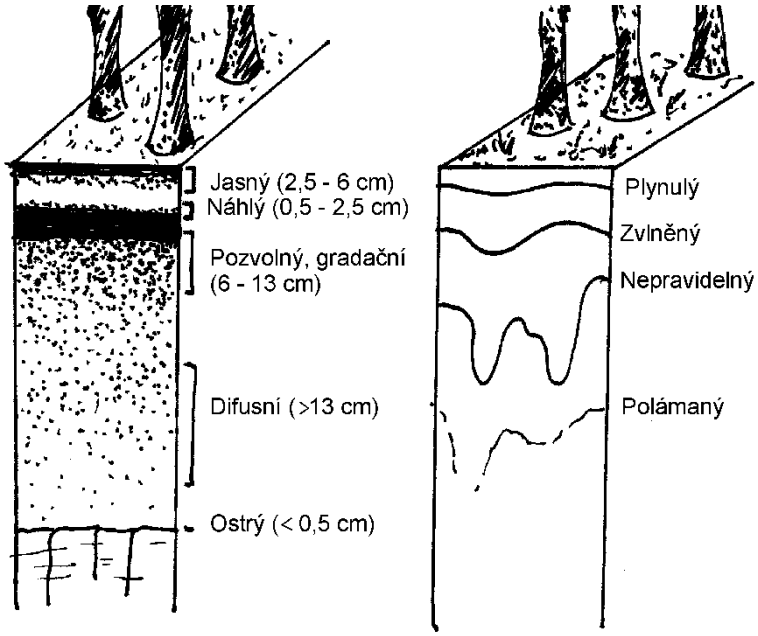
- Primární prvky (zvrstvení) – uspořádání sedimentárního materiálu uvnitř vrstvy (odráží energii a fluidum). Nejčastějším příkladem je zvrstvení horizontální, čočkovité, šikmé nebo gradační.
- Sekundární prvky (odraz postdepozičních modifikací). Nejčastějším příkladem může být desikační (výsušné) pukliny, textury zvodnění, mikrotektonika, konvolutní struktury, mrazové pukliny (klíny).



Obr. 4 – Strukturní a texturní prvky – příklady.

2) Přechod do nadloží a podloží

Přechod může být jasný, náhlý, pozvolný, difuzní, ostrý, hladký, zvlněný, nerovnoměrný nebo polámaný.

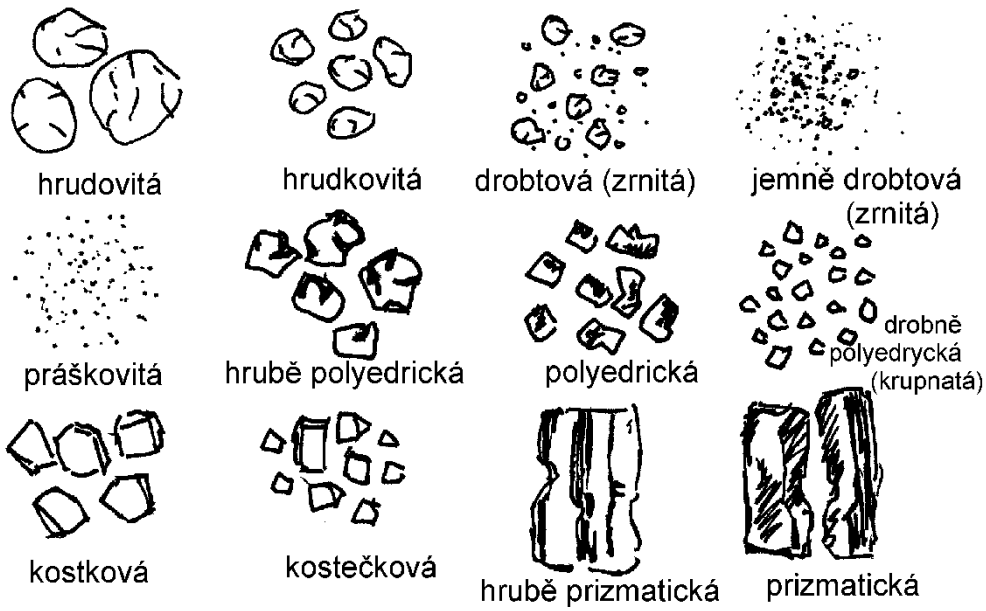


Obr. 5 – Přechod do nadloží a podloží – příklady.

3) Typy struktur půdní matrix

a) rozvolněná (lehce se rozpadá mezi prsty); b) drobivá (pod tlakem prstů se rozpadá na drobky); c) zhutněná (pod tlakem se většinou nerozpadá); d) tvrdá (pod tlakem se nerozpadá); e) plastická

f) křehká (tvrdá, ale pod tlakem se rychle rozpadne); g) lepivá (lepí se na prsty). Dle typu rozpadu lze určit strukturní charakteristiku matrix jako:



Obr. 6 – Typy struktur půdní matrix.

4) Zrnitost

Evaluace zrnitostní distribuce je zásadní pro pochopení geneze sedimentu. V terénu se provádí promnutím mezi prsty (viz dále), případně porovnáním se zrnitostní tabulkou, okoskopicky lze určit i poměry jednotlivých frakcí. Pozor na různé klasifikace, liší se podle států nebo účelu, ke kterému byly vytvořeny (viz geologická versus pedologická klasifikace, americká versus evropská). Pro účely hodnocení geoarcheologických situací doporučujeme používat Wentworthovu klasifikaci. Grafické vyjádření zrnitosti lze potom provést formou kumulační nebo frekvenční křivky.

milimetry (mm)		mikrometry (µm)	Phi (ϕ)	Wentworthova třída	typ horniny
	4096		-12.0	balvan	konglomerát/ brekcie
	256		-8.0	hrubý valoun	
	64		-6.0	střední valoun	
	4		-2.0	drobný valoun	
	2.00		-1.0	velmi hrubozrný písek	písковec
	1.00		0.0	hrubozrný písek	
1/2	0.50	500	1.0	střednozrnný písek	
1/4	0.25	250	2.0	jemnozrnný písek	
1/8	0.125	125	3.0	velmi jemnozrný písek	
1/16	0.0625	63	4.0	hrubozrný prach/silt	prachovec
1/32	0.031	31	5.0	střednozrnný prach/silt	
1/64	0.0156	15.6	6.0	jemnozrnný prach/silt	
1/128	0.0078	7.8	7.0	velmi jemnozrnný prach/silt	
1/256	0.0039	3.9	8.0		
	0.00006	0.06	14.0	jíl	jílovec

Obr. 7 – Wentworthova klasifikace zrnitosti (upraveno podle Petránek, 1963)

Pro terénní, poměrně přesné určení zrnitosti se doporučuje následující postup:

Před určením vezměte půl dlaně materiálu, navlhčete ho a udělejte z něho mezi prsty „klobásku“ J

- 1.) Dá se materiál zformovat do kuličky?
- ANO ……pokračuj otázkou 2
- NE …….. písek
- 2.) Dá se materiál srolovat do klobásky o průměru 10–15 mm?
- ANO…….. pokračuj otázkou 3
- NE ……. hlinitý písek
- 3.) Dá se materiál srolovat do klobásky o průměru 5 mm?
- ANO ……. pokračuj otázkou 4
- NE ……. písčitá hlína

- 4.) Dá se klobáska stočit do tvaru U, aniž by praskla?
- ANO ……. pokračuj otázkou 5
- NE, a v materiálu jsou cítit hrudky ……písčitoprachovitá hlína
- NE, a materiál je pocitově plastický ……prachovitá hlína
- 5.) Dá se klobáska stočit do kolečka, aniž by praskla?
- ANO ……. pokračuj otázkou 7
- NE ……. pokračuj otázkou 6
- 6.) Cítíte, že v materiálu jsou krupičky?
- ANO, velmi krupičkovitý ……. písčitojílovitá hlína
- ANO, slabě krupičkovitý ……. jílovitá hlína
- ANO, ale plastické …….. prachovitojílovitá hlína
- 7.) Je povrch po potření prstem...
- hladký a vyleštěný……..jíl
- hladký a jemně leský ……prachovitojílovitý
- hladký s viditelnými pískovými zrny ……písčitojílovitý

Barva

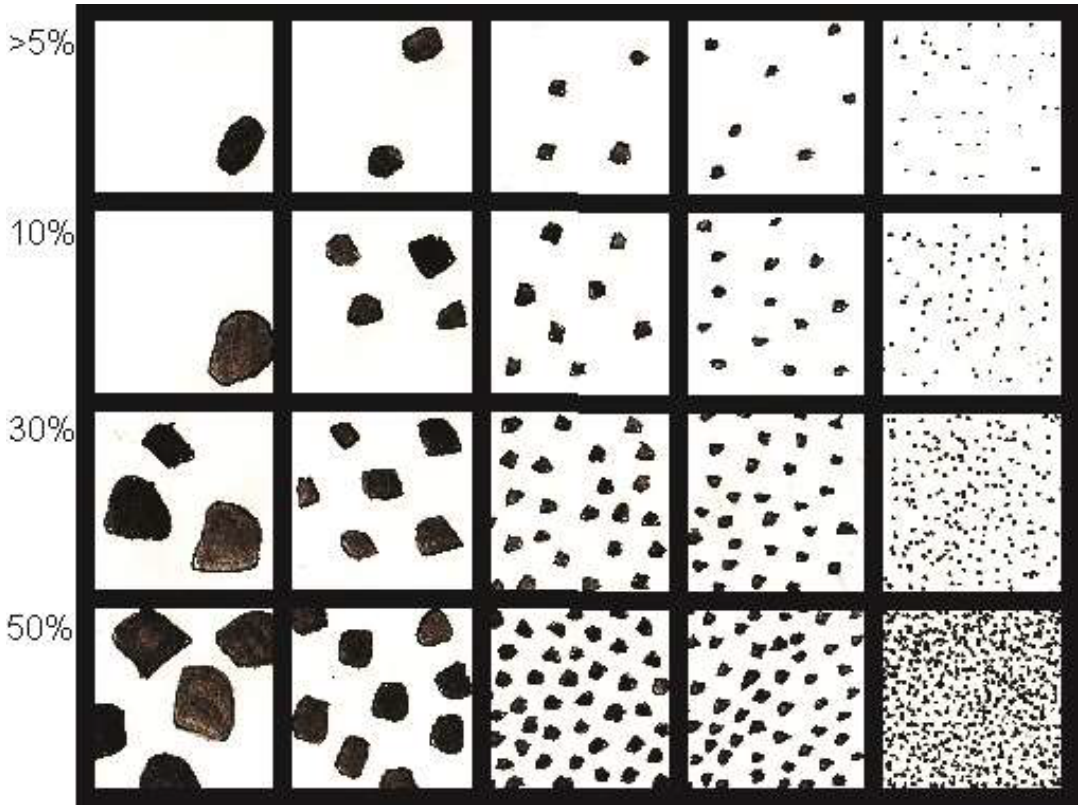
Odráží půdní procesy a obsah inkluzí; indikuje obsah organické hmoty, přítomnost oxidů železa; určuje se pomocí srovnávací Munsellovy škály, a to na čerstvém profilu při slunečním světle, dodatečné určení na suchém vzorku v laboratoři. Váš vzorek porovnáte s barvami na jednotlivých listech a zapíšete například jako 5YR 6/6 – oranžová (5YR = číslo listu; 6/6 = výsledek v matici; oranžová = slovní ohodnocení na protistraně tohoto listu)

Barva je zásadním ukazatelem při posuzování jak výskytu jednotlivých antropogenních příměsí tak při posuzování intenzity a typu půdních procesů. Je ovlivňována množstvím faktorů jako například obsah organické hmoty, míru oxidace železa, obsah mikrouhlíků nebo i výšku dosahu hladiny podzemní vody. Tyto informace přispívají k rozklíčování časově závislých formačních procesů. Barva je určována pomocí Munsellovy srovnávací barevné škály. Měla by být určována jak na vlhkém tak poté laboratorně suchém vzorku a to vždy na denním světle. V některých případech je celkem účelné sledovat barvu sedimentu hned po začištění a poté po několika hodinách nebo dnech, kdy může dojít ke zvýraznění (nebo ke smazání) barevných odstínů na studovaném profilu. Typickým příkladem je například vysrážení solí v některých horizontech v důsledku vysušení, nebo změna barvy organických vrstev v důsledku oxidace.

Obr. 8 – Karta z Munsellovy srovnávací barevné škály

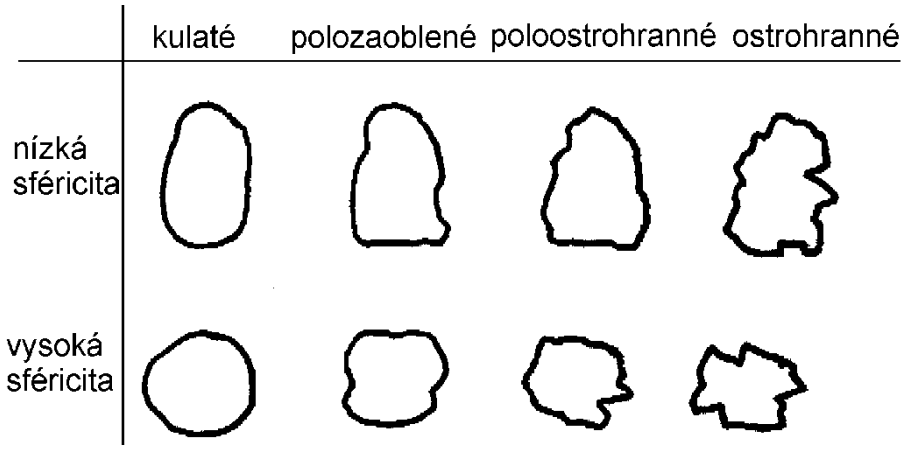
6) Procentuální zastoupení hrubozrnných částí

Porovnáním s touto tabulkou můžete poměrně přesně určit zastoupení hrubozrnných klastů v jemnozrnné matrix ať již se jedná o minerální složku, přítomnost uhlíků, mazanice či zlomků keramiky.



Obr. 9 – Procentuální zastoupení hrubozrnných částí

7) Tvar a zaoblení jednotlivých zrn a způsob jejich vytřídění lze provést porovnáním s manuálem



Obr. 10 – Tvar a zaoblení

8) Vytřídění

Obr. 11 – Vytřídění

9) Obsah CaCO3 (v kontaktu s 10% HCl)

- Nevápnitý (zvukově ani okoskopicky žádná reakce)
- Velmi slabě vápnitý (0,5–1 %) (zvukově slabounce slyšitelný, okoskopicky žádná reakce)
- Slabě vápnitý (1–5 %) (zvukově i okoskopicky slabě zřetelný)
- Vápnitý (5–10 %) (lehce slyšitelný, okoskopicky vznikají bubliny o průměru 3 mm)
- Silně vápnitý (více než 10 %) (lehce slyšitelný, lehce viditelné bubliny o průměru cca 7 mm)

Pro práci v terénu lze nouzově použít i ocet, ale intenzita šumění je oproti HCl nižší a reakce pomalejší.

4. Laboratorní analýzy, metodiky

4.1. Mikromorfologie

Mikromorfologická analýza je dalším detailním sedimentologickým nástrojem. Vyvinula se z klasické půdní mikromorfologie (Kubiena, 1934) a byla v kontextu s archeologií používána již v šedesátých letech (Brewer, 1964). V roce 1985 vydal Bullock (1985) terminologickou publikaci týkající se této metodiky, která byla používána několik dalších desetiletí. Až Stoops (2002) tuto terminologii více systematizoval a v současnosti je povětšinou používána k mikromorfologickým popisům kombinace prací Bullocka (1985) a Stoopse (2002). V roce 2010 vyšla první rozsáhlejší publikace shrnující doposud publikované interpretace mikromorfologie v sedimentárním a archeologickém kontextu (Stoops 2010).

Obr. 12 – Ukázka odběru mikromorfologických vzorků do plastových boxů (dno tetrapakového obalu od mléka nebo džusu)

Odběry mikromorfologických vzorků jsou prováděny do tzv. Kubiena boxů, plastových, papírových či železných krabiček o požadovaném formátu, obvykle 6 x 9 cm (obr. 12). Lokalizace odběrů vždy musí záviset na předem daných otázkách, protože zpracování

takových vzorků je finančně i časově poměrně náročné. Po odběru jsou vzorky pomalu vysušeny a ve vakuu impregnovány pryskyřicí. U materiálu tvořeného z velké části organickou hmotou lze použít i méně násilnou formu vysušení, a sice například formu vymražení či odstranění vlhkosti za použití acetonu. Poté je z impregnovaného bloku vyříznut cca 1 cm mocný plátek, zbroušen do naprosté roviny, nalepen na zmatované sklíčko a dále vybroušen do tloušťky cca 30 mikronů. Výsledný preparát je buďto naleštěn či překryt ať již lakem či krycím sklíčkem. Tloušťka preparátu cca 30 mikronů je ideální pro správné studium optických vlastností minerálů. Vzorky lze potom studovat v prvním stadiu pod binokulárním, následně pod polarizačním mikroskopem a to v rozsahu zvětšení obvykle 1x – 800x.

Pomocí metody mikromorfologie lze určit vztahy pórů k jemnozrnné matrix a hrubším klastům. Lze popsat typové kategorie pórů, na jejichž základě spolu se vzájemnou distribucí zrn je určován typ mikrostruktury. Například převažující typ kanálků odpovídá tzv. kanálkovité mikrostruktuře a tu lze následně interpretovat jako matrix zarůstanou vegetací. V karbonátech bohatých substrátech se kanálky následně stávají prostorem, ve kterém se srážejí z roztoků karbonáty a makroskopicky jsou potom identifikovatelné jako tzv. rhizolity (Cohen, 1982). Klappa (1980) identifikoval pět základních typů rhizolitů. Kořenové formy s tubulárním tvarem, které označují polohu právě se rozkládajících kořenů, tzv. kořenové odlitky, které jsou již právě vyplněny karbonáty, kořenové tubuly, které jsou cementovanými cylindry vznikajícími okolo kořenových forem, pedogenetické minerální akumulace vznikající v okolí kořenů a petrifikované kořeny představující impregnovanou organickou hmotu nebo minerální pseudomorfózy, které zachovávají anatomickou strukturu kořene. Naopak horizontální póry odpovídají tzv. plátovité či lentikulární mikrostruktuře a dokumentují fáze zmrzání či rozmrzání v důsledku mrazového ovlivnění (Van Vliet Lanoë, 2010). Lisá et al. (2013c) na základě přítomnosti plátovité mikrostruktury identifikovala intenzivnější a dlouhodobější přítomnost permafrostu v severní části Moravskoslezských úvalů na konci pozdního glaciálu. Přítomnost permafrostu způsobovala doslova zadržování vody v krajině, tj. následně i bohatší vegetaci, která byla zdrojem potravy pro velké savce a tím i přítomnosti lidí. Identifikace lentikulární mikrostruktury v sedimentech jeskyně Kůlna doložila mrazové províření spojené s mrazovým creepem, který hrál klíčovou roli při formování výplně této paleolitické jeskyně. Další typy mikrostruktur, které více či méně odrážejí rozdílné typy prostředí, jsou dobře popsány v pracích Stoopse (2002) či Stoopse et al. (2010). Díky studiu výbrusů lze zároveň popisovat minerální složku a detekovat tak převažující provenienci materiálu (Lisá et al, 2013c) a to jak na základě typů minerálů, resp.

jejich asociací ale také na základě četnosti zaoblení zrn. (Lisá, 2004) vyčlenila na základě studia povrchu křemenných zrn pocházejících z pozdnoglaciálních spraší na Moravě několik zdrojových oblastí, které hrály roli ve formování sprašového povrchu. Tzv. C/F distribuce určuje stanovení relativní zrnitosti materiálu, C(coarse)/F(fine) je poměr množství hrubších částí vůči množství jemnějších částí přičemž hranici pro hrubozrnnou složku je nutné zvolit podle požadovaného kontextu. Kromě minerálního složení lze identifikovat i minerální pozůstatky po organické hmotě (diatomity, fytolity) samotnou organickou hmotu a stupeň jejího rozkladu, uhlíky či kosti. Například Engel et al. (2010) identifikoval pozice s diatomity dokumentující fáze stability v rámci jezerních sedimentů v Labském dole. Akumulace zaoblených natrávených kostí mohou být interpretovány jako pozůstatek exkrementů karnivora (Matthews 2010; Milek and Roberts 2013; Boivin 1999), zatímco akumulace fytolitů jsou obvykle podle kontextu interpretovány jako podestýlka (Shahack-Gross 2011; Milek 2012a) či exkrementy herbivora (Canti, 1999; Milek 2012a). Jarošová et al. (2010) na základě přítomnosti akumulací fytolitů identifikovala v rámci halštatské zemnice v Modřicích u Brna podestýlku a na základě akumulací karbonátů vyčlenila sanační vrstvy. Důležitou součástí mikromorfologického popisu je popis jemnozrnné hmoty a identifikace postsedimentárních struktur souvisejících s dlouhodobým vývojem sedimentu. Tzv. B-fabric je dobrým indikátorem přítomnosti karbonátů či jílových minerálů a jejich usměrnění v důsledku protékajících roztoků nebo pedogenního vývoje sedimentu. Lze identifikovat, zda je matrix ochuzená nebo obohacená o jemnozrnnou složku a to v důsledku jakých převažujících procesů, zda docházelo k tvorbě nodulí nebo zda byly již derivovány ze starších sedimentů. Lze i stanovit míru bioturbace mezofaunou a mikrofaunou. Landuydt (1990) na základě studia aluviálních sedimentů v belgickém Campine velmi dobře popsal formování feriggeních nodulí v rámci povodňových sedimentů. Poměrně dobře lze metodu mikromorfologie uplatnit například ve studiu jeskynních sedimentů. Na základě texturních a mikrostrukturních prvků lze vyčlenit typy sedimentace či prostředí, které do sebe částečně přecházejí (Karkansas a Goldberg, 2013; Lisá et al., 2013b). Jednotlivé mikrostrukturní prvky kombinované s faciální analýzou jsou velmi dobrým ukazatelem klimatických změn či změn indukovaných činností člověka. Například Ghinassi et al. (2008) interpretoval na základě faciální a mikromorfologické analýzy v sedimentech jeskyně Romito (jižní Itálie) fáze relativní stability s doloženým lidským osídlením střídající se přerušovaně s fázemi zvýšené vlhkosti, kdy docházelo k akumulaci sedimentů. To vše v časovém rozmezí před 24 tis. – 16 tis. lety pokrývající kulturně přítomnost gravetienu a epigravetienu. Dokázal tak

velmi efektivně využít danou metodiku pro interpretaci jak klimatického záznamu, tak okupačních strategií lidských kultur.

Tou negativní stránkou mikromorfologické analýzy je především její časová a finanční náročnost. Dalším minusem je prozatím omezené množství publikovaného srovnávacího materiálu, protože přestože tato metoda zažívá boom v posledních cca 15cti letech, doposud neexistuje srovnávací atlas jednotlivých prvků. Úspěšnosti interpretací tedy závisí především na znalostech a zkušenostech člověka, který vzorky interpretuje a na znalosti prostředí ze kterého vzorky pocházejí.

4.2. Zrnitostní analýza

Zrnitostní analýza je kvantifikační metodou, při které je stanoven procentuální podíl jednotlivých frakcí, obvykle rozčleněných na jíl, prach či písek. Hranice mezi těmito frakcemi se mnohdy liší podle toho, zda je používán geologický, geologicko inženýrský či pedologický systém, obecně je však hranice jíl/prach stanovena na 2 mikrometry (4 mikrometry ve Wenworthově geologické klasifikaci), hranice prach/písek na 50 či 65 mikronů (rozdíl mezi britským a americkým klasifikačním systémem) (Goldberg a Macphail, 2006). Způsoby jakým lze stanovit zrnitostní distribuci jsou poměrně široké a závisí v první řadě na makroskopicky odhadnutelné zrnitosti (Logsdon et al., 2008).

Velmi jemné frakce je vhodné stanovovat pomocí laserového granulometru, rozsahy těchto přístrojů s většinou pohybují od 0,04 mikronů do 2 mm. Množství materiálu potřebné pro tuto analýzu je cca 10 g. Měření probíhá ve vodní suspenzi, do které je pipetován dispergovaný vzorek. Přes zakalenou suspenzi následně procházejí laserové paprsky, pomocí nichž je možné detekovat hustotu suspenze a velikost jednotlivých zrn. Manipulace s laserovými granulometry je většinou jednoduchá a úspěšnost výsledku je závislá na míře ideální dispergace studovaného materiálu. Obvykle je používaná dispergace v KOH podpořená ultrazvukem. Tzv. totální dispergace zahrnuje následné odstranění karbonátové a organické složky sedimentu. Tyto by se mohly do sedimentu dostat druhotně a neodrážet tak primární sedimentační podmínky. Vše je však nutné posuzovat v závislosti na konkrétních kontextech. Pro laserovou granulometrii jsou vhodné jílovité a prachovité sedimenty, protože množství měřeného materiálu se pohybuje v gramech. Velmi dobře je tato metodika propracována v práci Storti a Balzamo (2010).

Standartní je tzv. pipetovací metoda podle Andreasena, při které se využívá Stokesův zákon (Lamboy a Štěpánek, 2005). Množství vzorku pro tuto analýzu je cca 10 g. Vzorek je dispergován ve válci a začíná se usazovat na jeho dno. Hrubozrnný materiál padá ke dnu rychleji, zatímco jemnozrnný jíl zůstává delší dobu ve vznosu. Rychlost usazování je teplotně závislá. Ve specifickém intervalu (obvykle 30 sekund až 8 hodin) je sediment odebírán z určité hloubky sloupce, vysušen a zvážen. Následně jsou kalkulovány procentuální obsahy jednotlivých frakcí. Princip chování sedimentu v suspenzi podle Stokesova zákona lze také využít pro měření hustoty suspenze v různých časových úsecích. Jde o způsob měření tzv. hustoměrnou (aerometrickou) metodou podle Cassagrandy (Matula, 1989). V časovém odstupu je hustoměrem měřena suspenze a získané hodnoty následně přepočítávány na procentuální obsahy jednotlivých zrnitostních frakcí.

Pokud je třeba stanovit zrnitostní distribuci u materiálu písčité či štěrkovité frakce je vhodné suché či mokré síťování. Při této metodě je potřebné větší množství materiálu, obvykle tak 500 g 1 kg. Vzorek je po vysušení zvážen a umístěn na systém sít, přičemž síta jsou naskládaná na sobě podle klesající velikosti standardizovaných ok. Materiál je následně buďto promíván vodou či vyklepáván, přičemž na povrchu jednotlivých zrn se usadí tzv. nadsítná frakce. Následným opětovným zvážením jednotlivých frakcí lze stanovit váhová procenta (Lamboj a Štěpánek, 2005).

Znalost zrnitostní distribuce a vytříděnosti materiálu je důležitá pro identifikaci provenience studovaného materiálu a pro identifikaci formačních faktorů, díky nimž sediment vzniknul (Dercon et al., 2005). Pro depozici hrubozrnějšího materiálu je potřebná vyšší unášecí schopnost. Vytříděný materiál byl transportován stejným médiem na poměrně dlouhou vzdálenost, zatímco nevytříděný materiál (obsahuje více jak jednu zrnitostní frakci) byl transportován s vyšší energií na krátkou vzdálenost a nemohlo tedy dojít k vytřídění. Na základě zrnitostní analýzy byla například identifikována vzrůstající přítomnost erodovaných půd v říční nivě řeky Moravy za poslední staletí. Pedogenně ovlivněný materiál pocházející z rozvětraného eluvia je na rozdíl od starších aluviálních sedimentů mnohem hrubší (Kadlec, 2010; Grygar, 2012). Antoine et al. (2013) identifikoval na základě rozdílů v zrnitostní distribuci fáze zvýšené eolické akumulace a tzv. markery, tj. odrazy větrných bouří. Lisá et al. (2013a) kombinuje výsledky zrnitostní analýzy spolu s hodnotami magnetické susceptibility a frekvenčně závislé magnetické susceptibility a TOC a poukazuje na vzájemné vztahy a možné interpretace na příkladové studii z aluviálních sedimentů řeky Nil. Na základě zrnitostní

distribuce ukazuje Lisá et al (2014) vzrůstající intenzitu větrné eroze na konci posledního glaciálu. Příkladů využití zrnitostní analýzy je nesčetné množství a považuje se dnes již za rutinní metodický nástroj.

Nevýhody jednotlivých metodických přístupů pro stanovení zrnitostní distribuce jsou zřejmé u všech popsaných metod. Zatímco metoda laserové granulometrie je rychlá a levná, je vhodná pouze pro velmi jemnozrnné materiály. Vzhledem k tomu že měření je prováděno z velmi malého množství může být v konečném důsledku poměrně nepřesnou. Pipetovací metoda je považována za nejlepší pokud je precizně prováděna, nicméně používá se opět především pro jemnozrnné materiály ale je časově a finančně náročnější. Metoda mokrého či suchého sítování je časově poměrně náročná, zato levná. Je vhodná pro hrubozrnné materiály.

4.3. Analýza magnetických vlastností

Měření magnetických vlastností sedimentu, speciálně měření hodnot magnetické susceptibility se v poslední době stávají rovněž rutinním metodickým nástrojem environmentálních studií. Magnetická susceptibilita je nejčastější měřenou magnetickou veličinou. Je jí stanovena míra schopnosti materiálu namagnetizovat se v předem daném indukovaném magnetickém poli a indikuje přítomnost různě magnetických minerálů (Thompson, Oldfield, 1986; Maher, 1988). Hodnoty magnetické susceptibility odrážejí koncentraci magnetických (převážně feromagnetických) minerálů a jejich velikost (Evans a Heller, 2003). Signál může být snižován přítomností diamagnetického materiálu jako například organické hmoty, SiO_2 nebo $CaCO_3$ (Thompson, Oldfield, 1986). Pomocí frekvenčně závislé magnetické susceptibility lze identifikovat superparamagnetické malé částice (<0,03 μm), které vznikají v důsledku bakteriální činnosti spojené s pedogenezí (Hrouda a Pokorný, 2010). Navýšení magnetické susceptibility může zároveň indikovat provenenci, pedogenezi či v antropogenně ovlivněných materiálech též železné úlomky, teplotně ovlivněný materiál (spálená mazanice) či antropogenní aerickou kontaminaci v důsledku spalování např. fosilních paliv (Evans a Heller, 2003). Interpretace magnetických vlastností jsou závislé na mnoha faktorech. Jedním z nich je frekvence odběru. Množství odebíraného materiálu je cca 15 g a krok, po kterém by měly být vzorky odebírány, by měl být co nejmenší (2 – 5 cm), závisí však i na konkrétních otázkách které by tato metodika vlastně měla řešit.

Běžná hodnota magnetického pole, při kterém je magnetická susceptibilita měřena, je 875 kHz a následně jsou odečítány hodnoty v tomto tvaru: χ (m3/kg−1). Frekvenčně závislá magnetická susceptibilita je měřena minimálně při dvou frekvencích, obvykle f1 = 976 Hz a f3 = 15 616 Hz, amplituda AC pole byla 200 A/m (Hrouda a Pokorný, 2010). Vzorky jsou do přístroje vkládány v plastových sáčcích o hmotnosti cca 20 g a následně zváženy. V magnetometru je indukováno magnetické pole a přístroj sám následně hodnoty odečítá. Lze stanovit tzv. objemovou či hmotnostní susceptibilitu. Primárně je měřena objemová, protože je však v případě sypkých vzorků nesnadné definovat objem, používá se běžně v environmentálních studiích tzv. hmotnostní susceptibilita, tzn. že objemová susceptibilita je následně přepočítávána podle hmotnosti vzorků na váhovou. Frekvenčně závislá magnetická susceptibilita je potom nezávislá na váze vzorku a je přepočítána dle obecně akceptovaného vzorce (Dearing et al., 1996) jako kFD = 100 × (kf1 – kf3) / kf1 [%], kde kf1 a kf3 jsou měření susceptibility při frekvencích 976 Hz a15 616 Hz.

Využití magnetických proxy dat je poměrně široké. Například Hošek et al (2014) díky magnetické susceptibilitě charakterizoval změny v erozních událostech a zvětrávacích procesech při zaplňování jezera Švancemberk. Lisá et al. (2013c) na základě frekvenčně závislé magnetické susceptibility charakterizovala přítomnost interstadiální půdy ve sprašových sériích s gravetienským osídlením či pedogenně ovlivněný materiál v sedimentární sekvenci jeskyně Kůlna v Moravském krasu (Lisá et al., 2013b). Macphail a Goldberg (2006) používají především základní magnetickou susceptibilitu s úspěchem pro detekce antropogenně ovlivněného materiálu.

Měření magnetické susceptibility je časově i finančně nenáročné, proto se tato metoda stává celkem běžnou součástí výzkumů. To však sebou přináší i negativní důsledky, protože naměřené hodnoty bez bližší znalosti kontextu velmi často svádí k desinterpretaci. Pro správnou intepretaci hodnot magnetické susceptibility je vhodné především porozumět formačním procesům a dále je vhodné výsledky kombinovat s hodnotami zrnitostní distribuce či znalosti chemického složení.

4.4. Stanovení pH

Stanovení pH patří k základním analýzám při zjišťování kvality půdy a je součástí většiny půdních analýz prováděných v rámci klasických pedologických šetření (Brady a Weil, 2010). Z pohledu geoarcheologických studií je stanovení pH základním parametrem pro předběžné

hodnocení vlastností konkrétních archeologických vrstev. Zjištění hodnoty pH je mnohdy klíčové pro plánování další geoarcheologické metodiky která bude na tu kterou konkrétní situaci aplikována. Při výrazně kyselém pH je možné očekávat maximální zachování pylových zrn a fytolitů a je zbytečné např. provádět malakologická šetření či není možné očekávat nálezy kosterních pozůstatků. Naopak při pH neutrálním až mírně alkalickém je třeba věnovat pozornost pravděpodobně zachovaným karbonátových reliktům, je vhodné využít osteologickou analýzu a provést výzkum malakofauny. Stanovení pH je vhodné k zjištění změn v sedimentačním profilu, často může identifikovat postdepoziční procesy a antropogenní impakt. Protože karbonáty způsobující zvýšenou alkalinitu jsou poměrně mobilní, není možné pH, které na jejich přítomnosti přímo závisí použít jako indikátor pohřbených půdních horizontů (Birkeland, 1999).

Hodnoty pH použité v prezentovaných geoarcheologických studiích byly stanovovány metodikou ISO 10390, skleněnou elektrodou v půdní suspenzi v roztoku KCl a H_2O v souladu s ČSN ISO 10390 dle Zbírala (2002). Stanovení je relativně jednoduché a rutinní, vyžaduje však vysokou pečlivost. Na stanovení ve standartním kalibrovaném pH metru je nutné odebrat cca 30 gramů jemnozemě, tj. pamteriálu který je již vysušen a prosítován přez síto o průmeěru 2 mm. Pro srovnání více hodnot z různých stanovišť je efektivnější měření výměnné pH, stanovené výluhem neutrální soli (KCl), označované jako pH/KCl. Stanovení pH aktivní vodním výluhem (H_2O), označované jako pH/H_2O, je hodnota okamžitá a více proměnlivá. Obecně je pH aktivní (pH/H_2O) mírně vyšší než pH výměnné (pH/KCl).

Protože hodnoty pH se většinou používají v počátečních fázích geoarcheologického výzkumu a jsou tedy brány jako orientační, nejsou obvykle publikovány stejnou formou, jako je tomu u jiných metodik. To však neznamená, že by měly menší vypovídací hodnotu. Například Avery (1990) uvádí, že velmi nízké pH 4.5 bylo identifikováno u pohřbených půd z doby římské v Oakley (Suffolk, UK), což neodpovídá současnému stavu půd a vegetaci která je s tímto v součastnosti na lokalitě spojena. Tato změna proběhla v důsledku fertilizace. Naopak výrazné snižování pH směrem do nadloží uvádí z kontextu pravěké mohlyly ve své práci například Hejcman et al. (2013b). Postupné snižování pH směrem do nadloží přičítá pedogennímu pochodu při kterém se začínala vytvářet luvizem a půdní horizont byl ochuzován o karbonáty, zatímco podloží bylo stále vápnité. Podobně je tomu u pohřbených černozemí posledního glaciálu (Antoine et al, 2013), kdy barevně odlišná humózní vrstva černozemě je zároveň ochuzena o karbonatickou složku v důsledku vyplavování do podloží.

Nevýhody měření pH jsou pouze v tom, že jde o měření orientační, jinak je to metoda levná, rychlá a v některých případech stěžejní pro následný postup prací a interpretace. Jako u každé metody je výsledek závislý na preciznosti měření.

4.5. Stanovení obsahu CEC

Pro stanovení CEC (kationtová výměnná kapacita) je používána celá řada metod. V případových studiích byly používány dvě metodiky. Stanovení pomocí metody dle Meiera a Kahra (1999) pro vzorky čistých jílových minerálů, testována pro sedimenty a půdy Grygarem et al. (2009), která se osvědčila při studiu aluviálních sedimentů, zejména při hodnocení poměru obsahu Ca/Mg v sorpčním komplexu jako indikátoru pozice sedimentu v říční nivě, respektive sedimentační energie (Grygar et al., 2010; Kadlec et al., 2009).

Druhá použitá metoda Mehlich 3 (Mehlich, 1984) je běžnou metodou hodnocení obsahu přístupných živin v zemědělských a lesních půdách, využívanou v celosvětovém měřítku. Její aplikace v archeologickém kontextu je relativně nová (Hejcman, 2011, 2013a, b, c). Tato metoda je schopna identifikovat nabohacení antropogenními prvky (P, Ca, K aj.), ale i těžkými kovy (Cd, Cr, Pb) v půdách a sedimentech a tedy identifikovat jejich antropogenní charakter. Budoucí rozšíření této metody v archeologickém výzkumu je velmi pravděpodobné, jelikož je pomocí ní možné identifikovat historické antropogenní kontaminace, například u zaniklých vesnic či hřbitovů. Pro tyto odběry je nutné odebrat cca 100 gramů jemnozemě.

Každá ze jmenovaných metod má své interpretační výhody i nevýhody. V obou dvou případech získáváme informace jen o specifické části měřeného materiálu, což nám dává možnost přesnějších interpretací, ale na druhou stranu nám nedovoluje obecnější popis sedimentu. V případě metody měření Melichem 3 lze získat data, která mohou být porovnávána s již známými databázemi půdního chemismu (Klement et al., 2012; Hejcman, 2013c), na druhou stranu však tímto způsobem dostáváme k dispozici pouze hodnoty prvků, které jsou pro rostliny přístupné a ztrácíme informaci o celkovém obsahu těchto a dalších prvků v půdě. Tato informace je často klíčová pro posouzení stáří a geneze půd či schopnost rozlišení půd vzniklých in-situ nebo svahovými pochody (Bajer, 2003). Stanovení prvků pomocí kationtové výměnné kapacity je opět poměrně specifickou záležitostí a dostáváme tak pouze informaci o množství prvků vázaných pouze na jílové minerály. Ideálním doplňkem

těchto dvou metod je například stanovení silikátové analýzy tzv. celkovým rozkladem. Takovou kombinaci metod je však vhodné použít pouze tam, kde to finanční možnosti dovolují a kde lze předpokládat vyřešení klíčových otázek širšího kontextu.

4.6. Stanovení hodnot LOI, TOC, C_{ox} a C_{org}

Pro stanovení obsahu organické hmoty je obvykle používáno větší množství metodických přístupů. Relativně nejlevnějším je tzv. LOI, tj. Loss on Ignition, tedy ztráta žíháním. Pro tuto metodu je nutné odebrat cca 10 gramů jemnozemě. Při tomto způsobu stanovování obsahu organické hmoty je vzorek vysušený při 105 stupních Celsia (ztráta kapilární vlhkosti) zvážen a spálen po dobu 7 hodin při teplotě 550 stupňů Celsia (Heiri et al., 2001), s modifikacemi Rejšek (1999). Po sedmi hodinách je vzorek vyjmut z pece uložen do exikátoru a po vychladnutí zvážen. Jednoduchým přepočtem je poté stanoveno váhové procento úbytku organické hmoty. Metoda je využívána zejména jako orientační, jelikož při spalování zůstávají ve vzorku miniaturní uhlíky a zároveň je spalována například část fosfátů, je-li přítomna. Používá se relativně většího množství materiálu (10g). Tímto způsobem je možné stanovit relativně velké množství vzorků za krátký čas a tak ve velkém setu hledat anomálie, na které se posléze zaměřit přesnějšími stanoveními. Tato metoda je tedy vhodná především pro sedimenty, které obsahují velké množství organické hmoty, například pro studium zaniklých říčních ramen či jezerních sedimentů (Petr et al., 2013) či pro antropogenní organikou bohaté sedimenty (Milek and Roberts 2013; Holiday, 2004).

Z dalších přesnějších metod se používá stanovení C_{ox}, které se provádí titrací po oxidaci chromsírovou směsí (Zbíral et al., 2004). V tomto případě je třeba zvolit vhodnou navážku dle předpokládaného obsahu organického uhlíku, nejméně však 10 g. Při dodržení vhodných navážek je účinnost oxidace až 95% v závislosti na kvalitě organické hmoty. Metodu měření C_{ox} lze použít i v modifikaci, kdy po oxidaci chromsírovou směsí se C_{ox} stanovuje spektrofotometricky (ISO14235). Metodika však nebyla používaná v přiložených příkladových studiích. Pro možnost srovnání, je však třeba dbát na to, aby byly všechny vzorky zpracovány stejnou metodikou. V zahraniční literatuře se často jako ekvivalent C_{ox} objevuje TOC (total organic carbon) stanovený stejnou nebo podobnou metodikou. Obecně lze tyto dvě hodnoty (TOC a C_{ox}) srovnávat. Hojně využívané je také stanovení TC (celkový uhlík) a TN (celkový dusík) podle Dumase (Matejovič, 1996) anebo v různých modifikacích (Robertson et al., 1999; Hammarlund a Buchardt, 1996). Při těchto analýzách je vzorek spálen

v proudu kyslíku při teplotách okolo 1000 stupňů Celsia a vzniklý oxid uhličitý a oxidy dusíku jsou pak dále stanoveny tepelně vodivostním detektorem. Stanovení obsahu dusíku je v našem případě výhodné z hlediska stanovení poměru C/N, tedy pro zhodnocení kvality humusu a orientační rychlosti rozkladu (mineralizace) organických látek v daném horizontu (Brady a Weil, 2010; Sáňka a Materna, 2004). Tímto způsobem stanovený TC (celkový uhlík) může být při pH vzorku pod 6 považován za prakticky ekvivalentní C_{ox} a TOC. Pokud však je pH vzorku vyšší, je pravděpodobné, že obsahoval i určité množství karbonátu a výsledek bude nepřesný. Tomuto je možné předejít předcházejícím rozkladem karbonátu pomocí HCl anebo jejich stanovení a odečtení od TC. Hodnoty TOC a C_{ox} či C_{org} lze obecně považovat za ekvivalentní.

Milek a Roberts (2013) využili stanovení organické hmoty pomocí LOI pro evaluaci množství antropogenně deponované organické hmoty do archeologických objektů (Milek a Roberts 2013). Například Hošek et al (2014) používá jak měření pomocí LOI tak Corg pro stanovení množství přirozeně zarůstající vegetace a následně intenzitě pedogeneze v terminálních jezerech (Hošek et al., 2014), stejně tak Petr et al. (2013) stanovuje na základě LOI obsahy vznikající organické hmoty v zanikajících říčních ramenech. Lisá et al. (2012) použila TOC jako srovnávací nemagnetické proxy pro identifikaci zdroje magnetických anomálií v případě aluviální zóny Nilu v oblasti šestého nilského kataraktu.

4.7. Stanovení fosforu - fosfátová analýza

Fosfátová analýza je chemická metoda pro zjištění obsahu zejména fosforečnanu vápenatého, ale i dalších sloučenin fosforu. Fosfor v sedimentech a půdě je především produktem rozkladu organické hmoty, ale může pocházet i z celé řady dalších zdrojů. Velmi významnou složku tvoří fosfor dostávající se do půdy následek lidské činnosti. Nejčastěji se v půdě vyskytuje v podobě organických sloučenin či anorganických sloučenin, zejména ve vazbě s hliníkem, železem a vápníkem. V těchto vazbách je fosfor v půdě relativně pevně fixovaný. Míra jeho fixace je ovlivněna řadou faktorů, zejména půdní reakcí, velikostí půdních částic, obsahem organické hmoty, minerálním složením a aktivitou půdních mikroorganismů. Klíčem k pochopení rozdílu jednotlivých metod fosfátových analýz je pochopení mechanismu pohybu a fixace fosforečnanů (fosfátů) v půdě. Vazby fosfátu v půdě (sedimentu) můžeme rozdělit do několika skupin. Hlavní roli hrají organické a anorganické chemické sloučeniny, kdy přechod mezi formami zprostředkovávájí zejména půdní

mikroorganismy. Fosfor v půdě je přítomen jako dostupný, tedy rozpuštěný v půdním roztoku nebo pevně vázaný v různých organických či anorganických sloučeninách. Kdy je která forma sloučeniny pohyblivá (v půdním roztoku), závisí zejména na pH prostředí. Proto při chemických stanoveních fosforu hraje mimořádně důležitou roli zvolený extrakční postup, který nám indikuje, jakou formu fosforu právě analyzujeme. Běžně se používá extrakce slabou kyselinou pro tzv. přístupný fosfor (Melich III), v archeologické praxi se používá zejména extrakce pomocí silných kyselin k získání informací o tzv. totálním (celkovém fosforu). Problém v tomto případě může být s fosforečnany přítomnými v půdě či sedimentu díky geologickému pozadí.

Pro archeologické účely je nejlépe odebrat sypký vzorek v množství min. 15-20 g, po vysušení do konstantní hmotnosti a převedení do zrnitostní frakce II. Konkrétní využití v archeologii je vázáno zejména na zjišťování přítomnosti organického odpadu (bohatého fosforem), depozice popela, prostorového rozložení organických zbytků, zbytků kostí (hrobů) či na přítomnost redeponovaných půd, to vše v kontextu formačních procesů.

4.8. Víceprvkové (multielementární) geochemické analýzy

Víceprvková geochemická analýza nám dovoluje zjistit obsah vybraných prvků ve vzorku. Pro výběr konkrétní metody je třeba předem znát otázku, na kterou máme těmito analýzami odpovídat. Podobně jako u fosfátové analýzy je nezbytné zvolit vhodný extrakční postup. Používají se zejména dva typy extrakčních činidel. Slabé kyseliny vytěsní ze vzorku pouze přístupné formy prvků. Směsi silných kyselin způsobí tzv. totální rozklad, tedy převedení celkového (totálního) množství prvků ve vzorku do roztoku, tedy ke konkrétnímu stanovení. Pro konkrétní stanovení se používá celá řada specifických postupů (např. XRF Spektrofotometr, ICP Spektrofotometr, rentgenová difrakční analýza, elektronová mikroskopie, aj.). Pro úspěšné využití této metody je třeba předem zvolit i vhodné prvky, které se budou analyzovat. Např. pro detekce metalurgických procesů zvolíme jinou sumu prvků než pro zjišťování provenience hornin. Pro jednotlivé typy archeologických identifikací se používají různé kombinace analyzovaných prvků. Např. pro identifikaci hornické činnosti se používají těžké kovy a Cu a Mn, pro identifikaci ohniště P, Mg a magnetická susceptiblita, pro použití malby těžké kovy, pro identifikaci řemeslných areálů těžké kovy, identifikaci hrobů P, Cu, Mn, Ca, atd.

Pro realizaci víceprvkových chemických analýz je vhodné odebrat minimálně 15 g vzorku po vysušení a převedení do zrnitostní kategorie II., případně více podle množství

předpokládaných prováděných analýz. Multielementární chemická analýza se v archeologickém kontextu používá zejména k zjištťování intenzity antropogenního ovlivnění, typu antropogenního ovlivnění, případně provenience hornin a detekci metalurgických procesů hutnění a aplikace zemědělských hnojiv.

4.9. Shrnutí laboratorních metodik

Uvedené metodiky jsou všechny v praxi běžně užívané a často publikované. Proto je třeba při srovnávání a vyhodnocování výsledků přesně vědět, která metodika byla použita z hlediska eliminace chyb a zvýšení přesnosti interpretace. Stanovování obsahu organické hmoty pomocí LOI je vhodné pouze pro organické sedimenty, v případě použití této metodiky u jiných sedimentů je nebezpečí, že statistická chyba bude příliš vysoká.

Tab. 1 - Souhrn vybraných analytických geoarcheologických metod a jejich archeologických aplikací

Analytická metoda	Typ vzorku	Odebrání vzorků	Aplikace v archeologii
Zrnitostní analýza	Sypký vzorek, cca 15g na laserovou granulometrii, 1 kg na sítovou analýzu	Do igelitových sáčků, archeolog	Identifikace zdrojové oblasti, porozumění sedimentačních a pedologických procesů
LOI – ztráta žíháním	Sypký vzorek, cca 15g	Do igelitových sáčků, archeolog	Identifikace půdního vývoje, zjištění zvýšených obsahů organické hmoty, pozor vhodné pouze u evidentně organických sedimentů
Corg, TOC	Sypký vzorek, cca 15g	Do igelitových sáčků, archeolog	Stejně jako LOI, analyticky mnohem přesnější
Magnetická susceptibilita	Sypký vzorek, cca 15g	Do igelitových sáčků, archeolog	Identifikace půdního A horizontu nebo lidské aktivity u slabě vyvinutých sekvencí

XRF	Sypký vzorek, cca 15g, nebo měření přímo v terénu	Do igelitových sáčků, archeolog, geolog/pedolog	Složení sedimentu, antropogenní kontaminace, determinace různě využívaných prostor v objektu
mikromorfologie	Intaktní blok, velikost dle typu sedimentu a kladených otázek	Kubiena boxy, geolog/pedolog	Identifikace složení, vytřídění, specifických struktur pro porozumění a interpretaci archeologických objektů
Multielementární analýza	Sypký vzorek, cca 15g	Do igelitových sáčků, archeolog	Složení sedimentu, antropogenní kontaminace, determinace různě využívaných prostor v objektu
Fosfátová analýza	Sypký vzorek, cca 15g	Do igelitových sáčků, archeolog	Identifikace lidské nebo zvířecí aktivity, kontaminace, provenience
pH	Sypký vzorek, cca 15g, případně na místě	Do igelitových sáčků, archeolog	Porozumění půdního vývoje a zachování ekofaktů a artefaktů

5. Aktuální otázky geoarcheologie

Geoarcheologie je v porovnání s jinými obory poměrně novým oborem, který se neustále formuje a to jak po stránce metodické (Gocke et al., 2014), tak po stránce jejího konkrétního začlenění jak do záchranných archeologických výzkumů tak především do těch dlouhodobých. Její potenciál je ovšem i v ochraně archeologických lokalit (Huisman, 2009). V této závěrečné kapitole jsou proto představeny možné výzvy budoucího začlenění geoarcheologie do výzkumu krajiny ať již v kontextu archeologickém, krajinářském nebo ochrany národního dědictví.

5.1. Metodické trendy v geoarcheologii

Geoarcheologie, jako mladý, dynamicky se rozvíjející obor, stále vyhledává nové metodické přístupy k interpretaci přírodního a antropogenně ovlivněného sedimentárního záznamu. V této kapitole jsou uvedeny jedny z nejzajímavějších metodických zaměření, které se poslední dobou začaly v literatuře spolu s geoarcheologickými studiemi objevovat.

Jednou z metodik, která v současnosti na poli české geoarcheologie zažívá boom, je X-ray fluorescenční analýza, kterou lze provádět za pomoci mobilního analyzátoru (pistole) i v terénních podmínkách (Moioli a Seccaroni, 2000). Tímto přístrojem je možné zjistit celkové koncentrace širokého spektra prvků. Výhodou je velmi nízká cena analýzy, široké spektrum prvků, které lze identifikovat a okamžitá informace o chemickém složení analyzovaného materiálu. Velkou nevýhodou je kromě pořizovacích nákladů i rozsah kalibrace a fakt, že získané hodnoty jsou pouze orientační a nelze je porovnávat s hodnotami získanými klasickými laboratorními analýzami. Tato metodika je vhodná například pro detekci kontaminace půd středověkou těžbou, nebo pro identifikaci rozkladu akumulací organického materiálu.

Izotopová analýza je v geoarcheologii používána nejčastěji v kontextu s datováním, ale objevují stále častěji i studie používající například izotopy stroncia pro určení migrační historie zvířat či izotopy kyslíku a uhlíku k identifikaci dietních změn ve stravě zvířat (Dejmal et al., 2014). Jednou z velmi zajímavých izotopových aplikací je měření obsahů izotopu dusíku (^{15}N) pocházejícího z organických hnojiv (Senbayram et al., 2008). Právě aplikace těchto hnojiv, jimiž například ve středověku byly převážně exkrementy zvířat v různém stupni

zpracování, obohacuje půdu o izotop ^{15}N a ten je možné následně identifikovat jak v rostlinách, tak v samotné půdě (Kriszan et al., 2009). Identifikace rozsahu hnojení organickými hnojivy v kontextu zaniklých středověkých vesnic byla v součastnosti aplikována i u nás (Součková et al., 2013).

Velmi vítané jsou v poslední době metody nedestruktivního charakteru, mezi které lze zařadit i rentgenové mikrotomografické skenování, pomocí kterého lze získat trojrozměrné zobrazení sedimentárního profilu a studovat například rozložení biopórů, psedomycélií a rhizolitů. Tyto půdní novotvary jsou většinou vázané na pedogenezi a souvisejí s vegetačním krytem, tudíž poskytují cenné informace o paleovegetaci a paleoenvironmentálním prostředí (Gocke et al., 2011). Na základě prostorového rozmístění a početnosti je pak možné usuzovat na přítomnost horizontů paleopůd v sedimentačním profilu (Gocke et al., 2014).

5.2. Význam spolupráce archeologa a geologa/pedologa

Geoarcheologická analýza se za poslední desetiletí pomalu stala v západní Evropě a v Americe celkem běžnou součástí archeologických výzkumů. Na poli české archeologie se však začínají objevovat první geoarcheologické studie v pravém slova smyslu až v posledních letech, tj. aktivní komunikace archeologa a geologa (či pedologa) resp. začlenění geoarcheologických interpretací přímo do celkových interpretací kladených otázek spojených s archeologickým výzkumem. Doposud byla účast geologa/pedologa chápána jako „servis“ který přidává „exaktní“ data do kapitoly pojednávající o pozadí lokality.

Jak již bylo řečeno v předchozích kapitolách je používání geoarcheologické metodiky, resp. to zda na lokalitu povolat geologa/pedologa nebo zda řešit geoarcheologické otázky nezávisle, vždy závislé jednak na povaze lokality a především na zkušenostech archeologa. Pokud má však geolog/pedolog spolupracovat na interpretacích spojených s vývojem lokality je většinou nezbytné nejen aby lokalitu viděl „na vlastní oči“ a mohl spolurozhodovat o tom jaké otázky, jako metodikou mohou být řešeny, resp. je účelnné tu kterou metodiku využít, ale nejlépe aby měl možnost lokalitu navštěvovat opakovaně.

Přestože je geoarcheologie brána jako samostatný obor, počítá především u archeologických výzkumů s tím, že analýzy budou aplikovány s cílem bližšího porozumění již specifických otázek kladených archeologem. Rozsah laboratorní metodiky, kterou je možné

použít je poměrně velký, ale jak již bylo řečeno na začátku této kapitoly, ani nejdetailnější vzorkování a nejdražší analýzy nemohou nahradit práci specialisty v terénu a diskuzi s archeologem. Vzhledem k tomu, že laboratorní zpracování vzorků je mnohdy velmi finančně náročné je diskuze před odběrem vzorků zcela zásadní.

Tab. 2 - Vybrané často kladené otázky archeologa vztažené k terénnímu šetření a vhodným analytickým metodám.

Otázka	Terénní šetření	Analytické metody
Je to koluvium?	popis v terénu, způsob vytřídění, vztah studované vrstvy v rámci geomorfologie okolního terénu, odběr vzorků	terénní popis, zrnitostní analýza, ztráta žíháním (LOI)
Je to koluvium jednorázovou událostí nebo opakovaným jevem?	popis v terénu, přítomnost pohřbených horizontů, odběr vzorků	Terénní popis, zrnitostní analýza, ztráta žíháním (LOI), analýza magnetických vlastností
Jak dlouho se toto koluvium akumulovalo?	popis v terénu, odběr vzorků	absolutní datování – C14 a OSL (není součástí této metodiky)
Je to vátý písek či fluviální?	sedimentární popis a interpretace texturních prvků, odběr vzorků	zrnitostní analýza, mineralogické složení , mikromorfologie
Je to vátý sediment či zvětralý pískovec?	sedimentární popis v terénu, odběr vzorků	zrnitostní analýza, multielementární analýza, mineralogické složení, mikromorfologie
Je to spraš in situ či přemístěná spraš?	sedimentární popis, odběr vzorků	terénní popis, obsah karbonátů, zrnitostní analýza, pH
Čím je způsobena tato červená barva sedimentů?	sedimentární popis, odběr vzorků	mikromorfologie, analýza magnetických vlastností, zrnitostní analýza
Proč je tato vrstva vizuálně odlišná, je to přírodní proces nebo něco jiného?	sedimentární popis, odběr vzorků	terénní popis, zrnitostní analýza, LOI, mikromorfologie,
Jsou tyto mikrovrstvy původní nebo jsou bioturbované?	sedimentární popis, odběr vzorků	mikromorfologie
Je to pohřbený půdní horizont?	sedimentární popis, odběr vzorků	analýza magnetických vlastností, obsah organické hmoty (LOI? TOC), mikromorfologie
Může to být podlaha nebo pochozí vrstva?	sedimentární popis, odběr vzorků	mikromorfologie, zrnitostní analýza, multielementární analýza
Jaký je environmentální potenciál v sedimentech?	sedimentární popis, odběr vzorků	Ph, terénní popis, zrnitostní analýza
Jaké byly příčiny pohřbení těchto sedimentů?	sedimentární popis, odběr vzorků	terénní popis, zrnitostní analýza, mikromorfologie

5.3. Využití geoarcheologie k ochraně národního dědictví

Tzv. maltská úmluva „Malta Convention“ platná v rámci celé Evropské unie od roku 1992 dává za povinnost všem státům unie ochraňovat národní dědictví. Tato ochrana je v tom smyslu, že je nutné především chránit ještě nezkoumané lokality a pokud toto není možné, potom se ochrana vztahuje na formu tzv. záchranného výzkumu. V některých případech se toto nařízení doslova zvrhlo v určitý typ byznysu, nicméně i tak je situace v tomto nesrovnatelně lepší než před rokem 1989. Situace v některých státech Evropy je v tomto ohledu na velmi vysoké úrovni, například v Nizozemí vzrostl počet profesionálních archeologů čtyřikrát (De Boer et al., 2009).

Klasické i experimentální laboratorní geoarcheologické přístupy mohou být s úspěchem využity zejména ve vztahu k pozici a zachování artefaktu a to jak z pohledu konkrétních terénních situací, tak možnosti ochrany zachování archeologických pozic do budoucnosti. Například leteckou archeologií (Kovárník, 1996; Gojda, 2000) lze detekovat pozůstatky objektů, stejně tak lidarem, v terénu potom například geofyzikálními metodami (Kuna et al., 2004). Sondováním lze získat vzorky z jednotlivých částí studované oblasti a například jednoduchou metodou měření pH či složitější chemickou analýzou či analýzou vlhkosti sedimentu zjistit nakolik je substrát vhodný pro zachování možných artefaktů, jako například dřeva, kostí, mědi a ostatních kovů či skla. Podrobně je tato problematika shrnuta v práci Huismana (2009).

5.4. Vztah ekologie (lesnické a krajinné) a geoarcheologie (environmentální archeologie)

Jak souvisí současná ekologie lesa s hlavním směrem geoarcheologie? Nejdůležitější zdroje informací o minulosti jsou obsaženy v artefaktech, ekofaktech a v přítomnosti sedimentárních a půdních texturních prvků. Artefakty jsou přenosné objekty vytvořené člověkem, zatímco ekofakty jsou pozůstatky rostlin, zvířat a přirozených sedimentů, které nám mohou poskytnout informaci o lidské činnosti a environmentálních podmínkách, ve kterých tito lidé žili. Texturní prvky, které v půdních horizontech nalézáme, jsou nepohyblivou složkou půdy, jak přírodního charakteru, tak z velké části vytvořené člověkem s cílem krajinu využít. Někteří archeologové dokonce považují texturní prvky v půdě za artefakty vytvořené člověkem (Renfrew a Bahm, 1991). Takovými texturními prvky mohou být vykopané prostory vyplněné následně sedimentem (negativní textury), jako třeba obytné

či výrobní objekty, kanály, příkopy, těžební jámy nebo i prvky které jsou nad krajinu vyvýšeny (pozitivní textury) zahrnující například mohyly, kulturní prvky, valy, atd. Mnohdy jsou především výplně depresí nejrůznějšího typu nabohaceny organickým odpadem, který kromě zvýšeného obsahu uhlíku zahrnuje hlavně fosfor, draslík, hořčík či další fertilizační složky (Válek et al. 2013). Postupnou degradací těchto struktur se tyto složky stávají zdrojem živin a vegetace, která v jejich okolí roste je výrazně odlišná. Na tomto faktu je založena například letecká archeologie kdy jsou využívány negativní či pozitivní rostlinné inprinty v krajině (tj. zelenější a vyšší či naopak světlejší a nižší vegetace podle toho na kolik se antropogenní výplně liší obsahem živin od okolního geologického podloží (Kovárník, 1996). Dalším příkladem může být například výskyt některých rostlin spojených s předchozím osídlením. Takto je popisován například výskyt barvínku menšího v okolí zaniklých středověkých vesnic (Hejcman et al., 2013).

Nejde však jen o viditelné změny krajiny na základě imprintů které by se v krajině dodnes takto projevovaly. Sedimentární záznam sám je jakýmsi přírodním archivem, který nám poskytuje informace o tzv. „původní vegetaci“. Lidský impakt na krajinu detekovatelný geoarcheologikou metodikou zahrnuje především odlesňování, s tím související erozi ale i modifikaci půdního fondu a kultivaci. Jedním z nejznámějších příkladů viditelné a v podstatě nevratné modifikace krajiny v lidské minulosti je krajina Mediteránu, kde jednak samotné odlesňování a zároveň nadměrné spásání dobytkem změnilo jak typ půdního fondu tak s tím související vegetaci. Odlesňování je obecně menším zásahem do půdního fondu, hlavním faktorem, který půdní fond ovlivňuje je spíše samotná kultivace. Ta vede ke vzniku mocných poloh kultizemí, výplní údolí či vzniku terasované krajiny (Puy, Balbo, 2013). Jedním z příkladů důsledků kultivace v minulosti je příkladová studie z Prahy Zličína. Díky kultivaci půdního substrátu vytvořeného na rozvětraných cenomanských pískovcích došlo k rozsáhlé erozi a vzniku poměrně mocné kultizemě. Tento sediment překryl samotné sídliště knovízské kultury, která tuto kultivaci inicializovala. Informace o typu půdního pokryvu a s tím související zemědělské činnost byla v tomto případě zjištěna na základě studia faciální analýzy kombinované s mikromorfologií, pylovou a fytolitovou analýzou. Druhým příkladem je totální přeměna krajiny spojená s nadměrným zatěžováním krajiny, které s určitou nadsázkou můžeme nazvat také kultivací. Oblast dříve nazývaná skotská Sahara, lokalizovaná blízko města Nairn na východním pobřeží Skotska, byla v minulosti několikráte lidským zásahem přeměněna (Ovington, 1950). Ve středověku a novověku byla poměrně intenzivně zemědělsky využívána, resp. nadužívána. Mořské pobřeží bylo zbavováno vegetace, která

byla následně zkrmována. Důsledkem byla zvýšená eolická eroze, která v konečném důsledku způsobila naprosté překrytí širší oblasti vátými písky. Totální destabilizace povrchu byla fixována až v 50. tých letech minulého století lesnickým projektem, díky němuž je dnes celá oblast pokryta borovicovým porostem. V moravském prostředí lze tuto příkladovou studii dobře srovnat s prostorem tzv. *Moravské Sahary* u Bzence. Tyto dva příklady mohou být hodnoceny zároveň jako kolaps krajiny s následnou přirozenou či člověkem indukovanou regenerací (Lisá, 2011).

Informace získané jak ze studia současných indikátorů lidského impaktu na lesní vegetaci tak informace získané ze sedimentárního záznamu jsou významné při hodnocení současného stavu krajiny, využívání krajiny či pěstebních opatření v lesním hospodářství. Výsledky geoarcheologických výzkumů mohou mít přímou souvislost s výzkumem erozních poměrů daného území či vodního režimu. Tyto skutečnosti mohou být využity v praktických otázkách současné krajinné a lesnické ekologie. Na základě palynologického či antrakologického a makrozbytkového studia může být indikován typ vegetace, který v konkrétním časovém úseku na lokalitě dominoval. Mnohdy jsou však tyto informace desinterpretovány v tom smyslu, že jsou brány jako návod jak současnou vegetaci „přeměnit“ do té takzvané „původní. Je třeba si ale uvědomit že ekosystém stejně tak jako půda je živý organismus a neustále se vyvíjí. Tzn., že například alkalinita substrátu na konci dob ledových poskytovala podmínky pro přítomnost jiné přirozené vegetace než současný, mnohem kyselejší substrát, který je vhodný pro úplně jiný typ vegetace. Změna pH substrátu však nemusí být přímo způsobená v důsledku činnosti člověka, ale vegetací samotnou, což je přirozeným důsledkem vývoje klimatického cyklu (Ložek, 1973, 2011; Pokorný, 2012).

6. Shrnutí

V předložené metodice jsou představeny vybrané metodické přístupy použité při studiu krajiny a jejího sedimentárního záznamu v archeologickém a geoarcheologickém kontextu. Jednotlivé metodické přístupy jsou autory v textu prezentovány na konkrétních případových studiích. U každé konkrétní metody je uveden postup odběru vzorku, jeho množství a jeho přípravy pro zpracování. Nelze říci, zda je některá z představených metod méně či více významná. Důležitá je však často opomíjená posloupnost jednotlivých metodických kroků, respektive postup od makroskopického pohledu po podrobný mikromorfologický a fyzikálně chemický. Obecně zároveň platí i ekonomická stránka věci, tj. skutečnost, že je postupováno od těch nejlevnějších metod (například terénní popis, stanovení terénní zrnitosti či vápnitosti) po ty dražší (magnetická susceptibilita, LOI, měření pH) až po ty finančně nejvíce náročné (měření zrnitosti, chemická analýza, mikromorfologie). Pro mikrostratigrafické studium platí vždy pravidlo, že vzorky jsou odebírány na klíčových místech a jsou předem kladeny otázky, na které by tato analýza měla/mohla najít odpověď. I u studia mikromorfologického vzorku platí pravidlo, že je postupováno od makroskopického měřítka po mikroskopické, tj. nejprve je zhodnocen vzorek v poměru 1:1 pouhým okem, následně studován v binokulárním mikroskopu a až poté v polarizačním případně ve skenovacím mikroskopu.

7. Seznam tabulek a obrázků

Obr. 1 (str. 12) - Ukázka stratigrafické segvence na archeologické lokalitě Veselí nad Moravou, Lenka Lisá

Obr. 2 (str. 13) – Ukázka odběru celého profilu do plechových boxů, Aleš Bajer

Obr. 3 (str. 15) - Odkryté čelo podzemního kolektoru se zřetelnou ukázkou posunu sedimentární vrstvy po mikrozlomu jako důsledek subrecentní mikortektoniky, Lenka Lisá

Obr. 4 (str. 17) – Strukturní a texturní prvky – příklady, Lenka Lisá

Obr. 5 (str. 17) – Přechod do nadloží a podloží – příklady, Lenka Lisá

Obr. 6 (str. 18) – Typy struktur půdní matrix, Lenka Lisá

Obr. 7 (str. 19) – Wentworthova klasifikace zrnitosti (upraveno podle Petránek, 1963), Lenka Lisá

Obr. 8 (str. 21) – Karta z Munsellovy srovnávací barevné škály, www.munsell.com

Obr. 9 (str. 21) – Procentuální zastoupení hrubozrnných částí, Lenka Lisá

Obr. 10 (str. 22) – Tvar a zaoblení, Lenka Lisá

Obr. 11 (str. 22) – Vytřídění, Lenka Lisá

Obr. 12 (str. 23) – Ukázka odběru mikromorfologických vzorků do plastových boxů, Lenka Lisá

Tab. 1 (str. 35) – Souhrn vybraných analytických geoarcheologických metod a jejich archeologických aplikací, Aleš Bajer a Lenka Lisá

Tab. 2 (str. 39) – Vybrané často kladené otázky archeologa vztažené k terénnímu šetření a vhodným analytickým metodám, Aleš Bajer a Lenka Lisá

8. Použitá literatura

Ayala, G., Canti M., Heathcote, J., Sidell, J., Usai, R. (2007): Geoarchaeology; using earth sciences to understand the archaeological record.- English heritage Publishing.

Antoine P., Rosseau, D.D., Degeai, J. P., Moine, O., Lagroix, F., Kreutzer, S., Fuchs, M., Hatté, Ch., Gauthier, C., Svoboda, J., Lisa, L., 2013. High-resolution record of the environmental response to climatic variations during the last interglacial-glacial cycle in Central Europe: the loess-palaeosol sequence of Dolní Věstonice (Czech Republic). Quaternary Science Reviews 67, 17-38

Avery, B. W., 1990. Soils of the British Isles. CAB International, Wallingford

Bajer, A., Otava, J, Vít, J., Lisá, L., 2013a. Nález reliktu miocénních sedimentů v jeskyni Pod hradem, Moravský Kras. *Zprávy vlastivědného muzea v Olomouci, sv. 305,* 120-126

Bajer, A., Dejmal, M., Lisá, L., Kočár, P., Kočárová, R., Nývltová Fišáková, M., Libor, P., 2013b. Středověká stáj ve světle moderních environmentálních metod. *Živá archeologie, sv. 15, č. 2*, 39-44

Bajer, A., Lisá, L., 2009. Otázka provenience spraší a spraším podobných sedimentů na Moravě a ve Slezsku. *Pedologie a 21. Století*, 1-7

Bajer, A., 2003. Forest site relationships with parrent material: site conditions on various parent rocks in particular forest territories in the Czech Republic. *Ekológia, sv. 22, č. 3*, 5-18

Beresford-Jones, D., Johnson, K., Pullen, A. G., Pryor, A. J. E., Svoboda, J., Jones, M., 2010. Burnng wood or burning bone? A reconsideration of flotation evidence from Upper Palaeolithic (Gravettian) sites in Moravian Corridor. Journal of Archaeological Science 37, 2799-2811

Birkeland, P. W., 1999. Soils and Geomorphology. Oxford University press, New York, 430 p.

Boivin, N., 1999. Life rhythms and floor sequences: excavating time in rural Rjasthan and Neolthic Catalhoyuk. World Archaeology 31(3), 367-388.

Brady, N. C., Weil, R. R., 2010. Elements of the Nature and Properties of Soils. 3. Vydání, Boston, 614 p.

Butzer, K. W., 1982. Archaeology as Human Ecology: Method and Theory for a Contextual Approach. Cambridge University Press, Cambridge.

Brewer, R., 1964. Fabric and mineral analysis of soils. John Wiley & Sons, New York

Brown, A. G., 1997. Alluvial Geoarchaeology. Cambridge University Press, Cambridge, 377 p.

Bridges, E.M., 1990. Soil Horizon Designations. Technical paper 19. International Soil Reference and Information Centre, Wageningen

Bullock, P., Fedoroff, N., Jongerius, A., Stoops, G., Tursina, T. and Babel, U., 1985. Handbook for Thin Section Description. Wolverhampton: Waine Research Publications.
Canti, M. G., 1999. The production and preservation of faecal spherulites: animals, environment and taphonomy. Journal of Archaeological Science 26, 251-258.

Cílek, V., Bárta, M., Lisá, L., Pokorná, A., Juřičková, L., Brůna, V., Mahmout, Abdel Moneim A., Bajer, A., Novák, J., Beneš, J., 2012. Diachronic development of the lake of Abusir during the third millennium BC, Cairo, Egypt. Quaternary International. Sv. 266, č. 1, 14-24

Cohen A. S., 1982. Paleoenvironments of root casts from the Koobi Fora Formation Kenya. Journal of Sedimentary Petrology 52, 401-441.

Courty, M. A., Goldberg, P. and Macphail, R. I. 1989. Soils and Micromorphology in Archaeology. Cambridge: Cambridge University Press.

Czudek, T., 2005. Vývoj reliéfu krajiny České republiky v kvartéru. Moravské zemské muzeum, Brno, 238 s.

ČSN ISO 10390. Kvalita půdy – Stanovení pH. Český normalizační institut, Praha, 1996

Dearing, J.A., Hay, K. L., Baban, S. M. J., Huddleston, A. S., Wellington, E. M. H., Loveland P. J., 1996. Magnetic susceptibility of soil: an evaluation of conflicting theories using a national data set. Geophys. J. Int. 127, 728-734

Dejmal, M., Lisá, L., Nývltová Fišáková, M., Bajer, A., Petr, L., Kočár, P., Kočárová, R., Nejman, L., Rybníček, M., Sůvová, Z., Culp, R., Vavrčík, H., 2014. Medieval horse stable; the results of multi proxy interdisciplinary research. PloS ONE. DOI: 10.1371/journal.pone.0089273 in press

Dercon, G., Davidson, D. A., Dalsgaard, K., Simpson, I .A., Spek, T. and Thomas, J. 2005. Formation of sandy anthropogenic soils in NW Europe: identification of inputs based on particle size distribution. Catena 59, 341-356.

Engel, Z., Nyvlt, D., Krizek, M., Treml, V., Jankovska, V., Lisa, L., 2010. Sedimentary evidence of landscape and climate history since the end of MIS 3 in the Krkonose Mountains, Czech Republic.- Quaternary science reviews, 29, 7-8, 913-927.

Evans M E, Heller F., 2003. Environmental Magnetism2003: Principles and Applications of Enviromagnetics. New York: Academic Press.

Forman, R. T. T., Godron, M., 1993. Krajinná ekologie. Academia, Praha, 583 s.

French, C. 2002. Geoarchaeology in Action: Studies in Soil Micromorphology and Landscape Evolution. London: Routledge.

Ghinassi, M., Colonese, A. C., Giuseppe, Z. D., Govoni L., Vetro, D. L., Malavasi, G., Martini, F., Ricciardi, S. and Sala, B., 2009. The Late Pleistocene clastic deposits in

the Romito Cave, southern Italy: a proxy record of environmental changes and human presence. J. Quaternary Sci., Vol. 24, 383–398.

Giuntoli, S., 1994. The Golden Book of Pompeii, Herculaneum, Mt. Vesuvius. Casa Editrice Bonechi, Florence.
Gocke, M., Sándor, G., Hambach, U., Jovanović, M., Kovásc, G., Marković, S. B., Wiesenberg, G. L. B., 2014. Biopores and root features as new tools for improving paleoecological understanding of terrestrial sediment-paleosol sequences. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 394*, 42-58

Gocke, M., Pustovoytov, K., Kühn, P., Wiesenberg, G. I. B., Löscher, M., Kuzyakov, Y., 2011. Carbonate rhizoliths in loess and their implications for paleoenvironmental reconstruction revealed by isotopic composition ^{13}C, ^{14}C. *Chem. Geol 283*, 251-260

Gojda, M., 2000. Archeologie krajiny. Academia, Praha, 238 s.

Goldberg, P., V.T. Holliday, and C.R. Ferring, Editors, 2001. Earth Science in Archaeology. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Goldberg, P. and Macphail, R. I., 2006. Practical and Theoretical Geoarchaeology. Blackwell Publishing, Oxford, 455 p.

Gladfelter, B., 1977. Geoarchaeology: The Geomorphologist and Archaeology. American Antiquity 42(4). 519-538.

Grygar, T, Světlík, I., Lisá, L, Koptíková, L., Bajer, A., Wray, DS, Ettler, V, Mihaljevič, M., Nováková, T, Koubová, M., Novák, J, Máčka, Z, Smetana, M., 2010. Geochemical tools for the stratigraphic correlation of floodplain deposits of the Morava River in Str´aˇznick´e Pomoraví, Czech Republic from the last millennium, Catena, 80, 106–121

Hammarlund, D., Buchardt, B., 1996. Composite stable isotope records from a Late Weichselian lacustrine sequence at Graenge, Lolland, Denmark: evidence of Alleröd and Younger Dryas environments. Boreas 25, 8–22.

Hassan, F., 1979. Geoarchaeology: The geologist and archaeology. American Antiquity 44: 267-270.

Heiri, O., Lotter, A. F., Lemcke, G., 2001. Loss on ignition as amethod for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results.
J. Paleolimnol. 25, 101–110.

Hejcman, M., Smrž, Z., 2010. Cropmarks in stands of cereals, legumes and winter rape indicate sub-soil archaeologial features in the agricultural landscape of Central Europe. *Agiculture, Acosystems and Environment 138 (2010)*, 348-354

Hejcman, M., Ondráček, M., Smrž, Z., 2011. Ancient waste pits with wood ash irreversibly increase crop production in Central Europe. *Plant and Soil 339*, 341-350

Hejcman, M., Součková, K., Gojda, M., 2013a. Prehistoric settlement activities changed soil pH, nutrient availability, and growth of contemporary crops in Central Europe. *Plant and Soil. 2013, roč. 369, č. 1-2*, 131-140

Hejcman, M., Součková, K., Krištuf, P., Peška, J., 2013b. What questions an be answered by chemical analysis of recent and paleosols from the Bell Beaker barrow (2500-2200BV), Central Moravia, Czech Republic, *Quaternary International 316*, 179-189
Hejcman, M., Karlík, P., Ondráček, J., Klír, T., 2013c. Short-Term Medieval Settlement Activities Irreversibly Changed Forest Soils and Vegetation in Central Europe. Ecosystems 16: 52-663.

Hošek J., Pokorný P., Kubovčík V., Horáček I., Žáčková P., Kadlec J., Rojik F., Lisá L., Bučkuliaková S., 2014. Late glacial climatic and environmental changes in eastern-central Europe: Correlation of multiple biotic and abiotic proxies from the Lake Švarcenberk, Czech Republic. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 396, 155-172.

Holliday, V.T., 2004. Soils and Archaeological Research. Oxford University Press, Oxford, UK.

Hrouda, F., Pokorný, J., 2010. Extremely high demands for measurement accuracy in precise determination of frequency-dependent magnetic susceptibility of rocks and soils. Stud. Geophys. Geod, 55, 667 – 681.

Huisman, D.J., 2009. Degradation of archaeological remains.- SDu Uitgevers b.v., Den Haag.

ISO 10390: Soil quality – Determination of pH. International Organization for Standardization, (Revised version, ISO/CD 10 390, ISO 2000)

Jarošová, M., Lisá, L., Přichystal, A., Parma, D., Petr, L., Kos, P., 2010. Geoarcheologický výzkum halštatské zemnice v Modřicích u Brna.- Geol. Výzk. Mor. Slez., Brno, 2010, 39-45.

Kadlec, J., Hercman, H., Nowicky, T., Glazek, J., Vít, J., Šroubek, P., Diehl, J.F., Granger, D., 2000. Dating of the Holštejnksá Cave deposits and teir role in the reconstruction of semiblind Holštejn Valley Cenozoic history (zech Republic). *Geologos, Univ. A. Mickiewicza, 5*, Poznaň, 57-65

Kadlec, J., Grygar, T., Svlík, I, Ettler, V., Mihaljevič, M, Diehl, J.f., Beske-Diehl, S., Sitavská-Svobodová, H., 2009. Moraa River Floodplain development during the last millennium, Strážnické Pomoraví, Czech Republic. *Holocene 19*, 499-509.

Karkanas, P., Goldberg, P., 2013. Micromorphology of Cave Sediments. In: J. F. Shroder, Frumkin, A. (eds.): Treatise on Geomorphology, Vol. 6, Karst Geomorphology, 286–297. Academic Press, San Diego.

Kemp, R.A., 1985. Soil micromorphology and the Quaternary. Quaternary Research Association Technical guide no. 2, Cambridge.

Key, M. M., Gaskin, E. S., 2000. Geoarchaeology of native american pottery from the prehistoric Davis Site (44LA46) in Lancaster County, Virginia. Quaterly Bulletin of Archeological Society of Virgina, 55, 3, 169-169

Klappa C. F., 1980. Rhizoliths in terrestrial carbonates – classifiaction, recognittion, genesis and signifikance. Sedimenthology 27, 613-629.

Klement, V., Smatanová, M., Trávník, K., 2012. Fifty years of agrochemical testing of agricultural soils in the Czech Republic. Central Institute for Supervising and Testing in Agriculture, Brno.

Kovárník, J., 1996. Přínos letecké archeologie k poznání pravěku a rané doby dějinné na Moravě (1983-1995), Archeologické rozhledy 48, 177-193.

Kriszan , M., Amelung , W., Schellberg , J., Gebbing , T., Kühbauch, W., 2009. Long-term changes of the δ15N natural abundance of plants and soil in a temperate grassland. Plant and Soil 325, 157–169.

Kubiëna, W. L., 1934. Micropedology, Collegiate Press, Ames, IA.

Kuna, M., Hajnalová, M., Kovačiková, L., Lisá, L., Novák, J., Bureš, M., Cílek, V., Hošek, J., Kočár, P., Majer, A., Makowiecki, D., Scott Cummings, L., Sůvová, Z., Světlík, I., Vandenberghe, D., Van Nieuland, J., Yost, ChL, Zabilska-Kunek, M., 2013. The Early Medieval site at Roztoky. The evidence of ecofacts. Památky Archelogické, CIV: 51-14.

Kuna a kol., 2004. Nedestruktivní archeologie, teorie metody a cíle, Academia, Praha.

Lamboj L., Štěpánek Z., 2005. Mechanika zemin a zakládání staveb. Vydavatelství ČVUT. Praha.

Landuydt, C. J., 1990. Micromorphology of iron minerals from bog ores from the Belgian Campine Area. In: Douglas LA (ed.). Soil micromorphology. Elsevier Science Publisher B.V., Amsterdam. 289 – 294.

Lisá, L., 2004. Exoscopy of Moravian eolian sediments.- Bull. Geosci., 79, 3, 177-182.

Lisá, L., 2011. O kolapsech skrytých pod povrchem krajiny. In: *Bárta M., Kovář M. Kolaps a regenerace: cesty civilizací a kultur. Minulost, současnost a budoucnost komplexních společností.* Praha : Academia, 2011, 757-766.

Lisá, L., Lisý, P., Chadima, M., Čejchan, P., Bajer, A., Cílek, V., Suková, L., Schnabl, P., 2012. Microfacies description linked to the magnetic and non-magnetic proxy as a promising environmental tool: Case study from alluvial deposits of the Nile River. *Quaternary International 266 (2012),* 25-33.

Lisá, L., Bajer, A., Válek, D., Květina, P., Šumberová, R., 2013a. Micromorphological Evidence of Neolithic Rondel-like Ditch Infillings; Case Studies from Těšetice-Kyjovice and Kolín, Czech Republic. Interdisciplinaria archaeologica sv. IV, č. 2, 1-12

Lisá, L., Neruda, P., Nerudová, Z., Bajer, A., 2013b. Geoarchaeological record of middle and upper Paleolithic in the Kůlna Cave, Moravian karst. Acta Mus. Moraviae, Sci. soc., 2, 197 – 214.

Lisá, L., Hošek, J., Bajer, A., Matys Grygar, T., Vandenberghe, D., 2013c. Geoarchaeology of Upper Palaeolithic loess sites located within a transect through Moravian valleys, Czech Republic, Quaternary International (2013), http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.08.058 in press

Logsdon, S., Clay, D., Moore, D., Tsegaye, T., 2008. Soil Science Step-by-Step Field Analysis, Soil Science Society of America, Inc., Madison, 251 p.

Ložek V., 1973. Příroda ve čtvrtohorách. Academia, Praha.
Ložek V., 2011. Zrcadlo minulosti, česká a slovenská krajina v kvartéru, Dokořán, Praha.

Macklin, M. G., Woodward, J. C., Welsby, D. A., Duller, G. A. T., Williams, F. M., Williams, M. A. J., 2014. Reach-scale river dynamics moderate the impact of rapid Holocene climate change on floodwater farming in the desert Nile. Geology. 41, 6: 695-698.

Maher, B.A., 1998. Magnetic properties of modern soils and Quaternary loessic palaeosols: palaeoclimatic implications. Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology 137, 25–54.

Malý, K., 1998. Současný stav lokalit starého dolování v okolí Stříbrných Hor u Havlíčkova Brodu.- Vlastivědný sborník Vysočiny. odd. věd společenských, 11: 45-58.

Matthews, W., 2010. Geoarchaeology and taphonomy of plant remains and microarchaeological residues in early urban environments in the Ancient Near East. Quaternary International 214, 98-113.

Macphail, R. I., Goldberg, P., 2010. Archaeological Materials. In: Stoops, G., Marcelino, V. and Mees, F. (eds), Interpretation of Micromorphological features in soils and regoliths. Elsevier. 589-622

Matejovič, I., 1996. The Application of Dumas Method for Determination of Carbon, Nitrogen and Sulphur in Plant Samples. Rostli. výr., 42. (7), 313-316

Matula, S. et al., 1989. Hydropedologie - praktikum. ES ČVUT Praha.

Mehlich, A., 1984. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis 15*, 1409-1416

Meier, L.P., Kahr, P., 1999. Determination of the cation Exchange capacity (CEC) of clay minerals usign the complexes of copper (II) ion with triethylenetetranine and tetraethylenepentamine. *Clays Clay Miner. 47*, 386-388

Michel, V., Bocherens, H., Valoch, K., Yokoyama, Y., 2006. La grotte de Kůlna: analyses physico-chimique et radiométrique des os et dentines de grands mammifères des niveaux de Paléolithique moyen. ArcheoSciences, revue d'archéométrie 30: 137-142.

Milek, K., 2012a. Floor formation processes and the interpretation of activity areas: an ethnoarchaeological study of turf buildings at Thverá, northeast Iceland. Journal of Anthropological Archaeology 31, 119-137.

Milek, K. and Roberts, H., 2013. Integrated geoarchaeological methods for the determination of site activity areas: a study of a Viking Age house in Reykjavik, Iceland. Journal of Archaeological Science 40, 1845-1865.

Moioli P., Seccaroni C., 2000. Analysis of art objects using a portable x-ray fluorescence spectrometer. X-Ray Spectrometry, Special Issue: Special Millennium Issue on Cultural Heritage. 29, 1: 48–52.

Mook W. G., 1988. Radiocarbon-Daten aus der Kůlna-Höhle. In: *K. VALOCH (Ed.): Die Erforschung der Kůlna-Höhle 1961-1976*. Moravské zemské muzeum, Brno. 285-286.

Musil, R., Valoch, K., 1957. Ein Vergleich der Lösse der Wischauer Senke (Mähren) mit den Lössen der angrenzenden Gebiete. Eiszeitalter und Gegenwart 8, Oehringen, 91-96.

Nejman, L., Rhodes, E., Škrdla, P., Tolstevin, G., Neruda, P., Nerudová, Z., Valoch, K., Oliva, M., Kaminska, Ľ., Svoboda, JA., Grün, R., 2011. New Chronological Evidence for the Middle to Upper Palaeolithic Transition in the Czech Republic and Slovakia: New Optically Stimulated Luminiscence Dating Results. Archaeometry 53, 5: 1044-1066.

Neruda, P., Nerudová, Z., 2013. New radiocarbon data from Micoquian layers of the Kulna Cave (Czech Republic), Quaternary International (2013), http://dx.doi.org/10.1016/j.quaint.2013.10.015 in press

Novák, J., Lisá, L., Pokorný, P., Kuna, M., 2012. Charcoal analyses as an environmental tool for the study of Early Medieval sunken houses infills in Roztoky near Prague, Czech Republic. Journal of Archaeological Science 39: 808-817.

Odum, E. P., 1977. Základy ekologie. Academia, Praha. 733 s.

Ovington J.D., 1950. The Afforestation of the Culbin Sands. Journal of Ecology, 38, 2: 303-319

Patou-Mathis, M., Auguste, P., Bocherens, H., Condemi, S., Michel, V., Moncel, MH, Neruda, P., Valoch, K., 2005. Les occupations du Paléolithique moyen de la grotte de Külna (Moravie, République Tchèque): nouvelles approches, nouveaux résultats. *In: A. TUFFREAU (Ed.): Peuplements humains et variations environnementales au Quaternaire. Colloque de Poitiers, 18-20 septembre 2000. Ed John and Erica Hedges Ltd*, Oxford, 69-94.

Pelíšek, J., 1940. Studie diluviálních půd (ve spraších) a diluviálního podnebí v oblasti svrateckého údolí na Moravě. Práce Moravské přírodovědecké společnosti, XII, 1, 15 s.

Pelíšek, J., 1944. Pohřbené půdy v aluviích dolní Jihlavky., Příroda, XXXVII, 3, Brno, 81-83.

Pelíšek, J., 1954. Kvartér východního okolí Brna. A, III 7-28.

Pelíšek, J., 1966. Výšková půdní pásmovitost střední Evropy. Academia, Praha, 368 s.

Pettijohn, F. J., 1975. Sedimentary Rocks, Third Edition. Harper & Row Publishers, New York.

Petr, L., Sádlo, J., Žáčková, P., Lisá, L., Novák, J., Rohovec, J., Pokorný, P., 2013. Late-Glacial and Holocene Environmental History of an Oxbow Wetland in the Polabí Lowland (River Elbe, Czech Republic); A Context-Dependent Interpretation of Multi Proxy Analysis. Folia Geobot. DOI 10.1007/s12224-013-9171-3
Pokorný, P., 2012. Neklidné časy: kapitoly ze společných dějin přírody a lidí. Dokořán, Praha.

Přichystal, A., 2009. Kamenné suroviny v pravěku východní části střední Evropy. Masarykova Universita, Brno.

Puy, a., Balbo, A. L., 2013. The genesis of irrigated terraces in al-Andalus. A geoarcheological perspective on intensive agriculture in semi-arid environments (Ricote, Murcia, Spain, *Journal of Arid Environments, Volume 89, February 2013*, 45-56

Rapp, G. Jr., Giford, J., 1985. Archaeological Geology. Yale Uiversity Press, New Haven

Rapp, G. and Hill, Ch. L., 2006: Geoarchaeology: The Earth-Science Approach to Archaeological Interpretation,Second Edition. Yale University Press, 368 p.

Renfrew, C., 1976. Archaeology and the earth sciences. *Geoarchaeology: Earth Science and the Past (Eds D.A. Davidson and M.L: Shackley),* Duckworth, 1-5.

Renfrew C., Bahn P., 1991. Archaeology: Theories, Methods and Practice, New York.

Roberts, N., 1998. The Holocene An Environmental History. Blackwell Publishing, Singapore, 316 p.

Robertson G. P., Coleman, D. C., Bledsoe, C. S., Sollins, P., 1999. Standard Soil Methods for longterm Ecological Research, New York, 473 p.

Růžičková E., Růžička M., Zeman, A., Kadlec J. (2003): Kvartérní klastické sedimenty České republiky; struktury a textury hlavních genetických typů.- Česká geologická služba, Praha.

Sáňka, M., Materna, J., 2004. Indikátory kvality zemědělských a lesních půd ČR. *Planeta, XII, 11*, ISSN 1213-3393

Senbayram, M., Dixon, L., Goulding, K. W. T., Bol , R., 2008. Long-term influence of manure and mineral nitrogen applications on plant and soil 15N and 13C values from the Broadbalk Wheat Experiment. Rapid Communications in Mass Spectrometry 22, 1735–1740.

Shackley, M. L., 1978. The behaviour of artifacts as sedimentary particles in a fluviatile environment. *Archaeometry,* 20, 55-61

Shahack-Gross, R., Berna, F., Karkanas, P., Weiner, S., 2004. Bat guano and preservation of archaeological remains in cave sites. Journal of Archaeological Science 31, 1259–1272.

Součková, K., Hejcman, M., Klír, T., 2013. Medieval Farming Practices in Deserted Villages Can be Determined Based on the Nitrogen Isotopic Signature in Recent Forest Soils. Interdisciplinaria Archaeologica 4(1): 63-71.

Stoops, G., 2002. Guidelines for Analysis and Description of Soil and Regolith Thin Sections. Madison: Soil Science Society of America.

Stoops , G., Marcelino, V., Mees, F., 2010. Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths. Elseiver.

Storti, F., Balsamo, F., 2010. Impact of ephemeral cataclastic fabrics on laser diffraction particle size distribution analysis in loose carbonate fault breccia. Journal of Structural Geology 32: 507-522

Šroubek, P., Diehl, J.F., Kadlec, J., Valoch, K., 2001. A Late Pleistofene palaeolimate record based on mineral magnetic properties of the entrance facies sediments of Kulna Cave, Czech Republic. *Geophysial Journal International 147/2*, 247-262

Šroubek, P., Diehl, JF., Kadlec, J., Valoch, K., 1996. Preliminary study on the mineral magnetic properties of sediments from Kůlna Cave (Moravian Karst), Czech Republic. Studia Geophysica et Geodaetica 40, 3: 301-312.

Štelcl, J., Malina, J., 1974. Základy Petroarcheologie. Universita JE Purkyně v Brně, Brno.

Thompson, R., Oldfield, F.,1986). Environmental Magnetism. Allen and Unwin.

Turk, J., Thompson, G.R., 1995. Environmental Geoscience. Harcourt Brace & Company, 428 p.

Válek, D., Lisá, L., Doláková, N., Uhlířová, H., Bajer, A., 2013. Nové poznatky o genezi sedimentů a artefaktuální výpovědi výplně rondelového příkopu v Těšeticích-Kyjovicích (okr. Znojmo). Acta Mus. Moraviae, Sci. soc., XCVIII: 2, 215–238

Valoch, K., 2002. Eine Notgrabung in der Kůlna-Höhle im mährischen Karst. Acta Musei Moraviae, Scientiae sociales 87: 3-34.

Valoch, K., 2011. Stratigrafie sedimentů. In: K. VALOCH – KOL., A. (Eds.): Kůlna. Historie a význam jeskyně. 47-58. Správa jeskyní České republiky, Průhonice.

Valoch, K., Oliva, M., Havlíček, P., Karásek, J., Pelíšek J., Smolíková L., 1965. Das Frühaurignacien von Vedrovice II und Kupařovice I in Südmähren. Anthropozoikum 16, 107-203. Praha.

Valoch, K., Pelíšek, J., Musil, Kovanda, J., Opravil, E., 1969, Die Erforschung der Kůlna-Höhle bei Sloup im Mähr. Karst. Quartär 20, 1-45. Bonn.

Van Andel, T., Zangger, E., Demitrack, A., 1990. Land Use and Soil Erosion in Prehistoric and Historical Greece. Journal of field archaeology, 17, 4: 379-396.

Van Vliet-Lanoë, B. V., 2010. 6 – Frost Action. In: G. Stoops – Marcelino, V. – Mees, F. (eds.): Interpretation of Micromorphological Features of Soils and Regoliths, Elsevier, Amsterdam. 81–108.

Zbíral, J., 2002. Analýza půd I. ÚKZÚZ, Brno, 197 s.

Zbíral, J., Honsa, I., Malý, S., Čižmár, D., 2004. Analýza půd III. ÚKZÚZ, Brno, 199 s.

Žebera, K., 1936. Poměr přírodních věd k předhistorické archeologii. *Věda přírodní, 17*. 2-3, Praha, 58-61.

Žebera, K., 1958. Československo ve starší době kamenné. Praha, 214 s.