Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Diplomová práce

Postmortální mikrostrukturální změny na kosti: nástroj pro rekonstrukci pohřebního ritu v době bronzové

Andrea Žižková

Plzeň 2022

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Katedra antropologie

Studijní program Antropologie

Studijní obor Antropologie populací minulosti

Diplomová práce

Postmortální mikrostrukturální změny na kosti: nástroj pro rekonstrukci pohřebního ritu v době bronzové

Andrea Žižková

Vedoucí práce:

Mgr. Anna Pankowská, Ph.D.

Katedra antropologie

Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2022

Prohlašuji, že jsem práci zpracoval(a) samostatně a použil(a) jen uvedených pramenů a literatury.

Plzeň, červenec 2022 ……

Poděkování

Chtěla bych poděkovat školitelce Anně Pankowské, doc. Sandře Sázelové a Soně Boriové ze Střediska pro paleolit a paleoantropologii v Dolních Věstonicích při Archeologickém ústavu Akademie věd České republiky v Brně a Jaroslavu Kapustovi z Katedry geologie Univerzity Palackého v Olomouci za veškerou práci a čas, které různým aspektům této práce věnovali. Dále děkuji také Lukáši Friedlovi za cenou radu stran možnosti využití mechanického učení algoritmů softwarem Weka (ImageJ) pro vlastní analýzu.

OBSAH

1 ÚVOD 1

2 CÍL 3

3 POHŘEBNÍ RITUS MLADŠÍHO ENEOLITU A DOBY BRONZOVÉ 4

4 KOSTNÍ TKÁŇ 10

5 DIAGENEZE KOSTÍ (POSTMORTÁLNÍ ZMĚNY NA KOSTECH) 13

6 METODY HODNOCENÍ ZACHOVALOSTI MIKROSTRUKTURY KOSTÍ 17

7 MATERIÁL A METODY 19

7.1 Materiál 19

7.2 Metody 23

7.2.1 Vytvoření tkáňových řezů 23

7.2.2 Hodnocení histologické zachovalosti 23

7.2.3 Hodnocení povrchových změn 25

7.2.4 Statistická vyhodnocení 26

8 VÝSLEDKY 29

8.1 Chyba měření 29

8.2 Výsledky měření Weka 30

8.3 Předpoklady užití analytické metody Mann-Whitney U Test 32

8.4 Výsledky analýzy zachovalosti 32

8.5 Chemická analýza vzorků 41

9 DISKUSE 42

9.1 Interpretace výsledků 42

9.2 Výsledky v kontextu tafonomických vlivů 44

9.3 Primární pohřby v hrobech v archeologickém kontextu 48

10 ZÁVĚR 51

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ 54
12 SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK 67
13 PŘÍLOHY 69
14 RESUMÉ 90

1 ÚVOD

Kost je orgánem na mikrostrukturální úrovni dosti dynamickým, a byť je pravdou, že všechny změny – pomineme-li ty, které vznikají v důsledku nehod a násilí –, jimiž prochází, se odehrávají v dlouhém časovém měřítku, platí zároveň, že o to déle po sobě zanechávají stopy o všem, čemu byly vystaveny a na co musely reagovat. Lze tedy říci, že do kostí každého lidského jedince se vpisuje způsob, jakým žije, a u některých i způsob a okolnosti, za nichž zemřeli (Burr & Allen, 2013; Crowder & Stout, 2012; Čihák, 2011). Ani se smrtí člověka se však nestávají netečnými vůči okolnímu prostředí. Během dekompozice měkkých tkání jsou totiž napadány vlastním tělním mikrobiomem, k němuž se po skeletonizaci – zpřístupňující kosti vnějšímu prostředí – přidávají i další činitelé, jako půdní bakterie, houby a sinice a stejně tak environmentální vlivy, jako teplota, vlhkost či přímo přítomnost vody, pH prostředí a další. Děje, jimž je vystaveno tělo jednice po smrti a které zahrnují výše zmíněné činitele, jsou obecně označovány jako tafonomické procesy. Způsoby, jakými se projevují na mikrostruktuře tkání, zkoumá vědní obor histotafonomie, která využívá faktu, že tyto procesy vytvářejí na úrovni mikroskopické struktury tkání unikátní vzorce. Díky těmto vzorcům pak můžeme z kostí vyčíst na různé způsoby posmrtného zacházení s lidskými ostatky – od artificiálních úprav či zpracování až po přírodní podmínky, jimž byly svou depozicí vystaveny (Bell, 2012; Brönnimann et al., 2018; Crowder & Stout, 2012; Hackett, 1981; Jans, 2008, 2014; Nielsen-Marsh & Hedges, 2000; Piepenbrink, 1989; Pokines & Baker, 2014; Prokeš, 2007). Kosti v archeologické praxi tedy figurují nejen jako záznam svědčící o životě a smrti konkrétního jedince, ale také o pohřebních praktikách komunity a potažmo celé společnosti, do níž patřil.

Zkoumání pohřebních praktik, je pak zvláště přínosné pro studium minulých populací, neboť nám o nich může mnohé prozradit. Díky němu jsme schopni usuzovat na společenské uspořádání, postavení odvíjející se od genderu a věku jedince a vůbec na reflexi jedincovi vlastní identity, na nábožensko-kosmologické představy dané skupiny, na kontakty s jinými kulturami, ale také na významné společenské změny. Jedny z nejvýznamnějších změn pak vykazuje právě období přechodu z mladšího eneolitu do starší doby bronzové (cca 2900/2800 př. n. l. až 1600/1500 př. n. l.), kdy lze v archeologickém záznamu České republiky vyčíst změnu pohřebního ritu (Jiráň, 2008; Kruťová & Turek, 2004; Neustupný, 2008; Pankowská & Monik, 2017; Podborský, 1993). Kromě uvolnění striktních pravidel, patrných již na pohřebištích datovaných do mladšího eneolitu, se objevují v signifikantně větším množství tzv. sídlištní pohřby, tj. lidské ostatky nalezené v sídlištních (zásobních či odpadních) jamách (Childe, 1930; Harding, 2000; Jiráň, 2008; Kristiansen & Larsson, 2005; Kruťová & Turek, 2004; Pankowská et al., 2013; Pankowská & Monik, 2017; Podborský, 1993; Rulf, 1996). Tento fenomén nebyl dosud uspokojivě vysvětlen. Nicméně zajímavostí je, že kosterní pozůstatky takto uložených jedinců vykazují překvapivě vyšší povrchovou zachovalost a celkovou kompletnost oproti kostrám z hrobů.

Na základě výše popsaných zjištění je nasnadě ptát se, v čem se tedy liší pohřby v sídlištních jamách od pohřbů v hrobech? A zda je rozdílná míra zachovalosti výsledkem artificiální pohřební činnosti a potažmo jaké, nebo jestli jsou dekompoziční podmínky sídlištních jam natolik odlišné, že přispívají lepší zachovalosti kosterního materiálu?

2 CÍL

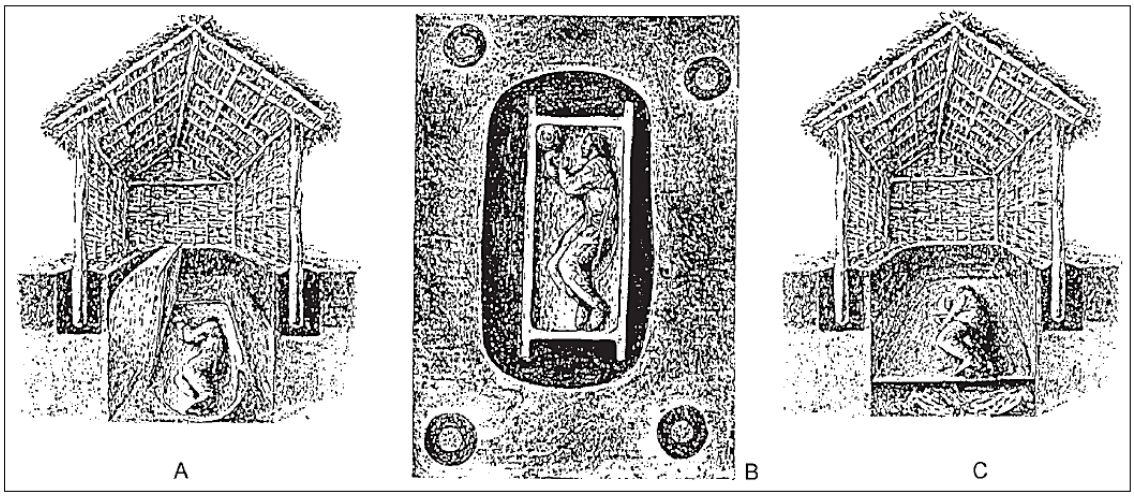
Cílem diplomové práce je prostřednictvím histologické analýzy kostní bioeroze a stavu zachovalosti kostí reflektovat tafonomické změny probíhající v kortikální části hutné kostní tkáně ostatků jedinců uložených v různých archeologických kontextech, konkrétně v sídlištních jamách a hrobech datovaných do mladšího eneolitu a starší doby bronzové. Na základě tafonomické analýzy se pokusím o interpretaci okolností pohřbu a rekonstrukci způsobů zacházení s těly zemřelých.

3 POHŘEBNÍ RITUS MLADŠÍHO ENEOLITU A DOBY BRONZOVÉ

Archeologické záznamy dokládají značnou rozmanitost funerálního ritu proměnlivého nejen v prostoru, ale i v čase. Na jednom území tak můžeme sledovat období s poměrně konzervativním způsobem nakládání s lidskými ostatky, které je bezprostředně vystřídáno obdobím, během nějž se v dané oblasti objevují četné inovace, patrně jakožto odraz vývoje společnosti. V lidské minulosti je tímto obdobím kupříkladu doba bronzová, ve které poprvé registrujeme i významný nárůst četnosti pohřbů v sídlištních jamách (Harding, 2000; Kristiansen & Larsson, 2005; Kruťová & Turek, 2004; Pankowská & Monik, 2017; Podborský, 1993; Rulf, 1996).

Před nástupem doby bronzové prošly společnosti obývající region střední Evropy obdobím označovaným jako eneolit, jehož trvání je datováno zhruba mezi lety 4500/4400 př. n. l. až 2000/1900 př. n. l. (Neustupný, 2008; Podborský, 1993; Sosna, 2009; Wencel, 2015). Tato epocha je dále dělena na čtyři stadia – časný, starší, střední a mladší eneolit –, z nichž nejmladší, představující postupný přechod do doby bronzové, je na našem území datováno mezi roky 2900/2800 př. n. l. až 2000/1900 př. n. l. (Neustupný, 2008; Podborský, 1993; Sosna, 2009; Šebela et al., 1990). V tomto období – mladšího eneolitu – zaznamenáváme v archeologickém záznamu dvě hlavní kulturní skupiny, a to kulturu se šňůrovou keramikou a kulturu zvoncových pohárů (Neustupný, 2008; Sosna, 2009). Pohřební ritus těchto mladoeneolitických kultur je poměrně konzervativní, představován individuálními kostrovými pohřby na plochých pohřebištích či pod mohylami, z nichž se však díky intenzivní zemědělské činnosti dochovala pouze menšina. Jen výjimečně jsou pak v tomto období nalézány i kremace, patrně jako důsledek přejímání pod vlivem kontaktu s ne-lokálními skupinami. Zmíněný

konzervativní charakter pohřbů spočívá ve striktně diferenciovaném ukládání tělesných pozůstatků na základě pohlaví a dokonce i věku zemřelého projevující se na úrovni polohování ostatků i hrobové výbavy. Obecně je docela zřejmé, že pohřbům byla věnována poměrně velká péče, pro což svědčí, vyjma výše zmíněného, i to, že hroby byly konstruovány tak, aby byla pro ostatky vytvořena dutá komora, místo toho, aby na ně byla pouze navršena zemina. Tyto konstrukce, formující jakousi ochrannou hrobovou komoru, byly vytvářeny nejen ze dřeva – Boleradice na Břeclavsku, Brno-Starý Lískovec, Podolí na Brněnsku – ale také z kamene – Holubice II, Kostelec u Holešova (Bátora, 1991; Čižmář, 1985 dle Neustupný, 2008 a Sosna, 2009; Kolář et al., 2011; Podborský, 1993). U takovýchto komorových hrobů je pak předpokládána ještě spojitost s tzv. domy mrtvých, což jsou ochranné konstrukce zasahující nad úroveň země a vytvářející jakýsi přístřešek nad samotným hrobem (viz Obrázek 1). V archeologickém záznamu se tento typ konstrukce projevuje přítomností kůlových jamek umístěných buďto vně hrobového objektu, nebo v jeho vnitřních rozích, sloužících patrně ke zpevnění konstrukce takovéhoto „domu“, potažmo i hrobové komory (Bátora, 2006; Kolář et al., 2011).



Obrázek 1. Rekonstrukce protoúnětického domu mrtvého nad dvojhrobem, Moravská Nová Ves-Hrušky (Stuchlík & Stuchlíková, 1996 dle Bátora, 2006).

Doba bronzová je obdobím, které lze ve střední Evropě datovat přibližně mezi roky 2300/2200 př. n. l. až 800/750 př. n. l., přičemž stejně jako eneolit před ní je členěna do čtyř fází – starší, střední, mladší a pozdní doba bronzová (Harding, 2000; Jiráň, 2008; Podborský, 1993; Stockhammer et al., 2015). Charakteristické pro přechod do doby bronzové je pak další prohloubení a utužování změn počínajících již v poslední fázi eneolitu, které patrně souvisí s navyšováním kontaktů s geograficky vzdálenějšími skupinami a zintenzivňováním metalurgie a zpracování kovů známých již z eneolitu – měď, zlato, stříbro, élektrum – a také s postupným šířením know-how výroby a zpracování bronzu. Tyto změny se následně projevují i v transformaci sociálního uspořádání společností doby bronzové a prolínají se i do pohřebního ritu, v němž se s výrazně větší četností začínají objevovat pohřby v sídlištních jamách (Harding, 2000; Kristiansen & Larsson, 2005; Kruťová & Turek, 2004; Pankowská & Monik, 2017; Podborský, 1993; Rulf, 1996).

Pohřební ritus doby bronzové se oproti období eneolitu vyznačuje proměnlivostí a rozmanitostí na jedné straně a menší mírou ortodoxnosti na straně druhé. V rámci funerálních praktik doby bronzové se tak standardně vyskytují kostrové pohřby na plochých pohřebištích i pod mohylami, pohřby sekundární, dětské pohřby v keramických nádobách, pohřby v sídlištních jamách a také pohřby žehem (Falkenstein, 2011; Harding, 2000; Jiráň, 2008; Kristiansen & Larsson, 2005; Kruťová & Turek, 2004; Pankowská & Monik, 2017; Podborský, 1993; Rulf, 1996; Schmid, 2019). V celkem nedávné době pak upoutaly pozornost odborníků také nálezy z Britských ostrovů dokládající, že v době bronzové zde v rámci funerální praxe byla pravděpodobně praktikována též mumifikace (Booth et al., 2015; Pearson et al., 2007, 2005). Výzkum realizovaný trojicí Booth, Chamberlain a Pearson (2015) pak nejenže potvrdil rozšíření tohoto ritu prakticky na celém území Británie, ale vedl též k přednesení myšlenky možného rozšíření i v rámci území kontinentální Evropy. Tato však zatím,

přes slibné náznaky, nebyla jednoznačně potvrzena (Mandl et al., 2018) a vyžaduje další studium na rozsáhlejších vzorcích. Ve střední Evropě se většina těchto praktik – s výjimkou již zmíněné mumifikace, pro kterou zatím nebylo nalezeno dostatek důkazů – vyskytuje souběžně v podstatě po celé trvání doby bronzové, byť v jejích jednotlivých fázích sledujeme, někdy i výrazné, převládání některé z nich (Falkenstein, 2011; Schmid, 2019). Převažující tendence ve vývoji pohřebního ritu můžeme popsat ve dvou hlavních, v archeologickém záznamu doložitelných, rovinách, jimiž jsou zacházení s ostatky a pak způsob jejich uložení, resp. samotný hrob. Pokud jde o nakládání se samotnými ostatky, pozorujeme postupný přechod od kostrových pohřbů ke kremacím, které začínají výrazně dominovat v průběhu mladší a pozdní doby bronzové, a to v míře vytvářející v převážné části Evropy celý soubor kultur popelnicových polí. Hlavní trend ve způsobu ukládání ostatků pak vypadá tak, že ploché pohřby starší doby bronzové jsou nahrazeny ve střední době bronzové pohřby pod mohylami, v jejichž výskytu následně opět sledujeme zřetelný pokles – byť ne vymizení – v období mladší a pozdní doby bronzové, které se vyznačují převážně pohřby plochými (Falkenstein, 2011; Harding, 2000; Jiráň, 2008; Kruťová & Turek, 2004; Podborský, 1993; Schmid, 2019).

Sídlištní pohřby byly v počátcích bádání považovány spíše za anomálie středoevropských archeologických nalezišť a nezřídka byly vnímány jako známky lhostejného, ne-li přímo antipatického postoje k danému jedinci či k pohřbívání jako takovému (Harding, 2000; Childe, 1930; Jiráň, 2008; Kristiansen & Larsson, 2005; Pankowská et al., 2013; Pankowská & Monik, 2017; Podborský, 1993). Díky pokračujícím archeologickým výzkumům bylo nicméně zjištěno, že v období starší doby bronzové a následně od přelomu střední a mladší doby bronzové šlo o poměrně rozšířený pohřební ritus na území střední Evropy, který nesloužil pouze k lhostejnému zbavení se těla, ale v četných případech zahrnoval řádnou pietu provázenou typickým uložením na boku ve skrčené

poloze a s pohřební výbavou (Jiráň, 2008; Kruťová & Turek, 2004; Pankowská et al., 2013; Pankowská & Monik, 2017; Rulf, 1996; Sosna, 2009). Původ tohoto pohřebního ritu na dnešním území Čech a Moravy je pak přisuzován vlivu věteřovské skupiny a stejně tak jako vrchol této kultury i pohřby v sídlištních jamách vrcholí koncem časné doby bronzové (Jiráň, 2008; Pankowská & Monik, 2017).

Zajímavý je také fenomén sekundárního pohřbívání, u nějž zaznamenáváme postupný nárůst četnosti od konce eneolitu, přes starší fázi doby bronzové až do fáze střední, v níž však dochází k opětovnému úpadku této funerální praxe trvajícímu až do konce doby bronzové (Falkenstein, 2011; Kruťová & Turek, 2004). Sekundární pohřbívání je praktikou spočívající v rituálním ukládání ostatků do finálního pohřebního objektu až po jejich úplné nebo alespoň většinové skeletonizaci, ke které dochází na jiném místě, sloužícímu speciálně k jejich přechovávání po dobu rozkladu měkkých tkání (Kolář, 2012, 2018). V rámci první fáze, tj. přechovávání ostatků určených k sekundárnímu pohřbení do jejich skeletonizace, mohou být ostatky vystaveny různým environmentálním podmínkám ale také lidské činnosti. Tyto lze rozdělit do tří kategorií vyznačujících se různou délkou trvání a zanecháváním charakteristických otisků na kostech, jsou to:

- *Primární uložení pod zemí.* Je založeno na skeletonizaci prostřednictvím tělu přirozených rozkladných procesů v poměrně stabilních podmínkách, díky čemuž trvá dlouho (měsíce až roky). Takto uložené kosti mohou být, kromě standardního působení endogenních bakterií, pozměněny také vlivy půdního prostředí i působením kořenů rostlin.
- *Primární uložení nad zemí.* Ostatky jsou vystaveny nejen proměnlivým environmentálním podmínkám, ale i činnosti mrchožroutů, proces skeletonizace je tak značně urychlen a může

pak trvat nejen týdny ale i dny. Vedle modifikací kosterních pozůstatků vlivem počasí a mrchožroutů dochází i k jejich redukci.

- *Exkarnace*, tj. zbavení se měkkých tkání pomocí nástrojů. Z představených procesů vede ke skeletonizaci v nejkratším časovém rámci, přičemž zanechává na kostech charakteristické řezné stopy (Bass, 1997; Rodriguez, 1997; Smith & Brickley, 2009; Vass, 2001).

4 KOSTNÍ TKÁŇ

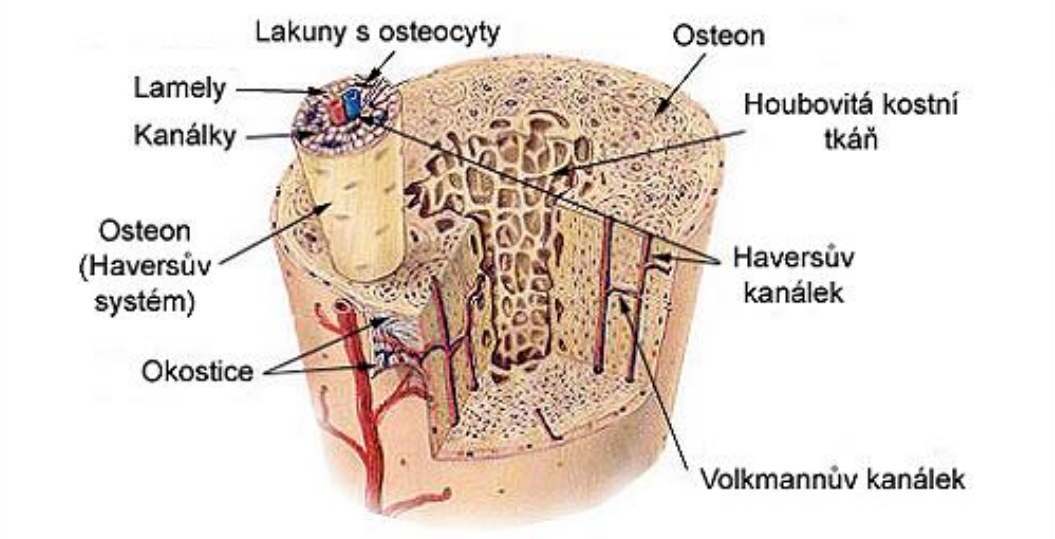
Spolu s tkání vazivovou a chrupavčitou je kostní tkáň řazena mezi tkáně pojivové. Společným prvkem těchto tkání jsou strukturní komponenty, představované buňkami dané tkáně a mezibuněčnou hmotou. Ta je však zároveň jejich hlavním diferencujícím prvkem, jelikož jedinečné vlastnosti vaziv, chrupavek a kostí jsou určovány právě na základě jejího množství a složení specifického pro daný typ pojiva (Čihák, 2011; MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR, 2019).

Kostní tkáň je na chemické bázi tvořena hlavně minerální komponentou (přibližně 65 %), doplněnou o komponentu organickou (25 %) a vodu (10 %). Minerální komponenta, dodávající kostem pevnost, je tvořena převážně hydroxyapatitem. Organická komponenta integrovaná do krystalické struktury vytvořené komponentou minerální je zastoupená především kolagenem typu I a kostní tkáni dodává pružnost. Právě tato kombinace činí kosti odolnými vůči vlivům vnějšího prostředí, a to nejen za života, ale do jisté míry i po smrti jedince (Burr & Akkus, 2014; Čihák, 2011; Jans, 2008).

Již bylo zmíněno, že vedle mezibuněčné hmoty jsou součástí kostní tkáně též buňky. Specializovaných kostních buněk známe celkem tři typy – osteoblasty, osteocyty a osteoklasty. Tyto buňky pak svojí vzájemnou součinností umožňují kostem nejen vznikat a odolávat v čase, ale též dynamicky se přizpůsobovat biomechanickým nárokům vyvěrajícím z životního stylu daného jedince. Osteoblasty, jsou buňky produkující mezibuněčnou hmotu, respektive její organickou komponentu, a jsou tudíž staviteli kostní tkáně. Jakmile vyprodukují tolik mezibuněčné hmoty, že jsou jí zcela obklopeny – jsou integrovány do mikrostruktury tkáně – stávají se z nich osteocyty. Hlavní funkcí osteocytů je řízení metabolismu kosti a tudíž jsou vzájemně propojeny kanálky, skrz které spolu navzájem komunikují. Posledním typem specializovaných kostních buněk jsou osteoklasty, jejichž podstatou je řízené rozrušování kostní tkáně a tudíž ve

spolupráci s osteoblasty umožňují kosti remodelovat se tak, aby se nad úroveň obecného modelu, zapsaného v genech jedince, přizpůsobila biomechanickým požadavkům daným konkrétním životním stylem jedince (Burr & Akkus, 2014; Čihák, 2011; MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR, 2020).

Z převážné většiny mají kosti mikrostrukturu lamelárního typu (viz Obrázek 2), tj. skládají se z plátků – lamel naskládaných na sebe. Lamelární kost je organizována do dvou forem, označovaných jako kost kompaktní a kost spongiózní, lišících se svou architekturou, umístěním a funkcí. Kompaktní kost se nachází na povrchu kostí, kde tvoří pevný, pro mechanickou zátěž odolný plášť. Základním stavebním prvkem tohoto typu kosti je osteon, nebo též Haversův systém. Osteon je tvořen až dvaceti lamelami obkružujícími centrální Haversův kanálek, jímž jsou vedeny cévy a nervy. Kost spongiózní se nachází uvnitř kostí a je tvořena trámci, které přenáší tlak na odolný vnější plášť tvořený kostí kompaktní (Burr & Akkus, 2014; Čihák, 2011; MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR, 2020, 2021).



Obrázek 2. Struktura lamelární kosti (MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR, 2021).

Celková architektura kosti, chemickým složením počínaje a makroskopickou organizací konče, tak vytváří komplex s unikátními biomechanickými vlastnostmi umožňující nejenom pohyb, ve spojitosti se soustavou svalů, ale též ochranu důležitých vnitřních orgánů.

5 DIAGENEZE KOSTÍ (POSTMORTÁLNÍ ZMĚNY NA KOSTECH)

Diageneze je poslední fází procesu dekompozice lidských ostatků nastávající po kompletním rozkladu měkkých tkání (Damann & Carter, 2014). Jde o komplexní děj projevující se změnami na úrovních fyzické, chemické a mikrostrukturální (histologické) kompozice kosti ovlivněný celou řadou environmentálních a biologických vlivů majících původ v prostředí, v němž byly ostatky uloženy, a pramenících též z biologických atributů daného jedince (Jans, 2014; Nicholson, 1996). Zmíněné vlivy, z nichž některé ovlivňují diagenezi přímo, zatímco jiné se uplatňují zprostředkovaně skrze stimulaci či inhibici rozkladu měkkých tkání, pak na kostech zanechávají charakteristický otisk, se kterým je lze spojit.

Dekompozice začíná tím, že se v mrtvém těle spouští autolytické procesy destruující vlastní tkáně, což vede k počátečnímu narušení integrity těla a zároveň k vytvoření příležitosti pro zahájení rozkladné činnosti mikroorganismů (Damann & Carter, 2014; Prokeš, 2007; Vass, 2001). Mikroorganismy (bakterie, plísně a sinice) účastnící se rozkladných procesů mají, až na velmi specifické případy, spojené s podmínkami prostředí či lidským zásahem znemožňujícími jejich činnost (Nicholson, 1996; Pokines & Baker, 2014), zásadní podíl na destrukci ostatků. Jako primárního rozkladného aktéra mikrobiální komunity lze označit vlastní tělní mikrobiom – endogenní (střevní) bakterie. Jejich šíření je umožněno posmrtným rozvratem chemické rovnováhy tělních systémů, což ústí v nefunkčnost ochranné bariéry střevní sliznice, přes kterou bakterie pronikají do oběhového a lymfatického systému a šíří se do dalších částí těla. Cévy oběhového systému vstupující do kostí a prostupující její strukturou díky Haversovým kanálkům pak vytváří cestu, kterou endogenní bakterie vnikají do jinak nepřístupného vnitřního prostředí kosti (Damann & Carter, 2014; Hackett, 1981; Jans, 2008, 2014; Jans et al., 2004; Prokeš, 2007). Stejně jako v dalších orgánech, i v kostech cílí bakterie na organickou komponentu, zde kolagenní vlákna, jejichž trávením získávají

energii pro svůj další růst. Vzhledem ke strukturálnímu uspořádání kosti (viz kapitola 4), bakterie ve snaze získat přístup ke kolagenu rozrušují a reorganizují kostní minerál pomocí lytických enzymů. Podobným způsobem destruují kosti, po jejich zpřístupnění ve skeletonizované fázi rozkladu ostatků, i ostatní zástupci mikrobiálních destruentů vstupující do dekompozičního procesu zvenčí. Liší se však tím, že plísně a sinice konzumují nejen kolagen, ale i kostní minerál, čímž vytváří ve struktuře kosti charakteristické tunely. Ty se od tunelů bakteriálních odlišují větším průměrem a také nepřítomností zbytků po rozrušeném a reorganizovaném minerálu (Hackett, 1981; Jans, 2008, 2014). Na rozrušování integrity kosti se dále podílí i kyselé metabolity produkované mikroorganismy při trávení kolagenu a kostního minerálu, protože nízké pH prostředí indukuje přeměnu hydroxyapatitu na brushit. Ten jednak vytváří signifikantně větší krystaly, což vede ke vzniku prasklin a rozrušování osteonů, navíc je ale také rozpustný ve vodě, a to ve spojení s přirozenými hydrologickými procesy a vyšší propustností sedimentu, v němž jsou ostatky uloženy, může vést až ke kompletnímu zániku kosti (Hedges, 2002; Piepenbrink, 1989; Prokeš, 2007). Mikroorganismy tak destruují kosti nejen vlastní činností, ale i jejími výsledky, které otevírají cestu dalším dekompozičním vlivům.

To, jaké konkrétní environmentální vlivy a vnější biologičtí činitelé ovlivňují proces dekompozice, je primárně dáno způsobem uložení ostatků, přičemž v nejobecnější rovině si jej můžeme rozlišit na uložení pod povrchem a uložení pod širým nebem, tedy expozici na povrchu. V případě ostatků uložených pod povrchem jsou jedněmi z nejvýznamnějších diagenentických činitelů pH sedimentu a propustnost pro vodu daná jeho zrnitostí (dle vztahu čím větší částice, tím propustnější), a to ve vzájemné součinnosti. Sediment s nízkým pH působí na kosterní tkáň stejně jako kyselé produkty mikrobiálního metabolismu, tj. indukuje přeměnu hydroxyapatitu na brushit, který vytváří velké krystaly narušující strukturu původní tkáně. Je-li navíc sediment propustný pro vodu, a to jak dešťovou, tak spodní, vede střídavé zaplavování a vysychání prostředí k vymývání

minerální složky a oslabování struktury kosti. To nejenže usnadňuje další mikrobiální atak (nenabývá-li pH extrémních hodnot, v nichž nemohou existovat), ale v dlouhodobém horizontu může vést až k rozpuštění kosti (Hedges, 2002; Nielsen-Marsh & Hedges, 2000; Nicholson, 1996; Pokines & Baker, 2014).

Ostatky vystavené na povrchu podléhají vedle činnosti mikroorganismů též působení dalších mrchožroutů z řad hmyzu i obratlovců, pro které představují cenný zdroj vysoce výživných látek. Jejich činnost pak ovlivňuje stav kosterních pozůstatků co do kompletnosti i makroskopické zachovalosti. Nezanedbatelný vliv mají samozřejmě i klimatické podmínky v dané lokalitě. Teplota okolního prostředí může mít zásadní vliv na mikrobiální činnost i aktivitu hmyzu, kterou může stimulovat – teplé podnebí, nebo naopak inhibovat a někdy i zastavit – chladné podnebí. Teplem urychlený rozklad může omezit míru pronikání endogenních bakterií do vnitřní struktury kosti, což jednak snižuje míru destrukce na histologické úrovni a zároveň si díky tomu kost uchovává víc ze své původní integrity a tedy i odolnosti proti dalším přírodním vlivům. Signifikantně nízké teploty mohou naopak vézt až k mumifikaci ostatků, mikroorganismy a stejně tak hmyz při teplotách mimo teplotní optimum omezuje, nebo dokonce zastavuje, svoji činnost, čímž je proces rozkladu zastaven (Bass, 1997; Hedges, 2002; Lynnerup, 2007; Nicholson, 1996; Prokeš, 2007).

Diagenezi a tedy i zachovalost kosterních pozůstatků neovlivňují jen environmentální podmínky a živočišní činitelé. Zásadním způsobem se mohou do míry zachovalosti promítnout i speciální pohřební praktiky principiálně spočívající v omezení činnosti mikroorganismů. K tomuto může dojít buďto odstraněním všech měkkých tkání (exkarnace) nebo alespoň útrob (eviscerace), které jsou nejen hlavním cílem rozkladných mikroorganismů, ale v případě střev i jejich zdrojem. Dalším způsobem je omezení či přímo zastavení činnosti mikroorganismů prostřednictvím posmrtného ošetření ostatků (mumifikace) substancemi nepříznivě

ovlivňujícími fungování mikroorganizmů (Jans, 2014; Lynnerup, 2007; Smith & Brickley, 2009).

6 METODY HODNOCENÍ ZACHOVALOSTI MIKROSTRUKTURY KOSTÍ

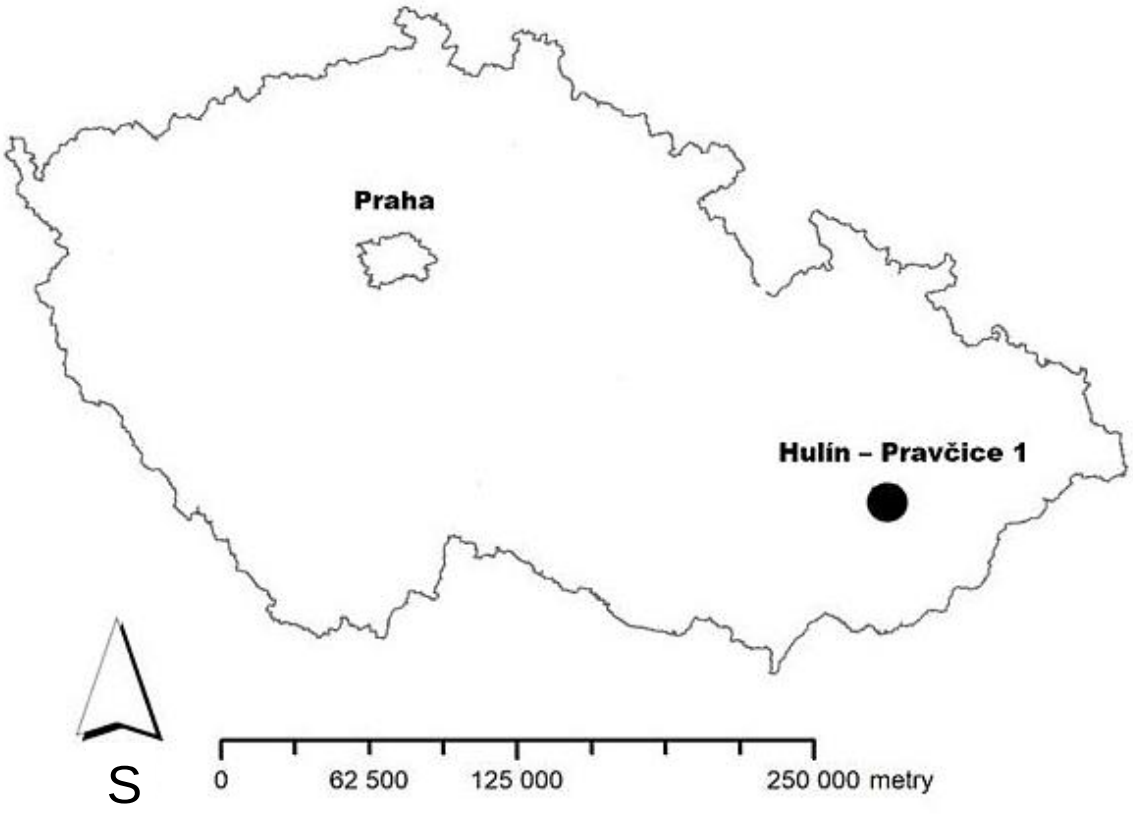
Patrně nejčastěji používanou metodou stanovování míry degradace u kosterních nálezů z archeologických kontextů je metoda zformulovaná Millardem (2001). Tato je založena na určení hodnoty histologického indexu (OHI, Oxford Histological Index) zařazením zkoumaného vzorku do jedné z arbitrárně stanovených kategorií reflektujících zachovalost v procentuálních rozpětích. Nevýhodou této metody je, že odhaduje pouze kost neovlivněnou mikrobiální destrukcí, kost však může být ovlivněna i dalšími faktory (viz kapitola 5) známými jako generalizovaná destrukce zabarvením nebo půdní erozí. Ve snaze zohlednit při kvantifikaci míry zachovalosti i parametr generalizované destrukce byl Hollundem a kol. (2012) vytvořen General Histological Index (GHI). Jak OHI, tak GHI jsou, co do aplikace, principiálně jednoduché a umožňují rychlé vyhodnocení zachovalosti tkáňových řezů, a to nejen na celkové ploše, ale i v detailu zaměřeném na periostální, centrální či endostální oblast (Fernández-Jalvo et al., 2010; Mulville et al., 2012). Nikoliv nevýznamným nedostatkem těchto metod nicméně je, že jejich prostřednictvím získaná vyhodnocení jsou značně subjektivní a náchylná k interobservační chybě na statisticky významné úrovni, především u vzorků o míře poškození na rozhraní dvou kategorií. Navíc také neposkytují úplný obraz o celkové distribuci poškození v rámci tkáňových řezů, mikroskopická observace je totiž omezena pouze na úzce vymezenou oblast kosti. Další přístup rozlišující při vyhodnocení hned několik proměnných vedoucích k destrukci kosti nezávisle na sobě formuloval Brönnimann a kol. (2018). Jejich metoda kombinuje techniky mající původ v osteoantropologii a geoarcheologii, k vyjádření poškození řezu pak používají Bacteria-Attack-Index (BAI), který principiálně také odpovídá stupnici OHI. Turner-Walker a Sylversen (2002) pak vytvořili metodu umožňující určit míru komplexní destrukce vyjádřenou procenty plochy sledované oblasti vykazujícími hypermineralizaci a hypomineralizaci. Tato metoda je však časově náročná a navíc

neumožňuje analyzovat plochu celého tkáňového řezu, díky čemuž není moc často využívána. Metoda využívá toho, že charakteristickým projevem bioeroze jsou změny v přirozené porozitě kostí. Tyto změny lze měřit pomocí rtuťové intruzní porozimetrie (HgIP), která umožňuje rychlé a podrobné určení stavu distribuce a velikosti pórů ve vzorku. Byť je tato metoda ze své podstaty ideální k systematické kvantifikaci poréznosti v souborech o velkém množství vzorků, není běžně dostupná.

7 MATERIÁL A METODY

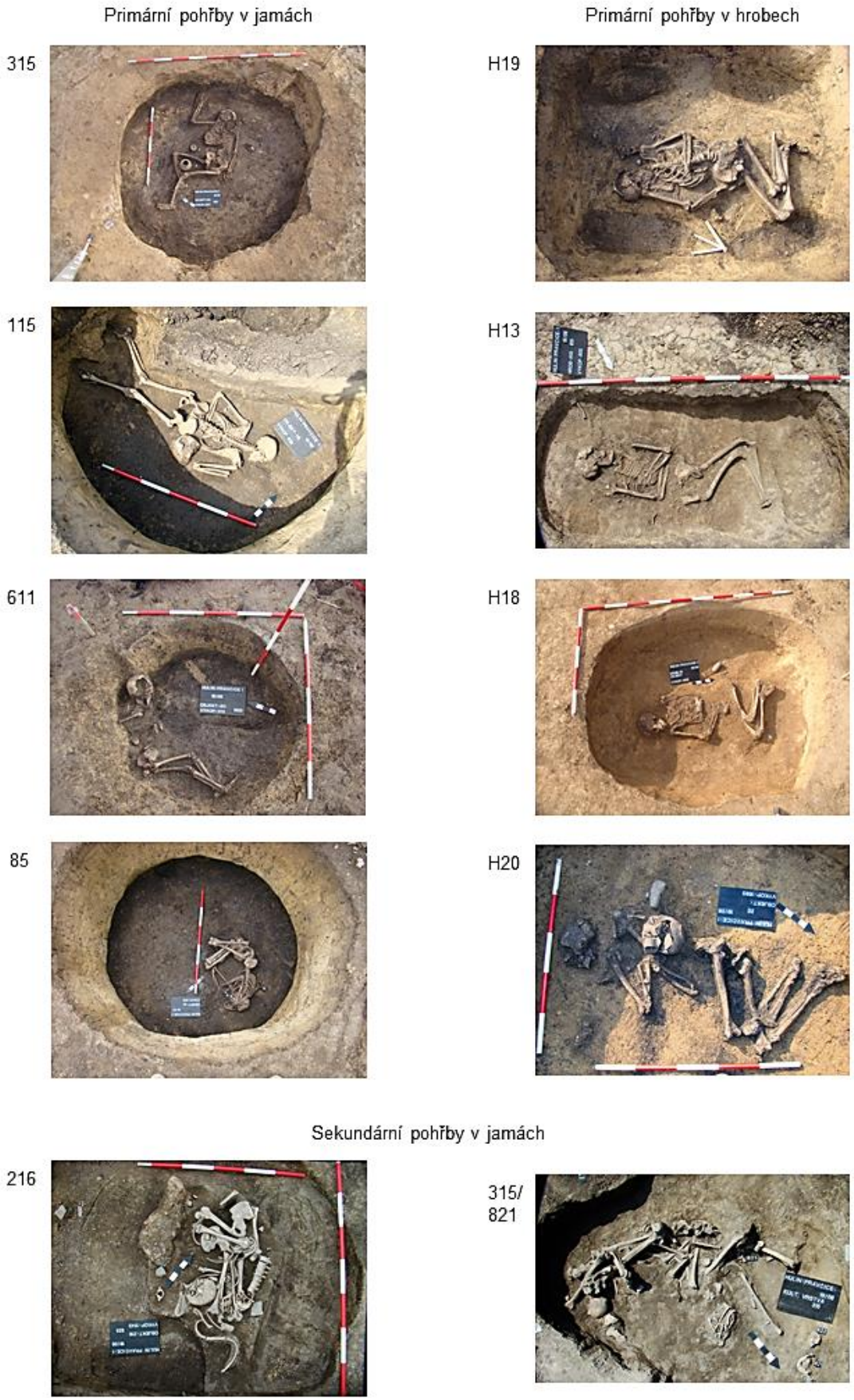
7.1 Materiál

Zkoumaný materiál pochází z archeologického naleziště Hulín–Pravčice 1 nacházejícího se na severozápadě Zlínského kraje (viz Obrázek 3). Zde byl v letech 2006–2009 realizován záchranný archeologický výzkum z důvodu plánované výstavby dálnice D55 lokalizované mezi obce Hulín a Pravčice. Jedná se o polykulturní lokalitu s nálezy datovanými od přelomu starého a středního neolitu až po novověk, v jejímž rámci byly nalezeny známky sídlištních a pohřebních aktivit.



Obrázek 3. Lokalizace naleziště v rámci České republiky.

Zkoumaný materiál tvoří celkem 19 vzorků (viz Tabulka 1, Obrázek 4) od 10 jedinců, z nichž čtyři pochází z hrobů a šest ze sídlištních jam. Jedinci z hrobů jsou datováni do období mladšího eneolitu (kultura se šňůrovou keramikou) a jedinci ze sídlištních jam (dále jen jáma) do období starší doby bronzové (věteřovská skupina) a pozdní doby bronzové (slezskoplatěnická kultura). Kosterní soubor je složen z osmi primárních pohřbů a dvou pohřbů sekundárních. Z každého jedince byly odebrány dva histologické vzorky z abdominální a periferní oblasti, s výjimkou jedince z objektu 315/821, u něhož byl odebrán pouze jeden vzorek pro nedostatek vhodného materiálu.



Obrázek 4. Fotografie nálezových kontextů zkoumaného osteologického materiálu.

Tabulka 1. Zkoumaný materiál z lokality Hulín–Pravčice 1.

ID vzorku	Typ objektu	Číslo objektu	Archeo. kultura	Absolutní datování	Artikulace kostry	Věk jedince	Kost	Strana
1	Jáma	315	BrVet	3540±31 BP	A	Dospělý	Costa	DX
2	Jáma	315	BrVet	3540±31 BP	A	Dospělý	MC4	SIN
3	Jáma	216	BrSlp	2681±29 BP	DA	Dospělý	Radius	SIN
4	Jáma	216	BrSlp	2681±29 BP	DA	Dospělý	Costa	DX
5	Jáma	115	BrVet	3441±29 BP	A	Dospělý	MC1	DX
6	Jáma	115	BrVet	3441±29 BP	A	Dospělý	Costa	SIN
7	Jáma	611	BrSt	N/A	A	Nedospělý	Costa	SIN
8	Jáma	611	BrSt	N/A	A	Nedospělý	Ulna	DX
9	Jáma	85	BrVet	3511±30 BP	A	Dospělý	MC3	DX
10	Jáma	85	BrVet	3511±30 BP	A	Dospělý	Costa	DX
11	Hrob	H19	EnSnu	3908±33 BP	A	Dospělý	Phalanx proximalis digitorum manus	SIN
12	Hrob	H19	EnSnu	3908±33 BP	A	Dospělý	Costa	DX
13	Hrob	H13	EnSnu	N/A	A	Dospělý	Costa	SIN
14	Hrob	H13	EnSnu	N/A	A	Dospělý	Radius	DX
15	Hrob	H18	EnSnu	N/A	A	Dospělý	Costa	DX
16	Hrob	H18	EnSnu	N/A	A	Dospělý	MC4	DX
17	Hrob	H20	EnSnu	3955±31 BP	A	Dospělý	Radius	SIN
18	Hrob	H20	EnSnu	3955±31 BP	A	Dospělý	Arcus vertebrae lumbalis	—
19	Jáma	315/821	BrSlp	2759±27 BP	DA	Nedospělý	Clavicula	DX

Poznámky: BrVet, doba bronzová – věteřovská skupina; BrSlp, doba bronzová – slezskoplatěnická kultura; BrSt – starší doba bronzová; EnSnu, eneolit – kultura se šňůrovou keramikou; A, artikulovaná; DA, disartikulovaná; DX, pravá; SIN, levá; N/A, není k dispozici.

7.2 Metody

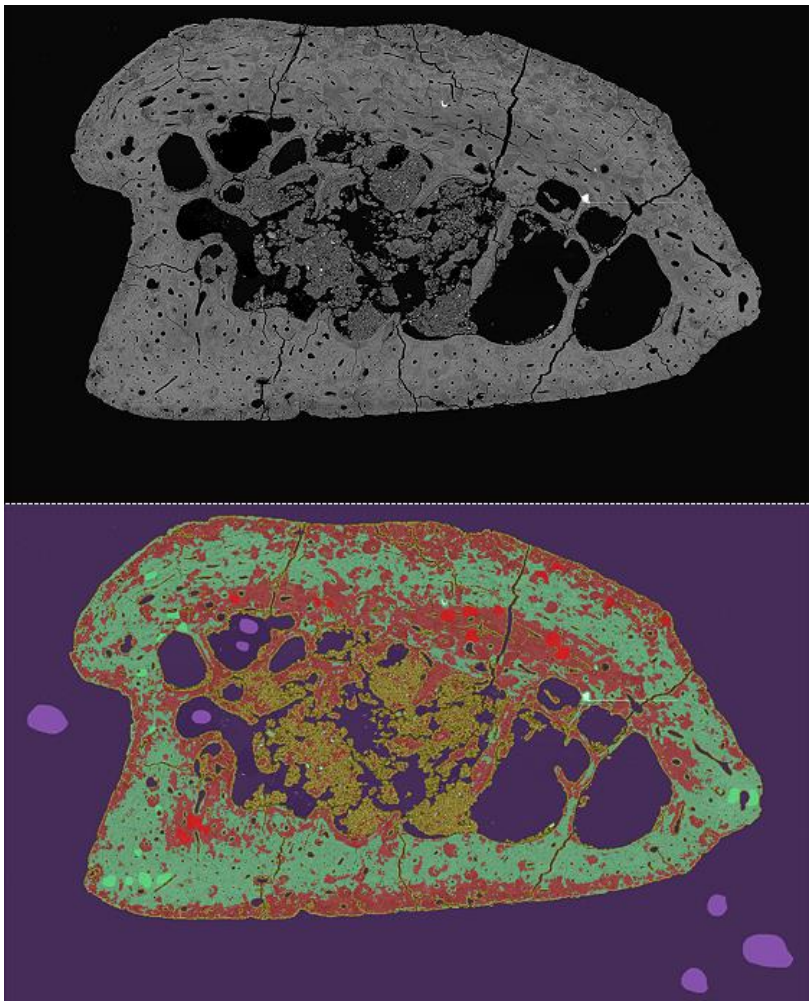
7.2.1 Vytvoření tkáňových řezů

Tkáňové řezy byly vytvořeny v Histologické laboratoři Střediska pro paleolit a paleoantropologii v Dolních Věstonicích při Archeologickém ústavu Akademie věd České republiky v Brně, a to dle již publikovaných protokolů (Bancroft et al., 1996; Chinsamy & Raath, 1992). Ze střední části kosti byl vyříznut příčný řez o přibližné tloušťce 90–130 μm. Před řezáním byly pro všechny osteologické vzorky vytvořeny repliky z epoxidové pryskyřice Araldite 2020.

7.2.2 Hodnocení histologické zachovalosti

Histologická zachovalost tkáňových řezů archeologického materiálu byla hodnocena s pomocí polarizované světelné mikroskopie v Laboratoři biologické antropologie, Katedry antropologie Západočeské univerzity v Plzni a skenovací elektronové mikroskopie BSEM (rastrovací elektronový mikroskop JEOL s BSE, EDX a WDX analyzátory – elektronová mikrosonda) na Katedře geologie Univerzity Palackého v Olomouci. Obrazový výstup z BSEM byl využit k výpočtu histologické zachovalosti v programu ImageJ prostřednictvím softwarového rozšíření (pluginu) – Trainable Weka Segmentation (Weka). Weka je založena na principu mechanického učení algoritmů, které kombinuje se sadou vybraných obrazových funkcí využívajících pixelů k segmentaci vstupního obrazového souboru (*Trainable Weka Segmentation*, b.r.; *Weka 3 - Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java*, b.r.). Konkrétní postup práce s Weka je pak takový, že pro importovaný obrazový materiál jsou manuálně definovány hodnocené třídy – v případě této práce jsou to nepoškozená kost, poškozená kost, pozadí obrazu a inkluze z půdy –, a to tak, že jsou přímo do něj vyznačeny kvalitativně odlišné oblasti

vzorku. Pro takto vyznačené oblasti generuje Weka algoritmy založené na jejich specifické pixelové charakteristice. Díky těmto algoritmům je pak schopna z několika zadaných oblastí rozeznat a vyznačit kvalitativně odlišné oddíly v celém zkoumaném vzorku. Pro každou třídu, odpovídající jiné histologické kvalitě materiálu, je žádoucí provést více zadání, tj. vyznačit více oblastí o dané kvalitě, neboť se tím zpřesňuje algoritmus, s nímž Weka následně pracuje. V tomto případě bylo pro každou třídu provedeno vždy deset zadání. Výstupem je obraz s barevně odlišenými oddíly kvalitativně se lišících oblastí analyzovaného vzorku (viz Obrázek 5).



Obrázek 5. Snímek původního analyzovaného obrazu (nahoře) a výstup vygenerovaný softwarem Weka (dole). Vzorek 15, hrob H18, pravé žebro. Barevné kategorie: červená, zachovalá kostní tkáň; zelená, nezachovalá kostní tkáň; žlutá, inkluze (sediment); fialová, pozadí.

Pro výpočet poměru jednotlivých definovaných tříd z analyzovaného obrazu, tj. procentuálního zastoupení kvalitativně odlišných oblastí tohoto obrazu, bylo využito makra (viz Příloha 1) vytvořeného Arganda-Carrerasem, který je jedním z tvůrců softwarového rozšíření Weka.

Analýza prostřednictvím softwaru Weka byla pro každý vzorek provedena třikrát (viz Příloha 2), přičemž jako výsledné hodnoty, využité k následné statistické analýze, byly použity průměry hodnot vygenerovaných jednotlivými měřeními.

Využito bylo také metody tzv. elektronové mikrosondy, tj. elektronové mikroskopie (JEOL) s WDX chemickou analýzou, poskytující rozbor chemického složení vzorku v místě zavedení sondy. Tato analýza byla zařazena pro hodnocení hypermineralizace kostní tkáně jakožto jednoho z důsledků činnosti mikroorganismů.

7.2.3 Hodnocení povrchových změn

Pro každou kost zkoumaného materiálu byl vytvořen grafický protokol k zaznamenání povrchových změn (viz Příloha 2). Záznam změn v protokolech, podpořený předchozí podrobnou observací, pak sloužil jako podklad k vyhodnocení povrchové zachovalosti souboru.

Pro zjednodušení vyhodnocení povrchové zachovalosti a zabarvení kostí byla využita upravená verze *qualitative bone index (QBI)* dle metody Bello et al. (2006). Provedenou úpravou bylo přečíslení úrovní jednotlivých kategorií a jejich přeformulování, tak aby byly uplatnitelné nejen na hodnocení subperiostální zachovalosti, ale také míry zabarvení povrchu kosti (viz Tabulka 2). QBI je tedy definován jako poměr nezachovalého/zabarveného povrchu kosti k zachovalému/ nezabarvenému povrchu téže kosti.

Tabulka 2. Zachovalost/zabarvení subperiostálního povrchu kosti (modifikováno dle Bello et al., 2006).

Kategorie	Definice (zachovalost subperiostálního povrchu kosti v %/zabarvení zachovalé plochy povrchu v %)
0	0 % nepoškozeného/nezabarveného povrchu kosti/vzorku
1	1-24 % nepoškozeného/nezabarveného povrchu kosti/vzorku
2	25-49 % nepoškozeného/nezabarveného povrchu kosti/vzorku
3	50-74 % nepoškozeného/nezabarveného povrchu kosti/vzorku
4	75-99 % nepoškozeného/nezabarveného povrchu kosti/vzorku
5	100 % nepoškozeného/nezabarveného povrchu kosti/vzorku

Poznámka: Jako poškozená započítávána plocha se subperiostálním poškozením a odhalenou spongiózou, nezapočítávána plocha s krustou vzniklou uložením v sedimentu; plocha s krustou vzniklou uložením v sedimentu nezapočítávána do zbarvené plochy.

7.2.4 Statistická vyhodnocení

K vyhodnocení chybovosti měření histologické zachovalosti prostřednictvím softwaru Weka byl využit Bland-Altmanův graf. Samotná histologická zachovalost a také zachovalost subperiostu a míra zabarvení povrchu byly kvantifikovány neparametrickou metodou Mann-Whitney U Test, a to s použitím softwaru R, verze 4.0.2 (R Core Team, 2020).

V rámci výzkumu byla vyhodnocována spojitost parametrů souvisejících s funerálním ritem (typ archeologického kontextu, artikulovanost ostatků) a mechanismy fungování dekompozičních procesů (lokalizace vzorku v rámci těla, věk jedince) s kvalitativními změnami kosti na třech úrovních (histologická, subperiostální, zabarvení povrchu). Srovnávány jsou tedy následující:

- **Typ archeologického kontextu (hroby vs. jámy) s histologickou zachovalostí, subperiostální zachovalostí a mírou zabarvení.** Primární oblast zájmu této práce spočívá na výsledcích tohoto srovnání pracujícího s parametrem odlišných depozičních a tudíž i dekompozičních podmínek. Při předběžné prohlídce souboru působily kosterní pozůstatky ze sídlištních jam jako povrchově lépe

zachovalé a méně zabarvené, předpokládáme tedy i lepší histologickou zachovalost.

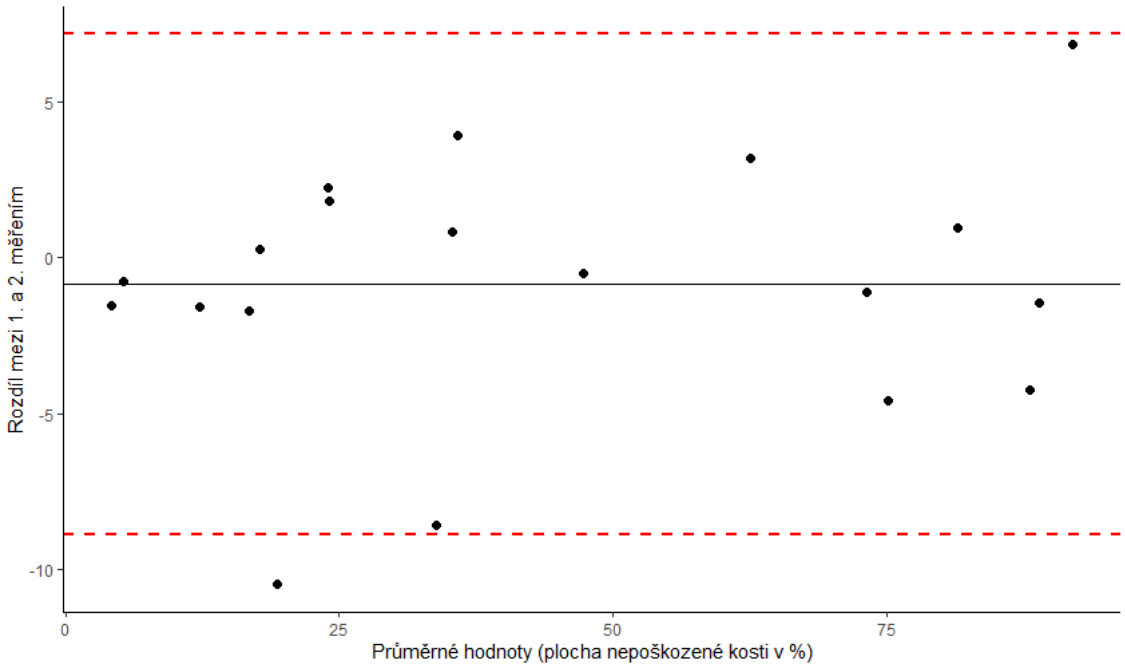
- **Artikulovanost ostatků s histologickou zachovalostí, subperiostální zachovalostí a mírou zabarvení.** V rámci tohoto parametru zkoumáme, zda jsou lépe zachovalé ostatky primárně uložené – kostra je artikulovaná, neboť jedinec byl uložen, když byly jeho ostatky ještě v intaktním stavu –, nebo ostatky uložené sekundárně – ostatky jsou disartikulované, do finálního pohřebního objektu byly tedy uloženy až po dokončené skeletonizaci, která probíhala na jiném místě. V našem souboru se, dle počáteční observace, jako zachovalejší jeví být ostatky disartikulované, je tedy předpokládána i lepší histologická zachovalost. Zároveň jsou využity jako kontrolní vzorek vůči ostatkům artikulovaným, tj. primárně pohřbeným.
- **Lokalizace vzorku v rámci těla (abdominální vs. periferní) s histologickou zachovalostí, subperiostální zachovalostí a mírou zabarvení.** S ohledem na postup primárních dekompozičních agens (bakterií střevního mikrobiomu) během rozkladu ostatků, a to směrem ze střev do tělních periferií (Jans et al., 2004) je nasnadě srovnání zachovalosti dle jejich lokalizace. V kontextu výše zmíněného přepokládáme menší výskyt kvalitativních změn u periferně lokalizovaných vzorků.
- **Věk jedince (dospělý vs. nedospělý) s histologickou zachovalostí, subperiostální zachovalostí a mírou zabarvení.** Věk je jedním z parametrů s potenciálem ovlivnit zachovalost kosterních pozůstatků, neboť v průběhu jedincova života dochází ke kvalitativním změnám v histologické struktuře kostí. Očekáváme, že méně mineralizované ostatky nedospělých jedinců budou mít horší zachovalost, v důsledku menší odolnosti vůči rozkladným činitelům, než mineralizovanější ostatky jedinců dospělých. Nicméně

s ohledem na zvyšující se míru poréznosti kostí s postupujícím věkem je možné očekávat i opačný výsledek (Burr & Akkus, 2014).

8 VÝSLEDKY

8.1 Chyba měření

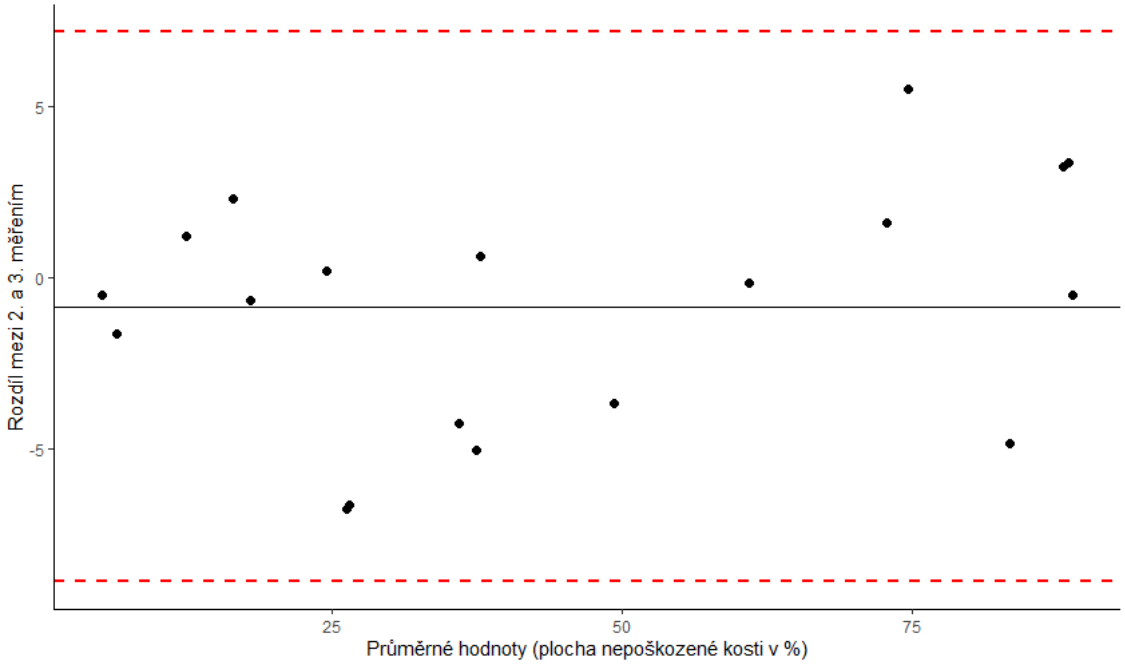
Pro posouzení validity metody použité k měření histologické zachovalosti zkoumaného souboru byl zvolen Bland-Altmanův graf (viz Graf 1) porovnávající shodu výsledků pro první a druhé měření. Průměrný rozdíl prvního a druhého měření velikosti plochy nepoškozené kosti vyjádřené v procentech nabývá hodnoty -0,865, přičemž 95% interval spolehlivosti pro průměrný rozdíl je [-8,887; 7,157].



Graf 1. Bland-Almanův graf zobrazující míru shody mezi prvním a druhým měřením histologické zachovalosti zkoumaného souboru.

S výjimkou devátého měření, u něhož rozdíl hodnot překračuje 95% interval spolehlivosti, je chyba měření spíše malá. Excesivní rozdíl hodnot devátého měření lze vysvětlit ručním zadáváním analyzovaných oblastí histologických řezů do Weka závislých na vizuálním vyhodnocení příslušnosti dané oblasti k definované třídě a jejím manuálním vyznačení.

Takové vysvětlení pak podporuje i Bland-Altmanův graf vygenerovaný pro druhé a třetí měření, kde žádná z hodnot nepřekračuje 95% interval spolehlivosti pro průměrný rozdíl [-8,887; 7,157] a s průměrným rozdílem nabývajícím hodnotu -0,887 (viz Graf 2).

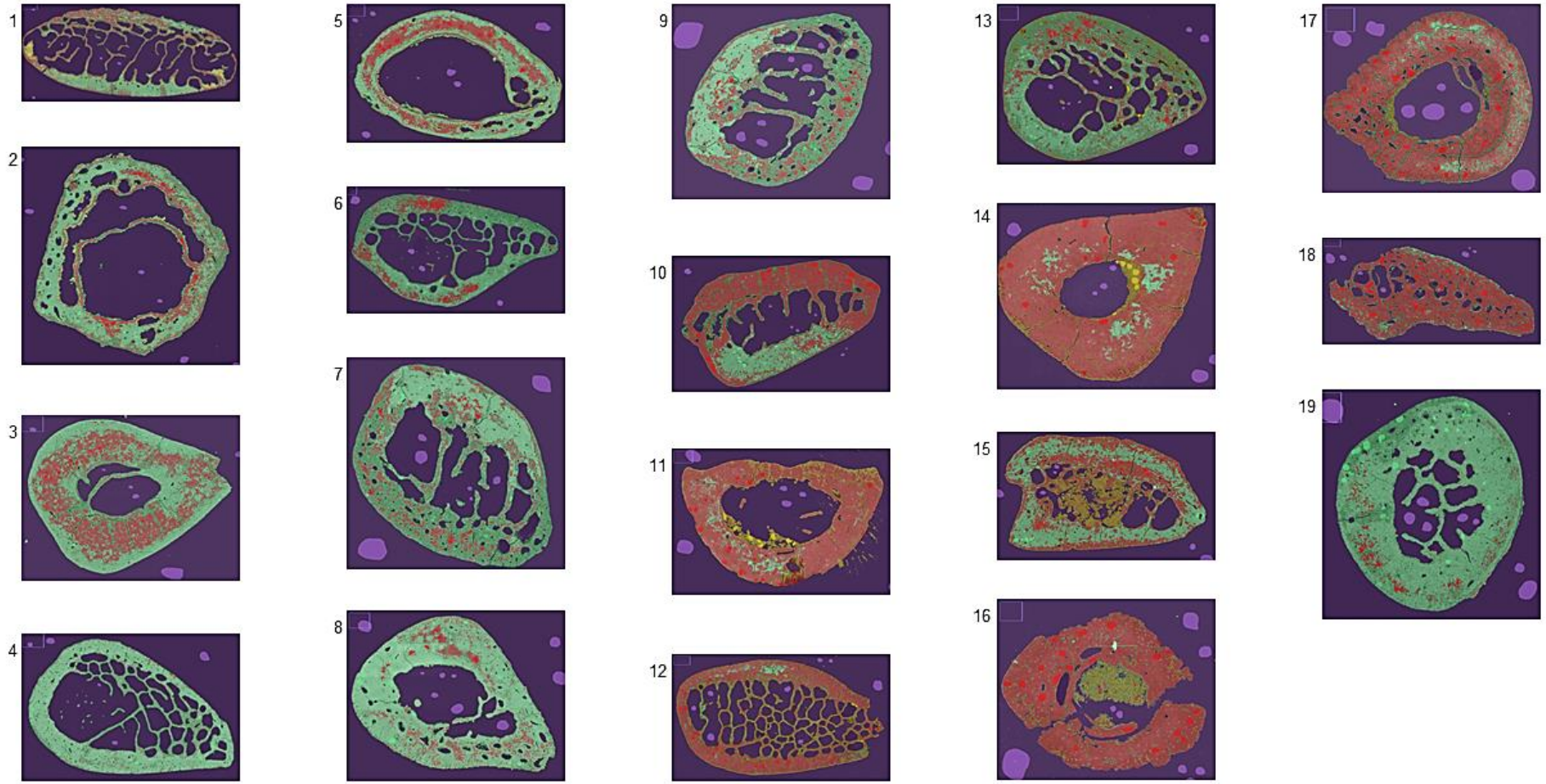


Graf 2. Bland-Almanův graf zobrazující míru shody mezi druhým a třetím měřením histologické zachovalosti zkoumaného souboru.

Statistická významnost rozdílů v rozptylech hodnot získaných prvním a druhým měřením byla následně ještě ověřena F-testem. Jeho výsledek (p = 0,922) potvrdil, že rozdíl v rozptylu hodnot prvního a druhého měření není statisticky významný.

8.2 Výsledky měření Weka

Na obrázku 5 jsou zobrazeny grafické výsledky měření Weka, zde červená barva představuje plochu zachovalé kosti, zelená barva představuje plochu nezachovalé kosti, žlutou barvou je znázorněn sediment a pozadí je vyznačeno fialovou barvou.



Obrázek 5. Grafické výstupy analýzy softwarem Weka. Prezentováno druhé měření ze tří.

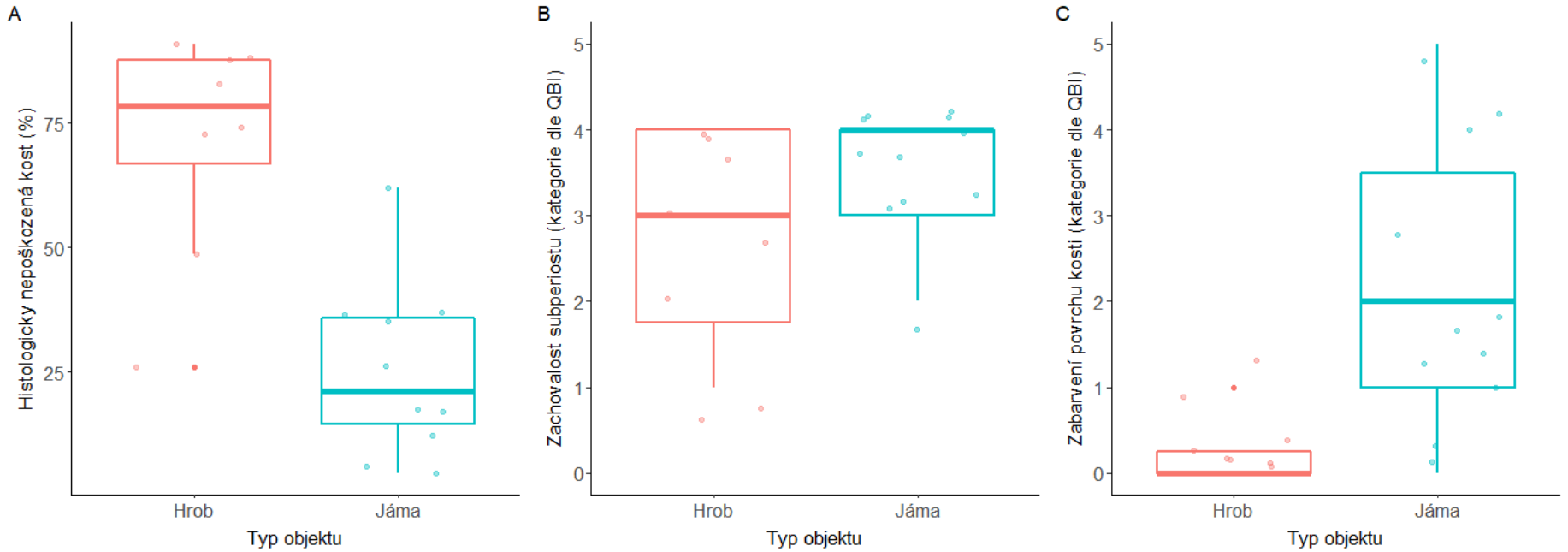
8.3 Předpoklady užití analytické metody Mann-Whitney U Test

Na základě výsledků Shapiro-Wilkova testu ($p > 0,05$) lze říci, že datový soubor splňuje podmínku normality rozdělení. Nicméně zkoumaný vzorek byl vyhodnocen jako příliš malý, pročež bylo přistoupeno ke kvantifikaci dat neparametrickou metodou Mann-Whitney U test.

8.4 Výsledky analýzy zachovalosti

V případě srovnání dle typu archeologického kontextu byl prokázán statisticky významný rozdíl na úrovni histologické zachovalosti a míry zabarvení vzorků, přičemž rozdíl v míře zachovalosti subperiostu nebyl signifikantní, viz Tabulka 3 a Graf 3. Data dokládají, že vzorky z hrobů vykazují výrazně vyšší histologickou zachovalost, koncentrovanou přibližně kolem 79 %, z tohoto trendu nicméně vybočují dvě hodnoty, a to u vzorků 13 (hrob H13, histologická zachovalost 25,9 %) a 15 (hrob H18, histologická zachovalost 48,6 %). Histologická zachovalost u vzorků ze sídlištních jam je pak soustředěna zhruba kolem hodnoty 21 %, přičemž výrazně odchýlené hodnoty nabývá pouze vzorek číslo 10 (objekt 85, histologická zachovalost 62 %). Co do povrchových změn, konkrétně tedy zabarvení, vidíme zcela opačný trend, kdy si vzorky ze sídlištních jam zachovávají výrazně větší podíl původního zbarvení dosahujícího až 100 % (vzorek 19, objekt 315/821), přičemž medián skupiny odpovídá kategorii 2, tj. 25–49 % nezabarveného povrchu kosti. Vzorky z hrobů si pak ve většině případů neuchovaly žádný původně zbarvený povrch, výjimkami jsou pouze vzorek 13 z hrobu H13 a vzorek 17 z hrobu H20 spadající do kategorie 1 (1–24 % nezabarveného povrchu). Jak již bylo řečeno, analýza zachovalosti subperiostu neprokázala signifikantní rozdíl, nicméně u vzorků ze sídlištních jam pozorujeme koncentraci hodnot

v horní polovině měrné škály, zatímco u jedinců z hrobů je rozložení na škále rovnoměrnější.

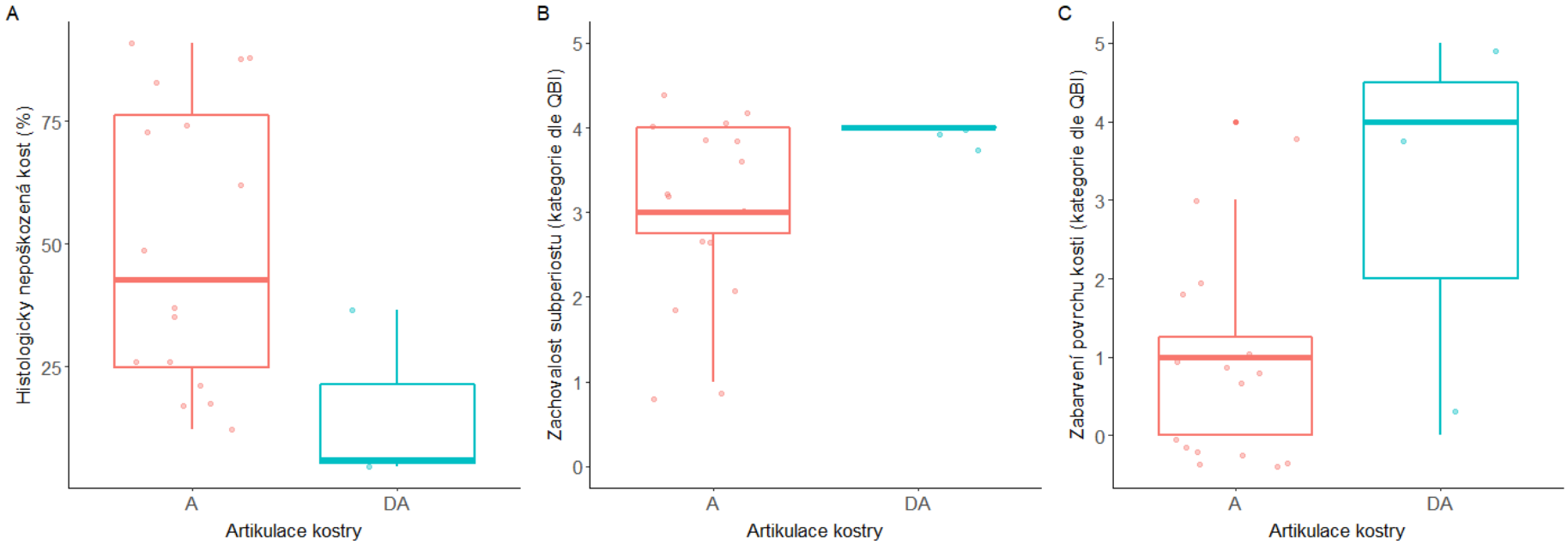


Graf 3. Archeologický kontext (jámy vs. hroby). Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od typu archeologického objektu, v němž byly uloženy.

Poznámka: Graf míry zabarvení, tak jako grafy A a B, je vztažen k míře zachování původní struktury, v tomto případě nezabarvenosti. Tudíž vyšší hodnoty značí menší míru zabarvení, resp. přítomnost více původně zabarveného povrchu.

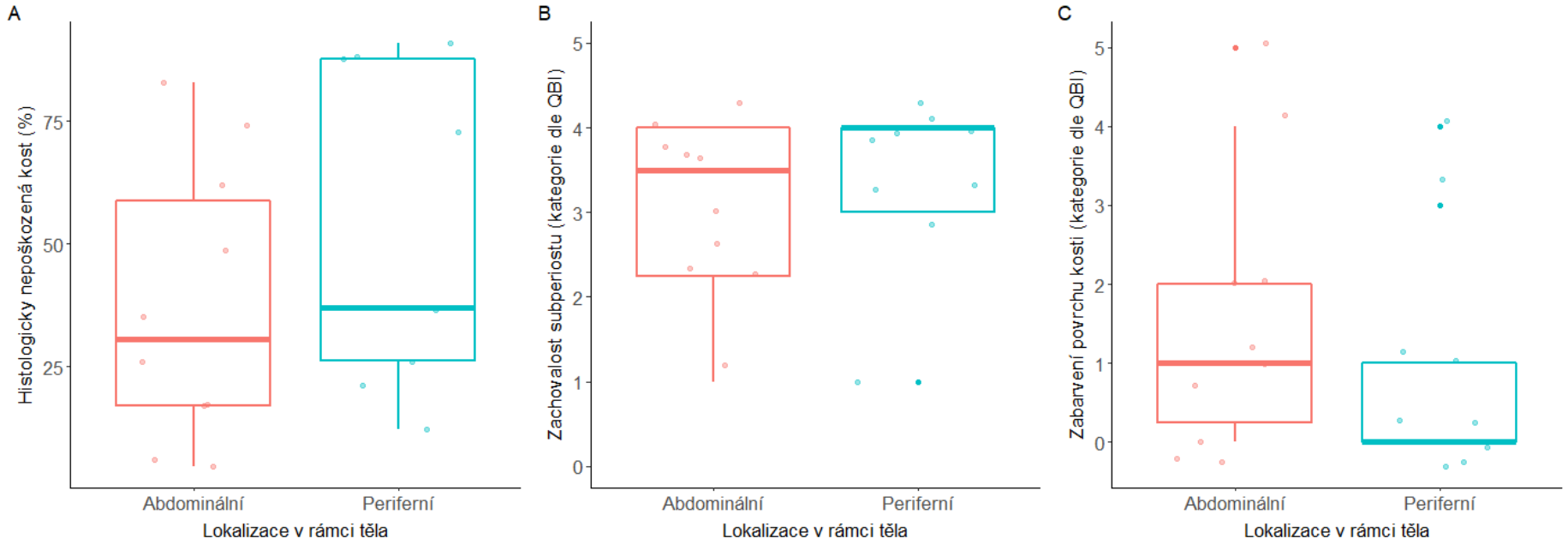
Dalším parametrem souvisejícím s uložením ostatků je jejich artikulovanost. Na úrovni zachovalosti subperiostu a míry zabarvení se v tomto parametru skupiny neliší, pouze na histologické úrovni je rozdíl v zachovalosti skupin těsně nad hranicí stanovené 95% hladiny významnosti (viz Tabulka 3, Graf 4). Zde pak můžeme vidět, že vzorky z artikulovaných jedinců vykazují histologickou zachovalost na celé škále, se střední hodnotou 42,8 %. Zatímco u disartikulovaných jedinců se zachovalost pohybuje kolem 6 %, s odchylkou u vzorku číslo 3 (objekt 216, histologická zachovalost 36,6 %).

V případě parametru lokalizace vzorku v rámci těla také nebyl prokázán statisticky významný rozdíl mezi srovnávanými skupinami (viz Tabulka 3, Graf 5). Za jediný výraznější rozdíl lze považovat širší spektrum hodnot u abdominálních vzorků na úrovni subperiostální zachovalosti a v míře zabarvení povrchu.



Graf 4. Artikulace kostry. Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od artikulovanosti ostatků.

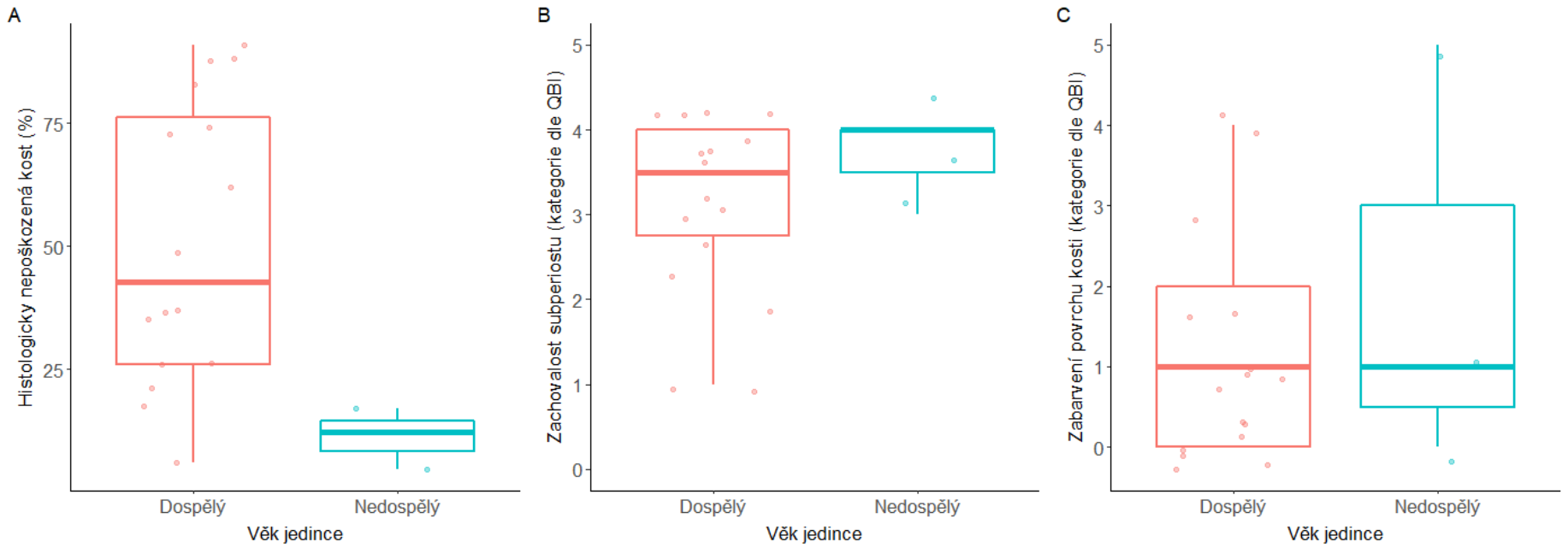
Poznámky: A, artikulované; DA, disartikulované. Graf míry zabarvení, tak jako grafy A a B, je vztažen k míře zachování původní struktury, v tomto případě nezabarvenosti. Tudíž vyšší hodnoty značí menší míru zabarvení, resp. přítomnost více původně zabarveného povrchu.



Graf 5. Lokalizace vzorku. Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od jejich lokalizace v rámci těla.

Poznámka: Graf míry zabarvení, tak jako grafy A a B, je vztažen k míře zachování původní struktury, v tomto případě nezabarvenosti. Tudíž vyšší hodnoty značí menší míru zabarvení, resp. přítomnost více původně zabarveného povrchu.

Srovnání zachovalosti ostatků jedinců dospělých a nedospělých (jedinci z objektů 611 a 315/821 nepřesahující věk 13 let). Nám ukázalo, že statisticky významný rozdíl se nachází mezi skupinami na jejich histologické úrovni, na úrovni subperiostální zachovalosti a míry zabarvení však rozdíl mezi skupinami prokázán nebyl (viz Tabulka 3, Graf 6). Zaměříme-li se blíž na histologickou zachovalost, tak obecně lepší stav vykazují vzorky z dospělých jedinců, střední hodnota u této skupiny je 42,8 %. Pouze dva vzorky ve skupině mají zachovalost nižší jak 20 %, a to konkrétně vzorky číslo 4 (objekt 216, histologická zachovalost 6 %) a 6 (objekt 115, histologická zachovalost 17,3 %). Naopak nedospělí jedinci na 20% hranici nedosahují vůbec, přičemž nejméně degradovaný vzorek číslo 7 (objekt 611) se zachoval z necelých 17 %.



Graf 6. Věk jedince. Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od příslušnosti jedince k věkové skupině dospělých či nedospělých.

Poznámka: Graf míry zabarvení, tak jako grafy A a B, je vztažen k míře zachování původní struktury, v tomto případě nezabarvenosti. Tudíž vyšší hodnoty značí menší míru zabarvení, resp. přítomnost více původně zabarveného povrchu.

Tabulka 3. Souhrnné hodnoty analýzy zachovalosti.

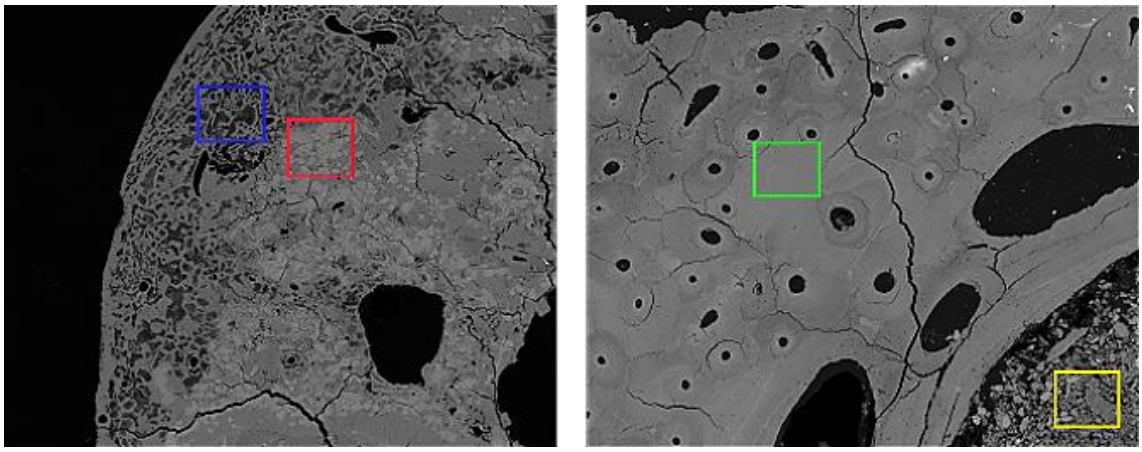
ID	Číslo obj.	Typ obj.	Artik. kostry	Lokal.	Věk	**Histologická zachovalost**		Zach. subp.	Zab. pov.
						Průměr (%)	SD		
1	315	Jáma	A	Abd.	Dosp.	**35,1**	1,3	2	2
2	315	Jáma	A	Per.	Dosp.	**26,1**	0,8	4	4
3	216	Jáma	DA	Per.	Dosp.	**36,6**	1,1	4	0
4	216	Jáma	DA	Abd.	Dosp.	**6,0**	0,4	4	4
5	115	Jáma	A	Per.	Dosp.	**36,9**	1,4	4	3
6	115	Jáma	A	Abd.	Dosp.	**17,3**	0,4	4	2
7	611	Jáma	A	Abd.	Nedos.	**16,9**	0,6	3	1
8	611	Jáma	A	Per.	Nedos.	**12,1**	0,3	4	0
9	85	Jáma	A	Per.	Dosp.	**21,1**	1,6	3	1
10	85	Jáma	A	Abd.	Dosp.	**62,0**	0,3	3	1
11	H19	Hrob	A	Per.	Dosp.	**88,1**	0,7	4	0
12	H19	Hrob	A	Abd.	Dosp.	**82,9**	0,2	2	0
13	H13	Hrob	A	Abd.	Dosp.	**25,9**	1,3	4	1
14	H13	Hrob	A	Per.	Dosp.	**87,7**	0,6	3	0
15	H18	Hrob	A	Abd.	Dosp.	**48,6**	1,0	4	0
16	H18	Hrob	A	Per.	Dosp.	**90,9**	0,8	3	1
17	H20	Hrob	A	Per.	Dosp.	**72,8**	0,6	1	0
18	H20	Hrob	A	Abd.	Dosp.	**74,1**	0,7	1	0
19	315/821	Jáma	DA	Abd.	Nedos.	**4,6**	0,4	4	5
Medián/Průměr									
Hroby						**78,5/71,4**		3/	**0/**
Jámy						**21,1/25,0**		4/	**2/**
p-hodnota*						**0,002**		0,162	**0,008**
A						42,8/49,9		3/	1/
DA						6,0/15,7		4/	4/
p-hodnota*						0,065		0,112	0,218
Abd.						30,5/37,4		3,5/	1/
Per.						36,9/52,5		4/	0/
p-hodnota*						0,206		0,688	0,324
Dosp.						**42,8/50,8**		3,5/	1/
Nedos.						**12,1/11,2**		4/	1/
p-hodnota*						**0,016**		0,501	0,639

Poznámky: Artik. kostry, artikulace kostry; A, artikulovaná; DA, disartikulovaná; Lokal., lokalizace vzorku v rámci těla; Abd., abdominální; Per., periferní; Dosp., dospělý; Nedosp., nedospělý; Zach. subp., zachovalost subperiostu; Zab. pov.; zabarvení povrchu; Tučně zvýrazněny klíčové hodnoty a statisticky významné výsledky analýzy.

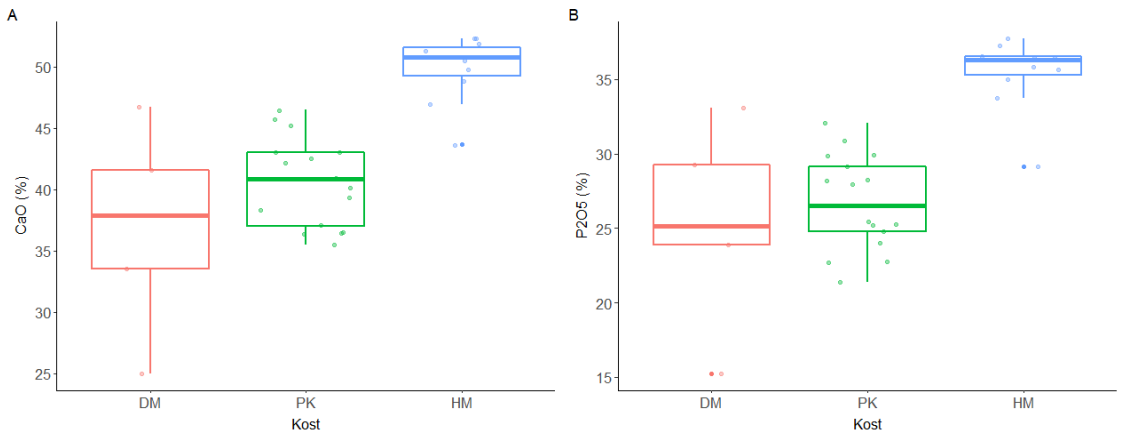
* Mann-Whitney U Test

8.5 Chemická analýza vzorků

Chemická analýza vzorků prokázala pouze výskyt hypermineralizace (bílá místa) a hypomineralizace (tmavá místa), což je charakteristické pro mikrobiální napadení, při němž dochází k restrukturalizaci a hypermineralizaci kostní tkáně za současné přeměny hydroxyapatitu na brushit, viz Obrázek 5 a Graf 7.



Obrázek 5. Typy struktur pozorovatelných na tkáňových řezech zkoumaného souboru, znázorněno na vzorku 13 z hrobu H13 (vlevo) a vzorku 16 z hrobu H18 (vpravo). Zelený rámeček – nepoškozená kost, žlutý rámeček – inkluze (sediment), červený rámeček - hypermineralizovaná kost (poškození), modrý rámeček – hypomineralizovaná kost (poškození).



Graf 7. Zastoupení vápníku ve formě oxidu vápenatého (A) a fosforu ve formě oxidu fosforečného (B) ve zkoumaných vzorcích (vzorek 3 a 4 z objektu 216, vzorek 16 z hrobu H18) svědčící o výskytu demineralizovaných a hypermineralizovaných struktur. Poznámky: DM, demineralizovaná kost; PK, původní kost; HM, hypermineralizovaná kost.

9 DISKUSE

9.1 Interpretace výsledků

Hlavním bodem výzkumného zájmu této práce je zkoumání vztahu histologické zachovalosti k typu archeologického objektu, v němž byly kosterní pozůstatky uloženy. Na základě prvotní prospekce zkoumaného materiálu se jevily ostatky ze sídlištních jam povrchově lépe zachovalé než ostatky z hrobů. Primárním předpokladem byla tedy i lepší histologická zachovalost u těchto ostatků. Podrobná analýza nicméně iniciální domněnku vyvrátila, přičemž prokázala, že na úrovni subperiostální zachovalosti se ostatky ze sídlištních jam liší od ostatků z hrobů jen minimálně, v míře nenabývající statistického významu. Na úrovni histologické byl pak prokázán přesně opačný trend, než jaký byl očekáván, kdy ostatky z hrobů vykazují signifikantně vyšší míru zachovalosti s mediánem o hodnotě zhruba 79 %. Histologická zachovalost ostatků z jam nabývá hodnoty mediánu přibližně 21 %. Pozorované poškození se u obou skupin vyznačuje výskytem hypermineralizovaných a hypomineralizovaných oblastí a přítomností prasklin, což souvisí s přeměnou hydroxyapatitu na brushit (Hedges, 2002; Piepenbrink, 1989; Prokeš, 2007). Přítomnost tohoto typu poškození, spolu s absencí tunelů typu Wedl, vznikajících vlivem činnosti plísní, indikuje, že jeho hlavním původcem byly patrně bakterie (Jans, 2008, 2014). S přihlédnutím k tomu, že u obou skupin byl u většiny vzorků subperiost zachován z více jak 50 %, a u vzorků z jam dokonce většinou z více jak 75 %, lze předpokládat, že zdrojem bakteriálního poškození byl vlastní tělní mikrobiom (endogenní bakterie) infiltrující kosti během dekompozice ostatků (Damann & Carter, 2014; Hackett, 1981; Jans, 2008, 2014; Jans et al., 2004; Prokeš, 2007). Jedinci z jam vykazují na histologické úrovni zachovalost očekávatelnou u ostatků uložených do půdy s neutrálním pH a nízkou mikrobiální aktivitou brzy po skonu jedince, tj. rozsáhlou histologickou degradaci způsobenou endogenními bakteriemi (Booth, 2016; White & Booth, 2014). V případě

ostatků z hrobů vyznačujících se nízkou mírou bioeroze můžeme hovořit o atypickém diagenetickém vzorci spojeném patrně s vystavením ostatků speciálním podmínkám či zacházení omezujících působení mikroorganismů.

Ač analýza zachovalosti subperiostu neprokázala signifikantní rozdíl mezi ostatky ze sídlištních jam a z hrobů, jinak je tomu na úrovni zabarvení. Zde výsledky odpovídají očekáváním utvořeným na základě prvotní prospekce, tj. ostatky z jam si zachovaly větší část nezabarveného povrchu kosti, v polovině případů z více jak 25 % plochy povrchu. U vzorku 19 (objekt 315/821) dokonce nebylo zjištěno žádné nepůvodní zabarvení a u vzorků 2 (objekt 315) a 4 (objekt 216) jen minimální. U ostatků z hrobů se naopak nezachoval žádný nezabarvený povrch, s výjimkou dvou vzorků, u nichž však hodnoty nepřekračují 24 % plochy povrchu. Na většině vzorků bylo pozorováno oranžové a hnědé zabarvení indikující přítomnost oxidů železa a organické hmoty v sedimentu v době pohřbu (Dupras & Schultz, 2014; Fernández-Jalvo & Andrews, 2016). Na čtyřech vzorcích se vyskytuje též černé zabarvení, patrně jako důsledek navázání oxidu manganičitého z okolního sedimentu (Dupras & Schultz, 2014; Fernández-Jalvo & Andrews, 2016), v různě rozsáhlých a četných okrscích. Jde o vzorky číslo 8 (objekt 611), 10 (objekt 85), 12 (hrob H19) a 14 (hrob H13), z nichž všechny vykazují celkově vysokou míru zabarvení, ale také dobrou histologickou zachovalost. Výjimkou je vzorek číslo 8, který si zachoval pouze 12 % původní histologické struktury, zároveň je ale jediným nedospělým jedincem v této čtveřici.

Těsně nad hladinou statistické významnosti se nachází vztah artikulovanosti ostatků a míry jejich histologické zachovalosti. Stejně jako u srovnání dle typu archeologického objektu, i v tomto případě poskytla analýza nečekané výsledky. Ne ani tak u primárně uložených jedinců, kde byla míra histologické zachovalosti zjevně podmíněna typem pohřebního objektu. Pokud však jde o sekundárně uložené jedince, z nichž všichni byli umístěni v sídlištních jamách, tak ti, stejně jako primárně pohřbení jednici z jam, vykazují velmi špatnou histologickou zachovalost, v kontrastu

s původními předpoklady (Booth & Madgwick, 2016; Kontopoulos et al., 2019). Dva ze tří vzorků, vzorky číslo 4 (objekt 216) a 19 (objekt 315/821), dokonce vykazují vůbec nejhorší histologickou zachovalost v celém souboru. Nicméně míra zabarvení povrchu u těchto vzorků je jen velmi malá (u vzorku 19 dokonce žádná) a zachovalost subperiostu u všech sekundárních pohřbů je velmi dobrá.

Analýza histologické zachovalosti vzorků dle věku jedince prokázala v souladu s očekáváními signifikantně nižší míru zachovalosti u nedospělých jedinců nepřesahující 17 % plochy strukturně původní kosti. S ohledem na předchozí výzkumy (Booth, 2016; Nord et al., 2005) neposkytující jednoznačné výsledky ohledně vztahu věku v době úmrtí a histologické zachovalosti je však nasnadě vztahovat vysokou míru bioeroze u nedospělých jedinců spíš k depozičním podmínkám, jimž byli vystaveni. V našem případě všichni nedospělí jedinci pochází ze sídlištních jam, v nichž se ukázala být histologická zachovalost obecně velmi špatná.

9.2 Výsledky v kontextu tafonomických vlivů

Je nasnadě ptát se, co je příčinou diagenentických vzorců, zvláště těch atypických, které na zkoumaném materiálu pozorujeme? V případě nečekaně dobře histologicky zachovalých primárně uložených ostatků z hrobů je možných příčin, souvisejících s depozičními podmínkami i způsoby zacházení s ostatky, celá řada. Lze však obecně říct, že většina z nich souvisí především s omezením činnosti mikroorganismů či enzymatické aktivity, v níž spočívá (Aufderheide, 2003). Takovýmto způsobem funguje kupříkladu vystavení anoxickým podmínkám, typicky uložením do prostředí s dlouhými obdobími zamokření, nebo přímo trvale zamokřeným (Booth, 2017; Booth, 2016; Nielsen-Marsh & Hedges, 2000). U ostatků vystavených takovému prostředí v časných stadiích rozkladu byla zaznamenána dobrá zachovalost i po změně depozičního prostředí na aerobní (Hollund et al., 2012, 2018). V kontrastu se zamokřením, v dobrou zachovalost vede také vysušení, například v hrobkách

s konstantním prouděním vzduchu nebo depozicí v horkém suchém prostředí (Aufderheide, 2003; Lynnerup, 2007; Prokeš, 2007). Obecně vystavení teplotám přesahujícím optimum pro činnost mikroorganismů vytváří podmínky pro dobré zachování ostatků. Zvláště pak vystavení mrazu (Aufderheide, 2003; Lynnerup, 2007; Pokines & Baker, 2014). Pozitivně, co do míry zachovalosti, se mohou na ostatcích projevit také chemické parametry prostředí, kupříkladu hodnoty pH signifikantně vychýlené jak směrem k vyšší zásaditosti, tak kyselosti (při dosažení extrémních hodnot však začnou působit destruktivně i na ostatky, nejen na mikroorganismy). Takto je tomu třeba v případě rašelinišť, v nichž jsou konzervační podmínky dány nejen zvýšenou kyselostí, ale také anoxií (Aufderheide, 2003; Booth et al., 2015; Lynnerup, 2007). Jako inhibitory enzymatické činnosti mikroorganismů fungují ionty těžkých kovů, které se v archeologickém kontextu uvolňují do prostředí hrobu příznačně z hrobové výbavy (Aufderheide, 2003; Mandl et al., 2018). Cestou k uchování ostatků však není jenom jejich uložení do prostředí chudého na biologickou aktivitu, jinými slovy omezujícího činnost mikroorganismů a dalších destruentů. Kupříkladu v rámci artificiální mumifikace je zpravidla přistupováno k impregnaci ostatků látkami pro mikroorganismy toxickými, vedoucími k jejich usmrcení (Aufderheide, 2003; Lynnerup, 2007). Ve prospěch dobré zachovalosti kostního materiálu působí také posmrtně rychlé odstranění měkkých tkání, které jsou hlavním cílem dekompozitorů, a urychlení skeletonizace. Toho lze docílit jednak vystavením ostatků pod širým nebem, kde je dekompozice měkkých tkání urychlena jednak environmentálními vlivy prostředí a jednak činností mrchožroutů, avšak za cenu případné redukce kosterního materiálu. Druhým způsobem jak urychlit skeletonizaci je pak manuální exkarnace, tj. zbavení se maximálního množství měkkých tkání (útroby, kůže, svaly, šlachy apod.), za použití ostrých nástrojů (Aufderheide, 2003; Fernández-Jalvo et al., 2010; Hedges, 2002; Lynnerup, 2007; Trueman & Martill, 2002).

Pokud jde o zabarvení ostatků, jednoznačně nám pomáhá doplnit informace získané histologickou analýzou, čímž nás směřuje k dalšímu

zpřesnění možné tafonomické historie ostatků. Jak již bylo řečeno v předchozí části, oranžové a hnědé zabarvení na kostech souvisí s přítomností oxidů železa a v případě hnědého zbarvení i organické hmoty v sedimentu v době pohřbu (Dupras & Schultz, 2014; Fernández-Jalvo & Andrews, 2016). Z toho můžeme soudit, že prostředí hrobů bylo aerobní a biologicky aktivní, tedy takové, u kterého lze očekávat negativní vliv na zachovalost ostatků (Hackett, 1981; Jans, 2008, 2014). Vzorky z hrobů však takový vzorec nevykazují. Dobrá zachovalost nasvědčuje snížené míře destrukční aktivity vyvíjené exogenními i endogenními mikroorganismy vůči kosterním pozůstatkům z hrobů. Takový výsledek by se mohl objevit, pakliže by došlo k rychlé destrukci měkkých tkání, nebo jejich odstranění, jako je tomu u sekundárního pohřbívání (Aufderheide, 2003; Fernández-Jalvo et al., 2010; Hedges, 2002; Lynnerup, 2007; Trueman & Martill, 2002). Vzhledem k tomu, že v našem případě nic nenasvědčuje tomu, že pohřby v hrobech nebyly primární, musí se vysvětlení nacházet jinde. Možnou odpověď skýtá práce Hollundové a kolektivu (Hollund et al., 2012), ti došli k závěru, že dobrá zachovalost ostatků uložených v půdním sedimentu nevytvářejícím podmínky, v nichž by šlo očekávat absenci bioeroze, může být důsledkem uložení ostatků v otevřené hrobce po dobu rozkladu měkkých tkání. Takové uložení by umožnilo urychlení rozkladu vlivem environmentálních podmínek i působením mrchožroutů, podobně jako když jsou ostatky během dekompozice vystaveny na povrchu. Pozdější zakrytí skeletonizovaných ostatků zeminou, byť biologicky aktivní, by pak nemuselo ústit v závažnou bioerozi kostí, jelikož urychlení rozkladu měkkých tkání předešlo vážnému narušení jejich struktury endogenními bakteriemi, což následně znesnadňuje destrukční působení přírodních podmínek i mikrobiální destruentské komunity v sedimentu. Dalším barevným vodítkem, které by mohlo přispět k objasnění možné tafonomické historie ostatků je výše popsané černé zbarvení. Obecně je jako primární zdroj černého zbarvení kosterních pozůstatků uložených v půdě uváděn mangan (Dupras & Schultz, 2014; Fernández-Jalvo & Andrews, 2016). Ten se může dle Fernández-Jalvo a Andrewse (2016) dostávat do kostí nejen mokrou

cestou, tj. pronikáním vodním médiem v rozpuštěné formě, ale také v suchých podmínkách díky bakteriální činnosti, což by vypovídalo ve prospěch možnosti uložení v biologicky aktivním sedimentu. V kontextu velmi dobré histologické zachovalosti, střední míry poškození subperiostu a vysoké míry zabarvení kostí u jedinců z hrobů se jeví vysvětlení navržené Hollundovou a kolektivem (2012) přinejmenším jako pravděpodobné.

Černé zabarvení bylo nalezeno také u jedinců z jam, vzhledem k odlišnému diagenetickému vzorci se však nabízí varianta penetrace manganu do kostí mokrou cestou. Hollundová a kolektiv (2018) ve své recentnější práci poskytují vysvětlení, které se jeví být v souladu s tím, co v našem souboru vidíme právě u ostatků z jam. Dle jejich interpretace může nahromadění sedimentu s větším množstvím rozkládající se organické hmoty vést k ustavení anoxických podmínek v bezprostředním okolí ostatků uchovávajících si ještě alespoň část měkkých tkání. Během dalšího postupu rozkladu organické hmoty pak vzniká mikroprostředí s nízkým obsahem kyslíku. V takových podmínkách se minerály obsahující železo a mangan stávají rozpustnými, což jim umožňuje proniknout do kostní struktury, v níž se později – při přechodu rozkladu do suché fáze – vysráží jako nerozpustné oxidy manganu. Předpokládáme-li, že k výše popsanému došlo i v našem případě, mohlo by to vysvětlit vysokou míru bioeroze na histologické úrovni za současné dobré zachovalosti subperiostu, v důsledku anoxie, u ostatků z jam.

Dezolátní stav histologické struktury vzorků od sekundárně pohřbených jedinců je dalším nečekaným výsledkem analýzy, naštěstí není tak nejasný jako u zachovalosti primárních pohřbů z jam. Zde si tedy stav zachovalosti vysvětlujeme následovně. V rámci sekundárního pohřebního ritu jsou ostatky ukládány do finálního pohřebního objektu až ve fázi plné či většinové skeletonizace. Tohoto stavu lze dosáhnout různými způsoby (Kolář, 2012, 2018; Smith & Brickley, 2009). V našem případě, kdy ostatky vykazují rozsáhlou až extrémní míru degradace vnitřní struktury, se nabízí varianta uložení pod zemí po dobu rozkladu měkkých tkání. S přihlédnutím k celkovému stavu zachovalosti vzorků – dobře

zachovalý subperiost a špatně zachovalá mikroskopická struktura – šlo pak pravděpodobně o sediment s jen minimálním, nebo dokonce žádným, degradačním potenciálem, ve kterém roli hlavního dekompozitora zastávaly endogenní bakterie (Booth & Madgwick, 2016).

Stran horší histologické zachovalosti u nedospělých jedinců v našem souboru bohužel neexistuje jednoznačné vysvětlení (Booth, 2016; Nord et al., 2005) tohoto stavu. Nicméně možná odpověď by snad mohla ležet ve způsobu, jakým se utváří kost na chemické úrovni, kdy je kostní minerál nejprve ukládán jako amorfní kalcium fosfát (fosforečnan vápenatý) spolu s velkým množstvím rozpustnějšího uhličitanu vápenatého. Jak kost zraje, dochází k redukci uhličitanu vápenatého ve prospěch kalcium fosfátu, což činí minerální složku kostní hmoty chemicky stabilnější (Burr & Akkus, 2014). Je tedy možné, že kosti nedospělých jedinců, u nichž ještě nedošlo v dostatečné míře k výměně uhličitanu vápenatého za kalcium fosfát, tj. jejichž kostní hmota ještě není dostatečně mineralizovaná, mohou hůře odolávat degradačním vlivům během dekompozice. Otázkou nicméně zůstává, zda by se takové oslabení neprojevilo i vyšší mírou degradace subperiostu, který byl však u zkoumaných vzorků v dobrém stavu. Jako jistější se tedy v našem případě jeví spojovat horší zachovalost nedospělých jedinců s uložením v prostředí sídlištních jam.

9.3 Primární pohřby v hrobech v archeologickém kontextu

Jak již bylo řečeno, výsledky zachovalosti primárně uložených ostatků z hrobů byly dosti nečekané. Jako nejpravděpodobnější vysvětlení se pak jeví jejich uložení v otevřeném hrobě, alespoň po nějakou dobu. Důkazy, že tomu tak mohlo být, poskytuje přitom nejen diagenetický vzorec na kostech, ale také nálezová situace.

Ostatky z hrobů číslo 19 a 20 nasvědčovaly svým stavem při odkrytí tomu, že byly pohřbeny do dutého prostoru. V hrobě číslo 19 se pak dokonce zachovaly stopy hrobové konstrukce, a to v podobě

obdélníkových kůlových jamek lokalizovaných v rozích pohřebního objektu (viz Obrázek 6). Na vzorku 17 z hrobu číslo 20 byly navíc zaznamenány známky po okusu zvěří (viz Příloha 3), což by spolu s rozsahem a typem poškození povrchu (praskliny, štěrbiny, eroze a místy až odhalená spongióza) odpovídalo tomu, že hrobová jáma byla po určitou dobu otevřená. Zároveň ostatky z hrobů nevykazují extenzivní míru redukce kosterního materiálu očekávatelnou při vystavení na povrchu, což naznačuje vedle přítomnosti hrobové konstrukce také existenci nějaké formy nadzemního přístřešku – domu mrtvých. Domy mrtvých se nikterak vzácně vyskytují v kultuře se šňůrovou keramikou (Bátora, 2006; Kolář et al., 2011), ke které přísluší všechny hrobové nálezy ze zkoumaného souboru. Jejich přítomnost u zkoumaných hrobů je tedy dosti pravděpodobná.

Obrázek 6. Hrob H19 s kůlovými jamkami lokalizovanými v rozích pohřebního objektu.

Na území Moravy byly tyto konstrukce identifikovány na nalezištích v Boleradicích na Břeclavsku, Brně-Starém Lískovci, Podolí na Brněnsku a Vážanech nad Litavou (Červinka, 1938 dle Kolář et al., 2011; Podborský, 1993). V archeologickém záznamu Čech je pak předpokládán nález zbytků hrobové konstrukce ve Vikleticích a Čachovicích (Buchvaldek, 1986; Buchvaldek & Popelka, 1994) a stopy po její dřívější přítomnosti v Řeporyjích a v Praze-Jinonicích (Buchvaldek & Kovářík, 1993; Buchvaldek & Popelka, 1994). Výskyt konstrukce v hrobové jámě u kultury se šňůrovou keramikou samozřejmě není pouze tuzemským unikátem, stopy po její přítomnosti byly objeveny i na nalezištích ve středním Německu (Seifarstdorf, Arnstadt a Neuses) a v oblasti Malopolska (Gabułtów a Kocmyrzów) vymezujících tak územní výskyt středoevropské skupiny kultury se šňůrovou keramikou (Behm-Blancke, 1955 a Włodarczak, 2006 dle Kolář, 2012; Podborský, 1993), k jejímuž rozšíření jako celku pravděpodobně došlo z východní Evropy, z oblasti vymezené řekami Vislou a Dněprem (Peška, 2013; Podborský, 1993). Ani samotný výskyt praktiky ukládání ostatků pod domy mrtvých pak rozhodně není kulturní inovací kultury se šňůrovou keramikou. Výskyt tohoto fenoménu v archeologickém záznamu Evropy, byť s menší četností, nalézáme v průběhu celého pravěku. První stopy jeho výskytu v pohřebním ritu nalézáme již v období neolitu u kultury s lineární keramikou (Bátora, 2006), jejíž trvání na území střední a východní Evropy je odhadováno v rozmezí let 5500–4950 př. n. l. (Fowler et al., 2015; Hofmann & Orschiedt, 2015).

10 ZÁVĚR

V této práci byl za použití observačních a výpočetních (Weka) metod analyzován stav kostní zachovalosti (histologická a subperiostální zachovalost a míra zabarvení) souboru kosterních nálezů datovaných do období mladšího eneolitu a starší a pozdní doby bronzové. Zachovalost byla vyhodnocována dle čtyř parametrů – typ pohřebního objektu, artikulovanost ostatků, lokalizace vzorku v rámci těla a věk jednice – a poskytla nečekané výsledky v kontrastu s původními očekáváními. Jedinci ze sídlištních (starší a pozdní doba bronzová) jam mající velmi dobrou povrchovou zachovalost vykazovali až dezolátní stav zachovalosti histologické. Naopak jedinci z hrobů (mladší eneolit) se středně zachovalým povrchem vykazovali velmi dobrou histologickou zachovalost. Tento nesoulad, spolu s doklady z nálezové situace, nás posléze přivedl k domněnce, že důvodem vysoké míry bioeroze u jedinců ze sídlištních jam bylo vystavení přirozeně probíhajícímu rozkladu v sedimentu bez dalšího degradačního potenciálu. Zatímco u jedinců z hrobů se jako pravděpodobné jeví urychlení dekompozice měkkých tkání díky iniciálnímu uložení v otevřeném hrobě zpřístupňujícímu ostatky environmentálním vlivům a mrchožroutům. Nízká míra redukce kosterního materiálu a známky původní přítomnosti hrobové konstrukce u hrobového objektu 19, však napovídá přítomnosti ochranného přístřešku – domu mrtvých. Výskyt těchto konstrukcí není v kultuře se šňůrovou keramikou, k níž patří všichni jedinci z hrobů, v archeologickém záznamu střední Evropy nijak raritním.

Přes zajímavé výsledky této práce jsem přesvědčená, že její hlavní význam spočívá především ve dvou aspektech, jednak ve snaze o zavedení komplexnějšího přístupu při zkoumání pohřebního ritu. Za druhé v praktické aplikaci softwarového nástroje majícího potenciál relativně rychlého a především přesného prostředku k vyhodnocení histologické zachovalosti kosterních nálezů z archeologického kontextu.

Člověk je skutečně komplexní tvor, a to nejen v rovině biologické, ale také v rovině behaviorální. Je tudíž nasnadě této komplexitě přizpůsobit i způsoby jakými jej zkoumáme. Z této pozice má proto smysl se v rámci studia pohřebního ritu neomezovat pouze na zkoumání nálezové situace a makroskopického stavu ostatků, ale též stavu mikroskopického, který nám může poskytnout řadu nových informací dotvářejících a upřesňujících celkový obraz posmrtného dění. Jako v tomto případě, kdy histologická analýza nejenže prokázala odlišný vývoj tafonomické historie ostatků, než jaký byl původně předpokládán, ale zároveň pomohla vrhnout světlo na pohřební ritus, jemuž byli zkoumaní jedinci podrobeni. Histologická analýza tedy přispívá nejen ke zpřesnění informací o specifických tafonomických vlivech uplatňujících se v jednotlivých případech, ale také ke konkretizaci posmrtného zacházení s tělem. Přes tento přínos, je záhodno uznat, že výsledky této práce nejsou všepojímající analýzou, jako spíš úvodem k dalším výzkumům a komparacím čítajícím větší počty jedinců, s potenciálem vnést světlo do fenoménů pohřbívání do sídlištních jam v době bronzové a do komorových hrobů v období kultury se šňůrovou keramikou. Vhodné by dále bylo také řádné doplnění výzkumu o vliv věku v době smrti jedince na histologickou zachovalost kostí, pro který předchozí studie (T. J. Booth, 2016; Nord et al., 2005) ještě neposkytly uspokojivé objasnění. Obecně lze říci, že by byla žádoucí realizace většího počtu experimentálních studií zaměřených nejen na kontext forenzní, ale také na kontext archeologický.

Dnes je výpočetní technika prakticky nedílnou součástí výzkumné činnosti užívanou při získávání, zpracování i následné analýze dat. Na rozdíl od člověka je, při správném použití, přesnější a méně náchylná k chybám při vyhodnocování dat. Weka (ImageJ), jakožto softwarový nástroj využívající mechanického učení algoritmů, v kombinaci s metodou skenovací elektronové mikroskopie (SEM) poskytuje způsob přesného (celkové průměrné SD činí v našem případě přibližně 0,8) a poměrně rychlého vyhodnocení míry zachovalosti tkáňových řezů. Největší výhody této metody pak vyniknou zvláště při porovnání s metodou rtuťové intruzní

porozimetrie (HgIP), která sice také poskytuje vysoce přesné výsledky, avšak pouze na omezené ploše a při značné časové náročnosti (Turner-Walker & Syversen, 2002). Oproti tomu je Weka schopna analyzovat celou plochu řezu, resp. importovaného obrazu, přičemž její časová náročnost spočívá především v poskládání jednotlivých snímků ze SEM do celkového obrazu tkáňového řezu, což v průměru trvá zhruba 30 minut v odvislosti od množství snímků (v našem případě 12 až 60) skládaných dohromady. Jedinou významnější nevýhodou softwaru je potenciálně větší náročnost na výpočetní výkon, která je však podmíněna mírou rozlišení obrazu importovaného k analýze. V tomto kontextu se Weka jeví být skutečně užitečným nástrojem pro určování míry histologické zachovalosti kostního materiálu, nicméně budoucí praktické srovnání se stávajícími metodami lze považovat jen za vhodné.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

Arganda-Carreras, I. (2017). *Quantifing Weka Output—Image Analysis*. Image.Sc Forum. https://forum.image.sc/t/quantifing-weka-output/4660/5

Aufderheide, A. C. (2003). *The scientific study of mummies*. Cambridge University Press.

Bancroft, J. D., Stevens, A., & Turner, D. R. (Ed.). (1996). *Theory and practice of histological techniques* (4. ed., repr). Churchill Livingstone.

Bass, W. M. (1997). Outdoor Decomposition Rates in Tennessee. In W. D. Haglund & M. H. Sorg (Ed.), *Forensic taphonomy: The postmortem fate of human remains* (s. 181–186). CRC Press.

Bátora, J. (1991). THE REFLECTION OF ECONOMY AND SOCIAL STRUCTURE IN THE CEMETERIES OF THE CHLOPICE-VESELÉ AND NITRA CULTURES. *Slovenská archeológia*, *39*(1–2), 91–142.

Bátora, J. (2006). K problematike hrobov s domami mŕtvych v praveku. *Študijné zvesti*, *39*, 11–18.

Bell, L. S. (2012). Histotaphonomy. In *Bone histology: An anthropological perspective*. CRC Press.

Bello, S. M., Thomann, A., Signoli, M., Dutour, O., & Andrews, P. (2006). Age and sex bias in the reconstruction of past population structures. *American Journal of Physical Anthropology*, *129*(1), 24–38. https://doi.org/10.1002/ajpa.20243

Booth, T. (2017). The rot sets in low-powered microscopic investigation of taphonomic changes to bone microstructure and its application to funerary contexts. In D. Errickson & T. J. U. Thompson (Ed.), *Human remains: Another dimension: The application of imaging to the study of human remains*. Academic Press, An imprint of Elsevier.

Booth, T. J. (2016). An Investigation Into the Relationship Between Funerary Treatment and Bacterial Bioerosion in European Archaeological Human Bone: Funerary treatment and bacterial bioerosion in human bone. *Archaeometry*, *58*(3), 484–499. https://doi.org/10.1111/arcm.12190

Booth, T. J., Chamberlain, A. T., & Pearson, M. P. (2015). Mummification in Bronze Age Britain. *Antiquity*, *89*(347), 1155–1173. https://doi.org/10.15184/aqy.2015.111

Booth, T. J., & Madgwick, R. (2016). New evidence for diverse secondary burial practices in Iron Age Britain: A histological case study. *Journal of Archaeological Science*, *67*, 14–24. https://doi.org/10.1016/j.jas.2016.01.010

Brönnimann, D., Portmann, C., Pichler, S. L., Booth, T. J., Röder, B., Vach, W., Schibler, J., & Rentzel, P. (2018). Contextualising the dead – Combining geoarchaeology and osteo-anthropology in a new multi-focus approach in bone histotaphonomy. *Journal of Archaeological Science*, *98*, 45–58. https://doi.org/10.1016/j.jas.2018.08.005

Buchvaldek, M. (1986). *Kultura se šňůrovou keramikou ve střední Evropě. I. Skupiny mezi Harcem a Bílými Karpaty.: Roč. XII*. Univerzita Karlova.

Buchvaldek, M., & Kovářík, J. (1993). Pohřebiště se šňůrovou keramikou v Praze-Jinonicích. Doplněk ke Katalogu šňůrové keramiky v Čechách VI. In *Acta Instituti Praehistorici Universitatis Carolinae Pragensis: Roč. XX* (s. 119–174). Univerzita Karlova.

Buchvaldek, M., & Popelka, M. (1994). Poznámky k pohřebišti se šňůrovou keramikou v Praze-Jinonicích. In *Acta Instituti Praehistorici Universitatis Carolinae Pragensis: Roč. XXI* (s. 21–52). Univerzita Karlova.

Burr, D. B., & Akkus, O. (2014). Bone Morphology and Organization. In *Basic and Applied Bone Biology* (s. 3–25). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416015-6.00001-0

Burr, D. B., & Allen, M. R. (Ed.). (2013). *Basic and applied bone biology*. Elsevier/Academic Press.

Crowder, C., & Stout, S. (Ed.). (2012). *Bone histology: An anthropological perspective*. CRC Press.

Čihák, R. (2011). *Anatomie*. Grada.

Damann, F. E., & Carter, D. O. (2014). Human Decomposition Ecology and Postmortem Microbiology. In J. T. Pokines & S. A. Symes (Ed.), *Manual of forensic taphonomy* (s. 37–50). CRC Press, Taylor &

Francis Group. http://wbooksarchive.com/135391-manual-of-forensic-taphonomy.html

Dupras, T. L., & Schultz, J. J. (2014). Taphonomic Bone Staining and Color Changes in Forensic Contexts. In J. T. Pokines & S. A. Symes (Ed.), *Manual of forensic taphonomy* (s. 315–340). CRC Press, Taylor & Francis Group. http://wbooksarchive.com/135391-manual-of-forensic-taphonomy.html

Falkenstein, F. (2011). The Development of Burial Rites from the Tumulus to the Urnfield Culture in Southern Central Europe. *Ancestral Landscapes. Burial Mounds in the Copper and Bronze Ages. Proceedings of the International Conference held in Udine, May 15th-18th 2008.*, *58*, 329–340.

Fernández-Jalvo, Y., & Andrews, P. (2016). *Atlas of Taphonomic Identifications: 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-017-7432-1

Fernández-Jalvo, Y., Andrews, P., Pesquero, D., Smith, C., Marín-Monfort, D., Sánchez, B., Geigl, E.-M., & Alonso, A. (2010). Early bone diagenesis in temperate environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, *288*(1–4), 62–81. https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2009.12.016

Fowler, C., Harding, J., & Hofmann, D. (2015). The Oxford Handbook of Neolithic Europe: An Introduction. In C. Fowler, J. Harding, & D.

Hofmann (Ed.), *The Oxford Handbook of Neolithic Europe*. https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=2733323

Hackett, C. J. (1981). Microscopical Focal Destruction (Tunnels) in Exhumed Human Bones. *Medicine, Science and the Law*, *21*(4), 243–265. https://doi.org/10.1177/002580248102100403

Harding, A. F. (2000). *European societies in the bronze age*. Cambridge University Press.

Hedges, R. E. M. (2002). Bone diagenesis: An overview of processes. *Archaeometry*, *44*(3), 319–328. https://doi.org/10.1111/1475-4754.00064

Hofmann, D., & Orschiedt, J. (2015). Mortuary Practices, Bodies, and Persons in Central Europe. In C. Fowler, J. Harding, & D. Hofmann (Ed.), *The Oxford Handbook of Neolithic Europe*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780199545841.013.012

Hollund, H. I., Blank, M., & Sjögren, K.-G. (2018). Dead and buried? Variation in post-mortem histories revealed through histotaphonomic characterisation of human bone from megalithic graves in Sweden. *PLOS ONE*, *13*(10), e0204662. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0204662

Hollund, H. I., Jans, M. M. E., Collins, M. J., Kars, H., Joosten, I., & Kars, S. M. (2012). What Happened Here? Bone Histology as a Tool in Decoding the Postmortem Histories of Archaeological Bone from

Castricum, The Netherlands: Bone Histology as a Tool in Decoding the Postmortem History. *International Journal of Osteoarchaeology*, *22*(5), 537–548. https://doi.org/10.1002/oa.1273

Childe, V. G. (1930). *The Bronze Age*. Cambridge University Press.

Chinsamy, A., & Raath, M. A. (1992). Preparation of fossil bone for histological examination. *Palaeontologica Africana*, *29*, 39–44.

Jans, M. M. E. (2008). Microbial bioerosion of bone – a review. In M. Wisshak & L. Tapanila (Ed.), *Current Developments in Bioerosion* (s. 397–413). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-77598-0_20

Jans, M. M. E. (2014). Microscopic Destruction of Bone. In J. T. Pokines & S. A. Symes (Ed.), *Manual of Forensic Taphonomy* (s. 19–36). CRC Press, Taylor & Francis Group.

Jans, M. M. E., Nielsen-Marsh, C. M., Smith, C. I., Collins, M. J., & Kars, H. (2004). Characterisation of microbial attack on archaeological bone. *Journal of Archaeological Science*, *31*(1), 87–95. https://doi.org/10.1016/j.jas.2003.07.007

Jiráň, L. (Ed.). (2008). *Archeologie pravěkých Čech 5. DOBA BRONZOVÁ*. Archeologický ústav AV ČR, v.v.i.

Kolář, J. (2012). Secondary Mortuary Practices During the Late Eneolithic in Moravia, Czech Republic: State of Knowledge, History Of Research, Terminology and Interpretations. *Theoretical and Methodological Considerations in Central European Neolithic*

Archaeology. https://www.academia.edu/1427849/Secondary_Mortuary_Practices_During_the_Late_Eneolithic_in_Moravia_Czech_Republic_State_of_Knowledge_History_Of_Research_Terminology_and_Interpretations

Kolář, J. (2018). *Archaeology of local interactions: Social and spatial aspects of the Corded Ware communities in Moravia*. Verlag Dr. Rudolf Habelt GmbH.

Kolář, J., Dobisíková, M., Dreslerová, G., Drozdová, E., Fojtová, M., Hložek, M., Gregerová, M., Přichystal, A., Urbanová, K., & Wagenknechtová, M. (2011). *Kultura se šňůrovou keramikou v povodí říčky Hané na střední Moravě: Pohřební areály z prostoru dálnice D1 v úseku Vyškov-Mořice a dalších staveb = The Corded Ware culture in the Haná river basin in Central Moravia (Czech Republic): burial grounds from the area of motorway D1 between Vyškov and Mořice and from other construction places*. Ústav Archeologické Památkové Péče Brno.

Kontopoulos, I., Penkman, K., Liritzis, I., & Collins, M. J. (2019). Bone diagenesis in a Mycenaean secondary burial (Kastrouli, Greece). *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*(10), 5213–5230. https://doi.org/10.1007/s12520-019-00853-0

Kristiansen, K., & Larsson, T. B. (2005). *The rise of Bronze Age society: Travels, transmissions and transformations*. Cambridge University Press.

Kruťová, M., & Turek, J. (2004). Some spatial aspects of the ritual behavioural at the beginning of Bronze Age. In *Spatial analysis of funerary areas: 8th Annual Meeting of the European Association of Archaeologists in Thessaloniki 2002* (s. 159). Vydavatelstvi a nakladatelstvi Aleš Čeněk.

Lynnerup, N. (2007). Mummies. *American Journal of Physical Anthropology*, *134*(45), 162–190. https://doi.org/10.1002/ajpa.20728

Mandl, K., Novotny, F., Teschler-Nicola, M., & Weiss-Krejci, E. (2018). The Corpse in the Early Bronze Age. Results of Histotaphonomic and Archaeothanatological Investigations of Human Remains from the Cemetery of Franzhausen I, Lower Austria. *Archaeologia Austriaca*, *1*, 135–168. https://doi.org/10.1553/archaeologia102s135

MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR. (2019). *Pojiva – WikiSkripta*. https://www.wikiskripta.eu/w/Pojiva

MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR. (2020). *Struktura a přestavba kosti – WikiSkripta*. https://www.wikiskripta.eu/w/Struktura_a_p%C5%99estavba_kosti

MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR. (2021). *Kost – WikiSkripta*. https://www.wikiskripta.eu/w/Kost

Millard, A. R. (2001). Deterioration of Bone. In D. R. Brothwell & A. M. Pollard (Ed.), *Handbook of archaeological sciences*. J. Wiley.

Mulville, J., Madgwick, R., Powell, A., & Pearson, M. P. (2012). Flesh on the Bones: Animal Bodies in Atlantic Roundhouses. In A. Pluskowski (Ed.), *The ritual killing and burial of animals: European perspectives*. Oxbow Books.

Neustupný, E. (Ed.). (2008). *Archeologie pravěkých Čech 4. ENEOLIT*. Archeologický ústav AV ČR, v.v.i.

Nielsen-Marsh, C. M., & Hedges, R. E. M. (2000). Patterns of Diagenesis in Bone I: The Effects of Site Environments. *Journal of Archaeological Science*, *27*(12), 1139–1150. https://doi.org/10.1006/jasc.1999.0537

Nicholson, R. A. (1996). Bone Degradation, Burial Medium and Species Representation: Debunking the Myths, an Experiment-based Approach. *Journal of Archaeological Science*, *23*(4), 513–533. https://doi.org/10.1006/jasc.1996.0049

Nord, A. A., Kars, H., Ullén, I., Tronner, K., & Kars, E. (2005). Deterioration of archaeological bone—A statistical approach. *Journal of Nordic Archaeological Science*, *15*, 77–86.

Pankowská, A., Daňhel, M., & Peška, J. (2013). Formal Classification of Settlement Burials from Moravia (Czech Republic) Dating to the Early Bronze Age. *Irreguläre 'Bestattungen in der Urgeschichte: Norm, Ritual, Strafe*, *3*(5), 252–265.

Pankowská, A., & Monik, M. (2017). Evidence of innovation and social differentiation in burial practices in Early Bronze Age Moravia. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *9*(5), 915–933. https://doi.org/10.1007/s12520-016-0313-4

Pearson, M. P., Chamberlain, A., Collins, M., Cox, C., Craig, G., Craig, O., Hiller, J., Marshall, P., & Mulville, J. (2007). Further evidence for mummification in Bronze Age Britain. *Antiquity*, *81*(312), 5.

Pearson, M. P., Chamberlain, A., Craig, O., Marshall, P., Mulville, J., Smith, H., Chenery, C., Collins, M., Cook, G., Craig, G., Evans, J., Hiller, J., Montgomery, J., Schwenninger, J.-L., Taylor, G., & Wess, T. (2005). Evidence for mummification in Bronze Age Britain. *Antiquity*, *79*(305), 529–546. https://doi.org/10.1017/S0003598X00114486

Peška, J. (2013). *Morava na konci eneolitu.* Akademické nakladatelství CERM.

Piepenbrink, H. (1989). Examples of chemical changes during fossilisation. *Applied Geochemistry*, *4*(3), 273–280. https://doi.org/10.1016/0883-2927(89)90029-2

Podborský, V. (Ed.). (1993). *Pravěké dějiny Moravy*. Muzejní a Vlastivědná Společnost.

Pokines, J. T., & Baker, J. E. (2014). Effects of Burial Environments on Osseus Remains. In J. T. Pokines & S. A. Symes (Ed.), *Manual of Forensic Taphonomy* (s. 73–114). CRC Press, Taylor & Francis Group.

Prokeš, L. (2007). *Posmrtné změny a jejich význam při interpretaci pohřebního ritu: Ke vztahu mezi archeologií a forenzními vědami*. ÚAM FF MU.

R Core Team. (2020). *R: A language and environment for statistical computing.* R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Rodriguez, W. C. (1997). Decomposition of Buried and Submerger Bodies. In W. D. Haglund & M. H. Sorg (Ed.), *Forensic Taphonomy: The Postmortem Fate of Human Remains* (s. 459–467). CRC Press.

Rulf, J. (1996). Problematika pohřbů na sídlištích v českomoravském pravěku. *Študijné zvesti Archeologického Ústavu Slovenskej Akadémie Vied*, *32*.

Schmid, C. (2019). Evaluating Cultural Transmission in Bronze Age burial rites of Central, Northern and Northwestern Europe using radiocarbon data. *Adaptive Behavior*, *28*(5), 359–376. https://doi.org/10.1177/1059712319860842

Smith, M., & Brickley, M. B. (2009). *People of the long barrows: Life, death and burial in the earlier neolithic*. History press.

Sosna, D. (2009). *Social differentiation in the late Copper Age and early Bronze Age in South Moravia (Czech Republic)*. Archaeopress.

Stockhammer, P. W., Massy, K., Knipper, C., Friedrich, R., Kromer, B., Lindauer, S., Radosavljević, J., Wittenborn, F., & Krause, J. (2015). Rewriting the Central European Early Bronze Age Chronology:

Evidence from Large-Scale Radiocarbon Dating. *PLOS ONE*, *10*(10), e0139705. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139705

Šebela, L., Dvořák, P., & Langová, J. (1990). BURIAL RITE IN THE LATE ENEOLITHIC MORAVIA. *Anthropologie (1962-)*, *28*(2/3), 129–135.

Trainable Weka Segmentation. (b.r.). ImageJ Wiki. Získáno 15. srpen 2021, z https://imagej.github.io/plugins/tws/index

Trueman, C. N., & Martill, D. M. (2002). The long-term survival of bone: The role of bioerosion. *Archaeometry*, *44*(3), 371–382. https://doi.org/10.1111/1475-4754.t01-1-00070

Turner-Walker, G., & Syversen, U. (2002). Quantifying histological changes in archaeological bones using BSE-SEM image analysis. *Archaeometry*, *44*(3), 461–468. https://doi.org/10.1111/1475-4754.t01-1-00078

Vass, A. A. (2001, listopad). Beyond the grave—Understanding human decomposition. *Microbiology Today*, *28*(4), 190–192.

Weka 3—Data Mining with Open Source Machine Learning Software in Java. (b.r.). Získáno 15. srpen 2021, z https://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka/

Wencel, M. M. (2015). An Absolute Chronological Framework for the Central-Eastern European Eneolithic: Absolute Chronology of the Eneolithic. *Oxford Journal of Archaeology*, *34*(1), 33–43. https://doi.org/10.1111/ojoa.12047

White, L., & Booth, T. J. (2014). The origin of bacteria responsible for bioerosion to the internal bone microstructure: Results from experimentally-deposited pig carcasses. *Forensic Science International*, *239*, 92–102. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.03.024

12 SEZNAM OBRÁZKŮ, GRAFŮ A TABULEK

Obrázek 1. Rekonstrukce protoúnětického domu mrtvého nad dvojhrobem, Moravská Nová Ves-Hrušky (Stuchlík & Stuchlíková, 1996 dle Bátora, 2006). 5

Obrázek 2. Struktura lamelární kosti (MEFANET, síť lékařských fakult ČR a SR, 2021). 11

Obrázek 3. Lokalizace naleziště v rámci České republiky. 19

Obrázek 4. Fotografie nálezových kontextů zkoumaného osteologického materiálu. 21

Obrázek 5. Grafické výstupy analýzy softwarem Weka. Prezentováno druhé měření ze tří. 31

Obrázek 6. Hrob H19 s kůlovými jamkami lokalizovanými v rozích pohřebního objektu. 49

Graf 1. Bland-Almanův graf zobrazující míru shody mezi prvním a druhým měřením histologické zachovalosti zkoumaného souboru.. 29

Graf 2. Bland-Almanův graf zobrazující míru shody mezi druhým a třetím měřením histologické zachovalosti zkoumaného souboru.. 30

Graf 3. Archeologický kontext (jámy vs. hroby). Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od typu archeologického objektu, v němž byly uloženy.. 34

Graf 4. Artikulace kostry. Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od artikulovanosti ostatků. 36

Graf 5. Lokalizace vzorku. Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od jejich lokalizace v rámci těla. 37

Graf 6. Věk jedince. Srovnání histologické zachovalosti (A), subperiostální zachovalosti (B) a míry zabarvení povrchu (C) vzorků v závislosti od příslušnosti jedince k věkové skupině dospělých či nedospělých. 39

Graf 7. Zastoupení vápníku ve formě oxidu vápenatého (A) a fosforu ve formě oxidu fosforečného (B) ve zkoumaných vzorcích (vzorek 3 a 4 z objektu 216, vzorek 16 z hrobu H18) svědčící o výskytu demineralizovaných a hypermineralizovaných struktur. 41

Tabulka 1. Zkoumaný materiál z lokality Hulín–Pravčice 1. 22

Tabulka 2. Zachovalost/zabarvení subperiostálního povrchu kosti (modifikováno dle Bello et al., 2006)..... 26

Tabulka 3. Souhrnné hodnoty analýzy zachovalosti. 40

13 PŘÍLOHY

Příloha 1. Makro generující z výstupu analýzy Weka procentuální zastoupení definovaných tříd. Zdroj: Arganda-Carreras (2017).

```
getRawStatistics(nPixels, mean, min, max);

setBatchMode( true );
run("Set Measurements...", "area_fraction redirect=None decimal=3");

for( i=min, n=0; i <= max; i++, n++ )
{
    selectWindow("Classified image");
    run("Duplicate...", "title=[to-be-thresholded]");
    selectWindow("to-be-thresholded");
    setThreshold( i, i );
    run("Convert to Mask");
    run("Measure");
    setResult("Label", n, i );
    close();
}
```

Příloha 2. Výsledky analýzy pomocí softwaru Weka.

ID	Číslo objektu	První měření		Druhé měření		Třetí měření		Průměr měření	
		Zachovalá (%)	Nezachovalá (%)	Zachovalá (%)	Nezachovalá (%)	Zachovalá (%)	Nezachovalá (%)	Zachovalá (%)	Nezachovalá (%)
1	315	29,567	70,433	38,150	61,850	37,542	62,458	35,097	64,903
2	315	25,053	74,947	23,224	76,776	29,852	70,148	26,063	73,937
3	216	37,743	62,257	33,835	66,165	38,100	61,900	36,559	63,441
4	216	4,924	95,076	5,686	94,314	7,325	92,675	5,986	94,014
5	115	35,691	64,309	34,884	65,116	39,943	60,057	36,900	63,100
6	115	15,952	84,048	17,661	82,339	18,328	81,672	17,323	82,677
7	611	17,890	82,110	17,622	82,378	15,327	84,673	16,942	83,058
8	611	11,448	88,552	13,010	86,990	11,822	88,178	12,091	87,909
9	85	14,162	85,838	24,633	75,367	24,459	75,541	21,126	78,874
10	85	64,109	35,891	60,931	39,069	61,096	38,904	62,025	37,975
11	H19	88,190	11,810	89,637	10,363	86,415	13,585	88,092	11,908
12	H19	81,998	18,002	81,048	18,952	85,901	14,099	82,914	17,086
13	H13	25,139	74,861	22,882	77,118	29,639	70,361	25,907	74,093
14	H13	85,997	14,003	90,217	9,783	86,871	13,129	87,673	12,327
15	H18	47,043	52,957	47,542	52,458	51,202	48,798	48,617	51,383
16	H18	95,411	4,589	88,594	11,406	89,126	10,874	90,924	9,076
17	H20	72,566	27,434	73,670	26,330	72,095	27,905	72,779	27,221
18	H20	72,898	27,102	77,469	22,531	71,989	28,011	74,085	25,915
19	315/821	3,452	96,548	4,968	95,032	5,492	94,508	4,632	95,368

Příloha 3. Grafické protokoly se zaznamenanými povrchovými změnami.

Datum: 13. 7. 2021

Žebro (dx)

Jedinec (ID): 1

Kultura: DOBA BRONZOVÁ - VĚTEŘOVSKÁ KULT.

Číslo objektu: 315

Artikulace ostatků: ANO

Typ objektu: JÁMA

Přítomnost kovových artefaktů: ANO

superior

inferior

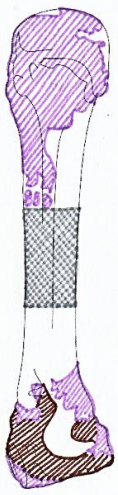
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 12. 7. 2021

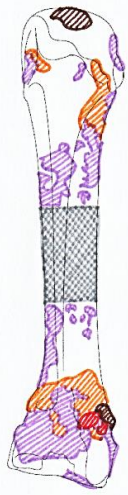
Čtvrtý metakarp (sin)

Jedinec (ID)	Kultura
2	DOBA BRONZOVÁ - VĚTEŘOVSKÁ KULT.
Číslo objektu	Artikulace ostatků
315	ANO
Typ objektu	Přítomnost kovových artefaktů
JÁMA	ANO

palmaris (anterior)



dorsalis (posterior)



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 14. 7. 2021

Kost vřetenní (sin)

Jedinec (ID)
3

Kultura
DOBA BRONZOVÁ - KULT. SLEZSKOPLATĚNICKÁ

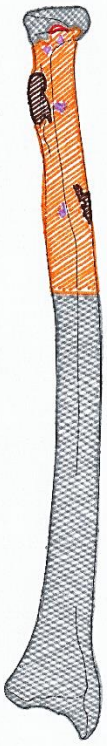
Číslo objektu
216

Artikulace ostatků
NE

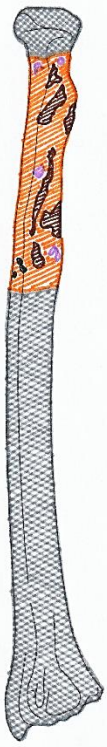
Typ objektu
JÁMA

Přítomnost kovových artefaktů
NE

anterior



posterior



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 13. 7. 2021

Žebro (dx)

Jedinec (ID): 4

Kultura: DOBA BRONZOVÁ - KULT. SLEZSKOPLATĚNICKÁ

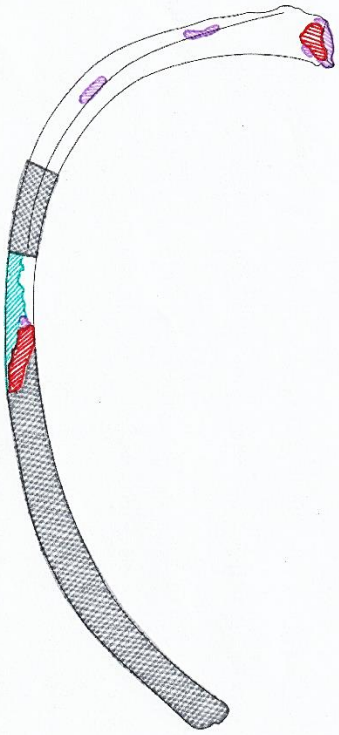
Číslo objektu: 216

Artikulace ostatků: NE

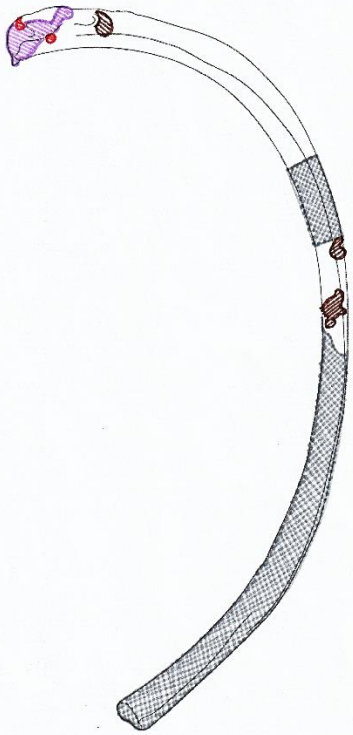
Typ objektu: JÁMA

Přítomnost kovových artefaktů: NE

superior



inferior



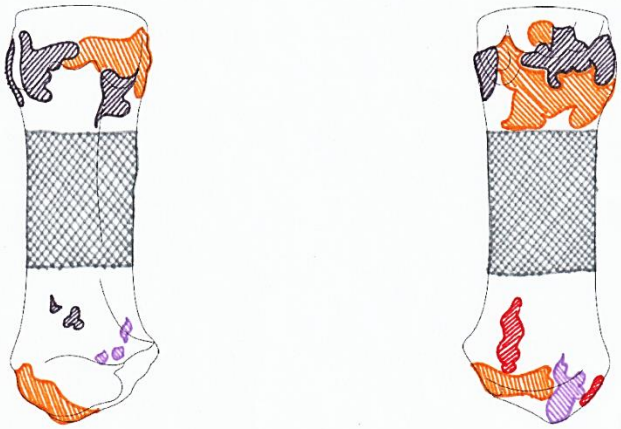
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 12. 7. 2021

První metakarp (dx)

Jedinec (ID): 5	Kultura: DOBA BRONZOVÁ - VĚTEŘOVSKÁ KULT.
Číslo objektu: 115	Artikulace ostatků: ANO
Typ objektu: JÁMA	Přítomnost kovových artefaktů: NE

palmaris (anterior) dorsalis (posterior)



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 14. 4. 2021

Žebro (sin)

Jedinec (ID)	Kultura
6	DOBA BRONZOVÁ - VĚTEŘOVSKÁ KULT.
Číslo objektu	**Artikulace ostatků**
115	ANO
Typ objektu	**Přítomnost kovových artefaktů**
JÁMA	NE

superior inferior

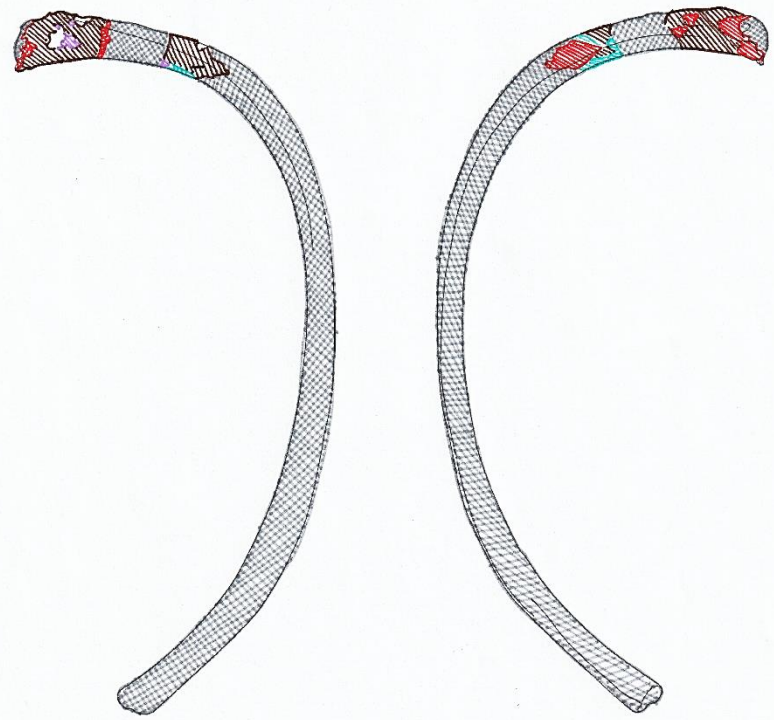
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 14. 7. 2021

Žebro (sin)

Jedinec (ID)	Kultura
7	NEDATOVÁNO - PRAVĚK
Číslo objektu	**Artikulace ostatků**
611	ANO
Typ objektu	**Přítomnost kovových artefaktů**
JÁMA	NE

superior inferior



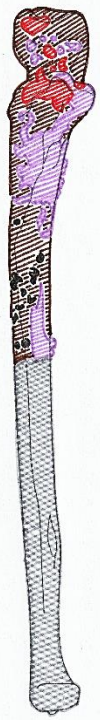
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 14. 7. 2021

Kost loketní (dx)

Jedinec (ID)	Kultura
8	NEDATOVÁNO - PRAVĚK
Číslo objektu	**Artikulace ostatků**
611	ANO
Typ objektu	**Přítomnost kovových artefaktů**
JÁMA	NE

anterior



posterior

Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

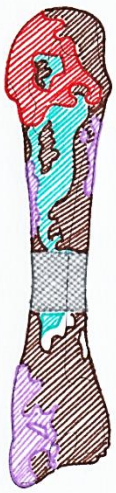
Datum: 12. 7. 2021

Třetí metakarp (dx)

Jedinec (ID): 9	Kultura: DOBA BRONZOVÁ - VĚTEŘOVSKÁ KULT.
Číslo objektu: 85	Artikulace ostatků: ANO
Typ objektu: JÁMA	Přítomnost kovových artefaktů: ANO

palmaris (anterior)

dorsalis (posterior)



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 13. 7. 2021

Žebro (dx)

Jedinec (ID)
10

Kultura
DOBA BRONZOVÁ - VĚTEŘOVSKÁ KULT.

Číslo objektu
85

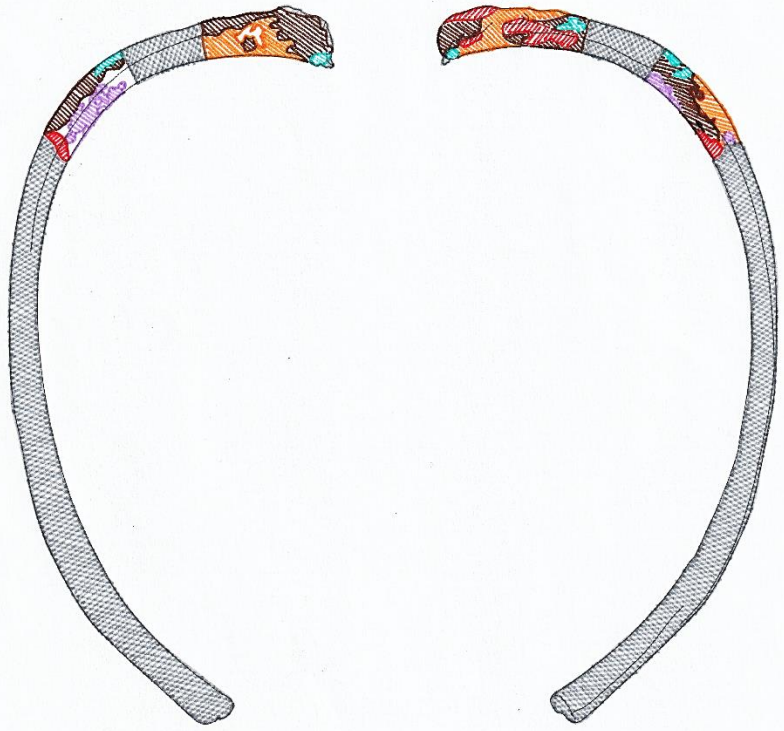
Artikulace ostatků
ANO

Typ objektu
JÁMA

Přítomnost kovových artefaktů
ANO

superior

inferior



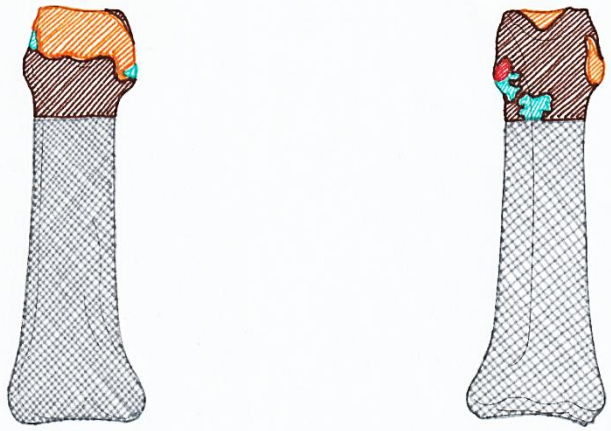
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 13. 7. 2021

Proximální článek prstu ruky (sin)

Jedinec (ID) 11	Kultura ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.
Číslo objektu H19	Artikulace ostatků ANO
Typ objektu HROB	Přítomnost kovových artefaktů NE

palmaris (anterior) dorsalis (posterior)



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 13. 7. 2021

Žebro (dx)

Jedinec (ID)
12

Kultura
ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.

Číslo objektu
H19

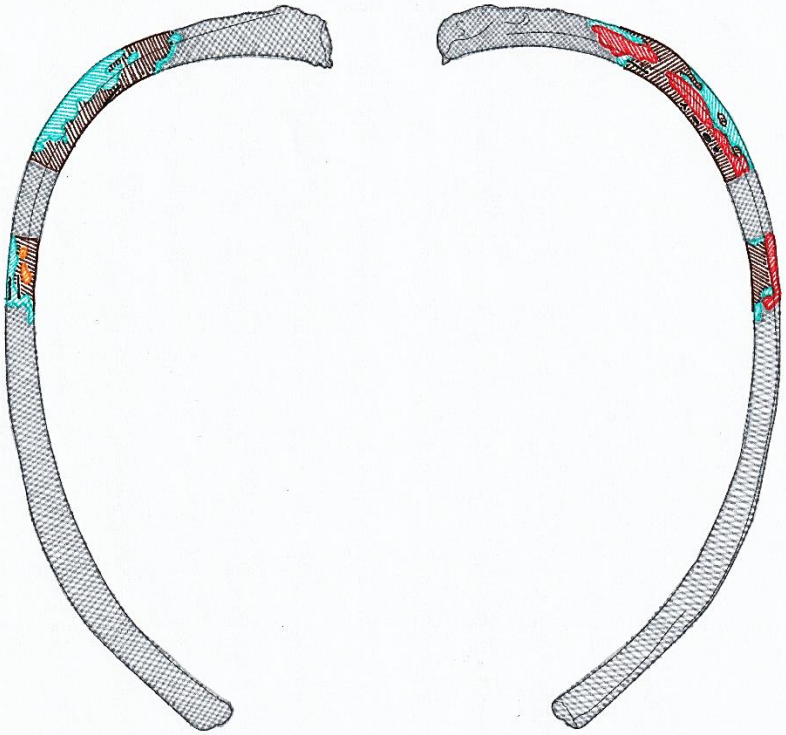
Artikulace ostatků
ANO

Typ objektu
HROB

Přítomnost kovových artefaktů
NE

superior

inferior



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 14. 7. 2021

Žebro (sin)

Jedinec (ID) 13	Kultura ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.
Číslo objektu H13	Artikulace ostatků ANO
Typ objektu HROB	Přítomnost kovových artefaktů NE

superior inferior

Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 15. 7. 2021

Kost vřetenní (dx)

Jedinec (ID)
14

Kultura
ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.

Číslo objektu
H13

Artikulace ostatků
ANO

Typ objektu
HROB

Přítomnost kovových artefaktů
NE

anterior

posterior

Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 14. 7. 2021

Žebro (dx)

Jedinec (ID): 15

Kultura: ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.

Číslo objektu: H18

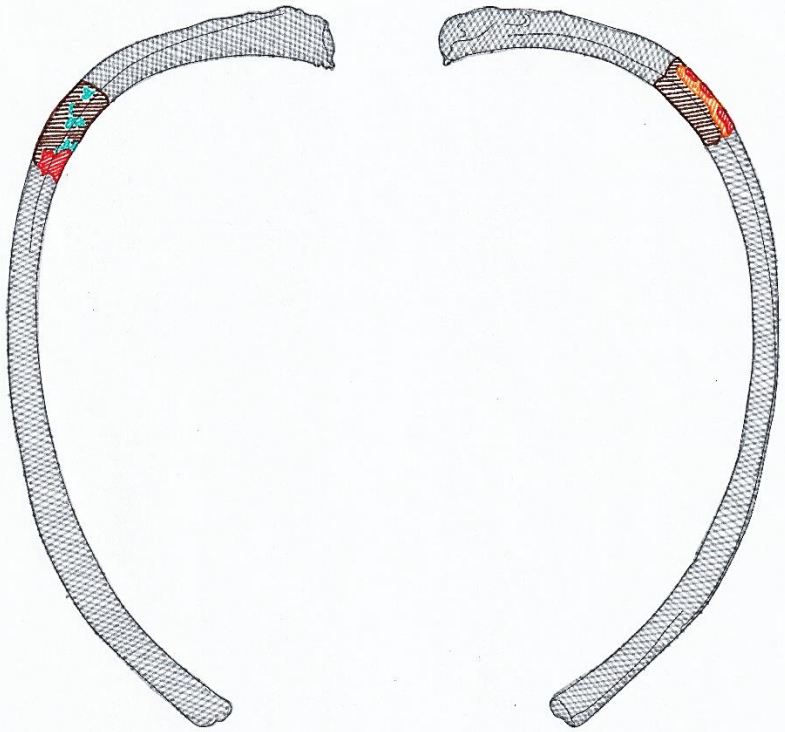
Artikulace ostatků: ANO

Typ objektu: HROB

Přítomnost kovových artefaktů: NE

superior

inferior



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 13. 7. 2021

Čtvrtý metakarp (dx)

Jedinec (ID): 16

Kultura: ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.

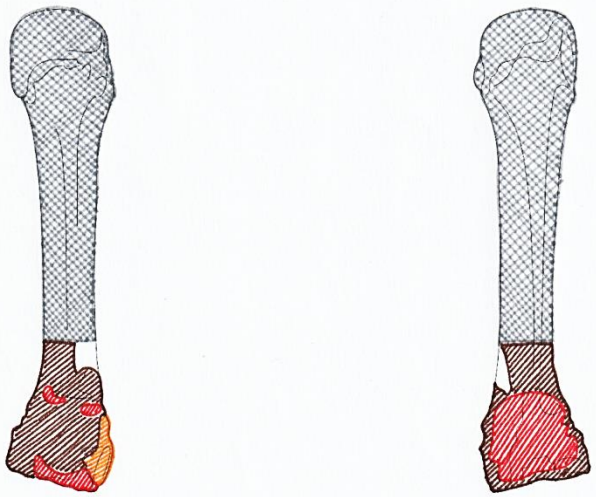
Číslo objektu: H18

Artikulace ostatků: ANO

Typ objektu: HROB

Přítomnost kovových artefaktů: NE

palmaris (anterior) | dorsalis (posterior)



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 15. 7. 2021

Kost vřetenní (sin)

Jedinec (ID)	Kultura
17	ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.
Číslo objektu	Artikulace ostatků
H20	ANO
Typ objektu	Přítomnost kovových artefaktů
HROB	NE

anterior

posterior

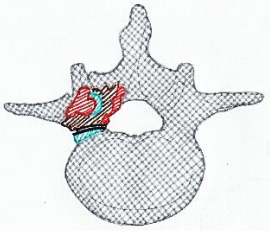
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 15. 4. 2021

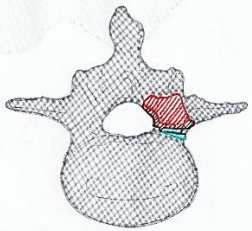
Bederní obratel

Jedinec (ID): 18	Kultura: ENEOLIT - KULT. SE ŠŇŮROVOU KERAM.
Číslo objektu: H20	Artikulace ostatků: ANO
Typ objektu: HROB	Přítomnost kovových artefaktů: NE

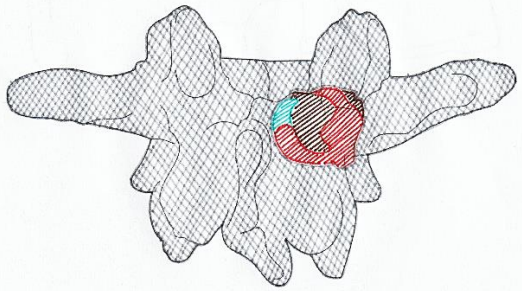
superior



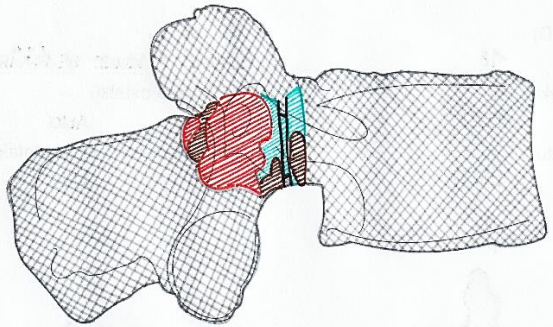
inferior



posterior



lateralis (dx)



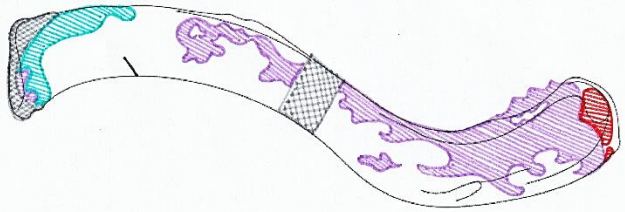
Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

Datum: 12. 7. 2021

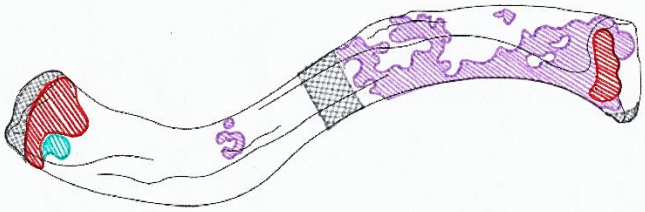
Kost klíční (dx)

Jedinec (ID) 19	Kultura DOBA BRONZOVÁ - KULT. SLEZSKOPLATĚNICKÁ
Číslo objektu 315/821	Artikulace ostatků NE
Typ objektu JÁMA	Přítomnost kovových artefaktů NE

superior



inferior



Typy periostálních změn	Vizuální projev na kostech	Znázornění v protokolech
Poškození kosti	Absence části kosti	
	Odhalená spongióza	
	Poškození subperiostu	
	Praskliny, zlomy a zářezy	Černé linky
Barevné změny	Oranžové zbarvení	
	Hnědé zbarvení	
	Zelené zbarvení	
	Černé zbarvení	
Sediment	Krusta vzniklá uložením v sedimentu	

14 RESUMÉ

In this thesis, the state of bone preservation (histological and subperiosteal preservation and degree of staining) of a set of skeletal findings dated to the Late Eneolithic and Early and Late Bronze Age was analyzed using observational methods and computer software (Weka). The preservation was evaluated according to four parameters – the type of burial object, the articulation of the remains, the localization of the sample within the body and the age of the individual. This evaluation provided unexpected results in contrast to the original expectations. Individuals from settlement pits (Early and Late Bronze Age) with very good surface preservation showed a very poor state of histological preservation. On the other hand, individuals from graves (Late Eneolithic) with a moderately preserved surface showed very good histological preservation. This discrepancy, together with the evidence from the archaeological site, eventually led us to believe that the high rate of bioerosion in the settlement pits individuals was caused by exposure to naturally occurring decomposition in the sediment without further degradation potential. Whereas for individuals from graves, an acceleration of soft tissue decomposition appears likely due to the initial burial in an open grave exposing the remains to environmental influences and scavengers. However, the low rate of reduction of skeletal material and signs of the original presence of the grave construction at grave 19 suggest the presence of a protective shelter - a mortuary house. All individuals belong to the Corded Ware Culture, were the occurrence of these constructions is not rare at all in any archaeological records of Central Europe.

The main importance of this thesis lies mainly in two aspects, on the one hand, in the attempt to introduce a more complex approach to the investigation of funeral rites. On the other hand, in the practical application

of a software tool that has the potential to be quick and accurate aid for evaluating the histological preservation of skeletal findings from an archaeological context.

Considering human complexity, both biological and behavioural, therefore it makes sense not to limit ourselves to the study of the archaeological site and the macroscopic conditions of the remains, but also the microscopic conditions, which can provide us with a number of new information that completes and refines the overall picture of postmortem events, as it was in our case. Thus, histological analysis contributes not only to the clarification of information about the specific taphonomic influences applied in individual cases, but also to the specification of the postmortem treatment of the body. In relation to the thesis, it is also important to mention that the output is not an all-encompassing analysis, but rather an introduction to further research and comparisons involving larger numbers of individuals. It would also be appropriate to properly supplement the research with the effect of the age at the time of death of the individual on the histological preservation of bones, where previous studies have not yet provided satisfactory clarification. In general, it can be said that it would be desirable to carry out a larger number of experimental studies focused not only on the forensic context, but also on the archaeological one.

Computer technology is practically an integral part of research activities used in the acquisition, processing and subsequent analysis of data nowadays, especially for its better accuracy and less susceptibility to errors. Weka (ImageJ), as a software tool using machine learning algorithms, combined with the method of scanning electron microscopy (SEM) provides a method of accurate and relatively fast evaluation of the preservation degree of thin sections. The greatest advantages of this method stand out especially when compared to the mercury intrusion porosimetry (HgIP), which is also highly accurate. From this comparison,

Weka emerges as less time-consuming and more efficient, in terms of the ability to analyse the entire area of the cross-section at once. Weka time requirement consists mainly of combining individual images from the SEM into the overall image of the thin section, which on average takes about 30 minutes depending on the number of images (for us it was 12 to 60) combined together. The only significant disadvantage of the software is the potentially greater requirements for computing power, which is conditioned by the level of resolution of the imported image. Although, future practical comparisons with other existing methods can only be considered appropriate, Weka appears to be a really useful tool for determining the degree of histological preservation of bone material in this context.