

**Západočeská univerzita v Plzni**

**Fakulta filozofická**

**Diplomová práce**

**Modifikace povrchu spálených kostí v závislosti**

**na prekremační manipulaci s ostatky:**

**experimentální studie**

**Štěpán Kunášek**

**Západočeská univerzita v Plzni**

**Fakulta filozofická**

Katedra antropologie

**Studijní program Antropologie**

**Studijní obor Antropologie populací minulosti**

**Diplomová práce**

**Modifikace povrchu spálených kostí v závislosti na  
prekremační manipulaci s ostatky:**

**experimentální studie**

**Štěpán Kunášek**

*Vedoucí práce:*

Mgr. Anna Pankowská Ph. D.

Katedra antropologie

Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni

Plzeň 2015

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

*Plzeň, listopad 2015*

.....

## Obsah:

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Kremační praktiky .....	1
1.2	Experimentální studie.....	3
<b>2</b>	<b>CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY .....</b>	<b>6</b>
2.1	Cíle práce .....	6
2.2	Hypotézy .....	6
<b>3</b>	<b>PŮSOBENÍ OHNĚ NA LIDSKÉ OSTATKY .....</b>	<b>7</b>
3.1	Hoření těla .....	7
3.1.1	Lebka .....	8
3.1.2	Trup .....	10
3.1.2.1	Teplotní gradient .....	10
3.1.2.2	Knotový efekt .....	11
3.1.3	Končetiny .....	13
3.2	Pohřby neúplně spálených těl .....	15
3.3	Působení ohně na kostní tkáň .....	16
3.3.1	Kost .....	16
3.3.2	Modifikace kostní tkáně při spalování .....	18
3.3.2.1	Dimenzionální modifikace .....	20
3.3.2.2	Modifikace Barvy .....	23
3.3.2.3	Modifikace mechanické pevnosti .....	26
3.3.3	Modifikace mikroskopické architektury kosti .....	28
3.3.4	Modifikace histologické struktury kosti .....	29
3.3.5	Modifikace krystalické struktury kosti .....	29
3.3.6	Praskání a lámání kostí při kremaci .....	30
3.4	Zachovalost jednotlivých částí skeletu .....	32

3.4.1	Lebka .....	34
3.4.2	Trup .....	34
3.4.3	Končetiny .....	35
<b>4</b>	<b>MATERIÁL .....</b>	<b>37</b>
4.1	Vstupní materiál pro experimentální kremaci .....	37
4.2	Materiál pro hodnocení fraktur na spálených kostech .....	40
<b>5</b>	<b>METODY .....</b>	<b>41</b>
5.1	Experimentální pálení zvířecích kostí .....	41
5.1.1	Experiment č. 1 .....	41
5.1.2	Experiment č. 2 .....	46
5.1.3	Experiment č. 3 .....	47
5.2	Fragmentace kostního materiálu .....	48
5.3	Vizuální prospekce spálených fragmentů kosti .....	48
5.3.1	Prekremační stav kosti .....	48
5.3.2	Určení tvaru kosti .....	48
5.3.3	Barva povrchu kosti .....	49
5.3.4	Typ prasklin na povrchu kosti .....	50
5.3.4.1	Zkřivené praskliny .....	50
5.3.4.2	Lineární praskliny .....	51
5.3.4.3	Eliptické praskliny .....	52
5.3.4.4	Krátké kolmé praskliny .....	53
5.3.4.5	Síťová struktura prasklin .....	54
5.4	Statistické metody .....	55
<b>6</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>56</b>
6.1	Experimentální pálení zvířecích kostí .....	56
6.2	Hodnocení fragmentace .....	59

<b>6.3 Hodnocení modifikace povrchu kosti .....</b>	<b>63</b>
6.3.1 Distribuce prasklin v závislosti na prekremačním stavu .....	63
6.3.2 Modifikace barvy.....	66
6.3.3 Distribuce prasklin u jednotlivých tvarů kosti v závislosti na prekremačním stavu kosti.....	68
<b>7 DISKUZE .....</b>	<b>73</b>
<b>8 ZÁVĚR .....</b>	<b>78</b>
<b>9 PODĚKOVÁNÍ:.....</b>	<b>79</b>
<b>10 SEZNAM LITERATURY .....</b>	<b>80</b>
<b>11 RESUME .....</b>	<b>87</b>

## 1 ÚVOD

Předkládaná práce se věnuje tzv. prekremační tafonomii kosterního materiálu, tj. období, které předchází samotnému žehu. Hlavní důraz je kladen na modifikaci povrchu spálených kostí. Z archeologické i forenzní praxe vyplývá, že znalost tohoto faktoru je velmi důležitou součástí při rekonstrukci událostí, které předcházely celému procesu pálení (Baby 1966; Bontrager and Nawrocki 2015; Kuhl 1987; Lyman 1994; Thompson 2004b; Thurman and Willmore 1982; Ubelaker 1991).

### 1.1 Kremační praktiky

Kromě tradičních představ o žárovém pohřebním ritu, u kterého se předpokládá pálení mrtvých bez předchozí zásadní manipulace s tělem a jeho měkkou tkání (Weitzel and McKenzie 2015), je možné se v literatuře setkat s případy, kde tomu tak pravděpodobně nebylo. Jednu z netradičních rituálních praktik indikují nálezy kosterních pozůstatků kanadských arktických skupin, pocházejících z lokality Saunaktuk. Pozůstalí zde zřejmě zemřelého zbavili měkkých tkání a teprve takto upravenou kostru vystavili kremaci (Walker 2001). Z etnografické studie z počátku 20. století kultury Khasis v oblasti Meghalaya v Indii, je popisován sofistikovaný způsob přípravy před kremací zemřelého (Gurdon 1914). Pozůstalí uloží mrtvého do rakve přepůleného vydlabaného kmene. Rakev napustí lihem (alkoholem) a po tři dny nechají tuto látku působit. Když je obsah rakve vypuštěn předem připraveným otvorem ve spodní části kmene, který do té doby uzavírá dřevěný špunt, tělo umyjí vodou a nechají tělo vysušit. Následně tělo v rakvi naloží do šťávy z čerstvého citrusového ovoce a tak ho mumifikují. Teprve takto připravenou mrtvolu spálí. Někdy, když nemají dostatek prostředků na kremaci, nechávají si mumifikovaného zemřelého uloženého v rakvi ve svém obydlí (Kuhl 1987). Tento proces tak může trvat i několik let.

Jiný způsob prekremačního chování předpokládala během svého výzkumu Joanne Curtin na přibližně 2500 let staré lokalitě zvané Gabriola Island na severozápadním pobřeží Britské Kolumbie v Kanadě (Curtin 2008). Pozůstalí v této oblasti měli mimo jiné sekundárně zasáhnout do hrobové jámy, vyjmout části dekomponovaného těla, ty spálit a poté opět uložit. I přestože se jí tento předpoklad po analýze dat nepotvrdil, zasáhla do dalšího uvažování nad možnými příklady prozatím ojedinělých pohřebních praktik.

Z evropského pravěku je v literatuře diskutován další možný model funerálního chování, který odporuje běžnému nakládání s mrtvými při kremačním rituálu a to velmi podobný tomu, o kterém se zmiňovala J. Curtin (2008) ve své práci. V srbské lokalitě Vlasac, nedaleko mnohem známější mezolitické stanice Lepenski Vir, autoři výzkumu interpretují některé tamní pohřby jako žárový ritus „in situ“ tedy, že jedinec byl nejdříve inhumován a později po dekompozici měkkých tkání, byly již suché kosterní pozůstatky pohřbeného jedince odkryty a následně spáleny a buď, jak napovídá termín kremace „in situ“, ponechány v primární hrobové jámě, nebo byly v některých případech pro tyto spálené fragmenty hloubeny jamky nové, v těsné blízkosti původního uložení (Boric et al. 2009). I u těchto příkladů autoři upozorňují na fakt, že se nejednalo o všechny pochované na daném pohřebišti.

Předpoklad kremace suchých kostí byl také zaznamenán v dnešním Řecku z období 4. st. před Kristem (Bartsiokas 2000). Královská hrobová komora uložena pod majestátní mohylou ve Vergině byla zkoumána ve více případech (Musgrave et al. 2010). Doposud nebylo s jistotou určenou, kdo je v ní vlastně pochován. Vznikla tak táhlá diskuze mezi kolektivem badatelů okolo Antonise Bartsiokase (2000), který zastává názor, že muž pohřbený ve Vergině je král Filip III. Arrhidaios a až jeho suché kosterní pozůstatky byly vystaveny žehu. Na rozdíl od Jonathana Musgrava a jeho týmu výzkumných pracovníků, kteří jsou přesvědčení, že lidské ostatky uložené pod mohylou náleží Filipu II.



otci Alexandra Makedonského (Musgrave et al. 2010) a zcela odmítá hypotézu o kremaci kosterních pozůstatků v suchém stádiu.

V oblasti forenzní antropologie je mimo jiné publikován případ sériového vraha z Fox Hollow farm v severní Indianě (Baker 2004). V areálu rozsáhlé usedlosti u města Westfield bylo zajištěno velké množství lidských kosterních fragmentů v různé fázi přepálení. Pachatel, majitel farmy, se krátce po svém zatčení uchýlil k sebevraždě, takže nemohl být podroben důkladnému výslechu, který by pomohl objasnit okolnosti jeho násilných činů. Prokazatelně se ovšem zavražděných jedinců zbavoval kremací jejich těl. Ze zjištěných okolností případu vyplivalo, že minimálně v jednom případě spálil svou oběť až po dekompozici měkkých tkání, pravděpodobně již suchých kostí. Vlivem postdepozičních procesů, zahrnující i destruktivní zásahy dravé zvěře, byl odhad prekremačního stavu všech fragmentů velice obtížný (Bontrager and Nawrocki 2015). Nebylo tedy možné zcela prokázat, že takto nejednal ve více případech.

## **1.2 Experimentální studie**

Velký potenciál ve studiu tafonomie spálených pozůstatků mají experimentální studie. Ty je možné registrovat již od poloviny minulého století a jejich přínos je nesmírný. Díky těmto pracím mohla být stanovena a dále modifikována metodologie studia spálených ostatků (Gonçalves et al. 2011; Whyte 2001). Z počátku byla většina expertíz z různých geografických destinací založena na samostatných nezávislých výzkumech, které nebyly komparovány s výsledky ostatních autorů, i přesto, že v zásadních bodech jejich výzkumů docházelo k minimálním rozdílům (Thompson et al. 2009). Teprve později došlo ke vzájemné koordinaci a ujednocování jednotlivých stanovisek (Schmidt and Symes 2011). Byl sledován vliv vysokého žáru a doba jeho expozice na zevní morfologii, vnitřní strukturu, barvu, fyzikální a chemické vlastnosti kostní tkáně (Gilchrist and Mytum 1986) a dalších pozorovatelných proměnných.

Pro systematické studium problematiky žárem alterovaných lidských pozůstatků jsou nejjednodušeji pozorované znaky spálených kostí ty, které se projevují na morfologii povrchu kosti. Jsou to ty proměnné, které je možné pozorovat pouhým okem. Jedná se především o typ lomů a zbarvení jednotlivých fragmentů.

Téměř všechny experimentální studie, které se věnovaly tafonomii spálených kostí, cílily svou pozornost právě na tyto vlastnosti (např. Baby 1966; Binford 1963; Mays 1998; Parker 1985; Shipman et al. 1984; Thompson 2004b; Van Vark 1974; Whyte 2001).

V této souvislosti lze vyzpozorovat, že určitá část autorů dospěla k závěrům, které představují přímou souvislost vybraných znaků na přepálených fragmentech kostí s prekremačním stadiem spalovaných kostí. Typickým znakem pro pálení čerstvých kostí s měkkou tkání, který se na kostech pálených v suchém stavu nevyskytuje, je například podle Binforda (1963) výskyt eliptických prasklin (*thumbnail fractures*). Ke stejným výsledkům dospěli i další badatelé (Baby 1966; Van Vark 1974). Naproti tomu Gonçalves a jeho kolektiv (2011) tuto hypotézu nepodporují. Dalším ukazatelem, který má jednoznačně evokovat čerstvou kostní tkáň v průběhu spalování jsou vícečetně zkřivené praskliny, vznikající při kroucení kosti (*bone warping*) vlivem žáru (Baby 1966; Binford 1963; Shipman et al. 1984; Thompson 2004b). V opozici k těmto závěrům stojí třeba práce J. E. Buikstry a M. Swegle (1989), ale i dalších (Gonçalves et al. 2011; Parker 1985; Whyte 2001).

Obecně lze konstatovat, že při interpretacích jednotlivých nálezových situací, můžeme sledovat trend hodnocení znaků na základě lomů fragmentů tak, že u předpokladu pálení čerstvých kostí s měkkou tkání, ale také i bez ní, jsou lomy více zkřivené a nepravidelné (např. Keough et al. 2015; Ubelaker 2009), kdežto u kostí pálených v suchém stavu dochází k prasklinám podlouhlého a pravidelného charakteru (Gonçalves et al. 2011; Van Vark 1974; Whyte 2001).

Nekonzistentnost ve výsledcích jednotlivých studií nastoluje otázku, do jaké míry jsou tyto obecné závěry akceptovatelné a zda existují jednoznačně definovatelné znaky pozorovatelné na povrchu spálené kosti, které by implikovaly její prekremační stav.

## **2 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY**

### **2.1 Cíle práce**

Cílem práce je zjistit, zda lze na spálených kostech pozorovat původní přítomnost měkkých tkání na kosti. Pomocí experimentu budu sledovat změny modifikace povrchu spálených kostí u vzorků prasečích kostí s měkkými tkáněmi a suchých kostí. Otázkou je, zda lze rekonstruovat tzv. prekremační manipulaci s lidskými ostatky u minulých populací.

### **2.2 Hypotézy**

Hlavní hypotéza zní, že charakter modifikace povrchu kostí bude indikovat stav kosti před kremací. V souvislosti s hlavní hypotézou předpokládáme, že prekremační stav lze rekonstruovat na základě typu prasklin. Barva kosti po kremaci se bude lišit mezi kostmi pálenými v čerstvém stavu s měkkými tkáněmi a kostmi pálenými v suchém stavu. Tvar kosti ovlivňuje distribuci prasklin v závislosti na prekremačním stavu a fragmentace kosterního materiálu bude rozdílná u kostí pálených v čerstvém stavu s měkkými tkáněmi a u kostí pálených ve stavu suchém.

### 3 PŮSOBENÍ OHNĚ NA LIDSKÉ OSTATKY

#### 3.1 Hoření těla

Proces kremace lidského těla se zásadně odvíjí od jeho složení (Prokeš 2007). U každého jedince tak můžeme očekávat odlišný průběh kremace. Pro základní představu lze využít čtyřkomponentní schéma, které využívá nutriční antropologie (Brožek 1966):

$$W = A + P + F + M$$

W představuje v tomto vzorci hmotnost těla, A značí hmotnost vody, P je hmotnost proteinů, F je hmotnost tuku a M je hmotností minerální složky. Minerální složku lze ještě dělit na kostní  $M_O$  a zbytkovou  $M_R$  minerální složku. J. Brožek (1965) ve svém příspěvku k dané problematice představuje složení tzv. referenčního těla, které tvoří poměr hmotnosti jednotlivé komponenty a absolutní hmotnosti jedince (A: 624,3 g/kg hmotnosti těla, P: 164,4 g/kg hmotnosti těla, F: 153,1 g/kg hmotnosti těla,  $M_O$ : 47,7 g/kg hmotnosti těla,  $M_R$ : 10,5 g/kg hmotnosti těla). Zmíněné komponenty hrají nejvýznamnější roli při kremaci těla (Prokeš 2007).

Přeměna vody z jejího kapalného skupenství na plynné, neboli její odpařování je endotermní reakcí. Tedy reakcí, při které se tepelná energie spotřebovává, tento proces je zodpovědný za charakteristické syčení při spalování měkkých tkání. Na rozdíl od odpařování vody je spalování bílkovin a tuků na oxid uhličitý ( $CO_2$ ), kondenzovaný dusík ( $N_2$ ) a vodu ( $H_2O$ ), jež obsahují měkké tkáně, reakcí exotermní, při níž právě tepelná energie vzniká a podporuje tak další hoření (Murty and Paul 1995; Prokeš 2007).

Chemické změny měkkých tkání podmíněné činností vysokého žáru nebyly doposud systematicky zkoumány. V literatuře je však možné se setkat s předpoklady, že působením vysoké teploty na měkké tkáně

vznikají sloučeniny typu pyrolu, pyrazinu, piperazinu a imidazolu pyrolýzou proteinů těla (Dokládal 1999). Deriváty pyrolu byly například zjištěny na některých mumiích, pocházejících z egyptské staré říše. Pravděpodobně v souvislosti s technologií mumifikace využívající sušení těla nad ohněm (Kaup and Weser 2000).

### 3.1.1 Lebka

U kremací v moderních pecích, kdy na tělo intenzivně působí vysoké teploty, často dochází k rychlé dehydrataci a karbonizaci měkkých tkání hlavy (Prokeš 2007). U experimentálního pálení lidských těl zaznamenal Bohnert et al (1998) shoření měkkých tkání na lebce již po 20 minutách působení teploty okolo 800 °C. Mozek v neotevřené lebce vydrží prakticky zachován beze změny asi až do teploty 400 °C – 500 °C. Postupně však narůstá tlak v lebeční dutině, který zapříčiňuje odpařování vody a oxidu uhličitého z rozkládajících se bílkovin mozkové tkáně. V okamžiku kdy je dosaženo teploty nad 700 °C se vnější a vnitřní tlaky, působící na lebku vyrovnávají (Pope and Smith 2004). V literatuře jsou popsány dva způsoby, jak k tomu dochází (Pope and Smith 2004; Schmidt and Symes 2011; Wahl 1981)

Prvním z nich je roztržení lebky náhlou explozí. Ta může vzniknout na více místech najednou, na lebce jsou tak patrné velké trhliny, ale svůj tvar si víceméně drží. V extrémních případech dochází k explozi a úplnému roztrhnutí lebeční klenby, nejčastěji v místě styku lebečního švu lamdového (*sutura lambdoidea*) a švu šípového (*sutura sagittalis*) (Pope – Smith 2004). Čelní kost praská při působení žáru velmi často v oblasti její šupiny (*squama ossis frontalis*) a téměř vždy napříč její sagitální rovinou. V místě z pravidla obliterovaného švu kosti čelní (*sutura frontalis*), kde by se mohlo rozevření nejvíc očekávat, k tomu prakticky nedochází a lomy jsou na těchto místech zcela nezávislé (Dokládal 1999) Současně pak také praskají *lamina externa* a *lamina interna*, tedy plochy tvořené kompaktní strukturou kosti ostatních kostí klenby lebeční. Na

rozsáhlých plochách se poté oddělují od *diploe* (Pope and Smith 2004). Vnější stěna lebeční klenby je vystavena vysokému žáru, zatímco stěna vnitřní je ochlazována mozkovou tkání, která obsahuje vysoký podíl vody, asi 80% své hmotnosti (Tab. 1). Důsledkem toho může být preformace lebeční stěny a vyhřeznutí mozku, jehož hmota se pod vlivem vysokých teplot rozpíná (Pope – Smith 2004). Ne vždy ovšem dochází k jeho vyhřeznutí. V případě, který zaznamenal Bohnert et al (1998) při experimentu v moderním krematoriu se po 40 minutách spalování při 800 °C, kalva oddělila a bylo možné pozorovat scvrklý a na povrchu do černa zbarvený mozek.

Druhý způsob je ten, kdy lebka zůstává v celku a neexploduje náhle jako v prvním případě, ale postupně se přepalují vnější části měkkých tkání, až dojde k plynulému rozevření lebky vlivem odlupování a kroucení vnějších lamin lebečních kostí. Tento jev se vysvětluje tak, že přetlak vzniklý dehydratací mozkové tkáně a následným odpařováním není tak intenzivní a je schopen unikat přirozenými otvory v lebce, aniž by si vytvářel otvory nové (Wahl 1981).

Závěrečná fáze rozpadu lebky a její konečný rozpad je způsoben vzniklými prasklinami a malou mechanickou pevností pálených kostí. U kremací, známých z archeologické evidence, nelze vyloučit, že lebka mohla zůstat dlouhodobě zachována v celku, neboť se předpokládá nerovnoměrné působení tepla na spalované kosti, které se odvíjí od kontextu spalování. Zásadní vliv tak má přístup kyslíku, použité palivo a panující počasí a vnější zásahy pozůstalých, jejich rituální praktiky, nebo zcela pragmatické záležitosti. Jednou takovou záležitostí může být rozbíjení lebky v průběhu kremace, během etnografického pozorování současných kremací v Indii. Tento úkon má zabránit její explozi (Prokeš 2007). Vliv na absolutní destrukci lebky při spalování má také robusticita jednotlivých lebečních kostí, dále celkový čas spalování a výška teploty, která je během kremace dosažena (Dokládal 1999).

### 3.1.2 Trup

Při studiu působení ohně na trup lidského těla je nutné brát zřetel na významnou roli obsahu vody ve vnitřnostech, která je stejně jako u mozku zastoupena zhruba z 70% až 80% váhy jednotlivých orgánů (Tab. 1). Právě vysoký obsah vody indikuje vznik gradientu teploty (Prokeš 2007). Dalším faktorem, který významně ovlivňuje průběh spalování trupu je množství podkožního tuku. Ten je hlavní příčinou vzniku knotového efektu (Benecke 1998).

Tabulka 1. Obsah vody v lidské tkáni (Homolka 1971). Převzato z (Prokeš 2007)

Tkáň	Obsah vody (hm. %)
kostra	22
tuková tkáň	30
kůže	70
svalstvo	75
mícha	70
bílá hmota mozková	70
šedá hmota mozková	86
krev	80
játra	70
ledviny	83
plíce	79
srdce	79

#### 3.1.2.1 Teplotní gradient

Gradient teploty je jev, při kterém teplota působící na stejný objekt kolísá v jeho jednotlivých částech v závislosti na různých podmínkách a působí tak nerovnoměrně (Prokeš 2007). V případě spalování lidských ostatků se tento termín užívá, když vysoká intenzita žehu působící na vnější část těla nepronikne do břišní dutiny. Vysoký obsah vody v orgánech zabraňuje jejich spálení (tab. 1). Tak je možné ve forenzních případech zaznamenat u silně ohořelých mrtvol vcelku dobře zachovalé



vnitřnosti např. žaludek, játra, močový měchýř, dělohu a srdce i přesto, že vnější část těla podlehla absolutní destrukci (Benecke 1998).

Důsledek vzniku teplotního gradientu je patný nejvíce v případech, kdy velmi intenzivně působí vysoká teplota na spalované tělo, ale pouze během krátkého časového úseku (Benecke 1998). Jeho efekt byl velmi dobře pozorován především v moderních krematoriích, kde po krátkém čase dochází k zuhelnatění vnější měkké tkáně, kdežto v prostoru hrudního koše je stále patrné syrové maso a orgány. Tento jev pozoroval i Bohnert et al (1998). Během jeho pozorování kremace lidského těla se již po 20 minutách nacházely měkké tkáně končetin v zcela kalcinované podobě, kdežto z břišní dutiny se stále ještě v místech prohořelých mezižebních svalů stále odpařovaly břišní tekutiny. Po delším průběhu se ale žebra odpojila od hrudní kosti a tak byl obsah dutin vystaven přímému kontaktu s ohněm, který již vnitřnosti v následujícím průběhu kremace zcela destruoval (Bohnert et al. 1998).

Při pokračování spalování lidského trupu bylo pozorováno, že se žeberní kosti oddělí od hrudní kosti a vždy se mírně rozestoupí do laterálních směrů a otevře se tak přístup ohně do hrudní a břišní dutiny (Benecke 1998). Pánevní kost se v místě *facies symphysialis* rozdělí a také mírně rozevře a pokud teplota nadále na spalované tělo působí, pokračuje tak spalování měkkých tkání dokud nedojde k jejich absolutnímu zpopelnění (Bohnert et al. 1998; Prokeš 2007).

### **3.1.2.2 Knotový efekt**

Teorie knotového efektu (*multiple wick theory*) je založena na případech shoření těla, kde byl zřejmý předpoklad absence stálého zdroje hoření. Tedy v případech, kdy je spalování iniciováno pouze menším množstvím paliva. Murty a Paul (1995) uvádí, že k tomu, aby se spustilo hoření těla na základě knotového efektu, stačí i zapálení dostatečného množství vlasů, které jsou na rozdíl od kůže a dalších měkkých tkání

vysoce hořlavé. Převážně se však v literatuře můžeme setkat spíše s názory, že je nutný jiný zdroj např. malé množství hořlavé kapaliny (Benecke 1998; DeHaan and Nurbakhsh 2001; Murty and Paul 1995). Po počátečním zažehnutí, se ale rychle spotřebuje a pro další zásobování ohně energií je nedostačující. V takových případech je hlavním mechanismem destrukce těla právě knotový efekt. Tento jev je vysvětlována faktem, že v případech uhoření jedince bylo vždy upřednostněno spálení těch částí těla, které mají dostatečné množství podkožního tuku, a byly pokryty oděvem. Proto, aby samotná prezenze tuku zásobovala proces hoření, je tedy nutné, aby byly tyto partie pokryty oděvem nebo nějakou jinou tkaninou. Zkapalněný podkožní tuk se tak vsakuje do tkaniny, nebo jakékoli jiné textilní látky a funguje jako knot u svíce (např. Benecke 1998).

V experimentální studii, prováděné na čerstvě zabitém praseti obaleném do bavlněné tkaniny, bylo prokázáno, že k iniciaci hoření a následného knotového efektu stačil pouze 1l benzínu. Za přítomnosti dostatečného množství tělesného tuku a porézního tuhého uhlíkatého materiálu bylo tělo zvířete spáleno během několika minut (DeHaan and Nurbakhsh 2001). Už při zuhelnatění kůže jsou organické látky spáleny a orgány pod pokožkou jsou lomivé a evokují vaření (Prokeš 2007).

Kůže samovolně praská a při nepatrném násilí či manipulaci s mrtvolou puká i břišní stěna (Benecke 1998). Pro nejnižší teplotu nutnou k zapálení podkožního tuku se v literatuře uvádí hodnota přibližně 250 °C, ale textilní knot hoří, i když teplota klesne na 24 °C (např. Murty and Paul 1995). Ve chvíli kdy již nepůsobí žádný jiný zdroj tepla, pokračuje hoření jako pomalý pasivní jev (DeHaan and Nurbakhsh 2001). Tímto mechanismem je vysvětlován fenomén „samovznícení“ a následné spontánní uhoření, které se občas objevuje i v beletrii (Prokeš 2007).

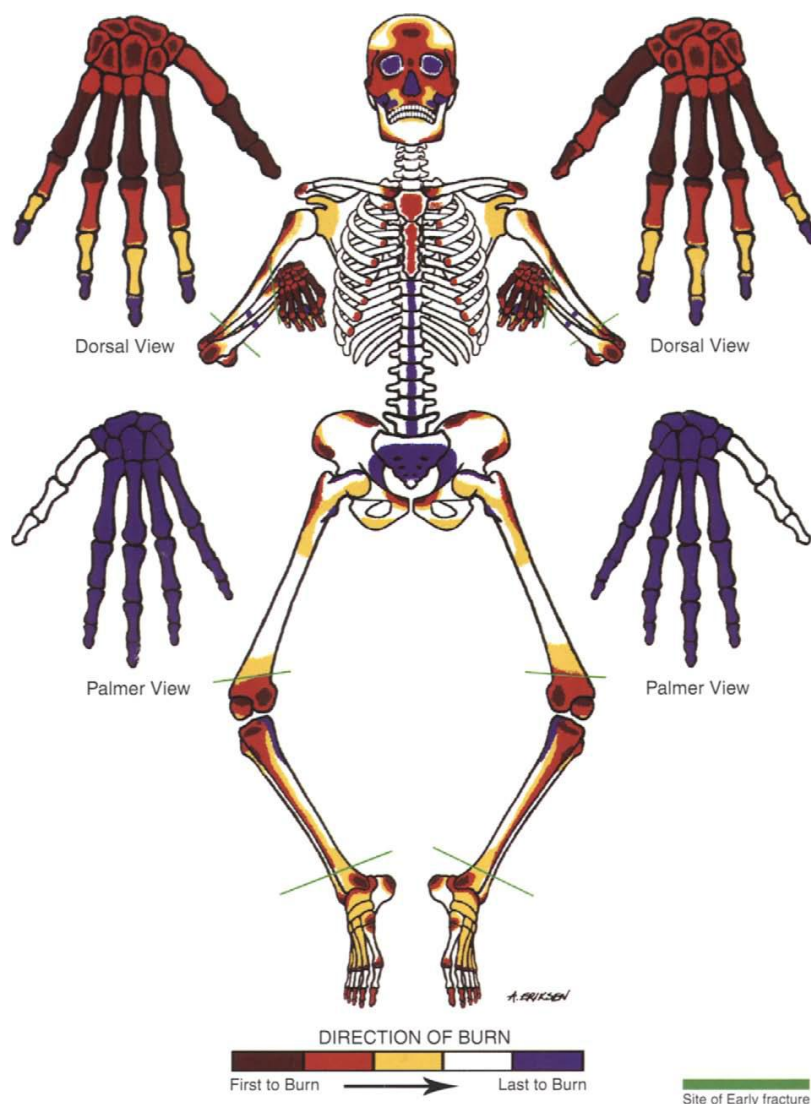
V důsledku může knotový efekt způsobit rychlejší průběh spalování těla a tedy rozsáhlejší poškození kosterního materiálu u jedinců s větší

mírou tělesného tuku, tedy obézních, než u jedinců rachitických. Tento jev byl například pozorován při spalování velice tělesně slabých jedinců zemřelých na tuberkulózu v kontrastu s tučnými jedinci v moderních krematoriích (Prokeš 2007).

### 3.1.3 Končetiny

Vzhledem k předchozím kapitolám je evidentní, že průběh hoření končetin, jako periferních částí těla s absencí orgánů, obsahující velké množství vody, bude v jisté opozici k hlavě a trupu. I přesto je možné v souvislosti s popisem průběhu hoření končetin zmínit jev, který může do jisté míry přiblížit charakter průběhu žehu.

V případě, že působení ohně není natolik destruktivní, že se ze spáleného jedince nedochovají pouze fragmenty, je možné pozorovat tzv. boxerskou pozici (Obr. 1). Tato pozice těla je charakterizována tak, že horní končetiny jsou ohnuté v loktech a v zápěstích, ale někdy také natěsno přitaženy k tělu. Dolní končetiny jsou rovněž mírně ohnuty v kyčelních kloubech, za což mají zodpovědnost kontrakce mohutnějších flexorů, které mají jistou převahu na extenzory (např. Schmidt and Symes 2011). Pro dokreslení celé situace tzv. boxerské pozice je třeba ještě zmínit i polohu zbytku těla. Tím, že dojde ke smrštění zádového a šíjového svalstva, tak se hlava lehce zakloní a hrudník má tendenci se vypínat vpřed. Tato pozice je známa z mnoha forezních případů (McKinley 2000; Schmidt and Symes 2011), ale také například u jedince, který byl archeologicky exkavován po katastrofickém zániku v Pompejích (Prokeš 2007).



Obr. 1. Průběh hoření u tzv. boxerské pozice ve forenzním kontextu.  
Převzato od Schmidt and Symes (2011)

Mrtví jedinci bývají často ukládáni do nějaké schránky, ve které jsou spáleni, anebo pouze na hranici s rukama sepjatýma nad břichem. V důsledku dehydratace měkkých tkání a vlivem vysoké teploty se smršťují svaly a šlachy, které tak pomalu zvedají paži v ramenním kloubu, někdy až nad hlavu (Prokeš 2007). V některých případech se paže ohýbají i v lokti (viz boxerská pozice). V dalším postupu se od horní končetiny oddělují prstní články a posléze i metakarpy, částečně již podélně popraskané a nakonec kosti zápěstí (Obr. 1). Pokud se vlivem spalování oddělí celá horní paže, rozpadá se stejným způsobem v závislosti na

epicentru tepelného zdroje. Často však zůstává *humerus* v ramenním kloubu a kosti předloktí se oddělí, až když už nejsou zachovány žádné ze svalů a šlach, které by bránily jejich destrukci. Hoření a rozpad dolní končetiny probíhá, v závislosti na kontextu kremace, v podobném sledu událostí, dokud nezůstává pouze *femur* připojen v kyčelním kloubu (Prokeš 2007).

### 3.2 Pohřby neúplně spálených těl

S pohřby neúplných těl, jevících známky spálení je možné se setkat nejen ve forenzní praxi, ale také i v archeologickém kontextu (Dokládal 1999). Rozdílné stupně žehu, působící na lidské tělo je běžně klasifikováno podle Crow – Glassmanovy stupnice z roku 1996, která je přebírána dalšími autory (např. Schmidt and Symes 2008, Prokeš 2007; Dokládal 1999).

**CGS 1** - Pokud destrukce těla odpovídá spíše působením kouře a stopy ohně se nijak neprojeví na skeletu.

**CGS 2** - Na těle jsou evidentní stopy působení různého stupně žehu na jednotlivé partie. Mohou také chybět některé části končetin.

**CGS 3** - Absence převážné části končetin. Hlava je přítomna, ale je výrazně destruována žehem.

**CGS 4** - Rozsáhlé poškození ohněm. Některé části končetin mohou být připojeny k trupu. Hlava je silně fragmentována a oddělena od těla.

**CGS 5** - Kremace. Pozůstatky jsou vysoce fragmentované neúplné a roztroušené.

### 3.3 Působení ohně na kostní tkáň

#### 3.3.1 Kost

Kost je tvrdou pojivovou tkání, zajišťující oporu měkkých tkání, ale také chrání některé orgány, s životně důležitými funkcemi. V dutinách kostí se nachází kostní dřev, která je zodpovědná za krvetvorbu (Čihák 2001).

Kostní tkáň se rozděluje na dva typy: primární kost a sekundární kost. Je možné také uvádět vláknitá a lamelózní kost (Čihák 2001; Junqueira et al. 1999; White et al. 2011). U zdravých dospělých jedinců je primární kost nahrazována sekundární kostní tkání. Podle anatomického tvaru dělíme kost na tři základní skupiny: dlouhé kosti, krátké a ploché kosti. K těmto základním tvarovým skupinám se ještě přidávají nepravidelné a pneumatizované kosti (Čihák 2001; White et al. 2011). Dlouhé kosti se skládají z těla (diafýza), proximální a distální části (epifýzy). Dlouhé kosti jsou tvořeny především hutnou kostní tkání (*substantia compacta*), pouze na vnitřním povrchu distálních a proximálních částí kosti se vyskytuje trámčina (*substantia spongiosa*), ale i ta je obalená kompaktní kostí (Čihák 2001). Krátké kosti tvoří převážně trámčitá kostní tkáň, která je pokryta vrstvou kosti kompaktní. Ploché kosti lebeční klenby tvoří lebeční trámčina (*diploe*), kterou obklopují dvě lamely z kompaktní kosti (*lamina externa; lamina interna*) (Čihák 2001). Molekulární i buněčné složení kompaktní i trámčité kostní tkáně je identické (Junqueira et al. 1999). V oblastech kloubního spojení se vyskytuje subchondrální kost, kterou pokrývá chrupavka. Vnější i vnitřní povrch kosti, pokrývá vrstva osteogenních buněk a vaziva, známé jako periost (vnější vrstva) a endost (vnitřní vrstva). Obě tyto tkáně obsahují buňky, zodpovědné za tvorbu a remodelaci kostní tkáně (Junqueira et al. 1999; White et al. 2011).

Hutná kostní tkáň se skládá z lamel, které koncentricky obklopují kanálek s krevními cévami, nervy a řídkým vazivem. Tato struktura kostní tkáně je nazývána Haversův systém (Osteon). Jsou známy tři typy lamelózní kosti: Haversovy systémy, obvodové lamely (vnější a vnitřní) a vmezeřené (intersticiální) lamely (White et al. 2011). Trámčitou kostní tkáň tvoří lamelózní trámečky kostí, propojené do prostorové sítě. Struktura a směrové rozložení trámeček jsou ovlivněna mechanickou zátěží, jež působí na kost, v závislosti na převaze tlaku v určitém směru. Organizované trámečky tvoří kostní trajektorii (Čihák 2001; Junqueira et al. 1999). Změny kostních trámců v trajektorii se označují jako architektura spongiózní kosti. Ta se v průběhu života jedince stále remodeluje a reaguje tak na impulzy vyvíjené tlakem a tahem, které na kost působí v průběhu života jedince (Junqueira et al. 1999; White et al. 2011).

V kostní tkáni jsou obsaženy tři typy kostních buněk: osteoblast, osteofyt a osteoklast. Osteoblasty syntetizují nezápenatělé prekursory základní hmoty, kterou jsou postupně obkloповány. Ve chvíli, kdy je tento proces dokončen a osteoblast je zcela pohlcen novotvořenou kostní matrix, transformuje se na osteocyt. Osteocyty se nachází v lakunách, umístěných mezi lamelami kostní matrix. Neprodukují již kostní hmotu, ale spolupodílí se na procesu uvolňování minerálů a pomáhají tak regulovat hladinu vápníku v tělních tekutinách. Osteoklasty jsou mnohjaderné buňky, které odbourávají a pohlcují přebytečnou kostní tkáň při procesu remodelace kosti (Čihák 2001).

Kostní matrix tvoří dvě základní složky: organická složka a anorganická složka. Organická složka zajišťuje elasticitu kostní tkáně, na druhé straně pevnost a tvrdost dodává kosti složka anorganická (White et al. 2011). Poměr těchto dvou komponent se mění v průběhu života jedince. Čím je organismus starší, tím se navyšuje poměr anorganické složky. U dospělého člověka dosahuje až 60% (Čihák 2001; White et al. 2011). Organická komponenta kostní matrix je tvořena převážně

kolagenem typu I a amorfní základní hmotou, obsahující proteiny, glykoproteiny, mukopolysacharidy, glykogeny, enzymy a metabolity. Anorganická složka se skládá především z vápníku a fosforu, jež spolu tvoří krystaly hydroxyapatitu. Anorganická složka dále obsahuje hydrogenkarbonát, citrát, hořčík, draslík, sodík, amorfní fosforečnan vápenatý. Ionty hydroxyapatitu tvoří hydratační vrstvu (Thompson 2004a; Wells 1960; White et al. 2011).

### **3.3.2 Modifikace kostní tkáně při spalování**

Kostní tkáň v průběhu spalování prochází chemickými, fyzikálními a strukturálními změnami. Změny jsou patrné na makroskopické i mikroskopické úrovni (např. Thompson 2005). Transformace tvrdé tkáně při spalování zahrnují změny barvy, změny mechanické pevnosti, dimenzionální změny, praskání a lomivost kostí (např. Schmidt and Symes 2011; Ubelaker 2009).

V rámci studia působení žehu na kostní tkáň byly stanoveny čtyři stádia transformace, kterými kost během spalování prochází (Tab. 2).



Tabulka 2. Stádia transformace v průběhu kremace kosti (Thomson 2004)

Stádium transformace	Projev na tkáni	Teplota (°C)
Dehydratace	vznik prasklin, ztráta hmotnosti	100 – 600
Dekompozice	změna barvy, ztráta hmotnosti, snížení mechanické pevnosti, změna porozity	300 – 800
Inverze	zvětšení rozměrů krystalů	500 – 1000
Fúze	vrůst mechanické pevnosti, redukce velikosti, zvětšení rozměru krystalů, změny porozity	> 700

Při dehydrataci dochází k porušování vazeb hydroxylových skupin a vypařuje se veškerá voda z kosti. Ve fázi dekompozice kostní tkáň ztrácí pyrolýzou organické složky. V rámci inverze kost ztrácí uhličitany a krystalické struktury hydroxyapatitu na whilockit ( $\beta$  – trikalciumfosfát). Ve stádiu fúze se krystaly kostní matrix roztaví a postupně sloučí (Correia 1997). Stanovené kategorie od sebe nelze výlučně oddělit, prostupují v kontinuitě a navzájem se prolínají. Jednotlivé části skeletu proto mohou procházet více fázemi na jednou (Thompson 2004b; Wells 1960).

Během teplot kolem 300 °C – 400 °C, které působí na kostní tkáň, dochází ke zvýšení poměru uhlíku (C) a dusíku (N) v kosti a tím i ke snížení poměru glycinu a glutamové kyseliny. Tento poměr také představuje vztah mezi kolagenovou a nekolagenovou proteinovou složku kosti (Taylor et al. 1995; Thompson 2004b). Při působením teploty 700 °C na kost, dochází k absolutní dehydrataci, tedy ke ztrátě krystalické vody a

celkové rekrytalizaci, ale také také dochází k úniku oxidu uhlíkatého CO<sub>2</sub>. Následně vzniká pyrofosfát, který se od 800 °C váže hydroxyapatitem na whitlockit (Hiller et al. 2003).

Whitlockit je charakteristickou součástí minerálů spálených kostí a lze jej prokázat rentgenostrukturní analýzou (Prokeš 2007). Z presence whitlockitu v kostním minerálu však ještě není možné vytvářet rezolutní závěry o působení vysoké teploty na kost, protože může za vhodných podmínek, především přítomností hořčíku v místě uložení, vznikat i v nespálených kostech (Prokeš 2007).

Modifikací kostních minerálů dochází také ke změnám struktury a mechanických vlastností kosti, to je možné prokázat třeba metodou FTIR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy) (Thompson et al. 2009).

### **3.3.2.1 Dimenzionální modifikace**

Dimenzionální modifikace kostní tkáně působením žáru jsou změny tvaru a velikosti kosti. Jedná se o její expanzi, smrštění a zkroucení.

#### **3.3.2.1.1 Kroucení**

Nejvýraznější dimenzionální změnou je kroucení kosti (bone warping). Pro vznik tohoto jevu jsou popisovány dvě možné příčiny. První z nich předpokládá, že kroucení kosti vlivem žehu způsobují měkké tkáně, kterými je obalena (Binford 1963; Prokop 1966; Thompson 2004b). Konkrétně tak, že kontrakce svalových fibril, vyvolané působením žáru, tahají a krotí kost z jejího přirozeného tvaru. Druhá hypotetická příčina přítomnosti znaků zkroucení kostní hmoty předpokládá, že vlivem narůstající teploty během kremace dochází k rozpínání kyslíku uvnitř dřeňové dutiny kosti a tím i k vlastní deformaci kosti (Parker 1985). Obě vysvětlení příčiny kroucení kostí alterovaných ohněm nejsou všeobecně přijímány a mají několik zásadních nedostatků (Gonçalves et al. 2011; Schmidt and Symes 2011; Wells 1960).

Problémem je, že ani jedna z hypotéz není podložena kvantitativními daty. Thompson (2004) ve své práci uvádí, že není jednoznačně možné, aby kontrakce svalových fibril měla takovou sílu, aby dokázala ohnout kost a následně redukovat její velikost, to samé uvádějí i další autoři (např. Schmidt and Symes 2011). Navíc je nutný předpoklad, že tento jev se projeví pouze u kostí pálených s měkkou tkání a nikoli u kostí suchých. Jenže Gonçalves (2011) se svými kolegy zaznamenali během experimentálního pálení suchých kostí v moderním krematoriu přítomnost zkroucených kostí. Tento fakt tedy validitu tvrzení o příčině vzniku zkroucení kostí vlivem kontrakcí svalů značně rozměšňuje.

Thompson (2004b) se také kriticky vyjadřuje i k druhé variantě možné příčiny kroucení kostí při spalování. Ve své práci uvádí, že přirozená pórovitost kosti znemožňuje kroucení kosti na základě rozpínání vzduchu vlivem narůstající teploty uvnitř dřevné dutiny. Vzduch by sice mohl zůstat uvnitř dutiny, ale jeho tlak by nedostačoval na to, aby takto výrazně deformoval kostní tkáň. Tento argument je také podpořen výzkumem z počátku 60. let, který provedl Wells (1960). Ten pozoroval deformaci kroucením na hlavicích stehenních a pažních kostí, kde by za předpokladu rozpínání vzduchu pod vlivem vysoké teploty v dutinách nemělo nastat vzhledem k tomu, že se jedná o strukturálně bohaté části kosti, kde není dostatečný prostor (Wells 1960). Na základě poznatku ze svých vlastních experimentů, ale také konstatoval, že se jednotlivé kosti vlivem žáru budou kroužit a smršťovat vždy konstantním způsobem. To je ovšem možné předpokládat pouze v případě, že budou nastaveny vždy konstantní podmínky pro kremaci. Což je v běžné praxi neuskutečnitelné (Schmidt and Symes 2011; Ubelaker 2009; Wells 1960). Na základě výsledků experimentu, který prováděl Shipman se svými kolegy (1984) je možné se také domnívat, že stupeň smrštění přímo koreluje se s teplotou hoření. To prokázala i studie McKinley (2000). Dále, ale upozorňuje, že variabilita v těchto deformacích

pravděpodobně existuje i mezi různými jedinci a také rozdílnými částmi kostry (McKinley 2000).

### **3.3.2.1.2 Smrštění**

Se smršťováním kosti v průběhu kremace souvisí dosažení kritické teploty žehu. Je to určitý zlomový bod, pozorovaný při teplotě žehu okolo 800 °C, od kterého tato modifikace kostní tkáně výrazně narůstá (Parker 1985; Prokop 1966; Thompson 2004a; Van Vark 1974; Wells 1960; White and Folkens 2005). Dělicí bod pozorovaný již před dosažením 800 °C prakticky zahajuje stadium fúze (Tab. 2). V této fázi kremace anorganické skupenství splývá a vyplňuje póry po dehydrataci vodních krystalků a organických složkách (Thompson 2004a). To pak vede k redukci velikosti spalované kosti (např. Thompson 2004a; White et al. 2011).

Smrštění kosti ovlivňuje také to, o jaký typ kostní tkáně se jedná (Buikstra and Swegle 1989; Gejvall 1969; McKinley 2000; Wahl 1981). Názory na to, který typ kostní tkáně se smršťuje nejvýrazněji, a který naopak nejméně, jsou v dostupné literatuře nekonzistentní. Gejvall (1969) ve své studii přišel s tvrzením, že nejvíce se smršťuje kompaktní kost. Tento názor podporuje například i dvojice autorů Gilchrist a Mytum (1986). Už dříve ale prezentoval své výsledky výzkumu kremace kostí Van Vark (1974), ve kterých dospěl k opačnému závěru, tedy že k intenzivnějšímu smršťování v průběhu žehu dochází u spongiózní kosti. Na něho navázala ve své práci McKinley (1994) a s jeho názorem se ztotožňuje. Thompson (2004b) v rámci své disertační práce při laboratorním pálení zvířecích kostí pozoroval výraznější výskyt smršťování u diafýz dlouhých kostí.

### **3.3.2.1.3 Expanze**

Kromě kroucení a smrštění kosti při kremaci, může také docházet k její prostorové expanzi. Tento jev je možné pozorovat především při menší intenzitě působení žáru, ať už při nízké dosažené teplotě, nebo

krátkém časovém úseku jejího vystavení (Snoeck et al. 2014). Thompson (2004) ve svém experimentu naměřil zvětšení objemu kostí u vzorků, které hodnotil krátce po vyjmutí z výhně. Nejvýrazněji se to projevilo asi po pěti minutách chladnutí. U 9 % měřených kostí zaznamenal prostorovou expanzi i po 25 minutách chladnutí (Thompson 2005). U vyšší intenzity působení ohně a měření po delším čase chladnutí se naopak pozorované fragmenty kostí pouze dimenzionálně redukovaly.

U hodnocení všech dimenzionálních změn kosti při spalování má ne jejich výsledné hodnoty zásadní vliv nejvyšší dosažená teplota žehu, doba, po kterou byl materiál vystaven kremaci, místo měření na kosti a také doba chladnutí po vyjmutí z ohně. Ke komparativním pracím se proto nejvíce hodí měření až po úplném vychladnutí kostních fragmentů, čímž se odfiltruje alespoň jeden z faktorů, které ovlivňují hodnocení (Thompson 2004b).

Pro antropologickou praxi u hodnocení žárových hrobů je z dimenzionálních změn na kosti nejvíce zkreslující smrštění. Ať už v případě odhadu pohlaví, nebo dalších využívaných metod při sestavování biologického profilu pohřbeného jedince (např. Dokládal 1999). Je to zásadní problém, protože v archeologickém kontextu jsou jen stěží známé původní rozměry sledovaného jedince a smrštění kosterního materiálu lze jen zřídka kdy odhalit a odlišit tak od předpokládaných hodnot (Wells 1960).

### **3.3.2.2 Modifikace Barvy**

Barva kosti v průběhu spalování projde širokým spektrem odstínů. Z její přirozeně krémově bílé se během žehu změní přes hnědou tmavě šedou na černou. V dalších fázích pokračujícího hoření opět zešedne a v některých případech chytne modré odstíny. Nakonec, při dosažení úplné kalcifikace vyústí v porcelánovou bílou.

S takto obecným postupem barevných změn kostí se shodují prakticky všichni badatelé, kteří se problematice tepelných změn na kostní tkáni ve svých výzkumech věnují (Alunni et al. 2014; Bartsiakos 2000; Devlin and Herrmann 2008; Dokládal 1999; Dunlop and Farr 1978; Gejvall 1969; Parker 1985; Schmidt and Symes 2011; Ubelaker 2009; Van Vark 1974; Wahl 1981; Wells 1960).

Za proces barevné transformace kostí působením žehu je zodpovědná modifikace organických složek kostní tkáně (Correia 1997) a nepřímo také přísun kyslíku tím, že ovlivňuje intenzitu a čas hoření (Thompson 2005). Právě intenzita hoření přímo koreluje s množstvím vyžíhaného uhlíku z kostní tkáně a tím k jejímu černému zbarvení (Etxeberria 1994). Hnědou barva na kostech indikuje přítomnost hemoglobinu (Devlin and Herrmann 2008). Přítomnost všech barev, které se vyskytují na přepálených kostech, není ovšem podmíněná pouze transformací uhlíkatých sloučenin (Prokeš 2007). Některé barvy jako je například zelená, žlutá nebo růžová souvisejí s kontaminací kovovými, nebo jinými příměsi, přítomnými během kremace (Dunlop and Farr 1978; Gejvall 1969; McKinley 1994a).

Podle zbarvení kostí se v praxi s různou mírou spolehlivosti využívá jako indikátor k odhadu teploty žehu, kterým byly pozůstatky vystaveny (Dokládal 1999; Shipman et al. 1984; Ubelaker 2009). Obecně je ovšem toto tvrzení velmi problematické. Zbarvení kosti není jediným a ani hlavním determinantem teploty, kterou daný vzorek prošel během spalování. Nelze jednoznačně uvádět, že výsledné zbarvení kostní tkáně je důsledek teploty, doby vystavení ohni, nebo přítomnosti měkkých tkání, anebo přístupu kyslíku (Schmidt and Symes 2011; Thompson 2004b). Barevná modifikace kosti není výsledkem přesné teploty hoření, ale především transformace a následné ztráty uhlíku z kostní matrix (Castillo et al. 2013; Correia 1997). Ovšem úplná ztráta tohoto prvku může být výsledkem mnoha proměnných, kde teplota je pouze jednou z nich.

Důležitým faktorem ve výsledném zbarvení kostních fragmentů jsou také postdepoziční procesy, kterými fragment prochází. V nedostatečném prostudování kontextu uložení, vyzvednutí a všech dalších následných procesů, může vést k nepochopení nálezové situace jako celku a tak se výsledné zbarvení kosti stane zavádějícím (Kuhl 1987; McKinley 1994a; Stiner et al. 1995; Thompson 2015).

K úplné ztrátě uhlíku v kostní tkáni dochází při teplotě nad 500 °C (Bohnert et al. 1998; Thompson 2004b). Působení vysoké teploty na tvrdou tkáň během kratšího časového úseku se na kostech projevuje podobně jako působení nižší teploty po delší dobu jejímu vystavení (Prokeš 2007; Thompson 2015). Není tedy možné určit při interpretaci přepálených fragmentů, zda působila vysoká teplota, nebo byl jedinec vystaven dlouhé tepelné expozici.

Zásadní problém také je, že fragmenty spálených kostí z jedné kostry jsou jen málokdy zbarvené stejně. Souvisí s tím poloha těla při spalování, charakter zdroje žáru, ale také celá další řada faktorů, jako tělesné proporce jedince, oblečení během kremace a mnoho dalších (Schmidt and Symes 2011). Rozdíl ve zbarvení je také velice často možné pozorovat na povrchu kosti oproti její vnitřní struktuře. Vnitřní část je většinou tmavší, protože je dřevná dutina chráněna před ohněm a tudíž nedochází k úplnému vyžihání uhlíku (Thompson 2005), kdežto na povrchu může být zcela kalcifikována a tedy bílá. To ovšem platí pouze v případě, že nedojde k fragmentaci kosterního materiálu (Stiner et al. 1995). Na základě hodnocení barevné škály hodnocených uhlíku lze tedy pouze konstatovat pravděpodobně nejvyšší možnou dosaženou teplotu a to i tak s velkou opatrností vzhledem k celkovému kontextu nálezů (Pope and Smith 2004).

### 3.3.2.3 Modifikace mechanické pevnosti

Změny mechanické pevnosti kostí, vystavených kremaci, jsou způsobeny transformacemi v její mikrostrukturální sféře (Holden et al. 1995). Mikroskopické modifikace, zodpovědné za změny mechanické pevnosti kosti způsobené žářem, jsou eliminace vodních krystalků a organických složek z kostní tkáně (Correia 1997; Mckinley 1994b; Thompson 2004b). Stiner et al (1995) ve svém experimentálním projektu prezentovali, jak lze modifikaci mechanické pevnosti použít, jako měřítka pro určení zda byla kost vystavena ohni a v případě že ano, tak do jaké míry.

Obecný průběh mechanické pevnosti kosti je nastíněn ve schématu 1. Je prokázáno, že při dosažení teploty 400 °C působící na spalované kosti je kost mechanicky nejslabší (Dokládál 1999) V době, kdy je ale kostní tkáň alterována teplotou 800 °C vykazuje již dvojnásobně vyšší hodnoty mechanické pevnosti, než jaké měla před zahájením kremace (Prokeš 2007).

Během kremace kosti nejprve dochází k její dehydrataci. Nejdříve a nejsnadněji ztrácí kost ty vodní molekuly, které jsou volně vázány na povrchu krystalů (Correia 1997; Ubelaker 2009). Následně proběhne pyrolýza organické složky kostní tkáně (Prokeš 2007; Thompson 2005). V tomto stádiu působení ohně kost ztrácí nejvíce ze své mechanické pevnosti. (Castillo et al. 2013; Herrmann et al. 2013). V okamžiku, kdy jsou z kosti vlivem spalování odstraněna všechna kolagenová vlákna, stává se izotopickou (Correia 1997; Shipman et al. 1984).

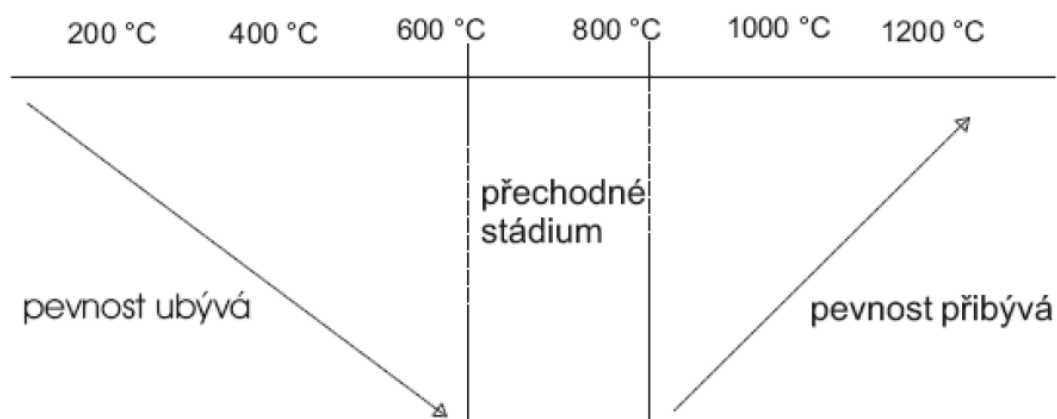
Kost také během kremace ztrácí svou původní váhu. Existují pro to dvě vysvětlení. Prvním je dehydratace a úplná ztráta vody a druhým je spálení všech organických složek v kostní tkáni (Hiller et al. 2003). V dalších fázích už by podle Thompsona (1999, 2004b, 2015) nemělo ke ztrátě hmotnosti docházet. Kostní tkáň je tedy nejvíce oslabena ve fázi



dekompozice (Castillo et al. 2013; Correia 1997; Dokládál 1999). Mechanická pevnost se opět zvyšuje až ve fázi fúze sloučením anorganických komponent kosti. Prázdný prostor v pórech po odpařených krystalech vody a organických prvcích kostní tkáně se zaplní roztaveným anorganickým materiálem (Herrmann et al. 1990; Herrmann et al. 2013; Thompson 2004b).

Na mechanickou pevnost kostí působí také diagenetické procesy po pohřbení kostních fragmentů (Janko 2012). Snížení jejich pevnosti může ovlivňovat hydrolyza kolagenních fibril, tento jev možné pozorovat pouze v případě, že v přepáleném fragmentu ještě nějaký kolagen zbyl. Bez kolagenních fibril, ale s nedostatečně rekrystalizovanou strukturou anorganických látek, kost hůře odolává působícím tlakům. Dalším způsobem, jak kost podléhá mechanickým deformacím, je činnost mikroorganismů (Bontrager and Nawrocki 2015; Ubelaker 1991). Ty eliminací proteinové složky vytváří v kostní tkáni tunely, které kost zeslabují vůči vnějším podmínkám (Castillo et al. 2013). Tento postdepoziční proces ovšem na spálených kostech tak často neprobíhá. Vysoká teplota většinou veškeré mikroorganismy eliminuje. A v případě, že spálené kosti ztratí veškerý organický materiál, nemají se již další mikroorganismy v případě postdepozičních procesů v místě uložení čím živit.

Schéma 1. Změny pevnosti v závislosti na teplotě (Dokládál 1999).



### 3.3.3 Modifikace mikroskopické architektury kosti

Mikroskopické změny archeologického nespáleného kostního materiálu jsou nejčastěji spojovány s postdepozičními procesy. Problém nastává při hodnocení kosterních fragmentů, neznámého kontextu. Například zvětšení objemu částic v krystalické mřížce kostní tkáně může být způsoben jak diagenetickými procesy po dobu uložení ostatků, ale také právě výsledkem kremace za vysokých teplot (Holden et al. 1995). Na druhou stranu je také možné sledovat termicky podmíněné modifikace povrchu kosti, aniž by byla ovlivněna mikroskopická struktura kostní tkáně (Hummel and Schutkowski 1993)

Nejvýraznější mikrostrukturální změny zapříčiněné termickými reakcemi nastávají při teplotách v rozmezí 600 °C – 800 °C (Hiller et al. 2003; Rogers and Daniels 2002). Tyto hodnoty korespondují s fází dekompozice a přechodu do stádia inverze. Tedy fází, kdy kostní tkáň přichází o veškerý organický materiál. To pravděpodobně hraje největší roli ve změnách mikroskopické architektury (Thompson 2005). Podle výsledků rentgenových difrakčních experimentů, které prováděli Rogers s Danielsem (2002) koreluje růst teploty s růstem velikosti krystalů. Na těchto závěrech se shodují i další badatelé (Hiller et al. 2003; Thompson et al. 2009).

Forbs (1941), Nicholsová (1993) i Thompson (2004b) se ve svých pracích shodují v tom, že kost pálená do 500 °C se nijak nemění. S postupujícím navyšováním teploty se zdrsňuje povrch kosti a poté dochází k deformaci (Forbes 1941). Zdrsnění kosti je výsledek zvýšené pórovitosti kosti, zapříčiněné ztrátou vody a organických látek (Nicholson 1993). Od 700 °C výše se, jak už bylo zmiňováno v předchozím textu, anorganické látky rozmělní a zalijí vzniklé místo po vyžíhaném organickém materiálu a povrch kosti se tak zjemní (Thompson et al. 2009). Hladký povrch kosti, tak může přímo indikovat to, že kost prošla stádiem fúze.

### 3.3.4 Modifikace histologické struktury kosti

Změny kostní tkáně, působením ohně lze sledovat i na histologické úrovni (Thompson et al. 2009). Herrmann (1977) ve své práci zjistil, že si kost může po kremaci zachovat svou mikrostrukturu, s těmito závěry se shodují i jiné práce (např. Bradtmiller and Buikstra 1984; Castillo et al. 2013; Forbes 1941; Nelson 1992; Ubelaker 2009), ale jen do jisté míry. Tou mírou je opět kritická hodnota teploty 700 °C a výše. Thompson (2004b) předpokládal, že když spalovaná kost vstoupí do stádia fúze, veškerá histologická struktura kosti se ztratí. To platí jak pro kompaktní kost, tak i kost spongiózní (Forbes 1941). Herrmann (1977) ve svých výzkumech zaznamenal redukci osteonů, kdežto Bradtmiller a Buikstra (1984) jejich relativní zvětšení. Nelson (1992) navázal na Herrmanna s tím, že se nesmršťují pouze osteony, ale že se zvětšují rozměry Haversova kanálku s ohledem na velikost osteonu. To zaznamenal i Forbes (1941). Tento fakt by se mohl vysvětlit tím, že se osteon zmenšuje redukcí koncentrických lamel (Nelson 1992) nebo se jádro osteonu loupe (Forbes 1941).

Castillo et al (2013) provedli experimentální pálení lidských ostatků se zaměřením na histologické změny v kostní tkáni v teplotách od 100 °C do 1100 °C. Vytvořili tak velmi přínosnou metodu, jak na základě histologické struktury určit hodnotu teploty, kterou byla kost spálena (Castillo et al. 2013). Vyvrátil tak také předpoklady, že po dosažení určité teploty (700 °C) se histologická struktura ztrácí.

### 3.3.5 Modifikace krystalické struktury kosti

Kostní tkáň tvoří zhruba 70% anorganická minerální složka (Čihák 2001). Hlavní komponentou je kalcium fosfát  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , ve formě hydroxyapatitu (McKinley 1994a; White et al. 2011).

Změny krystalické struktury hydroxyapatitu při spalování kostí lze pozorovat použitím rentgenové difrakce (Shipman et al. 1984), nebo

infračervenou spektrometrií (Thompson et al. 2009). Převážná část změny krystalické struktury probíhá při teplotě mezi 500 °C a 700 °C (Correia 1997). Před tímto intervalem se krystalická formace kostní tkáně mění jen nepatrně (Thompson 2004b). Hoření při konstantní teplotě podle Holdena et al (1995) se velikost ani tvar krystalů nemění. Velikost krystalů roste se vzrůstající teplotou, ale zachovávají si svůj přirozený tvar (Shipman et al. 1984). Kulminace tohoto jevu je právě ve výše uvedeném intervalu. Od teploty 600 °C začíná rekrytalizace původní struktury. Nově vzniklé krystaly jsou nevelké a kulovité morfologie. S dalším hořením se navyšuje jejich počet a přibývají další, hexagonálního tvaru (Holden et al. 1995). S tím, že kulovité krystaly zůstávají o trochu menší, než nově vzniklé hexagonální. Kolem 1000 °C se začíná formovat třetí varianta krystalů. Mají klencovou morfologii. Při vyšších teplotách se krystalická struktura stává ještě více nehomogenní. Je možné tak zaznamenat krystaly růžovitého a dalších nepravidelných tvarů (Castillo et al. 2013).

### **3.3.6 Praskání a lámání kostí při kremaci**

Kost obsahuje dvě biologické složky, které navzájem spolupracují a zajišťují tak její strukturální integritu (White et al. 2011). Anorganické hydroxyapatitové vazby zajišťují pevnost v tlaku a kolagenová vlákna, prostupující minerální strukturou zabezpečují pevnost v tahu (Čihák 2001). Celý proces vzniku prasklin a lomů je tedy ovlivněn nejprve ztrátou kolagenových vláken v závislosti na délce a intenzitě spalování. Ve chvíli, kdy již kost neobsahuje žádné kolagenové fibrily, ovlivňuje způsob praskání a lámání kostí žehem podmíněná přestavba anorganické složky, především hydroxyapatitových vazeb. (Hiller et al. 2003)

Zlomy kostí při spalování vznikají ve dvou fázích. První je nukleace trhliny a následně dochází k rozšiřování fraktury podle tvaru kosti, intenzity spalování a délce jeho působení (Schmidt and Symes 2011;

Thompson 2005) Praskliny se tvoří v pórech na povrchu kosti, kde vytvoří epicentrum trhliny a následným pokračováním hoření se šíří od póru k póru (Thompson 2004b).

Proces lámání a praskání kosti je iniciován rozdílným rozpínáním a smršťováním kostní tkáně během působení žáru. Tyto dimenzionální modifikace produkují tahové a tlakové stresy v kosti, které jsou zodpovědné za vznik fraktur a jejich šíření na povrchu kosti (Thompson 2005; Ubelaker 2009). Kosti nikdy neexplodují expanzí kostní tkáně, ani rozpínáním vzduchu uvnitř dřevné dutiny v průběhu koření (Pope and Smith 2004).

Jak bylo uvedeno v předchozí kapitole 3. 3. 5., působení žáru na kostní tkáně výrazně ovlivňuje velikost krystalů kostní struktury. Tento jev tedy s největší pravděpodobností úzce souvisí s lámáním a praskáním kosti, ať už fatálního charakteru, nebo pouze na bázi povrchových prasklin (Hiller et al. 2003). Důvodem deformace kostní tkáně a následného vzniku praskliny může být jak redukce velikosti krystalů, kterou zaznamenala McKinley (1994), tak i její nárůst (Shipman et al 1994). Hiller et al (2003) předkládá také možnost, že nárůst velikosti krystalů může být způsoben splynutím nejprve zmenšených krystalů ve větší během stádia fúze kosti. Podle Holdena et al (1995) a také Thompsona (2004b) rozměry krystalů rostou s intenzitou působení žáru a tím je kostní tkáň destabilizována a je tak náchylnější k praskání a lámání. Frekvence praskání má stoupající tendenci až do chvíle, než se kost vlivem spalování dostane do fáze fúze a kostní tkáň se tak stává stabilnější a odolnější vůči vzniku fraktur (Thompson 2004b).

Na vznik a modifikaci prasklin má také vliv v jakém stavu dekompozice (prekremační stav) byla kost pálena. To, že kost různě praská vlivem dimenzionálních změn, je víceméně akceptovatelné, ale jak se již v kapitole kroucení kosti řešilo, do jaké míry má za tento jev odpovědnost přítomnost měkké tkáně není zcela jasné. Thompson

(2004b) vcelku jednoznačně odmítl, že žehem způsobené svalové kontrakce způsobují ohýbání kostí, které má za následek vznik prasklin. S tímto závěrem přišel i Goncalves (2011), který experimentálně páčil pouze suché kosti v moderním krematoriu a ohýbání kostí vlivem žehu u nich zaznamenal. Faktem bude, že pokud je kost obalená svalovinou, nebo také měkkou tkání bude na ní působit jiný stres než na kost suchou, kterou měkká tkáň nechrání a je tudíž více exponovaná (Schmidt and Symes 2011). V případě, že nebude dostatečně dlouhou dobu v dostatečně intenzitě působit žár na kosti obalené svalovinou, nemusí být měkká tkáň vůbec odstraněna a na kosti se tak žeh neprojeví.

Pokud ovšem bude žár dostatečně intenzivní a čas, po který na kost žeh působí dostatečně dlouhý, je možné, že se rozdíly v praskání a lámání kostí s rozdílným dekompozičním stavem spalovaných kostí projeví (Keough et al. 2015).

Důležitým faktorem, který stojí za praskáním kostí je také kontext kremace. Pokud bude kost pálena v moderním krematoriu, kde na ní nebude působit jiný stres než žár, bude fragmentace a praskání kostí vznikat odlišně, než když bude tělo spalováno na dřevěné hranici, nebo v případě katastrofických případů uhoření v různých objektech (Schmidt and Symes 2011). Působení vnějších mechanických faktorů má jistě zcela zásadní vliv na fragmentaci a praskání kostí.

### **3.4 Zachovalost jednotlivých částí skeletu**

Mezi faktory, které ovlivňují zachovalost skeletu, patří prekremační stav jedince. Především to, zda byl jedinec pálen ihned po smrti nebo s nějakým časovým odstupem, ale také zda nebyly páleny pouze suché kosti, u kterých se předpokládá menší fragmentace než o kostí pálených v čerstvém stavu (např. Uberlaker 1991; Thompson 2004b; Thurman and-Willmore 1982). Čerstvá kost je totiž materiál, který ve své komplexnosti

zahrnuje několik důležitých složek, které suchá kost z principu mít nemůže.

Čerstvá kost obsahuje velké množství vody, krev a kostní dřev s vysokou koncentrací tuku. Samotný obsah tuku je jedním z iniciátorů hoření (viz. knotový efekt) a tudíž u průběhu hoření čerstvých kostí je možné očekávat fluktuující a turbulentní plameny, které u suchých kostí pozorovat nelze (Castillo et al. 2006). To je jeden z důvodů odlišné fragmentace jednotlivých skeletů (DeHaan and Nurbakhsh 2001). Dalšími faktory jsou samozřejmě přístup kyslíku, kvalita paliva, délka žehu, ale velmi významně se projevuje způsob uložení na hranici nebo při kremaci v peci (Uberlaker 1991). Faktory ovlivňující fragmentaci kosterních pozůstatků, které prošly tepelnou alterací, tedy ty činnosti aplikované po samotném žehu, mají také obrovský význam na zachování skeletu. Patří mezi ně např. hašení doutnajících hranice vodou, záměrné drcení, vybírání spálených fragmentů ze žároviště, způsob a místo jejich uložení, tedy do jaké míry budou ovlivněny post-depozičními procesy a v neposlední řadě také jejich vyzvednutí, v archeologické praxi, a manipulace s ostatky ve sféře lékařsko-soudní (Schmidt and Symes 2011; Uberlaker 1991).

Míru fragmentace spálených pozůstatků je možné blíže specifikovat stanovením distribuce průměrných lineárních rozměrů kostních úlomků v ostatcích. Kvantifikaci kosterních pozůstatků lze provést stanovením jejich hmotnosti nebo objemu srovnáním s referenčními hodnotami, získaných z moderních kremací a experimentálních studií (Dokládál 1999, Thompson 2004). Reprezentativnost žárových pozůstatků je možné odhadnout sledováním zastoupení různých částí těla nebo typických anatomických prvků v souboru (Dokládál 1999; Prokeš 2007; Ubelaker 1991).

### 3.4.1 Lebka

Rozdílnost ve spálení *lamina externa* a *lamina interna* je způsobena ochlazováním vnitřní stěny lebečních kostí mozkem (viz. hoření těla). Nedokonalé spálení fragmentů spánkové kosti může dokládat, že hmota temporálních svalů mohla kosti do jisté míry chránit před vysokou teplotou nutnou pro dokonalé přepálení (Pope – Smith 2004). Relativně malé poškození obličejových částí kosti žehem může indikovat polohu při spalování, kdy jedinec ležel na zádech a většina paliva byla pod ním, podobně je tomu i u velmi silně přepálené kosti týlní (Prokeš 2007; Strzalko et al. 1974). Na druhé straně pokud jsou anteriorní a superiorní části lebečních kostí obličeje výrazně degradovány vysokým žehem, lze opět usuzovat o jiné kremační poloze, kdy například byl jedinec uložen na zem a na jeho tělo bylo vyskládáno palivo (Pope – Smith 2004; Dokládal 1999). Ve forenzní praxi je velice často možné se setkat s případy, kdy je právě obličejová část lebky poškozena nejvíce, což souvisí například s kontextem katastrofických situací. Uhoření v automobilu je pro to typickým příkladem (Schmidt and Symes 2011).

### 3.4.2 Trup

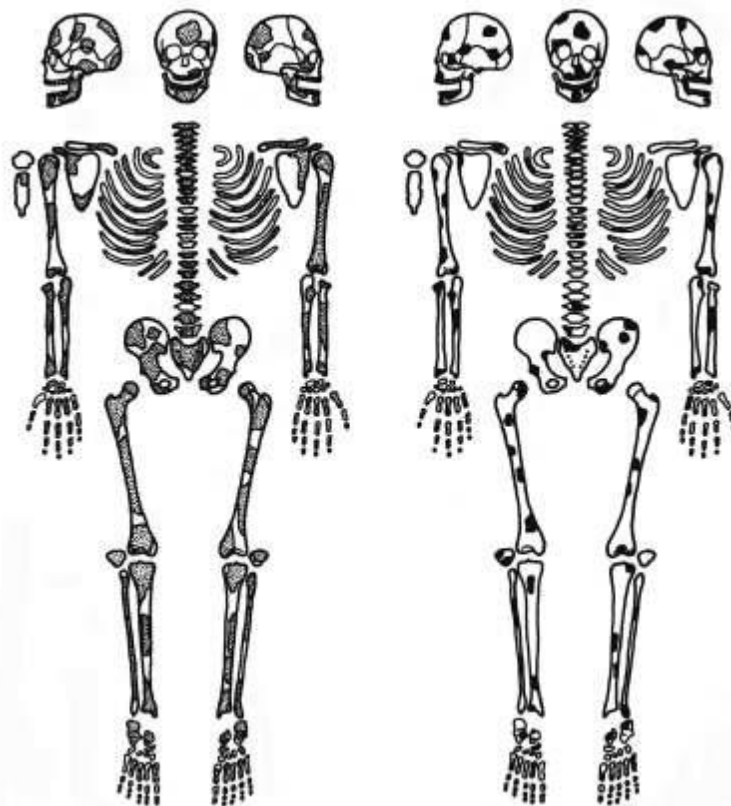
Axiálními prvky kostry jsou většinou přepáleny nekompletně, s výjimkou anteriorních segmentů kostí žeber a klíčních kostí, které jsou ve většině případů kompletně přepálené (Prokeš 2007). Obratle vesměs vždy vykazují neúplné spálení obratlových těl, ale úplnou destrukci jejich oblouků a výběžků (Prokeš 2007). Tento fakt zaznamenal i Dokládal (1999), který pozoroval zachovalost těl pálených v moderních krematoriích. Úplné spálení anteriorních prvků a neúplné nebo částečné spálení prvků posteriorních jako jsou těla obratlů či lopatky může opět vést k úvaze o poloze těla na zemi a na ni navršené hranici a naopak (Dokládal 1999; Prokeš 2007; Wells 1960)



### 3.4.3 Končetiny

Diafýzy dlouhých kostí jsou velmi často zcela přepáleny, kdežto epifýzy mohou být výrazně zachovalejší. Důvodem může být pokrytí kloubů vazy a synoviálními váčky, které chránily kost před působením kremačního žáru (Prokeš 2007). Distální části horních i dolních končetin mohou vykazovat nejmenších stupňů přepálení. Nejpravděpodobnější vysvětlení tohoto jevu je takové, že tyto partie byly nejvíce vzdáleny od centra žehu a tak pokud nebyla kremace kontrolována a usměrňována zůstaly tyto segmenty skeletu na okrajích pálené hranice v případech prehistorický kremací, ale i při pozorování spalování v moderních krematoriích jsou karpální i tarzální kosti jedny z nejlépe dochovávaných kostí. To samé platí i pro metatarzální, metakarpální kosti a kosti prstních článků (Dokládál 1999).

Rozdíly v zachovalosti jednotlivých částí skeletu se tedy odvíjí od polohy těla při spalování, ale zásadní význam má i kontext behaviorální. Je totiž možné předpokládat, že během pálení lidských ostatků na venkovní hranici, mohou aktéři zasáhnout v případě nutnosti odpadlé části těla vhodit zpět na hranici a tím tak zastříť polohu těla, jež by se mohla na základě rozložení žehem způsobené destrukce kosterních pozůstatků. Obrázek 2 znázorňuje rozdíly v zachovalosti jednotlivých částí skeletu v závislosti na způsobu spalování podle Wahla (1981).



Obr. 2. Zachovalost jednotlivých částí skeletu, vlevo moderní krematorium, vpravo pravěký žárový hrob (Wahl 1981).

## 4 MATERIÁL

Materiál pro tuto práci musím rozdělit na dvě základní části. První jsem označil jako vstupní materiál pro účely experimentální kremace zvířecích kostí. Druhým je materiál, který vznikl jejich spálením a posloužil k prospekci a hodnocení vzniklých fraktur.

### 4.1 Vstupní materiál pro experimentální kremaci

Jako materiál pro experimentální pálení jsem zvolil směs prasečích kostí. Tento materiál se nabízel, jako nejdostupnější alternativa lidských kostí pro studijní účely modifikace povrchu kostí vzniklé působením žáru (Keough et al. 2015).

Pro první experimentální kremaci jsem získané kosti rozdělil do tří kategorií (Tab. 3). Suché kosti, čerstvé kosti s měkkou tkání a čerstvé kosti bez měkké tkáně tak, aby odpovídaly nejfrekventovanějším zmínkám o rozdílu v postkremačních modifikací kosti (Gonçalves et al. 2011; Keough et al. 2015; Thompson 2004a).

Suché kosti prasete domácího jsem získal exkavací pohřbeného jedince (Obr. 3). Zvíře zemřelo z neznámých důvodů a bylo uloženo více jak 5 let v zemi, což zajistilo úplnou formu dekompozice měkkých tkání na kostech a degradaci organického materiálu, nutnou pro naplnění definice kategorie suché kosti (Gonçalves et al. 2011).

Čerstvé kosti s měkkou tkání jsem zajistil v prodejně Řeznictví a uzenářství Petr a Miroslav Kasardovi v Kolíně, počet kostí v lebce jsem odvodil podle Marvan (2003).

Čerstvé kosti bez měkké tkáně mi byly dodány soukromým chovatelem, který zajistil odstranění měkkých tkání z čerstvých kostí.



Obr. 3. Lebka prasete domácího po exkavaci.

Tabulka 3. Materiál pro 1. experimentální kremaci

Čerstvé kosti s měkkou tkání (n = 85)	Čerstvé kosti bez měkké tkáně (n = 6)	Suché kosti (n = 31)
16x záprstní kost (metapodium)	5x stehenní kost	Lebka (bez dolní čelisti)
24x článek prstů	Pánevní kost	Lopatka
16x špárková kost (Marvan 2003)		5x žebro
2x vřetenní kost		3x obratel
2x loketní kost		Pánevní kost
Lebka (s dolní čelistí)		2x stehenní kost
		2x pažní kost
		Loketní kost
		2x záprstní kost (metapodium)

Pro druhé experimentální pálení zvířecích kostí jsem použil pouze čerstvé kosti s měkkou tkání opět zakoupené v prodejně Řeznictví a uzenářství Petr a Miroslav Kasardovi v Kolíně (Tab. 4). Z důvodu zakoupení nerozporcovaného zvířecího materiálu byl celkový počet kostí vstupujících do kremace (n=134) odvozen z publikace Morfologie hospodářských zvířat (Marvan 2003).

Tabulka 4. Materiál pro 2. Experimentální kremaci.

Čerstvé kosti s měkkou tkání (n 134)
Kosti lebky (celá lebka)
Kosti předních a zadních končetin
Kosti pletence předních končetin
Žebra

Pro třetí experimentální pálení zvířecích kostí byly využity pouze suché kosti prasete domácího, které byly získány stejnou cestou jako v případě materiálu u prvního experimentu, tedy exkavací zemřelého jednice prasete domácího (Tab. 5).

Tabulka 5. Materiál pro 3. experimentální kremaci.

Suché kosti (n 84)
Kosti lebky (dolní čelist)
Kosti předních a zadních končetin
Kosti pletence předních končetin
Kosti pletence zadních končetin
Žebra
Obratle

## 4.2 Materiál pro hodnocení fraktur na spálených kostech

Experimentální kremací kostí prasete domácího jsem získal celkem 2741 fragmentů přepálených kostí (Tab. 6). Pro takto velký počet, ale také kvůli nutnosti přesného určení prekremačního stavu jednotlivých zlomků jsem hodnocení morfologie fraktur na spálených kostech zúžil na 1460 fragmentů. Vyloučen tak byl materiál získaný z experimentální kremace č. 1, kde byly páleny kosti všech kategorií najednou a nebylo tak možné s naprostou přesností určit jejich stav před spálením. Materiál k hodnocení morfologie fraktur a následné statistické analýze jsem použil pouze z experimentální kremace č. 2 a č. 3. Z druhého experimentálního pálení pouze čerstvých kostí s měkkou tkání, byl náhodným výběrem stanoven vzorek obsahující 730 fragmentů tak, aby početně odpovídal vzorku z experimentu č. 2, kterých bylo právě 730.

Tabulka 6. Materiál pro hodnocení modifikace povrchu spálených kostí.

	Počet fragmentů	Počet hodnocených fragmentů
Experiment 1	1087	0
Experiment 2	924	730
Experiment 3	730	730
Celkem	2741	1460

## 5 METODY

### 5.1 Experimentální pálení zvířecích kostí

Pro získání materiálu k vlastnímu hodnocení modifikace povrchu spálených kostí jsem přistoupil k experimentální kremaci zvířecích kostí. Pálení probíhalo ve třech etapách. Pro simulaci pravěkých kremací lidských ostatků probíhalo pálení vždy na venkovní hranici, vystavěné ze smrkového dřeva za přirozeného přístupu kyslíku (např. Parker 1985; Prokeš 2007; Wahl 1981).

#### 5.1.1 Experiment č. 1

První pálení zvířecích kostí proběhlo v říjnu 2014. Teplota vzduchu byla při zahájení experimentu 12 °C, v průběhu klesla na 7 °C a v samotném závěru, kdy už hranice pouze doutnala, byla neměřena teplota 3 °C. Nárazově vál suchý severo – západní vítr.

Příprava a průběh kremace byly zaznamenávány fotoaparátem Nikon D90. Samotný průběh hoření pak byl nahráván na digitální videokameru Sony, která byla upevněna na stativu v bezpečné vzdálenosti od hranice.

Páleny byly kosti v zastoupení všech tří původních kategorií prekremačního stádia dekompozice kosti. Čerstvé kosti s měkkou tkání, čerstvé kosti bez měkké tkáně a suché kosti. (Tab. 3).

Hranice, na které probíhala kremace zvířecího materiálu, byla postavena z nařezaných suchých smrkových kmenů, které byly rozštípnuty na dvě poloviny. Průměr jednoho kmenu byl v rozmezí 20 až 30 cm a délka přibližně 100 cm. Hranice byla založena na čerstvě vyhloubeném žárovišti zhruba 10 cm hluboko pod okolním terénem o rozměrech cca 200 cm x 200 cm. Základ tvořily dva nejsilnější kmény položené vodorovně vedle sebe. Pod oba konce kmenů jsem položil přibližně 10 cm vysoké placaté žulové kameny, aby hranice neležela

přímo na drnu zbavené hlíně. Prostor mezi položenými smrkovými kmeny jsem vystlal suchým senem, smrkovým klestím a třískami z nelakovaných smrkových prkének. Další patra hranice tvořila vždy příčná řada půlených kmenů v takovém počtu, jak mi délka základních kmenů dovolila. Prostory mezi každým patrem a ležícím kmenem byly vždy vyplněny stejným materiálem jako prostor mezi základními kmeny. Finální rozměry hranice dosáhly 120 cm x 100 cm x 100cm (výška x šířka x délka) (obr. 4).



Obr. 4. Výsledná podoba hranice.

Zvířecí kosti určené ke kremaci jsem vyskládal na nejvyšší patro hranice. Nijak jsem jejich rozmístění na vrcholu hranice netřídil ani podle druhu a stavu dekompozice (obr. 5).



Na zapálení hranice jsem vyrobil tři louče ze štípané střešní latě a bavlněné látky napuštěné v loji (Obr. 6). Rozhořelé louče jsem vsunul do spodního patra hranice.



Obr. 5. Zvířecí kosti připravené ke kremaci.



Obr. 6. Louče, kterými byla zapálena hranice.

Pro měření teploty dosažené během experimentálního pálení jsem do hranice instaloval termočlánek typu A (Stojan 2010), dříve označovaný jako Chromel – Alumel (NiCr – Ni) s hodnotou tavního bodu cca 1200 °C (Tejkl 2012). Vlastní termočlánek je jednou z hlavních komponent celého měřicího zařízení. To se skládá z keramického tyčovitého pouzdra, ve kterém je termočlánek uložen. Aby se ještě navýšily tepelně izolační vlastnosti nejexponovanější části měřicího zařízení, jsou uvnitř tohoto pouzdra na termočlánek navěšeny keramické korálky. Na keramické pouzdro je napojena ocelová trubka, která má také ochrannou funkci. V té jsou uloženy holé měděné dráty s keramickými korálky, napojené na termočlánek uložený v keramickém obalu. Přes spoj keramického pouzdra a ocelové trubky je ještě nasazen hliníkový obal ve tvaru válce s vyřezanými otvory pro výstup keramického obalu na jedné straně a výstup ocelové trubky na straně druhé. Prostor v hliníkovém pouzdře je ještě vyplněn stavební zateplovací vatou. Za účelem dosažení dostatečné vzdálenosti od centra žáru, kde je umístěno měřicí čidlo, byla ještě na výše popsané zařízení navařena další dutá cca 2 m dlouhá ocelová trubka, jež uvnitř schovává měděné dráty vyvedené do digitálního měřicího přístroje Mastech MS8215 (obr. 6) a umožnila tak z bezpečné vzdálenosti pozorovat a zaznamenávat naměřené hodnoty. Celé zařízení je nastříkáno stříbrnou kamnářskou barvou odolnou do 600 °C. Pro zvýšení ochrany spoje mezi termočlánkem a měděnými dráty jsem ještě na povrch celého keramického pouzdra nanosl šamotovou maltu, která se používá při zdění kamen. Ještě než malta zatvrdla, zasunul jsem přes špicí obalu přístroje keramické stínidlo z průmyslové lampy tak, aby se její konvexní strana opřela o hliníkový obal měřicího systému. Následně jsem i na konkávní stranu tohoto stínidla, která byla nasměrována do ohně, nanosl asi 0,5 cm tlustou vrstvu šamotové malty.

Celý systém tohoto zařízení měřicího teplotu navrhli a vyrobili studenti elektrotechnické fakulty katedry elektroenergetiky a ekologie

Západočeské univerzity v Plzni, pod vedení prof. Ing. Jiřího Koženého. Pan profesor mi jej pak laskavě zapůjčil.

Měřícího zařízení jsem jeho špicí vsunul do připravené hranice a podepřel v místě hliníkovým válcem. Na jeho konci jsem zatížil 20 kg závažím tak, aby zůstala špička měřidla nepohnuta i v případě zborcení hranice. Termočlánek v keramickém pouzdře zasahoval zhruba 30 cm do vnitřku hranice ve výšce cca 40 cm nad povrchem žároviště (Obr. 8). Takto instalovaný měřicí přístroj zůstal po celou dobu pálení.



Obr. 7. Digitální měřicí přístroj Mastech MS8215.



Obr. 8. Pozice měřicího systému v hořící hranici.

Poté, co hranice dohořela, nechal jsem celé žároviště vychladnout do druhého dne po zahájení experimentálního pálení (obr. 24). Teprve až když už byly přepálené kostní fragmenty zcela vystydlé, přistoupil jsem k vlastnímu sběru. Sběr mi trval téměř 4 hodiny. V žárovišti nezůstal jediný fragment.

### 5.1.2 Experiment č 2

Druhé experimentální pálení se uskutečnilo v lednu 2015. Teplota vzduchu byla v době zahájení kremace 5 °C a po vyhoření hranice -1 °C. V průběhu experimentálního pálení panovalo bezvětří.

Celý proces byl stejně jako v prvním případě zaznamenán fotoaparátem značky Nikon D 90. Tentokrát už nebyla nainstalována videokamera a nebyl tak pořízen videozáznam průběhu kremace.

Z důvodu následného jednoznačného určení prekremačního stádia dekompozice byly v tomto případě páleny pouze čerstvé kosti s měkkou tkání prasete domácího (viz. kapitola Materiál, Tab. 4).

Kremace probíhala na stejném místě jako první experiment. Hranice byla vystavěna totožným způsobem jako při prvním experimentu. Bylo opět užito smrkového dřeva, klestí a štípaných prkének (viz. Experiment č. 1).

Měření teploty bylo i v tomto případě zajištěno naprosto stejným způsobem jako v případě prvního experimentálního pálení (viz. Experiment č. 1).

Sběr vzniklého kostního materiálu byl také ponechán až na druhý den po kremaci v době úplného vystydnutí kosterních fragmentů. Prováděla je jedna osoba a potřebný čas byl dvě hodiny od zahájení až po sebrání posledního zlomku.

### **5.1.3 Experiment č. 3**

I třetí experimentální pálení bylo uskutečněno v lednu 2015. Teplota okolního vzduchu byla v době zahájení 6 °C. Klesala během kremace a v době dohoření hranice byla její hodnota - 2 °C. Stejně jako v případě druhého spalování panovalo bezvětří. Také v případě 3. experimentu již nebyl pořízen videozáznam, ale pouze fotografická dokumentace přístrojem D 90.

Během třetího experimentálního spalování byly opět z důvodu jednoznačného určení prekremačního stavu páleny pouze suché kosti (viz. kapitola Materiál, Tab. 5).



Všechny ostatní metody spalování a měření probíhaly v naprosté shodě s předchozími experimentálními kremacemi (viz. Experiment č. 1).

## **5.2 Fragmentace kostního materiálu**

Pro určení fragmentace kostního materiálu jsem stanovil index fragmentace (IF) tak, že jsem celkový počet kostí vstupujících do kremace (A) vydělil počtem fragmentů, které z experimentálního pálení vzešly (B). Index fragmentace jsem určoval pouze u materiálu experimentu č. 2 a experimentu č. 3., kde byl jednoznačně známý stav dekompozice kostního materiálu před a v průběhu kremace.

$$A / B = IF$$

## **5.3 Vizuální prospekce spálených fragmentů kosti**

### **5.3.1 Prekremační stav kosti**

Prekremační stav nebo také její stadium dekompozice před a v průběhu spalování jsem, po prvním experimentální kremaci kostí prasete domácího, kdy nebyly kosti separovány a vznikl tak velký soubor kostí, které nešlo s přesností zařadit do původně plánovaných kategorií, kterými byly: čerstvá kost s měkkou tkání, čerstvá kost bez měkké tkáně a suchá kost, přehodnotil pouze na dvě kategorie: čerstvá kost (v tomto případě čerstvá kost s měkkou tkání) a suchá kost (kost ve vysokém stadiu dekompozice, s minimálním nebo žádným obsahem organické složky kosti (Gonçalves et al. 2011; Keough et al. 2015)).

### **5.3.2 Určení tvaru kosti**

Tvar kosti byl určován podle definice anatomické tvaru kosti (Čihák 2001). V případě této práce jsem z důvodu vysoké deformace a fragmentace kostního materiálu (Tab. 6) a následného znemožnění rozpoznání rozdílu mezi krátkou a nepravidelnou kostí, tyto kategorie sloučil. Podle tohoto klíče jsem stanovil tři hodnocené kategorie:

Dlouhá kost (kost, která má jeden nejdelší rozměr, je tvořena diafýzou a dvěma epifýzami. Pokryta kompaktní kostí, jen na vnitřním povrchu epifýz je doplněna trámčinou).

Plochá kost (kost, tvořena na vnitřní a vnější straně kompaktní kostí a mezi nimi je trámčitá kost).

Nepravidelná kost (kost, která se vymyká obě předchozím kategoriím).

### **5.3.3 Barva povrchu kosti**

Barva spálených kostí se v běžné archeologické praxi využívá jako identifikátor stupně přepálení a tedy určení teploty žehu (Curtin 2008; Prokeš 2007). V případě této práce se především jedná o to, zda barva přepálených fragmentů bude indikovat prekremační stav kosti, což například navrhuje Buikstra a Swegle (1989). Ti ve své experimentální práci demonstrují závěr, že světle hnědá barva na povrchu kosti prokazuje, že kost byla v době žehu suchá (Buikstra and Swegle 1989). Na tento znak se také zaměřila Joanne Curtin (2008) při hodnocení fragmentů ze svého výzkumu. Tento předpoklad se jí ovšem nepotvrdil (Curtin 2008).

Také na základě tohoto rozdílného zjištění byla sestavena škála barev, které se projeví na spálených kostech získaných experimentálním pálením kostí. Částečně jsem využil terminologii zavedenou Dokládalem (1999), a částečně jsem pracoval se svým subjektivním hodnocením. Vždy jsem hodnotil barvu pouze vnějšího povrchu kosti, nikdy barvu v lomu, nebo její vnitřní plochu. V případě světle hnědé barvy jsem učinil rozhodnutí, že v rámci zjednodušení terminologie přejmenuji tuto kategorii na béžovou. Všechny ostatní barevné kategorie odpovídají běžně užívaným označení pro barevné odstíny pozorované na povrchu spálených kostí (Curtin 2008; Devlin and Herrmann 2008; Dokládál 1999; Wahl 1981). Z důvodu nejednoznačnosti

určení pouze jednoho odstínu u některých vzorků jsem také stanovil kategorie, které kombinují vždy pouze dva primární odstíny. Vždy se jednalo o kombinaci bílé barvy s ostatními.

Stanovil jsem tyto kategorie:

- 1) bílá,
- 2) šedá,
- 3) béžová,
- 4) modrošedá.

Dále jejich kombinace:

- 5) bílá/šedá
- 6) bílá/béžová
- 7) bílá/modrošedá

### **5.3.4 Typ prasklin na povrchu kosti**

Nejvýznamnějšími pozorovanými proměnnými pro tuto práci jsou typy prasklin, nebo také fraktur, vznikající na povrchu spálené kosti. Kategorizoval jsem je na základě nejfrekventovaněji popisovaných zlomů a znaků na spálených kostech, objevujících se v literatuře při studiu žárových hrobů a modifikaci spálených kostí, kde se jednoznačně autoři přiřklání k jejich významu pro poznání prekremačního stádia dekompozice kosti (Correia 1997; Gonçalves et al. 2011; Thompson 2004b). Vizuální prospekce probíhala makroskopicky, v případě drobných fragmentů jsem využil lupy. Hodnocení probíhalo stanovením přítomnosti, nebo absence znaku (Ano – Ne).

#### **5.3.4.1 Zkřivené praskliny**

Tento typ prasklin má nepravidelný tvar, může se vyskytovat kdekoli na povrchu kosti. Může mít libovolnou délku a průběh. Je to nejobecněji popsáný typ fraktury Podle Thompsona (2004b) a také



Bohnert et al (1998) by se měl nejčastěji vyskytovat na čerstvých kostech. Jejich příčinou by mělo být ohýbání kostí (*bone warping*) (Baby 1966)(Obr. 9,10).



Obr. 9 a 10. Zkřivené praskliny (celkový pohled). Zkřivené praskliny (detail)

#### 5.3.4.2 Lineární praskliny

Lineární praskliny jsou dlouhé tenké praskliny, které nejčastěji vznikají na diafýzách dlouhých kostí ve směru jejich dlouhé osy od metafýzy k metafýze. Při bližším pohledu se může zdát, že je lom zubatý, ale lze je bezpečně rozeznat podle lineárního průběhu bez vybočení z dlouhé osy kosti. Jedná se o typ lomu spojovaný s pálením kostí v suchém stavu (Gonçalves et al. 2011). (Obr. 11, 12).



Obr. 11 a 12. Lineární praskliny (celkový pohled). Lineární praskliny (detail)

#### 5.3.4.3 Eliptické praskliny

Eliptické praskliny tvoří většinou vícečetnou strukturu fraktur, která by v případě větší plochy kosti opsal elipsu. Nejčastěji se nacházejí na větších plochách plochých kostí a diafýzách dlouhých kostí. Podle McKinley (2000), Babyho (1954), Correia et al (1997) a Thurmana a Willmora (1981) by měl vznikat na kostech pálených čerstvých s měkkou tkání (Obr. 13, 14).



Obr. 13 a 14 Eliptické praskliny (celkový pohled). Eliptické praskliny (detail).

#### 5.3.4.4 Krátké kolmé praskliny

Krátké kolmé praskliny jsou malé tenké fraktury kolmé na dlouhou osu kosti. Nejčastěji se vyskytují v návaznosti na lineární praskliny na diafýzách dlouhých kosí. Někdy neproniknou skrz celou masu kompaktní kosti a vytváří tak lineární schod na povrchu kosti. Měl by se nalézat na kostech, které byly páleny jako suché (Thompson 2004b) (Obr. 16, 17)



Obr. 17 a 18. Krátké kolmé praskliny (celkový pohled). Krátké kolmé praskliny (detail)

#### 5.3.4.5 Síťová struktura prasklin

Síťová struktura prasklin je posledním stanoveným typem prasklin. Je charakteristická spletutým průběhem mnohočetných prasklinek, které tak opticky tvoří síť. Nejčastěji se vyskytuje na plochých kostech. Většinou také nepronikne přes celou masu kosti a může pouze evokovat odlupování šupinek povrchu kosti (Thurman and Willmore 1982). Podle Thompsona (2004b) je tato struktura prasklin typickým znakem pro pálení kostí v suchém stavu (Obr. 19, 20).



Obr. 19 a 20. Síťová struktura prasklin. (celkový pohled). Síťová struktura prasklin (detail)

#### 5.4 Statistické metody

Pro zjištění vztahu mezi kategoriálními proměnnými jsem vzhledem k charakteru dat použil Test dobré shody (Chí-kvadrát) (Agresti 1996). Hladina významnosti byla stanovena na 5 % ( $p < 0,05$ ). Nulová hypotéza u všech testovaných vztahů vždy předpokládala rovnoměrné zastoupení pozorovaných znaků ve sledovaných kategoriích (prekremační stav, typ prasklin, barva kosti, tvar kosti a IF). Pracoval jsem v programech Microsoft Office Excel 2007 a Past 3.10.

Sledoval jsem vztah mezi prekremačním stavem kosti (čerstvá, suchá) a typem prasklin. Hodnotil jsem také vztah mezi barvou fragmentu kosti a prekremačním stavem kosti. Dále byl zkoumán vztah mezi prekremačním stavem a typem prasklin u jednotlivých tvarů kosti. Byl také hodnocen index fragmentace (IF).

## 6 VÝSLEDKY

### 6.1 Experimentální pálení zvířecích kostí

Průběh experimentů je zaznamenán v tabulce 7 a grafu 1.

Od zapálení hranice teplota žehu velice strmě stoupala. Poté se na delší čas (100 min.) ustálila a držela se na konstantních hodnotách a následně plynule klesala (Graf. 1). U prvního experimentu byla naměřena nejvyšší teplota 880 °C u druhého 950 °C a ve třetím byla nejvyšší teplota 935 °C. V tabulce 7 jsou tyto hodnoty tučně vyznačené. Nejvyšších teplot bylo u všech experimentálních pálení zvířecích kostí v místě umístění termočlánku (Obr. 7), dosaženo téměř po 30 minutách od rozhoření hranice (Obr. 21). Během všech tří spalování se teplota žáru dostala nad 600 °C již po 20 minutách hoření hranice a nad touto hodnotou se udržela dalších 100 minut. U prvního a druhého experimentálního pálení je možné si všimnout, že zhruba po 90. minutě od rozhoření hranice dochází k výkyvu teploty. U prvního nejdříve prudce stoupla a posléze výrazně klesla, aby se následně vrátila k plynulému průběhu. U druhého jen klesla a poté se vrátila na hodnoty srovnatelné s měřením u třetího experimentu (graf 1).

Po třech hodinách (180 min.) od zapálení se u všech experimentálních pálení teplota zastavila zhruba na 180 °C a bylo přerušeno měření.

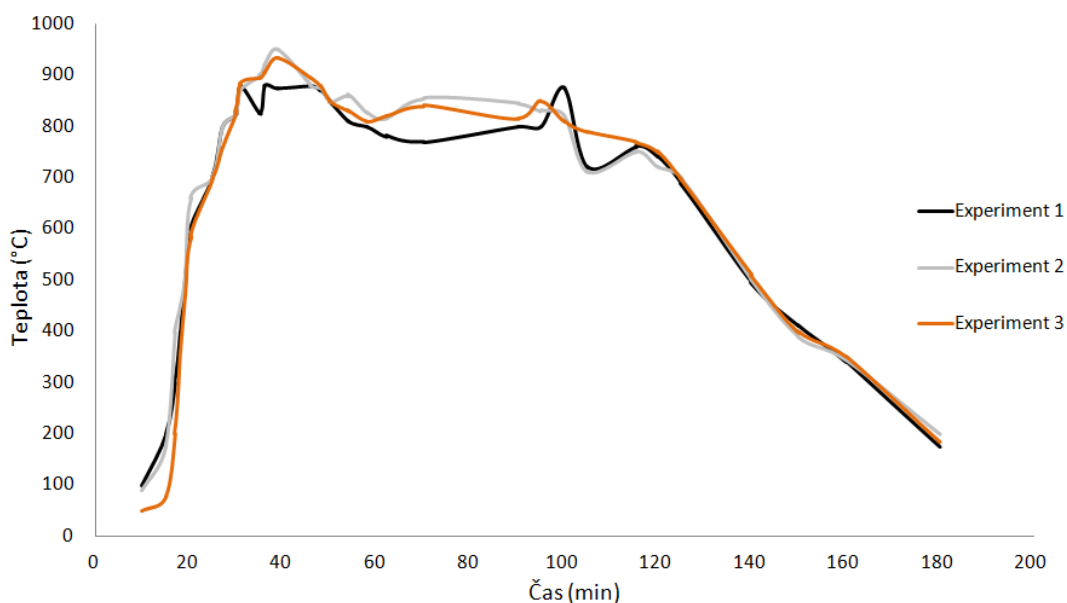
Naměřené hodnoty u všech třech experimentálních pálení se prakticky shodovaly, což bylo s nejvyšší pravděpodobností způsobené identickou přípravou vystavené hranice, použitím stejného materiálu pro její výstavbu a stejným způsobem zapálení (obr. 3 a 5) Výkyv teplot u prvního experimentu okolo 100. minuty hoření by mohl být vysvětlen nárazem větru, kdy prudce stoupl a posléze se propadl (viz. Experiment č. 1). Tento jev byl ale možný pouze v případě prvního experimentálního spalování, protože během druhého pálení panovalo bezvětří (viz.

Experiment č. 2). Prudký pokles tak pravděpodobně není způsoben vlivem klimatických podmínek.

Tabulka 7. Průběh experimentu (měření času a teploty žehu).

Experiment 1		Experiment 2		Experiment 3	
Čas (min.)	Teplota (°C)	Čas (min.)	Teplota (°C)	Čas (min.)	Teplota (°C)
10	100	10	90	10	50
15	200	15	180	15	78
17	300	20	400	17	200
18	400	22	450	18	360
19	500	23	510	19	470
20	600	24	660	20	585
25	700	25	700	25	695
27	800	27	800	27	760
30	825	30	825	30	830
31	<b>880</b>	31	870	31	885
35	825	32	900	35	895
36	880	34	920	36	905
39	875	37	<b>950</b>	39	<b>935</b>
46	880	42	880	46	895
48	870	48	875	50	880
50	850	52	850	53	850
54	810	55	860	54	830
58	800	60	825	59	810
62	780	62	815	62	820
70	770	68	855	75	840
90	800	90	845	90	815
95	800	95	830	95	850
100	875	100	820	100	810
105	720	105	710	105	790
115	760	115	750	115	770
120	740	120	720	120	750
125	690	125	700	125	695
140	495	140	500	140	510
150	410	150	390	150	400
160	340	160	345	160	350
180	175	180	200	180	185





Graf. 1. Průběh experimentu (měření času a teploty žehu).

Kosti se fragmentovali už během kremace na vršku hranice, ale nijak výrazně. U kostí pálených v suchém stavu k tomu začalo docházet po 40 minutách od rozhoření hranice, kdy se oddělil příčný výběžek od těla obratle. U čerstvých kostí, pálených s měkkou tkání byl tento proces pozdržen. V 60. minutě se odlomila proximální epifýza stehenní kosti. K nejvýraznější fragmentaci kosterního materiálu došlo až po prohoření nejvyšších pater hranice. Jakmile prohořely kmeny, ze kterých se skládala podesta pro uložení spalovaného materiálu, začaly hořící kosti propadat do vnitřku hranice. U experimentu se suchými kostmi k tomu došlo v 55. minutě a u experimentu s kostmi čerstvými po 67 minutách hoření.

V tento okamžik již nebylo možné sledovat jednotlivé kosti a jejich destrukci. Propadávali do různých úrovní hranice a jen letmo prosvítaly. Největší vliv na fragmentaci kostního materiálu mělo prohořívající dřevo hranice. Tak, jak se hranice bortila, lámala i kosterní materiál.



Přibližně po 180 minutách byla hranice ve všech třech experimentálních kremacích zcela vyhořelá, pouze torza základních kmenů ještě dohořivala. V žárovišti bylo stále ještě cca 200 °C (obr. 24).

## 6.2 Hodnocení fragmentace

Index fragmentace hodnoceného souboru se neliší mezi čerstvými kostmi spalovanými s měkkou tkání a kostmi suchými. Na 5% hladině významnosti nemohu zamítnout nulovou hypotézu ( $\chi^2 = 2,46$ ;  $P = 0,12$ ;  $df = 1$ ). Prekremační stav kostí nemá statisticky signifikantní vliv na jejich fragmentaci (Tab. 8 a 13).

Tabulka 8. Index fragmentace (IF).

	Počet kostí před kremací	Počet fragmentů po kremaci	IF
Čerstvé	134	924	0,15
Suché	84	730	0,12



Obr. 20. Hranice po 15 minutách od zapálení (Experiment č. 1)



Obr. 21. Hořící hranice po 35 minutách. (Experiment č. 1)





Obrázek 22. Hranice po 70 minutách (experiment č. 1)



Obrázek 23. Hranice po 180 minutách hoření. (Experiment č. 1)





Obrázek 24. Hranice druhý den po vychladnutí (experiment č. 1)

### 6.3 Hodnocení modifikace povrchu kosti

Tabulka 9 znázorňuje absolutní a relativní četnosti pozorovaných prasklin na kostech, kde je také zohledněn tvar kosti a prekremační stav kosti. Údaje relativních počtů jsou zaokrouhleny na dvě desetinná čísla. Relativní četnosti rozložení typů prasklin je počítána vždy pro jednotlivý uvedený tvar kosti a jeho prekremačního stavu. Shrnutí vztahů všech testovaných kategorií jsou znázorněny na konci kapitoly Výsledky v tabulce 13.

#### 6.3.1 Distribuce prasklin v závislosti na prekremačním stavu

Vztah mezi typem prasklin a prekremačním stavem kosti znázorňuje tabulka 10 a graf 2. Testovali jsme rozdíly v absolutních četnostech všech hodnocených typů prasklin v závislosti na prekremačním stavu kostí. Nulová hypotéza předpokládá rovnoměrné rozložení typů prasklin u čerstvých i suchých kostí. Vztah mezi typem

prasklin a prekremačním stavem byl shledán statisticky signifikantním a byla tak na 5% hladině významnosti zamítnuta nulová hypotéza ( $\chi^2=160,32$ ;  $P<0,01$ ;  $df=4$ ). Prekremační stav má vliv na typ prasklin. Nejvýraznější rozdíl je patrný u síťové struktury prasklin. Tato kategorie nebyla zaznamenána na ani jednom fragmentu kosti pálené v čerstvém stavu.

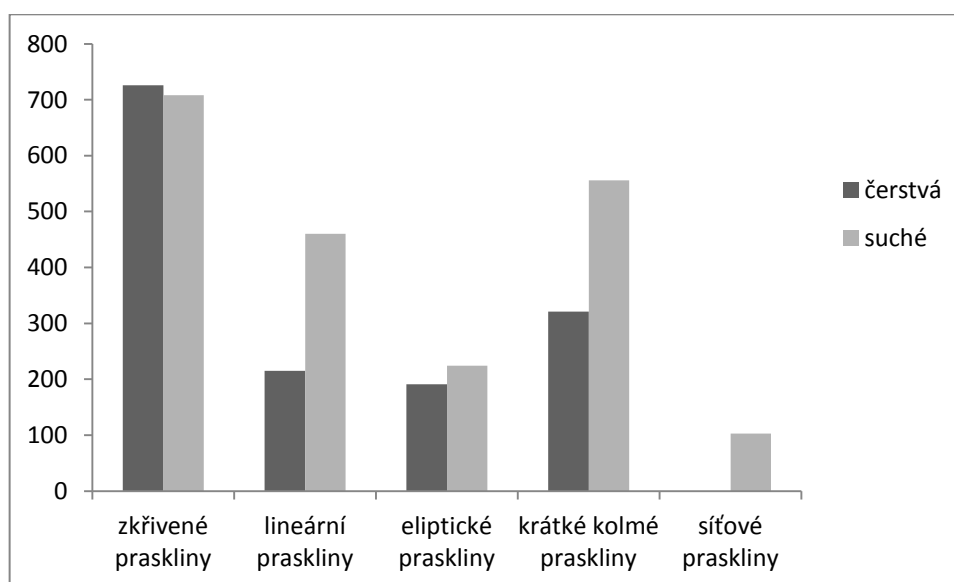
Tabulka 9. Absolutní a relativní četnosti typů prasklin pro tvar kosti v závislosti na jejich překremačném stavu (čerstvé, suché) †

Tvar kosti	Překremační stav	Typ prasklin										celkem absolutní četnost	celkem relativní četnost
		Zkřivené praskliny		Lineární praskliny		Eliptické praskliny		Krátké kolmé praskliny		Síťová struktura prasklin			
		absolutní četnost	relativní četnost	absolutní četnost	relativní četnost	absolutní četnost	relativní četnost	absolutní četnost	relativní četnost	absolutní četnost	relativní četnost		
Dlouhá	čerstvé (n 443)	439	0,42	187	0,18	134	0,13	288	0,27	0	0	1048	1
	suché (n 351)	343	0,33	265	0,26	94	0,09	298	0,29	32	0,03	1032	1
Nepravidelná	čerstvé (n 232)	232	0,74	8	0,03	40	0,13	33	0,11	0	0	313	1
	suché (n 250)	246	0,36	119	0,22	94	0,11	171	0,25	49	0,07	679	1
Plochá	čerstvé (n 55)	55	0,6	20	0,22	17	0,18	0	0	0	0	92	1
	suché (n 129)	119	0,35	76	0,22	36	0,11	87	0,26	22	0,06	340	1

† Distribuce relativních četností je počítána vždy pro jednotlivý uvedený tvar kosti a překremační stav kosti.

Tabulka 10. Vztah mezi typem prasklin a prekremačním stavem kostí.

	Typ prasklin					celkem
	zkřivené praskliny	lineární praskliny	eliptické praskliny	krátké kolmé praskliny	síťové praskliny	
Čerstvá (n=730)	726	215	191	321	0	1453
Suchá (n=730)	708	460	224	556	103	2051
celkem	1434	675	415	877	103	3504



Graf 2. Vztah mezi typem lomů a závislosti prekremačního stavu kostí.

### 6.3.2 Modifikace barvy

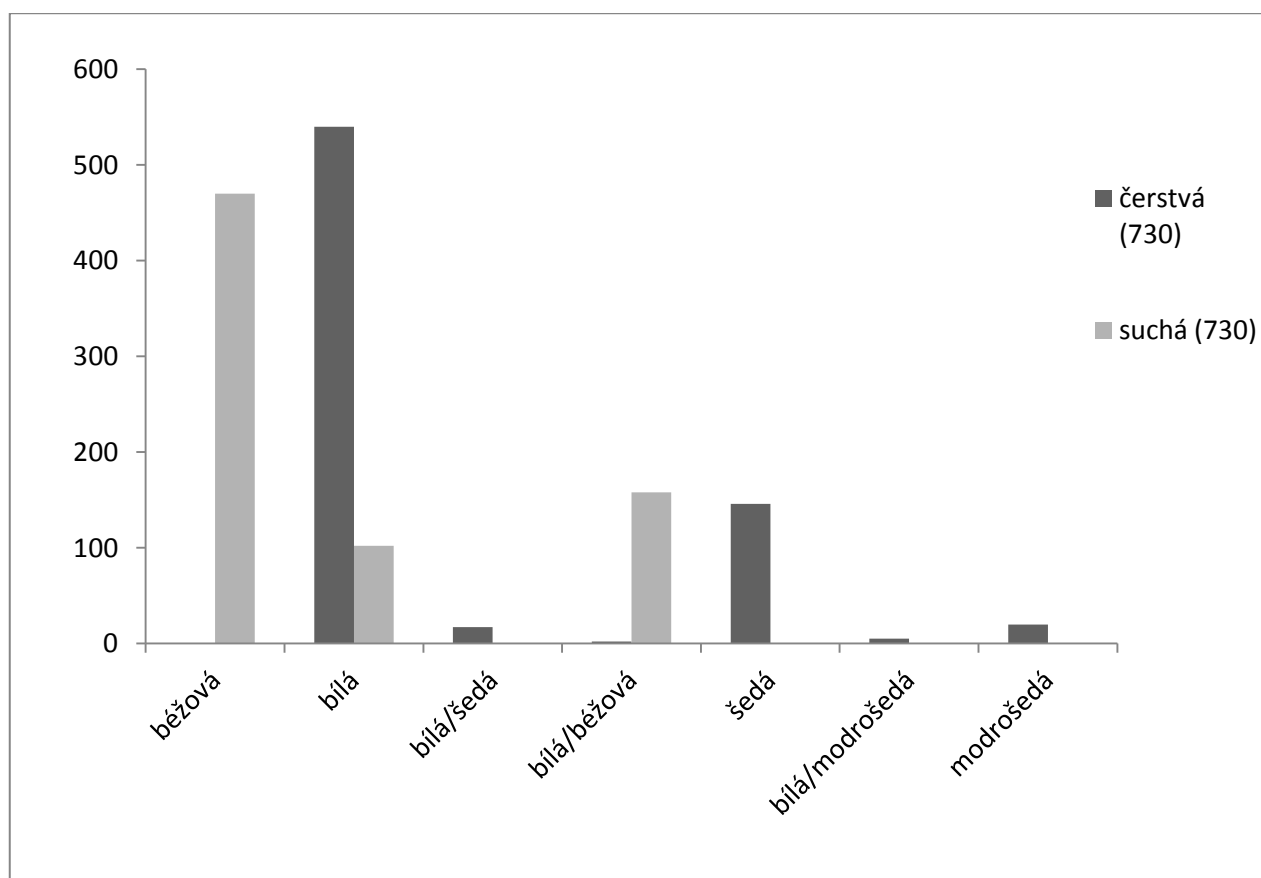
Vztah mezi barvou kosti a stavem kosti před kremací znázorňuje tabulka 11 a graf 3. Nulová hypotéza předpokládala prekramační vliv nebude mít vliv na zbarvení fragment. Stejně jako v předchozím případě na 5% hladině významnosti byla tato nulová hypotéza zamítnuta. Vztah mezi barvou kosti po kremaci v závislosti na prekremačním stavu kosti byl shledán statisticky signifikantní ( $\chi^2 = 1072,75$ ;  $P < 0,01$ ;  $df = 6$ ). V případě hodnocení závislosti barvy kosti na prekremačním stavu nebyla u kostí



pálených v čerstvém stavu pozorována ani u jednoho fragmentu. Na druhé straně u kostí pálených ve stavu suchém chybí šedá, bílá/šedá, bílá/modrošedá a modrošedá.

Tabulka 11. Vztah mezi barvou kosti a překremačným stavem.

	Barva							Celkem
	béžová	bílá	bílá/šedá	bílá/béžová	šedá	bílá/modrošedá	modrošedá	
Čerstvá	0	540	17	2	146	5	20	730
Suchá	470	102	0	158	0	0	0	730
Celkem	470	642	17	160	146	5	20	1460



Graf 3. Vztah mezi barvou kosti a jejím stavem před kremací.

### 6.3.3 Distribuce prasklin u jednotlivých tvarů kosti v závislosti na prekremačním stavu kosti.

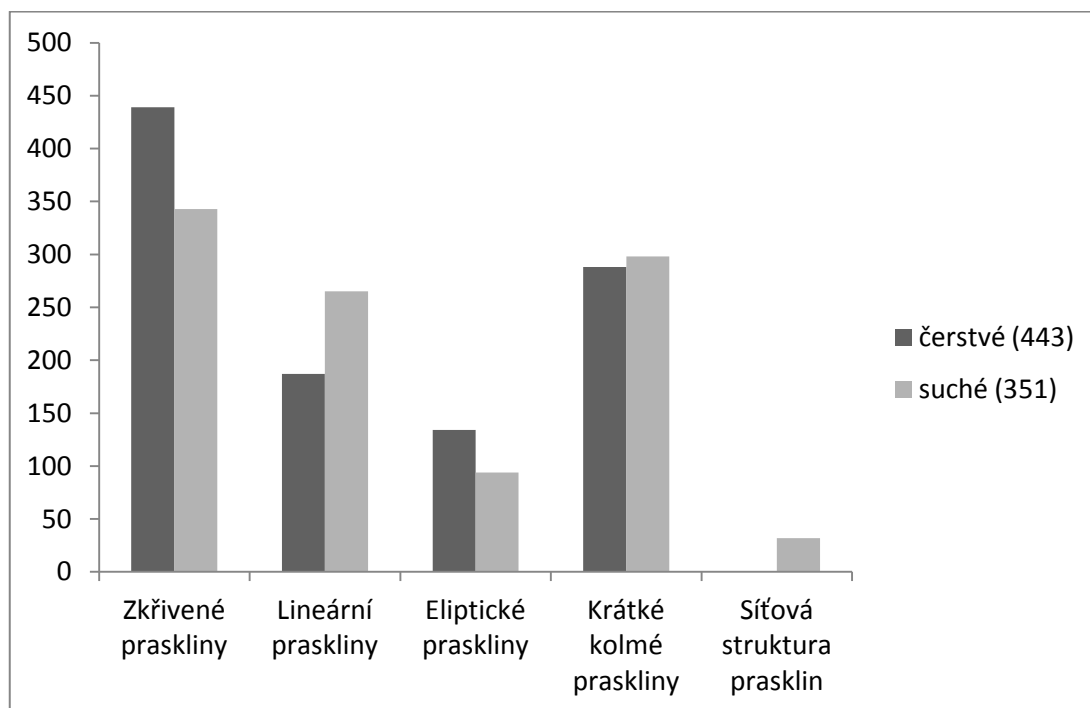
Vztahy mezi typem lomu a prekremačním stavem kosti u jednotlivých tvarů kosti znázorňuje tabulka 12 a grafy 4 až 8.

Tvar kosti nemá vliv na distribuci prasklin v závislosti na prekremačním stavu. U všech kategorií byl shledán statisticky signifikantní rozdíl mezi distribucí prasklin kosti a jejich prekremačním stavem a zamítáme tak na 5% hladině významnosti nulovou hypotézu, že u dlouhých kostí se nebude distribuce prasklin v závislosti na prekremačním stavu kosti lišit ( $\chi^2 = 64,31$ ;  $P < 0,01$ ;  $df = 4$ ), u nepravidelných kostí se nebude lišit distribuce prasklin v závislosti na prekremačním stavu ( $\chi^2 = 146,44$ ;  $P < 0,01$ ;  $df = 4$ ) a u plochých kostí se nebude lišit distribuce typu prasklin v závislosti na prekremačním stavu ( $\chi^2 = 44,22$ ;  $P < 0,01$ ;  $df = 4$ ). U plochých kostí pálených v suchém stavu nebyla ani v jednom případě zaznamenána krátká kolmá prasklina. Absence síťové struktury prasklin u čerstvých kostí všech tvarů vychází z absolutní nepřítomnosti tohoto typu praskliny na kostech pálených v čerstvém stavu.

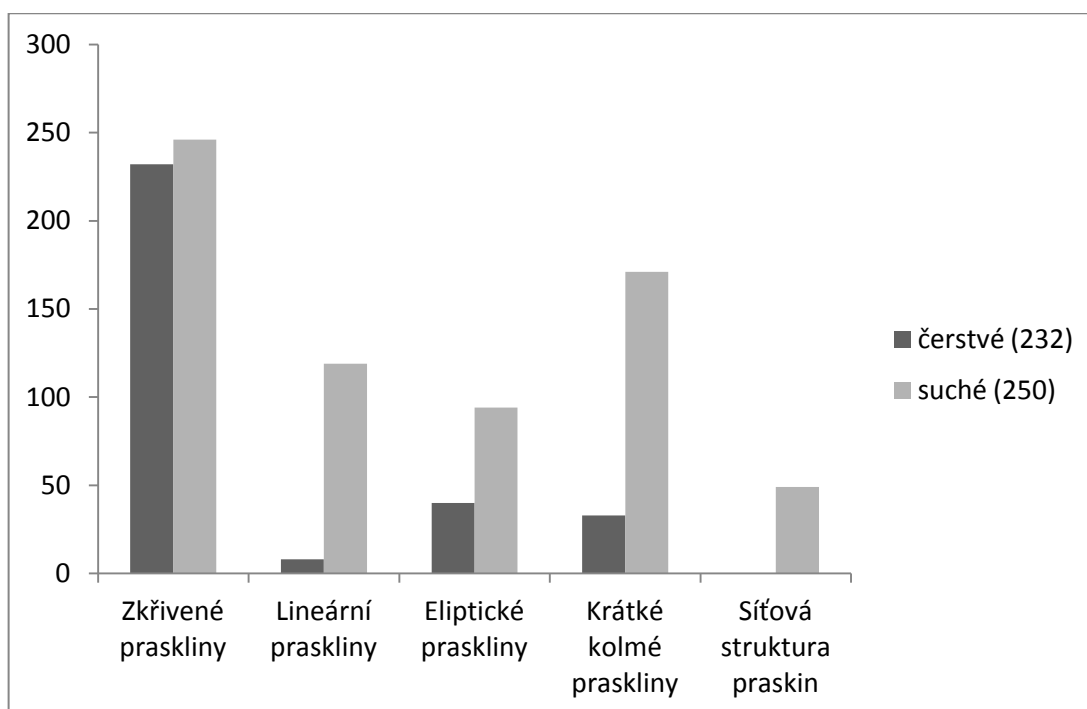
Grafy 7 a 8 zobrazují relativní četnost distribuce pozorovaných typů prasklin u jednotlivých tvarů kostí v prvním případě u kostí pálených v čerstvém stavu a v druhém u kostí pálených v suchém stavu.

Tabulka 12. Vztah mezi typem praskliny kosti a prekremačním stavem v závislosti na tvaru kosti v absolutních čístech.

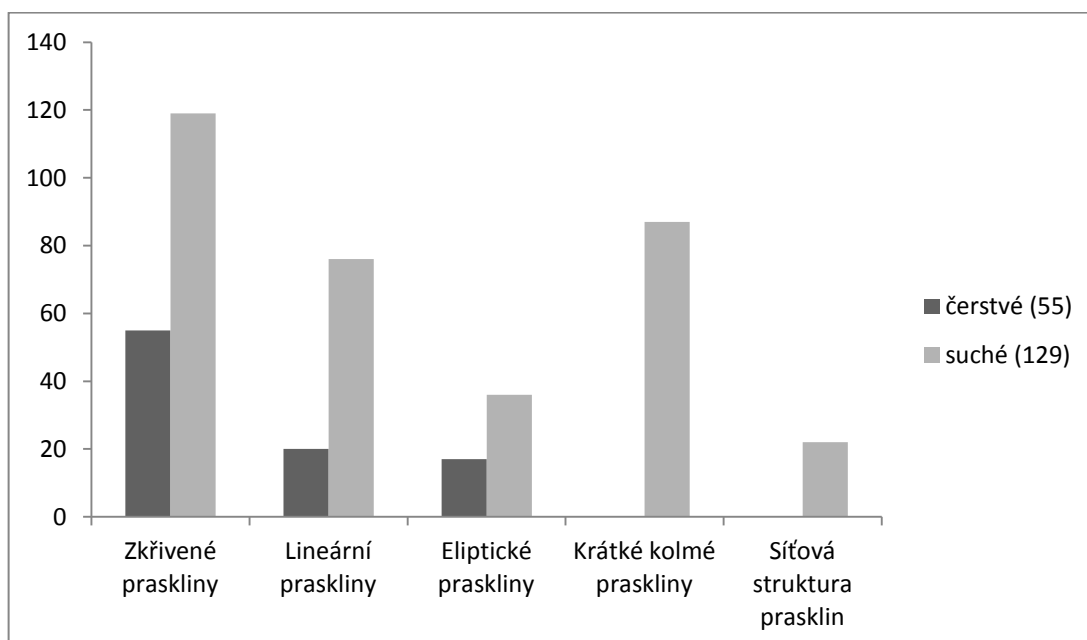
Tvar kosti	Prekremační stav	Typ prasklin				
		zkřivené praskliny	lineární praskliny	eliptické praskliny	krátké kolmé praskliny	Síťová struktura prasklin
Dlouhá	čerstvá (n 443)	439	187	134	288	0
	suchá (n 351)	343	265	94	298	32
Nepravidelná	čerstvá (n 232)	232	8	40	33	0
	suchá (n 250)	246	119	94	171	49
Plochá	čerstvá (n 55)	55	20	17	0	0
	suchá (n 129)	119	76	36	87	22



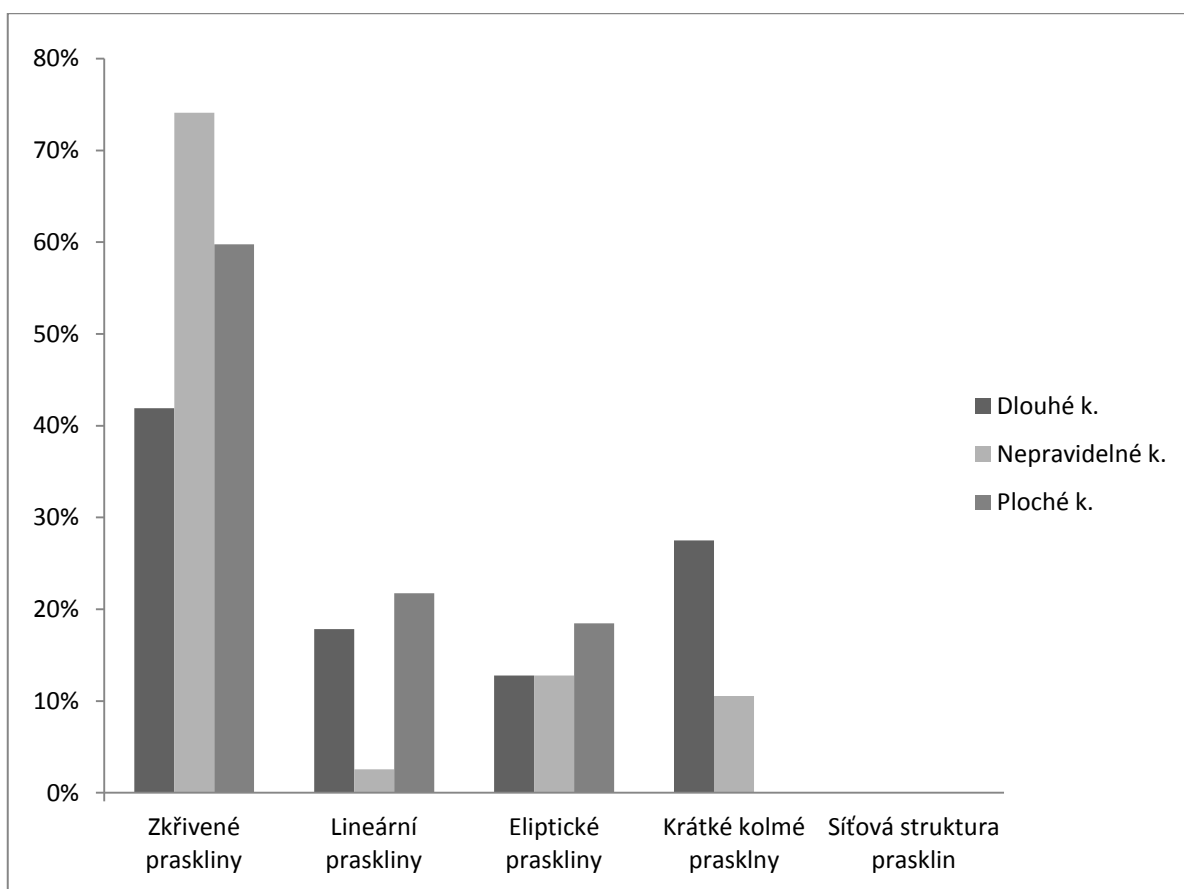
Graf 4. Vztah mezi typem praskliny v závislosti na prekremačním stavu u dlouhých kostí.



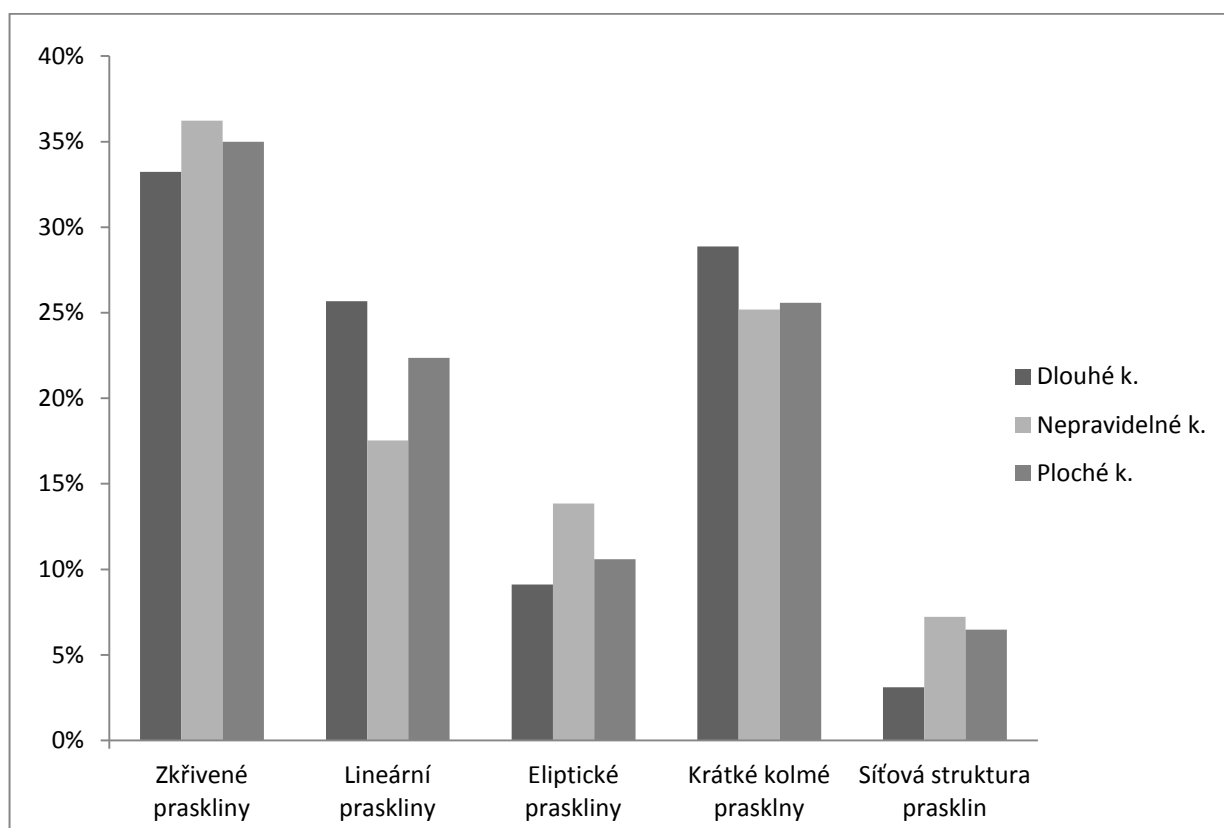
Graf 5. Vztah mezi typem praskliny a překremačním stavem u nepravidelných kostí.



Graf 6. Vztah mezi typem praskliny a překremačním stavem u plochých kostí.



Graf 7. Relativní četnosti distribuce prasklin v závislosti na tvaru kosti u čerstvých kostí.



Graf 8. Relativní četnosti distribuce typu prasklin v závislosti na tvaru kosti u suchých kostí.

Tabulka 13. Výsledky testů.

Testované vztahy						
	Index fragmentace (IF)	Typ prasklin - Prekremační stav	Barva - Prekremační stav	Typ prasklin/Tvar kosti - Prekremačním stav		
				Dlouhé	Nepravidelné	Ploché
$\chi^2$	2,46	160,32	1072,75	64,31	164,44	44,22
P hodnota	0,12	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01	P<0,01
df	1	4	6	4	4	4

## 7 DISKUZE

Průběh všech provedených experimentálních kremací zvířecích kostí byl prakticky totožný. Podle Wahla (1981) bylo dosaženo téměř nejvyšších možných teplot, které lze na venkovním pálení hranice ze suchého dřeva za přístupu kyslíku dosáhnout. Nejvyšší naměřená teplota byla 950 °C a po dobu 120 minut působila na kosterní materiál teplotou nad 600 °C – 800 °C. Wahl (1981) uvádí jako možnou krajní hranici 1000 °C. To, že byly nastaveny prakticky identické podmínky pro spalování kosterního materiálu, se neshoduje s předpoklady Wellse (1960) a také dalších autorů (např. Schmidt and Symes 2011), kteří v širším kontextu považují za velmi problematické nastavení opakovatelných podmínek v nelaboratorním prostředí. Klimatické podmínky, které byly u jednoho z experimentálního pálení odlišné od zbylých dvou, se nijak významně neprojevily na době spalování. Hranice hořela vždy nejméně 180 minut. Poté, co teplota klesla pod 200 °C, zanechali jsme měření času.

Problémem s měřením teploty může být fakt, že instalovaný termočlánek měřil pouze na jednom místě (viz. Obr. 8) a to v dolních patrech hranice, kam se kosti dostaly až po nějaké době. Zhruba po 70 minutách začaly kosti propadat do vnitřku hranice, ale z podstaty charakteru umístění na vrchu hranice, značně nerovnoměrně. Otázkou tedy je jakých hodnot by nabylo měření v oblasti kostí v průběhu od počátku až do konce pálení.

Značným faktorem pro lámání a praskání kostí byla samotná destrukce hranice. Index fragmentace byl u obou prekremačních stádií rozlišených vzorků téměř bez rozdílu a nebyl na 5% hladině významnosti shledán statisticky signifikantní ( $P=0,12$ ). U čerstvých kostí  $IF=0,15$  a suchých kostí  $IF=0,12$ . V tomto případě tak není jisté, zda charakter kremace nijak nezakreslil vliv prekremačního stavu kostí na jejich  $IF$ .

Obecně je v literatuře přijímána hypotéza, že čerstvé kosti se oproti suchým kostem více fragmentují (Correia 1997; Thompson 2005).

Rozložení barevného spektra, které bylo na 5% hladině významnosti statisticky signifikantní ( $P < 0,01$ ), odpovídá předpokladům Buikstry a Swegla (1989), kteří vliv prekremačního stavu na kost očekávají. Na druhé straně Curtin (2008) tento vztah nezaznamenala. Je možné, že k těmto konfliktům dochází proto, že není zcela sjednocená metodika hodnocení barev na kosti. V této práci jsem hodnotil pouze vnější část kosti a tím jsem odfiltroval modifikace barev na potenciálně méně přepálené vnitřní části kostních fragmentů. Myslím si, že důvod proč je na tomto souboru významný rozdíl ve zbarvení spálených kostech v závislosti na prekremačním stavu, souvisí s barvou kosti již před kremací. Ta je ovlivněna procesem, kterým prošla. V tomto případě se jedná o postdepoziční procesy, vzniklé uložením v tmavé hlíně, která samozřejmě barvu kostí ovlivnila (viz. Obr. 3 a 5). Do jaké míry by byly změny v barvě na spálených suchých kostech, které nebyly uloženy do země, ale došlo by k jejich vysušení v jiném prostředí je otázkou.

Byl také s 5% hladinou významnosti prokázán vliv prekremačního stavu kosti na rozdílnou distribuci typu prasklin, vzniklých během spalování ( $P < 0,01$ ). Opět musím konstatovat, že by mohlo dojít k problémům hodnocení jednotlivých prasklin. Metoda hodnocení byla nastavena subjektivně podle více či méně frekventovaných typů prasklin zaznamenaných v literatuře.

Zkřivené praskliny byly rozptýleny v celém souboru a jejich charakter nenapovídá o výlučnosti znaku pro jeden nebo druhý stav kosti před kremací. V tomto případě si myslím, že by bylo velice zajímavé porovnat soubory vzniklé moderní kremací, bez možnosti fragmentace vnějšími podmínkami jako je například bortící se dřevo v hořící hranici. Tento nejobecněji popsáný znak se objevil u 74% nepravidelných kostí, pálených s měkkou tkání a pouze u 6% plochých kostí ve stejném stadiu



dekompozice. Kdežto u plochých kostí pálených v suchém stavu byl zaznamenán ve 35 % případů. U suchých dlouhých kostí, kde by se podle Ubelakera (1991, 2009) a dalších neměla vyskytovat téměř vůbec, tak byla tato prasklina přítomna na 33% spálených fragmentů. Čím je tento fakt způsoben se mohu jen domnívat. Je opět možné, že do celkového výsledku promluvila metoda spalování na hranici, kdy destrukce dřeva roztříštilo kosti ještě před tím, než se stačili fragmentovat na základě svých vlastností.

Lineární praskliny, které měly vznikat pouze u kostí pálených v suchém stavu, se taktéž objevují v celém souboru. Důvod může být ve vysoké fragmentaci hodnoceného souboru, protože její typický průběh je na diafýzách dlouhých kostí (Bohnert et al. 1998; Ubelaker 2009). V souboru získaném experimentálním pálením pro tuto práci tomu tak ale není (tab. 9). I přesto, že na suchých dlouhých kostech byl jejich výskyt nejvyšší z celého souboru (26%). Tento znak se tedy projevil nejvíce na svém typickém místě, ale rozhodně se nedá hovořit o jeho jedinečnosti pro daný prekremační stav.

Krátké kolmé praskliny jsme pozorovali téměř u 75% nepravidelných kostí pálených v čerstvém stavu, zato na ani jedné ploché kosti, pálené také v čerstvém stavu (Graf 7). Tento fakt nekoresponduje s výsledky Thompsona (2004b), který předpokládá výskyt tohoto druhu prasklin převážně na pálených suchých kostech. Ale je také možné, že v případě, kdy předchozí autoři neodlišovali tvar kosti s popisovanými znaky, mohly ploché kosti představovat většinu materiálu, na kterém se tento znak hodnotil, a v takovém případě by v 26% sledovaná proměnná u kostí pálených v suchém stadiu představovalo výlučný znak, který by mohl být zařazen jako jedna z možných identifikačních pomůcek na rozlišení prekremačního stavu u přepálených fragmentů.

Eliptické praskliny podle Baby (1958) a dalších badatelů by měly vznikat primárně na čerstvých kostech (Correia 1997; McKinley 2000;

Thurman and Willmore 1982). Ovšem v našem souboru se distribuce tohoto znaku rozložila opět do všech kategorií (tab. 9 a graf 7). Přesto je možné sledovat jejich nejvyšší výskyt (18%) právě na předpokládaných čerstvých plochých kostech (Thompson 2004b; Thurman and Willmore 1982). Další typickým místem, na kterém by se měl tento zajímavý typ praskliny objevovat je dlouhá kost. V našem souboru je to ve 13% ze všech dlouhých kostí, pálených v čerstvém stádiu s měkkou tkání. Žádné ze tří stanovených tvarů suchých kostí, s prezencí tohoto znaku nepřekročil 11%.

Nejvýraznější rozdíl se projevil u síťové struktury prasklin, která nebyla zaznamenána ani v jednom případě u kostí pálených s měkkou tkání (tab. 9). Tento výsledek podporuje předpoklad Thompsona (2004b) a dalších (Bohnert et al. 1998; Correia 1997), že se síťová struktura prasklin vyskytuje na fragmentech kostí, které jsou páleny v suchém stádiu. Je to tedy jediný znak, který potvrdil svou výlučnost a mohla by se na něm stavět metoda poznávání prekremačního stavu u spálených kostí. Nejpravděpodobnější důvod proč tomu tak je, souvisí s oslabením pružnosti a následná mineralizace kosti ztrátou většiny organické složky kostní tkáně a to především kolagenu už před zahájením kremace (Correia 1997; Thompson 2004b). Síťová struktura prasklin by mohla vznikat oddělováním se vnější lamely kompaktní kosti a tvořit tak praskliny, podobné odlupování povrchu kosti, které je diskutováno jako znak typický pro fragmenty kosti spalované jako suché (Curtin 2008).

V zásadě je nutné tyto výsledky porovnat s dalšími experimentálně získanými daty. Velmi přínosné by pro studium prekremačních procesů, bylo prohloubit analýzu jak dat současných tak právě třeba využít moderní kremaci bez zkreslujícího deformačního faktoru, způsobené kremací kostí na venkovní hranici. Takto jsme se sice chtěli přiblížit reálným datům získatelným v běžné archeologické praxi, protože předpokládáme kremace minulých populací právě na venkovních hranicích, ale tento materiál poslouží pouze srovnání pro čerstvě spálené

kosti, které zůstávají na povrchu země a nepodléhají žádným následujícím postdepozičním procesům, ať už v případě modifikace barvy kosti, nebo deformaci lomů vlivem uložení do země.

## 8 ZÁVĚR

Cílem práce bylo ověřit, zda lze rekonstruovat přítomnost či absenci měkkých tkání pomocí prospekce povrchu kosti. Experimentálně jsme spálili dvě kategorie kostí s různým stadiem dekompozice. Materiálem byly kosti prasete domácího. Čerstvé kosti byly zakoupeny u specializovaných prodejců. Suché kosti byly obstarány exkavací zemřelého zvířete.

Výsledky, ke kterým jsme během experimentálního spalování zvířecích kostí dospěli, navádí k nutnému konstatování, že nemohu vyvrátit stanovené hypotézy, kdy lze indikovat přítomnost, nebo absenci měkké tkáně na spálených kostech a přikláním se tak k názoru, že pomocí hodnocením typu prasklin na kostech a také barvy přepálených kostí lze rekonstruovat prekremační stav kostí. Typ prasklin i zbarvení kostí jsou ukazatelem prekremačního stavu. Stejně tak jako síťová struktura prasklin, která se ukázala jako výlučný znak, který se projevuje pouze na kostech pálených v suchém stadiu.

Podářilo se nám ovšem vyvrátit hypotézu, že spalování kostí v různém stadiu dekompozice tj. prekremačním stavu bude vykazovat rozdílnou fragmentaci. Kostí se během našeho výzkumu fragmentovaly téměř bez rozdílu.

## **9 PODĚKOVÁNÍ:**

Děkuji své vedoucí Mgr. Anně Pankowské Ph. D. a Mgr. Patriku Galetovi Ph. D. za veškerou snahu mi v čemkoli a kdykoli pomoci. Panu Prof. Ing. Jiřímu Koženému CSc. za propůjčení přístroje na měření teploty. Také děkuji všem, kteří se podíleli na přípravě a provedení a dokumentaci experimentu.

## 10 SEZNAM LITERATURY

- Agresti A. 1996. An introduction to categorical data analysis: Wiley New York.
- Alunni V, Grevin G, Buchet L, and Quatrehomme G. 2014. Forensic aspect of cremations on wooden pyre. *Forensic Sci Int* 241:167-172.
- Baby RS. 1966. Hopewell cremation practices: Ohio Historical Society.
- Baker AJ. 2004. A Taphonomic Analysis of Human Cremains from the Fox Hollow Farm Serial Homicide Site. Unpublished PhD Thesis, University of Indianapolis.
- Bartsiokas A. 2000. The eye injury of King Philip II and the skeletal evidence from the Royal Tomb II at Vergina. *Science* 288(5465):511-514.
- Benecke M. 1998. Spontaneous human combustion: Thoughts of a forensic biologist. *Skeptical Inquirer* 22:47-51.
- Binford LR. 1963. An analysis of cremations from three Michigan sites. *Wisconsin Archaeologist* 44(2):98-110.
- Bohnert M, Rost T, and Pollak S. 1998. The degree of destruction of human bodies in relation to the duration of the fire. *Forensic Sci Int* 95(1):11-21.
- Bontrager AB, and Nawrocki SP. 2015. Chapter 13 - A Taphonomic Analysis of Human Cremains from the Fox Hollow Farm Serial Homicide Site. In: Symes CWSA, editor. *The Analysis of Burned Human Remains (Second Edition)*. San Diego: Academic Press. p 229-245.
- Boric D, Raičević J, and Stefanović S. 2009. Mesolithic cremations as elements of secondary mortuary rites at Vlasac (Serbia). *Documenta Praehistorica* 36:247-282.
- Bradtmiller B, and Buikstra JE. 1984. Effects of burning on human bone microstructure: a preliminary study. *J Forensic Sci* 29(2):535-540.

- Brožek J. 1966. Human body composition—Models, methods, applications. *Anthropologie (Brno)* 3:3.
- Buikstra JE, and Swegle M. 1989. Bone modification due to burning: experimental evidence. *Bone modification*:247-258.
- Castillo RF, Ubelaker DH, Acosta JAL, and de la Fuente GAC. 2013. Effects of temperature on bone tissue. Histological study of the changes in the bone matrix. *Forensic Sci Int* 226(1-3):33-37.
- Castillo S, Fischer-Guex L, Freund H, Glazewski M, Holcomb L, June A, Linberts J, Lyon N, Perry A, and Pouba K. 2006. Date May 2006.
- Correia PM. 1997. Fire modification of bone: a review of the literature. *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains* Boca Raton, FL: CRC:275-293.
- Curtin AJ. 2008. Putting together the pieces: Reconstructing mortuary practices from commingled ossuary cremains. *The Analysis of Burned Human Remains*:201-209.
- Čihák R. 2001. *Anatomie I*. Praha. Grada publishing.
- DeHaan JD, and Nurbakhsh S. 2001. Sustained combustion of an animal carcass and its implications for the consumption of human bodies in fires. *J Forensic Sci* 46(5):1076-1081.
- Devlin JB, and Herrmann NP. 2008. Bone color as an interpretive tool of the depositional history of archaeological cremains. *The analysis of burned human remains* 13:109-128.
- Dokládal M. 1999. *Morfologie spálených kostí. Význam pro identifikaci osob*.
- Dunlop JM, and Farr MJ. 1978. Porcelain faeces after cremation. *Public Health* 92(6):294-295.
- Etxeberría F. 1994. Aspectos macroscópicos del hueso sometido al fuego. Revisión de las cremaciones descritas en el País Vasco desde la Arqueología. *Munibe Ciencias naturales* 46:111-116.
- Forbes G. 1941. Effects of Heat on Histological Structure of Bone, *The Police J* 14:50.

- Gejvall N-G. 1969. Cremations. *Science in archaeology*:468-479.
- Gilchrist R, and Mytum HC. 1986. Experimental archaeology and burnt animal bone from archaeological sites. *Circaea* 4(1):29-38.
- Gonçalves D, Thompson T, and Cunha E. 2011. Implications of heat-induced changes in bone on the interpretation of funerary behaviour and practice. *Journal of Archaeological Science* 38(6):1308-1313.
- Gurdon PRT. 1914. *The Khasis*: Macmillan.
- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, and Piepenbrink H. 1990. H Schutkowski (1990) *Prähistorische Anthropologie. Leitfaden der Feld-und Labormethoden*. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Herrmann B, Grupe G, Hummel S, Piepenbrink H, and Schutkowski H. 2013. *Prähistorische Anthropologie: Leitfaden der Feld-und Labormethoden*: Springer-Verlag.
- Hiller J, Thompson T, Evison M, Chamberlain A, and Wess T. 2003. Bone mineral change during experimental heating: an X-ray scattering investigation. *Biomaterials* 24(28):5091-5097.
- Holden J, Phakey P, and Clement J. 1995. Scanning electron microscope observations of heat-treated human bone. *Forensic Sci Int* 74(1):29-45.
- Homolka J. 1971. *Klinické biochemické vyšetřovací metody*: Avicenum.
- Hummel S, and Schutkowski H. 1993. Approaches to the histological age determination of cremated human remains. *Histology of Ancient Human Bone: Methods and Diagnosis*: Springer. p 111-123.
- Janko M. 2012. *Structure and stability of biological materials—characterisation at the nanoscale*: Imu.
- Junqueira LC, Carneiro J, Kelley RO, and Jelínek R. 1999. *Základy histologie*: H+ H.



- Kaup Y, and Weser U. 2000. Ancient metalloenzymes as possible markers in molecular archaeology. *J Inorg Biochem* 79(1):3-6.
- Keough N, L'Abbé EN, Steyn M, and Pretorius S. 2015. Assessment of skeletal changes after post-mortem exposure to fire as an indicator of decomposition stage. *Forensic Sci Int* 246:17-24.
- Kuhl I. 1987. Der Informationswert von Bronzeoxydverfärbungen, Bronzeschmelzen und nichtmetallischen Schmelzrückständen aus meist latènezeitlichen Brandbestattungen. *Acta Praehistorica et Archaeologica*(19):93-109.
- Lyman RL. 1994. *Vertebrate taphonomy*: Cambridge University Press.
- Marvan F. 2003. *Morfologie hospodářských zvířat*. Třetí vydání. Praha: Česká zemědělská univerzita v nakladatelství Brázda.
- Mays S. 1998. *The archaeology of human bones*: Taylor & Francis.
- McKinley JI. 1994a. Bone fragment size in British cremation burials and its implications for pyre technology and ritual. *Journal of Archaeological Science* 21(3):339-342.
- McKinley JI. 1994b. A pyre and grave goods in British cremation burials; have we missed something? *Antiquity* 68(258):132-134.
- McKinley JI. 2000. Phoenix rising: aspects of cremation in Roman Britain. *Burial, society and context in the Roman World*:38-44.
- Murty O, and Paul G. 1995. Bride burning and burns-certain differentiating aspects thereof. *JFMT* 12(3&4):13-26.
- Musgrave J, Prag J, Neave R, Fox RL, and White H. 2010. The occupants of Tomb II at Vergina: why Arrhidaios and Eurydice must be excluded: na.
- Nelson R. 1992. A microscopic comparison of fresh and burned bone. *J Forensic Sci* 37(4):1055-1060.
- Nicholson RA. 1993. A morphological investigation of burnt animal bone and an evaluation of its utility in archaeology. *Journal of Archaeological Science* 20(4):411-428.

- Parker S. 1985. An experimental and comparative study of cremation techniques. Unpublished M Sc dissertation, Department of Archaeology and Prehistory, University of Sheffield.
- Pope EJ, and Smith O. 2004. Identification of traumatic injury in burned cranial bone: an experimental approach. *J Forensic Sci* 49(3):431-440.
- Prokeš L. 2007. Posmrtné změny a jejich význam při interpretaci pohřebního ritu (ke vztahu mezi archeologií a forenzními vědami): ÚAM FF MU Brno.
- Prokop O. 1966. Schußverletzungen. *Forensische Medizin* 3:220.
- Rogers K, and Daniels P. 2002. An X-ray diffraction study of the effects of heat treatment on bone mineral microstructure. *Biomaterials* 23(12):2577-2585.
- Shipman P, Foster G, and Schoeninger M. 1984. Burnt bones and teeth: an experimental study of color, morphology, crystal structure and shrinkage. *Journal of archaeological science* 11(4):307-325.
- Schmidt CW, and Symes SA. 2011. *The analysis of burned human remains*: Academic Press.
- Snoeck C, Lee-Thorp J, and Schulting R. 2014. From bone to ash: Compositional and structural changes in burned modern and archaeological bone. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 416:55-68.
- Stiner MC, Kuhn SL, Weiner S, and Bar-Yosef O. 1995. Differential burning, recrystallization, and fragmentation of archaeological bone. *Journal of Archaeological Science* 22(2):223-237.
- Stojan R. 2010. Zařízení pro kontrolu velmi nízkých teplot při detekci defektů solárních článků: Vysoké učení technické v Brně. *Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií*.
- Strzalko J, Piontek J, and Malinowski A. 1974. Possibilities of burned human bones identifications in the light of experimental investigations. *Methods, results and consequences of investigations of bones from cremations burials* *Ser Antropol* 2:31-42.

- Taylor R, Hare P, and White T. 1995. Geochemical criteria for thermal alteration of bone. *Journal of archaeological science* 22(1):115-119.
- Tejkl J. 2012. *Obrábění těžkoobrobitelných materiálů: Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.*
- Thompson T. 2004a. Recent advances in the study of burned bone and their implications for forensic anthropology. *Forensic Sci Int* 146:S203-S205.
- Thompson T. 2005. Heat-induced dimensional changes in bone and their consequences for forensic anthropology. *J Forensic Sci* 50(5):1008-1015.
- Thompson T. 2015. *The Archaeology of Cremation: Burned Human Remains in Funerary Studies: Oxbow Books.*
- Thompson TJU. 2004b. *An experimental study of the effects of heating and burning on the hard tissues of the human body and its implications for anthropology and forensic science: University of Sheffield.*
- Thompson TJU, Gauthier M, and Islam M. 2009. The application of a new method of Fourier Transform Infrared Spectroscopy to the analysis of burned bone. *Journal of Archaeological Science* 36(3):910-914.
- Thurman MD, and Willmore LJ. 1982. A replicative cremation experiment. *North American Archaeologist* 2(4):275-283.
- Ubelaker D. 1991. Perimortem and postmortem modification of human bone. *Lessons from forensic anthropology. Anthropologie* 24(3):171-174.
- Ubelaker DH. 2009. The forensic evaluation of burned skeletal remains: A synthesis. *Forensic Sci Int* 183(1-3):1-5.
- Van Vark G. 1974. The investigation of human cremated skeletal material by multivariate statistical methods, I methodology. *Ossa* 1:63-95.
- Wahl J. 1981. *Beobachtungen zur Verbrennung menschlicher Leichname. Über die Vergleichbarkeit moderner Kremationen mit prähistorischen Leichenbränden. (Considérations sur l'incinération de cadavres humains. Etude comparative de crémations modernes*

aux incinérations préhistoriques). Archäologisches Korrespondenzblatt Mainz 11(3):271-279.

- Walker PL. 2001. A bioarchaeological perspective on the history of violence. *Annual Review of Anthropology*:573-596.
- Weitzel MA, and McKenzie HG. 2015. Chapter 11 - Fire as a Cultural Taphonomic Agent. In: Symes CWSA, editor. *The Analysis of Burned Human Remains (Second Edition)*. San Diego: Academic Press. p 203-217.
- Wells C. 1960. A study of cremation. *Antiquity* 34(133):29-37.
- White TD, Black MT, and Folkens PA. 2011. *Human osteology*: Academic press.
- White TD, and Folkens PA. 2005. *The human bone manual*: Academic Press.
- Whyte TR. 2001. Distinguishing Remains of Human Cremations from Burned Animal Bones. *Journal of Field Archaeology* 28(3/4):437-448.

## 11 RESUME

Presented thesis dedicates to pre-cremation taphonomy of bone material, i.e. period of time, which precedes the actual cremation. The main emphasis is put on modification of burned bone surface. Archaeological and forensic practice arises that the knowledge of this factor is very important when it comes to reconstruction of happenings which preceded entire process of burning.

In general we can say that in interpretation of the single finding situations we can observe the trend of rating characters on the basics of fragment fractures. It is visible so on the assumption burning fresh bones with or without soft tissue the fragments exhibit to be warped and irregular (e.g. Keough et al. 2015; Ubelaker 2009) whereas the cases of burning dry bones lead to fractures more likely to be of longitudinal and even character (Gonçalves et al. 2011; Van Vark 1974; Whyte 2001).

The lack of consistency of the particular studies raises the question to which extent are these general conclusions acceptable and if there exist unequivocally definable features noticeable on the burned bone surface which could implicate its pre-cremation condition.

Goal of this thesis is to ascertain if it is possible to observe original presence of soft tissues in the burned bones with tissue and dry bones. The question is if we can reconstruct so called pre-cremation manipulation with human remains of previous population. We set these hypotheses: Character of the bone surface modification will indicate the bone's condition before cremation. Colour of the bone after cremation fresh bones will be unlike the colour of dry ones. Bone shape will influence distribution of fractures resulted from bone cremation. We executed experimental cremation of animals in three periods. In first period it was mix of bones, secondly fresh bones only, thirdly dry bones only. We used Pearson's chi-squared test for detecting relationship

between nominal variables. Level of confidence was determined at 5 % ( $p < 0,05$ ). The null hypothesis of all tested relationships always assumed even representation of observed attributes in followed categories (precremational condition, fracture types, bone colour, bone shape). We worked with MS Excel and Past 3x programs.

We observed relationship between pre-cremation condition of bone (fresh, dry) and fracture type. We also assessed relationship between colour of the bone fragment and bone's pre-cremation condition. The relationship between pre-cremation condition and fracture type for single bone's shapes was observed as well. From results it is obvious that pre-cremation condition influences fracture type observed on the bones after cremation.