

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Biologie  
Studijní obor: Antropologie a genetika člověka



**Bc. Vojtěch Rieger**

Pohlavní dimorfismus a morfologie lebky s ohledem na sociologickou strukturu  
velkomoravského pohřebiště Mikulčice

Sexual dimorphism and skull morphology with regard to the social structure of the Great  
Moravian burial area Mikulčice

Diplomová práce

Školitel: RNDr. Šárka Bejdová, Ph.D.

Konzultant: doc. RNDr. Jana Velemínská, Ph.D.

Praha, 2019

## **Poděkování**

V první řadě bych rád poděkoval vedoucí mé diplomové práce RNDr. Šárce Bejdové, Ph.D. za nesmírnou ochotu pomoci a trpělivost po celou dobu psaní práce. Dále patří dík doc. RNDr. Janě Velemínské, Ph.D. za cenné odborné rady. Práce by také nevznikla bez pomoci v metodice Mgr. Jána Dupeje. Také chci poděkovat RNDr. Petru Velemínskému, Ph.D. a celému kolektivu Antropologie Národního muzea za ochotu při práci s kosterním materiálem. Konečně musím zmínit podporu, které se mi dostalo od mých nejbližších, rodiny a přátel.

Diplomová práce byla podpořena grantem GAČR č. 17-01878S.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze,

## Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vlivem pohlaví a socioekonomické příslušnosti na morfologii lebky u populace Slovanů z raně středověkého sídliště Mikulčice, které byly mocenským centrem Velké Moravy s hierarchicky uspořádanou společností. Pro lepší pochopení historických vztahů v tehdejší společnosti je důležité identifikovat jedince a zařadit ho do příslušné sociální skupiny. Již dříve byly identifikovány morfologické rozdíly lebky mezi obyvateli pohřbenými na mikulčickém hradě a těmi pohřbenými v podhradí. To je dáváno do souvislosti s odlišnými podmínkami pro život, které vycházejí z odlišného společenského postavení jedinců z hradu a podhradí. Tato práce studuje, zda také existuje podobné pojitko mezi socioekonomickou příslušností jedince a bohatostí hrobové výbavy. Dále pak je vliv lokality a výbavy hroby na morfologii lebky porovnán mezi sebou. V rámci takto definovaných skupin je také popsán pohlavní dimorfismus, jehož míra manifestace mimo jiné souvisí právě s příhodností vnějšího prostředí a je tak vhodným antropologickým markerem.

Analyzováno bylo celkem 89 jedinců (40 žen a 49 mužů) ve věkovém rozmezí od 20 do 60 let. Materiál byl vyhodnocen pomocí metod geometrické morfometrie, a to nově v celém povrchu lebky.

Signifikantní intersexuální rozdíly byly identifikovány u všech podskupin mikulčického obyvatelstva vymezených lokalitou nebo výbavou hrobu. Výraznější pohlavní dimorfismus byl pozorován u obyvatel mikulčického hradu oproti podhradí. Z tohoto vyvozujeme, že obyvatelé mikulčického hradu žili v lepších podmínkách, např. s lepší stravou, než zbytek obyvatel. Významnější vliv lokality na morfologii lebky byl rozpoznán u mužů než u žen, které tak pravděpodobně neměly stejná práva jako stejně postavení muži. Z analýz také vyplývá, že hrobová výbava příliš neodráží postavení jedince, což by mohlo být vysvětleno rostoucím vlivem křesťanského způsobu pohřbívání bez vybavování hrobů symbolickými předměty.

**Klíčová slova:** pohlavní dimorfismus, populační variabilita, socioekonomický status, lebka, mastikace, geometrická morfometrie, Velká Morava

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the influence of gender and socio-economic affinity on skull morphology in the population of Slavs from early medieval settlement Mikulčice. Mikulčice was the power center of Great Moravia with a hierarchically structured society. For a better understanding of historical relationships in the society at the time, it is important to identify individuals and classify them in the appropriate social group. There have been previously identified morphological differences of the skull between the inhabitants buried in the Mikulčice castle and those buried in the sub-castle area. These differences were related to the different living conditions based on the social status of the individuals buried in the castle and sub-castle area. This thesis studies whether there is a similar link between the individual's socio-economic affinity and the wealth of items found in graves. Furthermore, the influence of locality and burial equipment on skull morphology is compared with each other. Within the groups defined in this way, sexual dimorphism is also described, whose degree of manifestation, among other things, is related to the suitability of the external environment and is thus a convenient anthropological marker.

A total of 89 individuals (40 women and 49 males) aged 20 to 60 years were analyzed. The material was evaluated using geometric morphometry methods newly in the entire skull surface.

Significant intersexual differences have been identified in all subgroups of the Mikulčice population defined by the location of grave or grave equipment. A more pronounced sexual dimorphism was observed among the inhabitants of the Mikulčice castle compared to the sub-castle area. We deduce that the inhabitants of the Mikulčice castle lived in better conditions, eg with a better diet than the rest of the population. The more significant influence of the location on skull morphology was recognized in men rather than in women who probably did not have the same rights as men. The analysis also shows that the richness of burial equipment does not reflect too much the individual's social status, which could be explained by the growing influence of the Christian way of burial without the use of burial equipment or symbolic objects.

**Key words:** sexual dimorphism, population variability, socioeconomic status, skull, mastication, geometric morphometry, Great Moravia

## Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2. Teoretický úvod</b>	<b>3</b>
2.1. Morfologie lebky: pohlavní dimorfismus a populační specifika	3
2.1.1. Pohlavně dimorfní znaky lebky	3
2.1.2. Vliv exogenních a endogenních faktorů na morfologii a pohlavní dimorfismus lebky	6
2.1.3. Dieta a její efekt na lebku	8
2.1.4. Klima	14
2.1.5. Charakteristika mikulčické populace	15
2.2. Velkomoravské Mikulčice: popis lokality, její historie a společnosti	19
2.2.1. Historický úvod	19
2.2.2. Christianizace: efekt na společnost	20
2.2.3. Sociální struktura na Velké Moravě	20
2.2.4. Podoba Velkomoravských Mikulčic	21
2.2.5. Stravovací zvyklosti na Velké Moravě	22
<b>3. Cíle a hypotézy</b>	<b>24</b>
<b>4. Materiál</b>	<b>26</b>
<b>5. Metody</b>	<b>28</b>
5.1. Sběr a úprava dat	28
5.2. Metody statistické analýzy	30
5.2.1. Dvouvýběrový t-test	30
5.2.2. Analýza hlavních komponent	30
5.2.3. MANOVA (Multivariate analysis of variance)	31
5.2.4. Support vector machines (SVM)	31
<b>6. Výsledky</b>	<b>32</b>
6.1. Morfologie lebky mikulčické populace	33
6.1.1. Pohlavní dimorfismus mikulčického obyvatelstva	33
6.1.2. Pohlavní dimorfismus obyvatel mikulčického hradu	35
6.1.3. Pohlavní dimorfismus obyvatel mikulčického podhradí	37
6.1.4. Pohlavní dimorfismus obyvatel s bohatou hrobovou výbavou	39
6.1.5. Pohlavní dimorfismus obyvatel bez bohaté hrobové výbavy	41
6.1.6. Porovnání morfologie lebky mužů na základě lokality hrobu	43
6.1.7. Porovnání morfologie lebky mužů na základě hrobové výbavy	45
6.1.8. Porovnání morfologie lebky žen na základě lokality hrobu	47
6.1.9. Porovnání morfologie lebky žen na základě hrobové výbavy	49

6.1.10.	Porovnání morfologie lebky obyvatel z mikulčického hradu a podhradí.....	51
6.1.11.	Porovnání morfologie lebky obyvatel s odlišně bohatou hrobovou výbavou .....	53
6.2.	Hodnocení morfologie lebky pomocí analýzy hlavních komponent.....	55
6.2.1.	Forma lebky mikulčické populace hodnocená analýzou hlavních komponent .....	55
6.2.2.	Tvar lebky mikulčické populace hodnocený analýzou hlavních komponent.....	61
6.3.	Analýza skupin mikulčického obyvatelstva pomocí SVM.....	67
<b>7.</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>70</b>
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>75</b>
<b>9.</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>76</b>
<b>10.</b>	<b>Seznam použitých zkratk.....</b>	<b>89</b>
<b>11.</b>	<b>Přílohy .....</b>	<b>90</b>

# 1. Úvod

Variabilita lidské lebky je podmíněna genetickou výbavou jedince a také vnějšími podmínkami, ve kterých jedinec žije. Jinak řečeno, geny určují, jak formovaná lebka může být, zatímco prostředí udává, jak se lebka nakonec zformuje (Harvati a Weaver, 2006; Stanford et al., 2011). Proto můžeme z lebky do jisté míry vyčíst, v jakém prostředí člověk žil, a to i dlouho po jeho smrti. Předložená diplomová práce analyzuje vliv pohlaví, lokality hrobu a hrobové výbavy na morfologii lebky, a tím popisuje historické socioekonomické vztahy raně středověkého slovanského sídliště Mikulčice Valy.

Tvar i velikost lebky je variabilní a specifická mezi jedinci i mezi celými populacemi (např. Bruner a Manzi, 2004; Roseman a Weaver, 2004; Perez a Monteiro, 2009). To je dáno jednak historií dané populace, s formujícími vlivy prostředí a dědičnými změnami v minulosti, ale také podmínkami, které se naskytly během života konkrétních jedinců populace. Těmito podmínkami, jsou například klima, zdravotní stav nebo způsob subsistence (Beals et al., 1984; Bharati et al., 2001; González-José et al., 2005; Noback a Harvati, 2015). Některé tyto environmentální faktory, jako strava nebo zdravotní stav, mohou být dělítkem mezi socioekonomickými skupinami obyvatelstva v rámci jedné populace (Lazenby, 2001; Saini et al., 2011). Dále bylo doloženo, že například malnutrice vede skrze ochabnutí svalů k jisté feminizaci znaků lebky mužů (Suazo Galdames et al., 2008). Lebky mužů a žen se velikostí i tvarem odlišují (Acsádi a Nemeskéri, 1970; Konigsberg a Hens, 1998; Walker, 2008). Jelikož faktory, které souvisí s diverzitou lebky mezi populacemi, mohou působit jinak na muže a jinak na ženy, dochází k odlišným projevům pohlavního dimorfismu lebky mezi populacemi. Manifestace pohlavního dimorfismu je tedy mezipopulačně specifická (Sokal a Uytterschaut, 1987; Relethford, 2004; Perez et al., 2011).

Diplomová práce se zabývá prvním pravidelným státním útvarem na našem území, Velkou Moravou s centrem v Mikulčicích. Mikulčice byly mezi 9. a 10. stoletím mocenským centrem Velkomoravské říše. Jednalo se o hradbami opevněnou tvrz obklopenou podhradím. Je předpokládáno, že toto geografické rozdělení kopírovala i struktura tehdejší společnosti. Hrad obývala vrstva mikulčických elit a v podhradí žilo obyvatelstvo zajišťující chod aglomerace (Poláček, 2008). Jako další možný znak příslušníka elit může také být přítomnost bohatých obětín v hrobě (Dostál, 1966). Jednotlivé skupiny obyvatelstva Mikulčic se mezi sebou odlišovaly v náplni práce a také skladbou jídelníčku (Havelková et al., 2013; Halfman a Velemínský, 2015; Kaupová et al., 2016).



Cílem diplomové práce bylo popsat pohlavní dimorfismus jednotlivých skupin obyvatelstva a dále objasnit vliv socioekonomické příslušnosti jedince na morfologii lebky. Jako indikátor společenské příslušnosti byla použita lokalita hrobu a hrobová výbava. Záměrem práce bylo rozhodnout, které toto rozdělení lépe odpovídá historickým reáliím.

## 2. Teoretický úvod

### 2.1. Morfologie lebky: pohlavní dimorfismus a populační specifika

#### 2.1.1. Pohlavně dimorfní znaky lebky

Pod pohlavním dimorfismem je chápáno tvarové i velikostní rozlišení dvou pohlaví, samčího a samčího. Toto rozdělení na dvě formy souvisí se sexuálním rozmnožováním, konkrétně s anizogamií, u které dochází ke splývání dvou nestejně velkých pohlavních buněk. Různá velikost gamet vede k odlišným rozmnožovacím strategiím obou pohlaví (Trivers, 1972). V biologii jsou rozlišovány dva základní typy pohlavního dimorfismu. Primárními rozdíly jsou označovány takové, které přímo souvisí s aktem rozmnožování a vlastní reprodukci, spadají sem například odlišně tvarované pohlavní orgány, ale i jinak uzpůsobená pánev pro potřeby porodu. Sekundárními rozdíly jsou pak chápány ty, které přímo nesouvisí s reprodukcí. Do této kategorie lze zařadit paví ocas, či nestejně tvarovanou lebku. Lebka je předmětem této diplomové práce (Crook, 1972).

Člověk je pohlavně dimorfním druhem, stejně jako byli dimorfní jeho vyhynulí předci (Leutenegger a Shell, 1987; Hartwig-Scherer, 1993). Mezi současnými primáty je nejvýraznějším projevem dimorfismu odlišná tělesná velikost, která se promítá do stavby kostry (Wood, 1976). Pro většinu druhů nadčeledi *Hominoidea* platí, že samec je větší než samice. U druhů jako jsou gorily nebo orangutani samci dosahují i dvojnásobně větší velikosti než samice (Plavcan a van Schaik, 1997). Stejný trend lze pozorovat na tělesných proporcích člověka, u něhož se udávaný velikostní rozdíl pohybuje okolo 15 % (Larsen, 2003).

Lidská lebka je bez větších pochyb nejkompaktněji strukturovanou částí skeletu sestávající se z četných kostí obalujících orgány a orgánové struktury jako je mozek, oči, *pharynx* atd. (Moss a Young, 1960). Právě složitá stavba lebky do jisté míry představuje úskalí studia evolučních, genetických a environmentálních aspektů, které se podílí na její tvorbě. Z toho důvodu je vhodné lebku rozlišit na tři částečně nezávislé celky, s odlišným embryologickým vývojem: *basicranium* (vývojově odvozené z *chondrocrania*); *neurocranium* (původně dermatokraniální kosti); obličejová část (vycházející ze *splanchnocrania* s četnými elementy dermatokraniálního původu). Tyto celky lebky fungují jako moduly, z čehož plyne jejich určitá vývojová nezávislost (Cheverud, 1982; Lieberman et al., 2000). Rozdílný je i mechanismus růstu, *basicranium* roste převážně mechanismem endochondrální osifikace v synchondrosách (např. sphenoccipitální, sphenothmoidální).

Naproti tomu *neurocranium* a obličej roste intramembranosní osifikací v suturách. Toto rozdělení je významné, neboť endochondrální osifikace je pravděpodobně méně ovlivněna epigenetickými vlivy (myšleny vlivy negentického charakteru, jako je kupříkladu buněčná interakce, nikoli ve významu alterace histonového kódu). Růst ve švech je poháněn převážně růstem orgánů a regulován transkripčními faktory indukovanými mechanickými podněty (Opperman, 2000; Wilkie a Morriss-Kay, 2001; Spector et al., 2002).

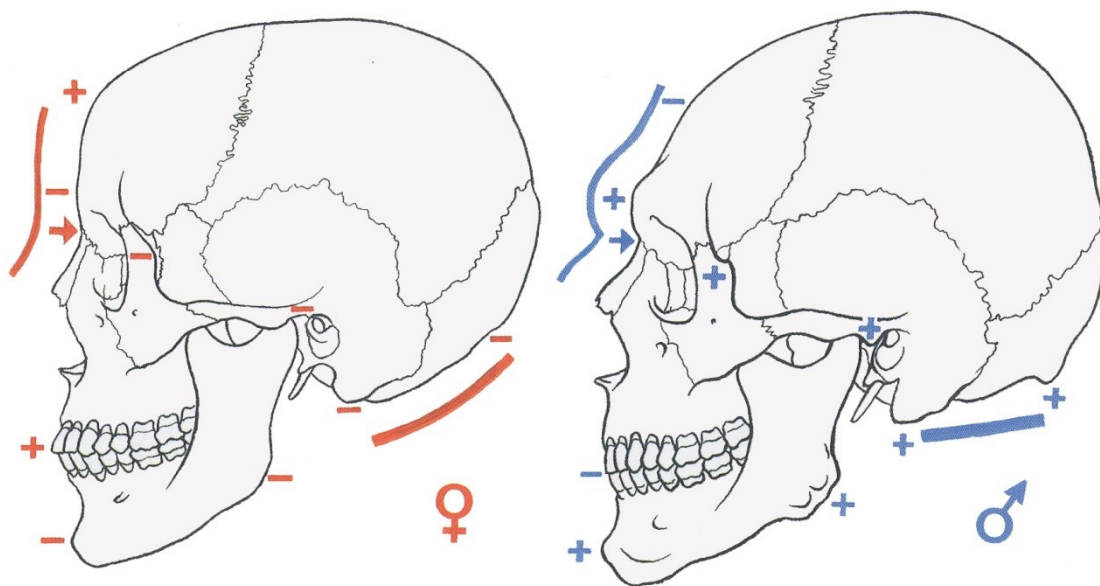
Jak *neurocranium*, tak *splanchnocranium* podstupuje období nejprěkotnějšiho růstu v prvním roce života. *Neurocranium* dále rychle roste do konce třetího roku, zatímco u *splanchnocrania* období rapidního růstu zasahuje do konce roku pátého. Po této fázi dochází ke zpomalení růstu, který se opět zrychluje během puberty. Od prvních dnů po narození do dospělosti se mozková část lebky zvětší o něco více než 50 % a obličejová o něco méně než 100 %. V sedmi letech rozměry lebky jako délka a šířka lebky nebo výška orbity dosahují bezmála 95 % konečné velikosti. Ve stejném věku faciální rozměry nabývají asi 80 %. Růst lební báze ve středním segmentu a *fossa cranii anterior* je v sedmi letech již dokončen. Tvarové změny lebky během ontogeneze, vyjádřené pomocí změny kraniálního indexu (šířka  $\times$  100/délka) a faciálního indexu (výška  $\times$  100/šířka), ukazují, že délka lebky a výška obličej roste relativně k šíři, toto obzvláště platí právě pro obličej (Scott, 1954; Stramrud, 1959; Moore a Lavelle, 1974; Friede, 1981).

Pohlavní dimorfismus lze u člověka sledovat již během prenatalního vývoje. Z ultrazvukových snímků je patrné, že obvod hlavy chlapců, vztažen k velikosti těla, je o 2 % větší než u dívek (Joffe et al., 2005). V postnatálním vývoji k výsledné sexuální odlišnosti znaků na lebce přispívá souhra mnoha faktorů. Jedním z nich je prvotní dimorfismus vycházející z jiného prenatalního vývoje. Dále to jsou odlišné růstové trajektorie u chlapců a dívek. Také načasování a délka růstových period dimorfních celků se liší a je odvislá od jiných hormonálních hladin během ontologického vývoje. Pohlavní dimorfismus v podobě velikosti anteriorní části *neurocrania* lze detekovat již ve velmi raném věku a tento rozdíl zůstává v průběhu ontogeneze relativně nezměněn. Tyto poznatky korespondují s vývojem mozku člověka (Dekaban a Sadowsky, 1978; Bulygina et al., 2006; Lenroot et al., 2007). Naopak u části lebky tvořící obličej, růstem dochází ke zvýraznění velikostní odlišnosti mezi pohlavími. Příčinu lze najít v signifikantním poklesu růstové rychlosti této části lebky u dívek okolo 13. roku a zastavení růstu kolem roku 15. U chlapců tak dochází k delší růstové periodě (Bulygina et al., 2006; Hsiao et al., 2010). Stejně jako velikostní parametry i tvarové znaky vykazují dimorfismus na lebkách již ve velmi útlém věku. Novorození chlapeci vykazují relativně větší a více globulární *os frontale*, menší obličej a více flexovanou lební bázi než

dívky stejného věku. U dospělých, jsou naopak tyto znaky poplatné ženám (Vidarsdóttir a O'Higgins, 2001; Vidarsdóttir et al., 2002; Bulygina et al., 2006).

V dospělosti je konečný pohlavní dimorfismus odvislý od průběhu růstové fáze se všemi vnějšími vlivy, které se během růstu a dospívání uplatňují (např. výživa, klimatické podmínky apod.), a genetických predispozic jedince. Z toho plyne, že jednotlivé znaky a míra jejich manifestace je různá u různých skupin obyvatelstva, jak z pohledu jejich sociální nebo etnické příslušnosti (Williams a Rogers, 2006; Walker, 2008). Jednotlivé znaky na lebce, charakterizující pohlavní dimorfismus z antropologického pohledu, jsou takové, které splňují několik důležitých faktorů. Mezi ty patří v první řadě míra dimorfismu samotného znaku, dále možnosti, které tento znak poskytuje pro svůj výzkum. Tím je myšleno, jak snadno je daný znak měřitelný, nebo jak významná je intra i inter chyba měření (Williams a Rogers, 2006; Gonzalez et al., 2011).

Podle českého antropologa Aleše Hrdličky zkušený a pečlivý pozorovatel odhadne pohlaví jedince podle lebky bez větších potíží z 80 % správně, pokud bude mít k dispozici dolní čelist, odhad bude správný už z 90 % (Hrdlička, 1920; Konigsberg a Hens, 1998). Metody pro odhad pohlaví na základě vizuálních znaků byly vypracovány řadou antropologů. Z většiny se jedná o postupy využívající regresní modely a diskriminační funkční analýzy. K odhadu je využito mnohorozměrné analýzy, která kombinuje proměnné a výstupy skóre z jednotlivých vizuálně hodnocených dimorfních znaků. Výběr konkrétních hodnocených znaků je volen autory metody na základě informativnosti znaku o pohlavním dimorfismu. Mezi základní oblasti lebky, kde se nejvýrazněji projevují pohlavní rozdíly, a které jsou relativně univerzální napříč populacemi, patří: **nasofrontální přechod** – oblast glabely, při pohledu z profilu lze pozorovat zahlobení u mužů při přechodu z *os frontale* v *ossa nasalia*, u žen je tento přechod relativně plynulý; ***arcus superciliares*** – u mužů výraznější a více prominující, u žen jsou málo patrné a mohou i chybět; ***processus mastoideus*** – větší u mužů díky mohutnějším svalovým úponům; **nuchální krajina** – *planum occipitale* je rovnější u mužů, zatímco u žen je pravidelně zakřiveno; ***protuberantia occypitalis externa*** – u mužů znatelněji vyčnívá; ***tubera frontalia*** – vystouplejší u žen oproti mužům, u kterých tak čelo ustupuje dříve a plynuleji; **oblast brady** – u mužů je hranatější, u žen je více zaoblená; ***prosessus alveolares*** – u některých žen dochází k posunutí a naklonění periferně (tzv. alveolární prognatie) (Acsádi a Nemeskéri, 1970; Konigsberg a Hens, 1998; Čihák a Grim, 2001; Bruzek a Murail, 2006). Tyto znaky mohou být studovány jak po stránce velikostní tak tvarové (např. Williams a Rogers, 2006; Gonzalez et al., 2011; Abdel Fatah et al., 2014).



**Obr. 1:** Pohlavní dimorfismus na lebce – znaménkem plus je označeno místo, které je více vyvinuto, je výraznější nebo více nápadné; minusové znaménko značí znak značně méně vyvinutý, nebo až potlačený (upraveno dle Čihák a Grim, 2001)

### 2.1.2. Vliv exogenních a endogenních faktorů na morfologii a pohlavní dimorfismus lebky

Člověk je jako každý jiný organismus plastický a má schopnost přizpůsobení se nárokům svého okolí. Prostředí tvaruje člověka celou řadou způsobů, na které je opět odpovídáno a to na úrovni jedince i celé populace. Z této odpovědi a změn, které ji představují, pramení lidská variabilita. Jelikož každý jedinec je vystaven specifickým vlivům prostředí, každý jedinec je tím unikátní ve způsobu, jakým se vnějším podmínkám přizpůsobí. Některé vlivy prostředí mohou být charakteristické pro celou populaci na konkrétním území a v konkrétním čase. Tyto vlivy (např. subsistenční strategie, klima apod.) potom působí preferenčně na výhodné fenotypové znaky v celé populaci. Takto modelovaná populace je poté specifická právě těmito znaky. I proto je lidská lebka jako fenotypový znak variabilní intrapopulačně i interpopulačně (Harvati a Weaver, 2006; Hubbe et al., 2009; Stanford et al., 2011).

Přizpůsobení lebky prostředí probíhá nejprve na úrovni jedince, a pokud jsou vnější podmínky trvalejšího charakteru, dochází k adaptaci na úrovni populace skrze změnu genetického kódu. Celkovou variabilitu lidské lebky je pak možné vysvětlit jako výsledek vlivu neutrální mikroevoluce a populační historie. Pod neutrální mikroevolucí jsou chápány

mutace a genetický drift, jelikož oboje se v čase objevuje pravidelně, náhodně a tedy s neutrálním efektem (von Cramon-Taubadel, 2014).

Co se týče identifikace jednotlivých genů účastnících se utváření morfologie lidské lebky, je naše poznání značně omezené. To je dáno hlavně multifaktoriální povahou dědičnosti znaků lebky. Výzkum na tomto poli je omezen na případové studie kraniofaciálních malformací a na studium myší, které jsou v tomto směru relativně vhodným modelem (Wilkie a Morriss-Kay, 2001; Hallgrímsson et al., 2007). Přesto, že morfologie lebky je utvářena převážně velkým počtem genů s malým účinkem, jsou známy geny s větším projevem. Dále bylo dokázáno u myší, že morfologické změny lebky podmíněné mutací genu, se následně mohou promítat do jiných částí lebky (Hallgrímsson et al., 2007).

Výzkum vztahu genotypu a fenotypu u kraniofaciálních znaků je do jisté míry na začátku. Nejpodrobněji je jejich interakce zkoumána ve studiích soustředících se na genetickou příbuznost a geografickou vzdálenost populací, a zda lze dále tuto příbuznost určit na základě morfologických znaků lebky (Lynch, 1989). Tyto studie ukázaly, že za jistých podmínek, lze z antropometrických dat získat informace o genetických údajích populace, které mohou sloužit k odhadu populační historie, modelování efektů genového toku, stejně tak genetického driftu a přírodní selekce (Cheverud, 1982; Lynch, 1989). Harpending a Ward vytvořili model využívající genetická data pro výzkum heterozygotity subpopulace ve vztahu k heterozygotitě celkové populace (heterozygotita vycházející z celkového počtu a frekvence jednotlivých alel přispívajících k variabilitě genotypu a tak posléze k variabilnějšímu fenotypu). Subpopulace podléhající většímu genovému toku, díky párování mimo svůj region, jsou více heterozygotní než by bylo předpokládáno (Harpending, 1982). Tento princip byl dále rozšířen pro využití kvantitativních morfologických znaků pro bližší poznání interakce genotypové a fenotypové exprese kvantitativních znaků (Relethford a Blangero, 1990; Relethford, 2004).

Úvahy na toto téma jsou důležité, neboť pokud je předpokládáno, že geografická vzdálenost populací koreluje se vzdáleností genetickou, musí být bráno v potaz na kolik je studovaná populace geneticky homogenní a do jaké míry v příslušném regionu docházelo ke genovému toku a jaký měl tento tok charakter (například v podobě otroctví, kořistění žen z podmaněných oblastí apod.) (von Cramon-Taubadel, 2014). Za zmínku také stojí fakt, že globální variabilita kranio-metrických dat se z velké části utvořila právě na základě minulých neutrálních mikroevo- lučních procesů v historii populace. Váha tohoto tvrzení leží mimo jiné ve skutečnosti, že většina celkové variability je interpopulačně sdílena. Často je uváděno, že

pouze 15 % variability připadá na rozdíly mezi jednotlivými lidskými populacemi (Edwards, 2003).

Genetická variabilita populace je také ovlivněna pohlavním výběrem v rámci dané populace. Byly publikovány četné studie zabývající se vztahem mezi hladinou testosteronu, která má návaznost na pohlavní dimorfismus, a atraktivitou (např. Swaddle a Reiersen, 2002; Rhodes et al., 2003). Jistou roli hraje fyzická atraktivita i ve společenském postavení jedince. Přitažlivý vzhled nenese stejnou hodnotu pro obě pohlaví. Obecně je přijímáno, že fyzická krása představuje důležitější hodnotu, více ceněnou muži na ženách. Pro muže je sociální status potenciální partnerky důležitý až jako druhořadý faktor po atraktivitě. Ženy hodnotí atraktivitu a sociální status partnera jako podobně důležité atributy (Buss et al., 1987; Ha et al., 2010). Zajímavé je, že fyzická přitažlivost je ceněným atributem i mezi muži navzájem. Výzkumy prováděné na kolejích amerických univerzit a v řeckých domech dokládají, že přitažlivější muži se těší vyššímu sociálnímu postavení. Podobná spojitost nebyla zaznamenána u studentek (Anderson et al., 2001). Na tomto základě lze diskutovat o možnosti spojitosti fyzické přitažlivosti a společenského postavení. Nedostatkem takové úvahy je skutečnost, že korelace mezi krásou a statusem může být kulturně poplatná. Dále se může lišit pro ženy a muže. Nakonec, u historických populací postavení jedince mohlo vycházet z odlišného hodnotového žebříčku, než z jakého vychází současné společnosti. Úspěšný válečník pravděpodobně nemusel být krásný.

### **2.1.3. Dieta a její efekt na lebku**

Jedním z důležitých environmentálních faktorů ovlivňujících morfologii lebky je strava. Potravu, kterou jedinec během svého života přijímá, je možné studovat po stránce kvality, množství a celé řady dalších parametrů, které mají různé fyziologické i morfologické důsledky. Již zmíněnou kvalitu stravy, lze posuzovat jak z pohledu výživového složení, tedy jestli obsahuje všechny látky potřebné pro správný vývin a chod těla nebo zda má dostatečnou energetickou hodnotu, tak z pohledu její náročnosti na mastikační aparát. Stejně tak důležité je, jestli je přísun stravy pravidelný, bez delších období hladu (von Cramon-Taubadel, 2014; Noback a Harvati, 2015).

Nejprve bude popsán vliv tuhosti stravy související s mastikací. Dietární návyky se při přechodu z lovecko-sběračské společnosti k usedlé zemědělské společnosti významně měnily (Paschetta et al., 2010). Tepelná úprava byla hojně využívána již lovci a sběrači. Fakticky není známa společnost současných lovců a sběračů, která by neměla v jídelníčku

potravu upravenou teplem (Wrangham a Conklin-Brittain, 2003). Zvyk úpravy jídla je znám i u historických lovců a sběračů. Je předpokládáno, že alespoň jedno jídlo denně bylo tepelně ošetřeno (šlo pravděpodobně o opékání nad ohněm, či v zemních píckách), zatímco po zbytek dne byly konzumovány menší syrové porce. Poměr mezi upravenou a syrovou stravou a způsob úpravy byl u zemědělců odlišný (Wrangham a Conklin-Brittain, 2003).

Tepelná úprava jídla zlepšuje jeho stravitelnost a zvyšuje kalorický výtěžek. Současně potravu činí měkčí, čímž snižuje sílu nutnou k rozžvýkání sousta i zkracuje čas, po který musí být sousto žvýkáno (Lukacs, 1989; Agrawal et al., 1997). Měkčí, upravená potrava vede k nižšímu rozvoji struktur lebky spojených s mastikací. Toto platí zejména pro dolní polovinu obličeje a alveolární výběžek, neboť v těchto místech se koncentruje mechanický stres vyvolaný rozměňováním potravy (Carlson, 1976; Corruccini a Beecher, 1982). V těchto stresem namáhaných místech dochází ke stimulaci periostálního růstu a buněčné proliferaci. To je spojeno i se sníženou resorpcí kosti u rostoucích jedinců. Dochází tak pravděpodobně kvůli adaptaci tvaru a struktury kosti na zvýšené mechanické namáhání (Carter et al., 1998; Weaver, 2000). Bylo zdokumentováno, že absence stresu, vyvolaného žvýkáním, vede k lokální resorpci kosti. Ztráta zubů dolní čelisti vyvolá redukci výšky *processus alveolaris* a délky *ramus mandibulae* až o 50 % (Tallgren, 1972; Israel, 1973). S tvrdou stravou obecně dochází ke snížení mechanického stresu zkrácením ramena břemene čelisti. Jelikož dolní čelist se chová jako jednozvrtná páka s těžištěm v čelistním kloubu, jejím zkrácením dojde ke snížení síly nutné ke kousání. Dále se zvětšují vertikální rozměry obličeje skrze rozšíření lícních kostí nebo zmohtnutí alveolárních výběžků (Hylander, 1977; Lieberman, 2008).

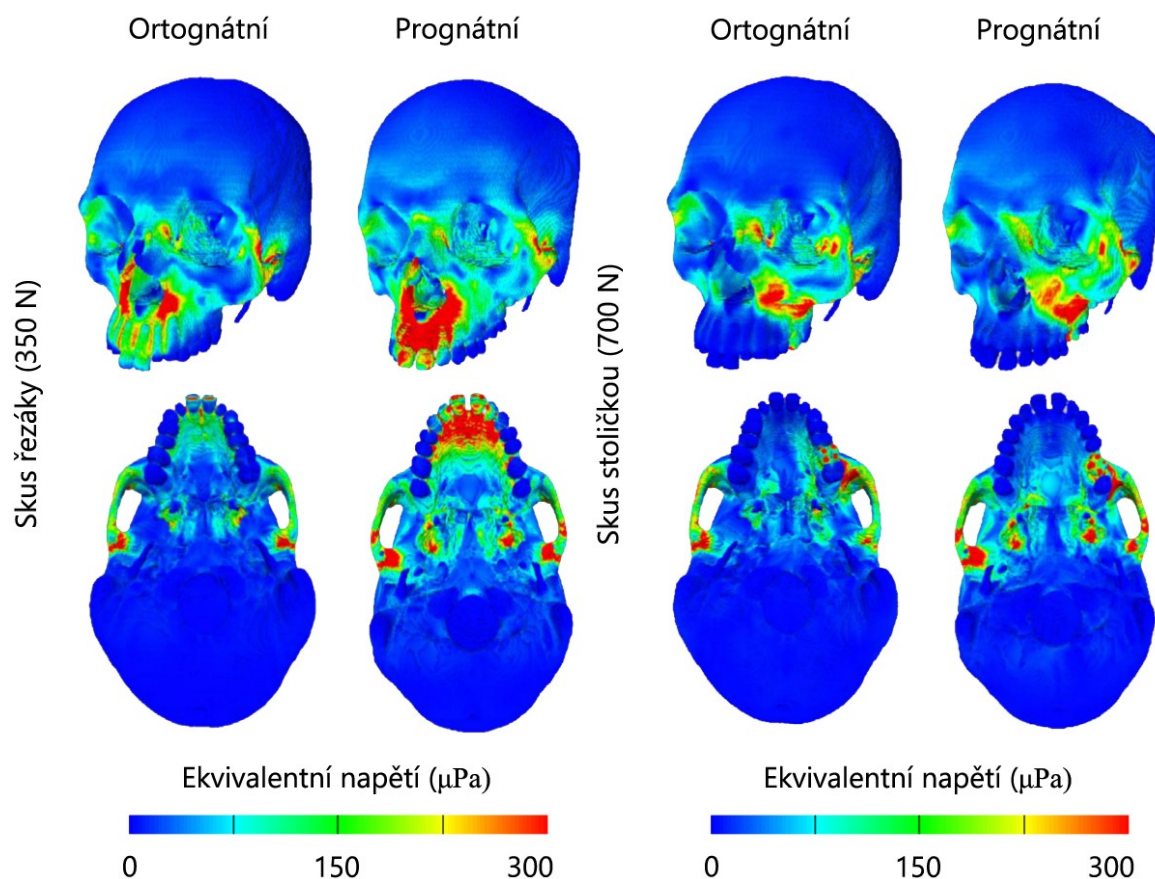
Studie sledující přechod společnosti z lovecko-sběračského způsobu života k zemědělskému popisují signifikantní redukci morfologických znaků lebky spojených se žvýkáním. Srovnání Núbijské populace před a po osvojení zemědělství ukazuje zkrácení začátku zevního svalu žvýkacího, *m. masseter*, o 26 %; zkrácení těla mandibuly o 22 %; zmenšení symfýzy mandibuly o 15 %. Tato redukce probíhala zároveň a navzdory zvětšení objemu mozku (Carlson, 1976; Carlson a Van Gerven, 1977). Podobné změny byly pozorovány také u populací, které teprve nedávno přešly k moderní stravě a tuto změnu v jídelníčku navíc prodělaly v relativně krátké časové periodě. To dokládá charakter těchto morfologických adaptací, u nichž nedochází ke změně na úrovni genotypu, ale přizpůsobuje se spíše samotný jedinec (Corruccini, 1984).

Jedinci s většími žvýkacími svaly anebo s vyšší silou stisku čelistí mívají větší kosti tvořící obličej. Tato větší velikost je méně variabilní, než u jedinců s menšími svaly, či slabším stiskem, u kterých je velikost stejných kostí více variabilní (Kiliaridis, 1995).



Publikace Ingervalla a Bitsanis dokumentuje pokus, během kterého skupina dětí ve věku od sedmi do dvanácti let po dobu jednoho roku žvýkala žvýkačku dvě hodiny denně. Po ukončení experimentu měly tyto děti oproti kontrole signifikantně silnější stisk čelistí a hlavně měly větší *processus alveolaris* dolní i horní čelisti (Ingervall a Bitsanis, 1987). Vývojové důsledky na tvar a velikost lebky dále dokládají výzkumy na zvířecích modelech. Krysy vychované na měkké potravě mají menší kousací svaly, kratší mandibulu a celkově sníženou výšku obličeje. Studie dále srovnávaly i skupinu krys s dietou se sníženým obsahem vápníku. Z tohoto vyplynulo, že velikost čelistí ovlivňuje tuhost potravy i její složení, ale pouze konzistence stravy měla vliv na tvar čelistí (Kiliaridis et al., 1985; Kiliaridis, 1989). Jelikož je člověk retrognátní, vhodnější model pro studium efektu konzistence stravy na lebky může být africký daman skalní. I zde byl jasně potvrzen vliv tuhosti stravy na rozměry lebky (Lieberman et al., 2004).

Různé druhy potravin a jejich úprava také hraje roli v odlišných vzorcích kousání. Jablko je jinak zuby zpracováno než vařená rýže. Co se svalového zapojení týče, na rozdílnou konzistenci potravy reaguje spíše *m. temporalis* než *m. masseter* (Mioche et al., 1999). Obr. 2 ilustruje lokalizaci mechanického napětí uvnitř kostí lebky při skusu řezáky a při skusu stoličkou. Je patrné, že toto napětí se manifestuje v různých částech lebky jinak (Toro-Ibacache et al., 2016). Z těchto skutečností vyplývá, že charakter potravy, z pohledu tuhosti a přípravy, neovlivňuje stejné oblasti lebky se stejnou intenzitou, ale ve skutečnosti zatěžuje v různé intenzitě i různé části lebky.

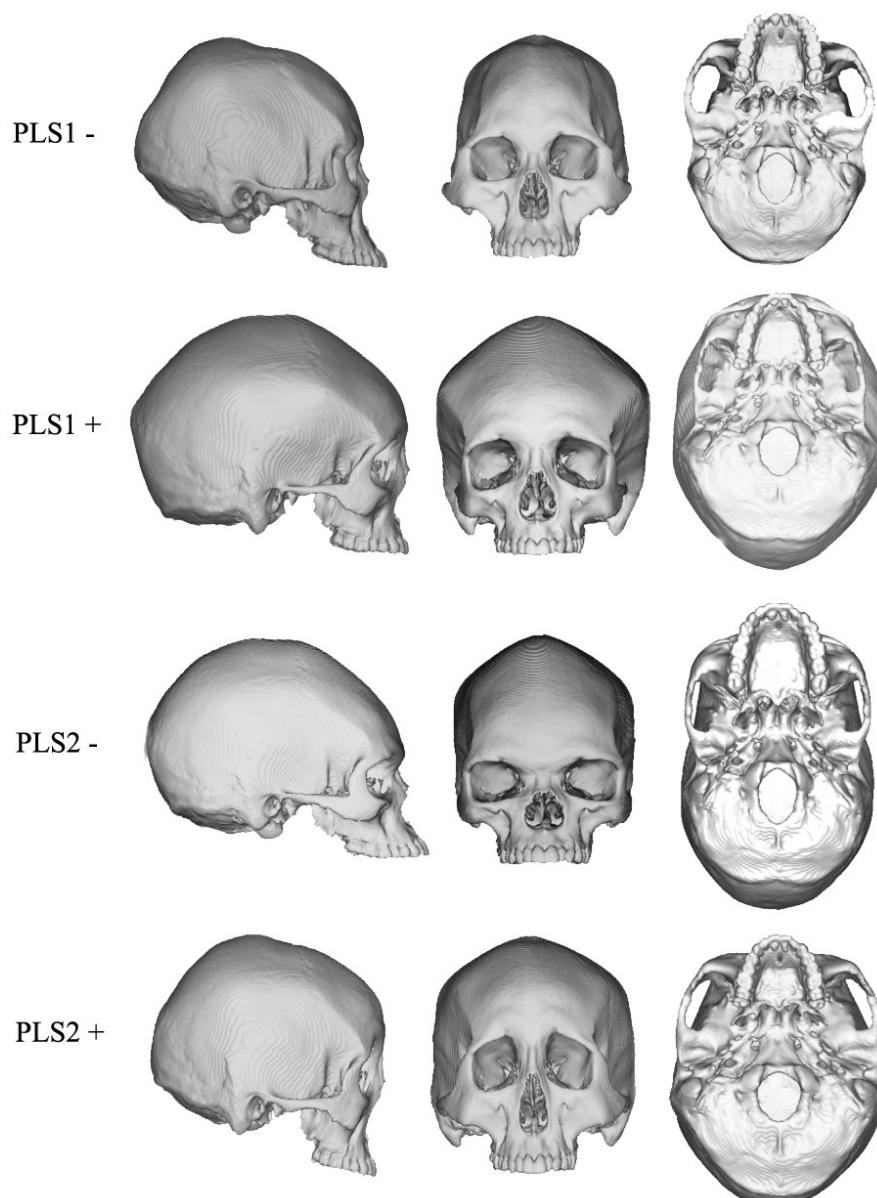


**Obr. 2:** Modely ekvivalentního (Von Mises) napětí na různě formovanou lebku. Barevná škála reprezentuje napětí v kosti při skusu řezáky I1 a stoličkou M1 silou 350 resp. 700 newtonů. Ortognátní lebka je více vertikálně stavěna s užší maxilou oproti lebce prognatické (upraveno dle Toro-Ibacache et al., 2016)

Regiony lebky, které jsou vystaveny intenzivně mastikačnímu stresu (zygotemporální a palatomaxilární oblast) vykazují větší míru variability než regiony, které tomuto stresu jsou vystaveny méně (*basicranium*, lební klenba). Z výše uvedeného jasně plyne, že kousací ústrojí lebky se plasticky přizpůsobuje požívané stravě. Vyšší podíl masa v jídelníčku oproti prosné kaši (pravděpodobný rozdíl v příjmu u různých společenských vrstev v Mikulčicích (Kaupová et al., 2016)) jistě vedl k odlišnému zatížení mastikačního aparátu a lze tedy v místech lebky spojených s mastikací predikovat variabilní fenotyp (Von Cramon-Taubadel, 2009; Kaupová et al., 2016).

Velkou komparativní studii vlivu subsistence na morfologii lebky provedl Noback a Harvati (Noback a Harvati, 2015). V této studii bylo analyzováno 15 populací z celého světa, které byly přiřazeny k jednomu z pěti stravovacích návyků (lov, zemědělství – rostlinná výroba, zemědělství – živočišná výroba, rybolov, sběr – rostliny a drobná fauna). Výsledky,

reprezentované koeficienty 2B-PLS analýzy (2 block partial least squares analysis), ukázaly (viz Obr. 3), že populace lovců a rybářů má oproti zemědělcům nižší hodnoty koeficient PLS1, což se projevuje nižším a užším *neurocraniumem*, většími a více anteriorně posazenými úpony svalů *m. masseter* a *m. temporalis*, také čelisti jsou více prominující. Zemědělci s vyšším koeficientem PLS1 manifestovali globulárnější *neurocranium*, gracilnější *os zygomaticum* a více orthognátní obličej. Koeficient PLS2 popisuje tvarovou změnu mezi sběrači a pastevcí. Se zvyšujícím se podílem sběru v subsistenční strategii, je obličejová část lebky nízká a široká, zubní oblouk je relativně velký a položený více anteriorně. Přesné hodnoty koeficientů PLS1 a PLS2 jsou přiloženy v Tab. 1. Publikované výsledky mapují vliv potravy ve všech kvalitativních i kvantitativních parametrech. Autoři studie také berou v potaz etnickou příslušnost studovaných populací i vliv klimatu na utváření morfologie lebky a ve výsledné analýze je tato skutečnost ošetřena (Noback a Harvati, 2015).



**Obr. 3:** Přehled tvarových změn ve vztahu k subsistenci. Hodnoty vypočítaných koeficientů 2B-PLS analýzy (2 block partial least squares analysis) ve svých kladných a záporných extrémech dokumentují změnu tvaru.

**Tab. 1:** Příspěvek k tvaru lebky vyjádřen koeficienty PLS1 a PLS2 u různých subsistenčních strategií

Subsistence	PLS1	PLS2
Sběr – rostliny a drobná fauna	0,023	-0,810
Lov	-0,491	-0,017
Rybolov	-0,499	0,327
Zemědělství – živočišná prod.	0,339	0,487
Zemědělství – rostlinná prod.	0,628	0,013

Dalším faktorem uplatňujícím se během utváření stavby lebky je, zda jedinec neprošel obdobím malnutrice. Tento aspekt radno rozdělit na snížený energetický přísun a absenci některé esenciální výživové složky. Období trvajících kalorické malnutrice vede k řadě fyziologických a hormonálních změn. Klesá hladina leptinu, estrogenu, IGF-1 (insuline like growth factor 1) v krvi, snižuje se citlivost k růstovému hormonu a zvyšuje se exprese PPAR $\gamma$ 2 (peroxisome proliferator-activated receptor gamma 2). Takto nastavené hladiny hormonů regulují buněčnou linii účastníci se při růstu kostí (Lecka-czernik et al., 1999; Devlin, 2011). Hladovění zvyšuje aktivitu osteoklastů a tím i kostní resorpci. Zmíněné faktory mají pak negativní vliv na růst kostí podvyživeného jedince. Výška postavy podvyživených dětí v dospělosti nedosahuje hodnot daných jejich genetickým potenciálem (Golden, 1994).

Jak již bylo řečeno, malnutrice se nemusí omezovat čistě na nedostatečný kalorický příjem, ale může být charakteristická výpadkem důležité složky stravy. V tomto směru je důležitý příjem bílkovin (rozdíly v množství masa resp. proteinů ve stravě byly pravděpodobně dělítkem sociálních vrstev na Velké Moravě (Kaupová et al., 2016)). Výzkumy vedené na krysách ukázaly, že hlavním specifikem krys s nízko-proteinovou dietou je odlišná růstová trajektorie oproti krysím kontrolám. Konečné rozměry lebky krys až na malé tvarové výjimky byly stejné s kontrolami, ale stresované krysy rostly signifikantně pomaleji a delší dobu (Miller a German, 1999). U člověka v případech těžké malnutrice dochází ke změně morfologie lebky a pohlavního dimorfismu. Pohlavím, u kterého dochází vlivem malnutrice ke větším změnám, jsou muži, kteří jsou oproti ženám na nedostatek stravy citlivější. U mužských lebek lze pozorovat jistou feminizaci znaků v důsledku menších svalů a tudíž i sil působících na kost. Menší mechanický tah slabými, podvyživenými svaly způsobuje menší rozvoj struktur úponů svalů na lebce (Weaver, 2000). Toto může vést k chybnému odhadu pohlaví jedince, konkrétně záměny muže za ženu. Efekt malnutrice na ženskou lebku je charakteristický tím, že ženské rysy lebky jsou markantnější. I přesnost odhadu pohlaví se u podvyživených žen zvyšuje (Land a Schoenau, 2008; Suazo Galdames et al., 2008).

#### **2.1.4. Klima**

Dietární návyky populace nejsou jediným exogenním faktorem, který se podílí na utváření morfologie lebky. Dalším významným vlivem jsou například klimatické podmínky (Roseman a Weaver, 2004). Lebka jako celek není ke klimatu ve svých morfologických znacích citlivá

stejněměrně. *Splanchnocranium* je tímto způsobem tvarováno více než *neurocranium* (von Cramon-Taubadel, 2014). Dále bylo prokázáno, že největší měrou klima zasahuje do formy lebky v extrémně chladných oblastech. Podmínky těchto oblastí svou náročností tlačí na evoluční změny důrazněji než jinde. Příkladem může být tvar *apertury piriformis*. Obyvatelé severních oblastí mají nižší poměr šířky k výšce průchodu (Hubbe et al., 2009). Další podobnou adaptací je širší *neurocranium*, které tak odpovídá Bergmanovu a Allenovu pravidlu (Beals et al., 1983, 1984). Ve studovaném souboru pochází materiál přinejmenším z podobných klimatických podmínek, a proto je vliv klimatu pro tuto práci zanedbatelný.

### 2.1.5. Charakteristika mikulčické populace

Lidské pozůstatky Velkomoravských Slovanů byly a stále jsou předmětem zkoumání antropologů. Z těchto výzkumů a analýzy kosterního materiálu můžeme částečně rekonstruovat samotné jedince žijící na našem území v raném středověku a přiblížit tak i život na mikulčickém hradišti (Poláček, 2008). Ve srovnání s recentní populací, moderním pohřebišťem (Hanáková et al., 1984), lze na lebce pozorovat celou řadu morfologických odlišností. Mužské lebky z Mikulčic jsou v předozadní ose signifikantně delší a zároveň nižší. Celková výška obličeje je srovnatelná, ale mikulčičtí muži mají relativně menší výškové rozměry horní čelisti. Tvarové a úhlové parametry potom vychází ze zmíněných změn velikostních. Obě čelisti také lehce anteriorně vystupují, čímž dochází k větší patnosti konvexity obličeje a výraznější bradě. Ženské lebky v relaci k recentní populaci manifestují podobné odlišnosti jako lebky mužské (Velemínská et al., 2008).

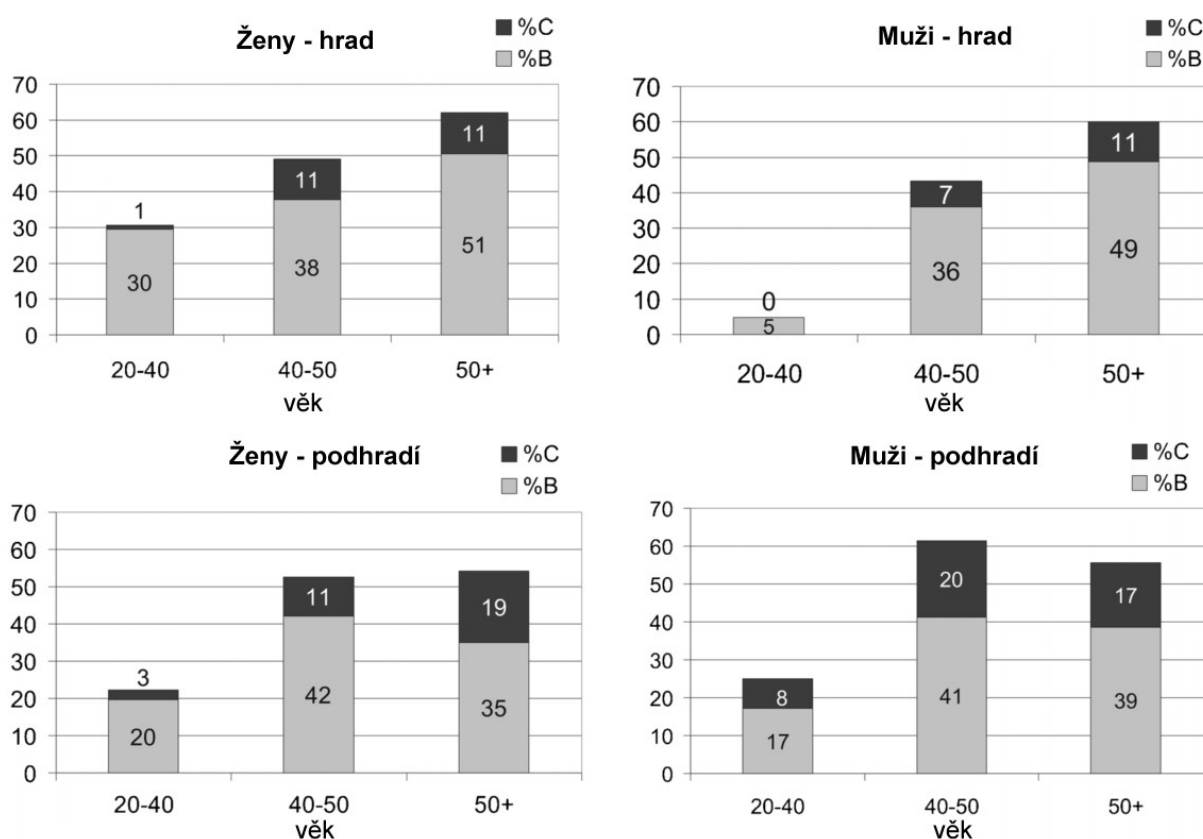
Pohlavní dimorfismus u mikulčické populace je patrný na mnoha místech lebky. Lineární rozměry jsou z většiny větší u mužů. Výjimku tvoří výška *proc. alveolaris* horní i dolní čelisti. Tyto struktury jsou větší u žen. U žen je také výraznější protruze *proc. alveolaris* a řezáků horní čelisti v úhlu k patru a dále vyklenutější klenba lební. Na mužské lebce je patrný hlouběji vnořený kořen nosu, výrazněji vystupující *protuberantia occipitalis externa* (Velemínská et al., 2008). Metodou odhadu pohlaví využívající diskriminační analýzy za použití kombinace hodnocených znaků lebky (např. délka lebky nebo bizygomatická šířka) bylo u mikulčické populace dosahováno 86% přesnosti odhadu pohlaví (Brůžek a Velemínský, 2006a). Pokud je porovnávána výraznost projevu pohlavního dimorfismu v čase, ukazuje se, že například velikostí mandibuly jsou jedinci z Mikulčic nejméně dimorfní. Je tomu tak i přesto, že v době raného středověku, oproti pozdějším epochám, na území Moravy panovaly příhodné podmínky a mohly se tak více projevit genetické predispozice k odlišné

morfologii žen a mužů. K větší morfologické variabilitě v čase docházelo také u žen a to navzdory faktu, že konečná morfologie lebky se více vyvíjí u mužů a tím může být náchylnější k environmentálním vlivům (Stinson, 1985; Bejdová et al., 2013). Je otázkou proč tomu tak je, možným vysvětlením mohou být odlišné environmentální podmínky nebo sociální postavení mužů a žen v průběhu historie.

Mikulčické hradiště, bylo členěné na vlastní hrad a podhradí a dále na ekonomické zázemí. Toto členění je také spojováno s odlišnou skladbou obyvatelstva, co se týče sociálního postavení nebo způsobu obživy (Poláček, 2008). Z těchto odlišných podmínek vyplívá také rozdílný efekt na rozměry a tvar lebky. Jedním ze způsobů antropologického zkoumání populačních specifík je studium asymetrie lebky. Z antropologického pohledu má svůj význam studium direkcionální a flukтуаční asymetrie. Direkcionální asymetrie obličeje, je průměrem individuální asymetrie jedince skupiny a vyjadřuje tak tendenci skupiny. Může sloužit jako indikátor nestejnomyšerného zatížení žvýkacího aparátu a odhalit rozdíly ve stravovacích návycích, např. preference jedné strany při mastikaci. Flukтуаční asymetrie, spojená s tvarovou informací, reflektuje úroveň stresu prostředí a tedy adaptaci kosterní struktury na vlastní externí vliv (Graham et al., 2010). V případě direkcionální asymetrie nebyl na mikulčických lebkách shledán signifikantní rozdíl mezi jednotlivými pohlavími hradu a podhradí (Bigoni et al., 2013; Ibrová et al., 2017). Signifikantní rozdíly byly však pozorovány u flukтуаční asymetrie. Pro mužské obyvatele se flukтуаční asymetrie prakticky nelišila, ovšem u žen rozpoznána byla. Překvapivě vyšší byla pak prokázána u obyvatelk hradu, které tím pádem nesly větší známky stresu. Autoři studie nabízejí vysvětlení v relativně smíšené sociální struktuře pohřbívaných mužů a v možné patrilokalitě, tedy původu žen z hradu mimo samotné Mikulčice (Bigoni et al., 2013). U hradní populace byly dále prokázány výraznější struktury spojené s mastikací. Je tak možná výsledkem většího zatížení, kousáním tužší stravy jako masa oproti prosné kaši (Ibrová et al., 2017). Nutno zmínit i jistá úskalí zmíněných studií a to v podobě post-mortem deformace lebky. Ta je odvislá z celé řady faktorů, jako je poloha hlavy při pohřbu, způsob pohřbu, zda je tělo pohřbeno v rakvi apod. Robustní lebky jsou v tomto směru více odolné než lebky gracilní, u kterých dochází k deformaci snadněji. Gracilnější lebky nedospělých jedinců nebo žen se také často dochovávají v horším stavu, či jsou nekompletní. Tuto skutečnost je třeba brát v potaz a kalkulovat s případným zkreslením dat studovaného souboru dochovaných lebek (Jurda et al., 2015).

Vypovídající hodnotu o životě jedince nesou také místa svalových úponů na kostře. Změny v povrchu kosti v místech úponů, tzv. entezopatie (v angl. literatuře Enthesopathies

nebo Enthesal changes), jsou informativní pro různé patologie, vyšší věku a pro biomechanickou zátěž a fyzickou aktivitu (Benjamin et al., 2006). Analýza entezopatií poskytuje informace o míře zátěže i které svalové skupiny byly nejvíce zatěžovány. Na Obr. 4 čteme hodnoty entezopatií pro jednotlivá pohlaví a místo pohřbu. Z grafu je patrné, že úroveň změn u žen není závislá na místě pohřbu, tedy kategorii hrad/podhradí. Lze z toho usuzovat, že ženy z hradu vykonávaly stejně náročnou práci jako ty v podhradí. Nejméně zasaženou skupinou byli muži z hradu a naopak nejvíce muži z podhradí. Tyto skupiny se tedy velmi pravděpodobně velmi lišily náplní práce (Havelková et al., 2011).



**Obr. 4:** Prevalence entezopatií u studovaných skupin mikulčického obyvatelstva vztahená k věku. V procentuálním vyjádření jsou uvedena stadia B a C, stadium C je nejvyšším stupněm na škále změn a dokumentuje tak nejvyšší míru fyzické zátěže (Havelková et al., 2011)

Sexuální dimorfismus entezopatií byl pozorován nejvíce na horní končetině. U žen byl změny a tedy lokalita silné tělesné zátěže, patrné hlavně v oblasti loketního kloubu. U



mužů potom na kostech předloktí, nejvýrazněji v místě úponu *m. biceps brachii*. Co se týče sociálního postavení, jak již bylo zmíněno, ženy z hradu pravděpodobně nepředstavovaly privilegovanou vrstvu (Havelková et al., 2013). Tyto poznatky korespondují s výzkumem asymetrie obličeje (Bigoni et al., 2013; Ibrová et al., 2017). Muži z hradu patřili mezi elitní vrstvu, je však obtížné stanovit náplň práce této skupiny. Jednalo se pravděpodobně o vysoce postavené jedince, válečníky, duchovenstvo. Jistě se nejednalo o manuálně pracující v zemědělství. Jedinci charakterističtí zátěží *m. triceps brachii* a *m. gluteus medius* patřili nejspíše k válečníkům, dokládá to i hrobová výbava a hlouběji v zemi pohřbené tělo. Muži se zatěžovanými flexory a extensory zápěstí byly pohřbíváni s předměty denní potřeby a do mělkých hrobů (Havelková et al., 2011, 2013).

Ačkoli nedospělé lebky nejsou předmětem mé diplomové práce, lze z nich vyčíst řadu informací. Z údajů o hypoplasii skloviny a výskytu zubních kazů je možné soudit, že nedospělí jedinci v Mikulčicích během vývoje byli vystaveni relativně nízké environmentální zátěži. Tedy že příliš netrpěli častými obdobími nutriční deprivace ani častými infekčními chorobami nebo průjmovými onemocněními (Garcin et al., 2010a). Tato zjištění byla provedena na ostatcích z pohřebiště Mikulčice-Kostelisko, které je považováno jako místo pohřbu širokých společenských vrstev zahrnujících poddané, válečníky i vysoce postavené členy tehdejší společnosti. Příhodné podmínky tak nebyly poplatné pouze privilegované vrstvě obyvatel (Velemínský et al., 2005a; Garcin et al., 2010a).

## 2.2. Velkomoravské Mikulčice: popis lokality, její historie a společnosti

### 2.2.1. Historický úvod

Velkomoravská říše byla prvním pevným slovanským státním útvarem na území střední Evropy, jehož existenci datujeme mezi 9. a 10. století. Velká Morava byla strukturovanou společností s vládnoucím rodem Mojmírovců. Politiku a kulturu vymezovalo sousedství s Východofranskou říší. Dále pak christianizace, která na Velké Moravě probíhala skrze jak latinskou, tak staroslověnskou liturgii (Poláček, 2008).



**Obr. 5:** Sféra vlivu Velkomoravské říše v poslední třetině 9. století za vlády Svatopluka (upraveno podle Kaupová et al. 2014).

### 2.2.2. Christianizace: efekt na společnost

Křesťanství se na Moravu šířilo na začátku 9. století, a to hlavně misijní činností franských misionářů. Ve svých počátcích se pravděpodobně vztahovalo pouze na knížete a jeho družinu (Vavřínek, 1963; Poláček, 2008).

Průběh christianizace úzce souvisí s pohřebním ritem a hrobovou výbavou. Rozdíly v bohatosti hrobové výbavy (meče, ostruhy, mince, gombíky apod.) nemusí souviset pouze se společenským postavením pohřbeného, ale také s uplatněním křesťanské pohřební tradice. To by naznačovalo snižující se frekvenci obětí a předmětů spojených se životem jedince v hrobě v průběhu 9. století. A také absenci výbavy v hrobech z konce 9. století v jinak bohatě vybavených pohřebištích (Dostál, 1966; Měřínský, 2006).

Ačkoli Písmo samo věřícím nenařizuje půst, křesťanská tradice postní dobu drží. Toto období je typické pro omezení konzumace masa teplokrevných zvířat. Ryby jsou naopak přijímány jako pokrm chudých a tedy postní. Během půstu je také obvyklé jísti pouze jednou denně. Pravidla jsou však věkově omezena a na děti ani na starce se nevztahuje. Je otázkou, do jaké míry byla postní doba na Velké Moravě držena, ale v hlavních centrech říše, jako byly Mikulčice, a u vyšší vrstvy, můžeme předpokládat, že byla praktikována. Držení půstu bylo v průběhu 9. století nejspíše dodržováno se stoupající intenzitou (Poláček, 2008).

Byla také publikována existence pohanského chrámu z druhé poloviny 9. století v podhradí Mikulčic v lokalitě Klášteřisko. To vznáší otázky, do jaké míry bylo křesťanství přijato mezi nižší vrstvou obyvatelstva a zda nebylo poplatné pouze moravské elitě. Zda pohanský chrám v této době na Moravě skutečně stál, není dosud plně vyjasněno, stejně jako návrat k původnímu slovanskému náboženství po rozvratu říše (Klanica, 1985).

### 2.2.3. Sociální struktura na Velké Moravě

Přesná struktura společnosti Velkomoravské říše není dodnes plně objasněna. Co se státního uspořádání týče, jednalo se nejspíše o pokročilou kmenovou strukturu na cestě k organizovanému státu pod vládou panovníka (v anglické literatuře uváděno pod pojmem *Cyclical chiefdom*). Typická pro toto politické uspořádání je role náčelníka, který dočasně získává titul svrchovaného vládce. Takto získaná vláda mu umožňuje uplatnit svůj vliv na ekonomické vztahy ve společnosti. Do jaké míry tento typ vlády odpovídal Velké Moravě za Mojžírovců, není zcela jasné. Morava nerazila vlastní mince a pravděpodobně vládnoucí rod neměl moc rozvinout fungující daňový systém. Můžeme předpokládat, že říše se rozpadla

dříve, než byly politicko-ekonomické vztahy plně zakotveny (Třeštík, 1987; Macháček, 2009).

Na vrcholu společnosti stál vládnoucí rod Mojmirovců, oklopen privilegovanými vrstvami velmožů, kněžstva a dalšími příslušníky elit, které dle Zákona sudnyj ljudem držely právo vlastnictví půdy a dalších prostředků. Pod touto vrstvou byla skupina svobodných obyvatel (v anglické literatuře uváděno pod pojmem *free tenants*). Nejpočetnější byla skupina prostého lidu, která byla povinna vládci prací a nějakou formou daní. Existují také doklady otroků, nebo lidí bez vlastních práv. Důležitou roli ve společnosti tvořila armáda. Jádrem vojska byla panovnickova družina, která byla nejprve placena v materiální podobě z kořisti, později jí byly částečně podstoupeny odvody z dobytých území (Poláček, 2008).

#### **2.2.4. Podoba Velkomoravských Mikulčic**

Během existence Velkomoravské říše dochází k velkému nárůstu počtu obyvatel, vzniku nových osídlení a jejich funkční specializaci. Vznikají tak pevnosti, sídla panovníka, administrativní a náboženská centra. Na hlavní sídla je dále navázaná síť menších osad, zajišťující chod větších sídelních celků (Hladík, 2012).

Mikulčice Valy se řadí mezi jedny z nejdůležitějších center Velké Moravy. Mikulčice leží na pomezí dnešní České Republiky a Slovenska 7 kilometrů jihozápadně od města Hodonína. Sídliště se nalézá v údolí dolního toku Moravy. V 9. století měla oblast podobu údolní nivy o šířce okolo 6 km. Celková populace je odhadována na 1000-2000 obyvatel. Mikulčice sestávaly z centrální hradbami obehnané pevnosti, opevněného podhradí a dále ze širokého zázemí (Poláček, 2008). Vlastní opevnění mikulčického hradu obepínalo území asi 10 ha. Toto bylo obytné jádro oblasti, sloužící jako rezidence vládce, jeho vojenské družiny a dalších členů místní elity. Uvnitř hradu stálo také na vyvýšených místech mnoho kostelů s přidruženými hřbitovy. Archeologové předpokládají, že tato pohřebiště fungovala právě pro výše postavené obyvatele hradu. Okolo hradbami obehnané pevnosti, se na ploše zhruba 30 ha, nalézalo podhradí zajišťující chod pevnosti. Bylo obýváno řemeslníky a dalšími obyvateli provozujícími nutné služby v Mikulčicích. Je otázkou, do jaké míry byla tehdejší společnost rozdělena a do jaké hloubky se to odráželo v lokalitě jejich pohřbu. (Poláček, 2008; Hladík, 2012; Mazuch, 2012).

### 2.2.5. Stravovací zvyklosti na Velké Moravě

Poslední čtvrtina 9. století je charakterizována jako období začátku středověkého teplotního optima. To je spojováno s delším vegetačním obdobím, vyššími polními výnosy a obecně dobrými klimatickými podmínkami pro zemědělství. Do této doby také spadá doba největšího rozkvětu Velkomoravské říše. Popisovanému období jsou, ve shodě s oteplením, historiky přisuzovány dobré životní podmínky a prosperita společnosti (Svoboda et al., 2003; Garcin et al., 2010a; Hladík, 2012).

O stravě obyvatelstva na Velké Moravě nejvíce vypovídají studie palynologie, rozboru pylových zrn, kosterních pozůstatků zvířat a dalších archeologických nálezů. Z archeozoologických pozůstatků je patrné, že byla konzumována hlavně domestikovaná a jateční zvířata (tur, prase, ovce, koza), dále drůbež (kur, husa). Četné jsou také kosterní pozůstatky koní, které nejsou primárně považovány jako jateční dobytek, ale ze stop po sekání kostí, nelze vyloučit konzumaci. V době hradiště rostla popularita vepřového masa na úkor hovězího. Překvapivý je nízký podíl lovné zvěře, která nepředstavovala významný zdroj bílkovin a to ani u společensky vyšších vrstev. Podíl lovené zvěře na jídelníčku se zvyšuje až v posledních fázích Velké Moravy, což je spojováno s rostoucí poptávkou po mase, a dál se zvyšoval i po rozvratu říše (Dreslerová et al., 2013). Co se týče společenského rozdělení, vyšší společenské vrstvy patrně konzumovaly větší množství vepřového masa a obecně maso mladých zvířat (Chrzanowska et al., 2003). Z izotopových analýz dále vyplývá, že toto tvrzení platí hlavně pro vysoce postavené muže. Muži z bohatě vybavených hrobů konzumovali více živočišných proteinů než všechny ostatní skupiny. Jejich strava byla také více jednotvárná. U nižší společenské vrstvy k významně odlišnému jídelníčku, co se míry příjmu masa týče, u mužů a žen pravděpodobně nedocházelo. Věk potom na množství masa ve stravě nehrál roli (Kaupová et al., 2016). Interpretace archeozoologických pozůstatků z nalezišť v Mikulčicích je vzhledem k způsobu archeologického výzkumu v 50. a 60. letech obtížná. Během vykopávek nebyla zvířecím kostem věnována pozornost a nebyla k nim vytvořena dokumentace, tím byly narušeny informace z významných lokalit mikulčického hradiště (Poláček, 2000).

Z rostlinných makrozbytků můžeme vyčíst, které rostlinné druhy byly na Moravě pěstovány nebo sbírány. Z analýz plyne, že nejhojnější obilovinou byla pšenice setá (*Triticum aestivum*) následovaná prosem setým (*Panicum milliaceum*) a žitem setým (*Secale cereale*) (Oprail, 1972; Doláková et al., 2010; Dreslerová et al., 2013; Látková, 2014). Pšenice byla pravděpodobně pěstována na úrodnější půdě mikulčického zázemí spíše než přímo na písčitéch valech okolo Mikulčic, jelikož pšenice je náročnější na půdní podmínky. Naopak

proso je v tomto směru méně náročné, je i odolnější vůči suchu a s kratší vegetační dobou dokonce možná dávalo za dobrých podmínek úrodu dvakrát do roka. Proso je ovšem nutné více ošetřovat proti plevelům a vyžaduje tak větší míru lidské práce. Zcela jistě bylo vždy pěstováno více druhů obilovin jako pojistka proti případné neúrodě. Zda se lišil výběr plodin u různých socioekonomických skupin, je předmětem výzkumu. Ačkoli proso je obecně spojováno s nižším sociálním statutem, na Moravě bylo dělitko nejspíše mezi pšenicí a žitem jako surovinou pro pečení chleba, přičemž pšeničný chléb byl určen elitám (Látková, 2014). Množství bílkovin získaných z prosa odpovídalo u dospělé populace hodnotám mezi 13 % a 30 %. Vzhledem k podílu bílkovin v této obilovině, je možné usuzovat, že celkový podíl prosa na energetickém příjmu obyvatel byl větší (Halffman a Velemínský, 2015). Proso také sloužilo do jisté míry jako krmivo, a to pro psy nikoliv pro dobytek (Halffman a Velemínský, 2015). Z analýz dále plyne druhová bohatost i dalších konzumovaných plodin, jako je ovoce a zelenina, luštěniny a olejnin, ale ty do jídelníčku obyvatelstva zasahovaly pouze malou měrou a jednalo se pouze o zpestření stravy (Dreslerová et al., 2013).

Z výše uvedeného lze v kostce říci, že významnou roli ve stravování na Velké Moravě hráli obiloviny, hlavně pšenice a proso. Pšenice společně s žitem byla mleta na mouku pro pečení chleba. Z prosa byla připravována kaše, jelikož není vhodné na mouku. Ze zvířat byla konzumována hlavně ta domestikovaná, lovná zvěř se na jídelníčku vyskytovala spíše okrajově. Ženy v Mikulčicích měli pravděpodobně stejný jídelníček nezávisle na své sociální skupině, podobnou stravu konzumovali i neprivilegovaní muži. Odlišnou dietu však měli bohatí muži, kteří konzumovali více masa a měli tak stravu bohatší na proteiny (Dreslerová et al., 2013; Halffman a Velemínský, 2015; Kaupová et al., 2016).

### 3. Cíle a hypotézy

Cílem diplomové práce je zhodnocení morfologie lebky a její variability u ranně středověké populace mikulčických Slovanů. Lebka bude studována v rámci tvaru i velikosti metodami geometrické morfometrie. Práce se zaměřuje na faktory ovlivňující morfologii lebky, a to konkrétně na tyto:

- 1) Socioekonomický status jedince. Postavení jedince se mohlo odrazit v lokalitě hrobu a hrobové výbavě. Proto bude srovnána variabilita lebky mezi obyvateli mikulčického hradu a podhradí a také mezi obyvateli s bohatou hrobovou výbavou a těmi bez takové výbavy. Dále bude posouzeno, zda historické reálie lépe reflektuje lokalita, nebo výbava hrobu.
- 2) Pohlaví jedince. Popsán bude pohlavní dimorfismus v rámci celé studované populace i u skupin obyvatelstva vymezených lokalitou hrobu nebo hrobovou výbavou.

Mikulčice Valy byly centrem politické a náboženské moci Velkomoravské říše. Byly sídlem tehdejších elit i obyvatelstva zajišťujícího chod společnosti (Poláček, 2008; Hladík, 2012). Přesná sociální struktura nebyla dosud plně objasněna, ale četné poznatky naznačují relativně hierarchické uspořádání s privilegovanou vrstvou v čele a zbytkem obyvatelstva v různé míře závislosti (Třeštík, 1987; Poláček, 2008; Macháček, 2009). Bylo popsáno, že populace s lepšími vnějšími podmínkami (např. s kvalitnější stravou) manifestují výraznější pohlavní dimorfismus díky většímu uplatnění genetických predispozic (Lazenby, 2001; Saini et al., 2011). Naopak malnutrice způsobuje změny v projevu pohlavního dimorfismu např. skrze jistou feminizaci znaků mužské lebky, která reaguje na nedostatek citlivěji (Suazo Galdames et al., 2008). Samotné Mikulčice byly rozděleny na opevněnou akropoli a k ní přidružené podhradí. Je předpokládáno, že jedinci pohřbení na prestižnějších pohřebištích akropole patřili k privilegované vrstvě (Poláček, 2008). Mimo lokalitu může být dalším indikátorem vyššího statusu bohatost hrobové výbavy. Předměty jako meče, šperky nebo luxusní textilie jsou spojovány s elitami (Dostál, 1966). Význam hrobové výbavy je však problematický, neboť způsoby pohřbívání se s postupujícím křesťanstvím měnily a od bohatého vybavování hrobů mohlo být částečně upouštěno. Je tak možné, že příslušník elit byl pohřben stejně, bez symbolických předmětů, jako neprivilegovaný jedinec (Dostál, 1966; Měřínský, 2006). Dále je možné, že distribuce práv se lišila u jednotlivých pohlaví. Ženy

pravděpodobně zastávaly stejnou práci a měly přístup ke stejné stravě nezávisle na svém postavení. Toto by naznačovalo větší vliv statusu jedince u mužů než u žen (Bigoni et al., 2013; Havelková et al., 2013; Kaupová et al., 2016).

Z výše uvedeného plynou tyto hypotézy:

- 1) Populace mikulčických Slovanů je ve znacích na lebce pohlavně dimorfní.
- 2) Pohlavní dimorfismus je výraznější u subpopulací s předpokládanými lepšími vnějšími podmínkami (jedinci z hradu, resp. s bohatou hrobovou výbavou).
- 3) Lokalita hrobu, spíše než jeho výbava, odráží historické skutečnosti a příslušnost jedince k sociální vrstvě.
- 4) Závislost morfologie lebky na socioekonomické příslušnosti je menší u žen než u mužů.



## 4. Materiál

Materiálem diplomové práce jsou lebky raně středověkých Slovanů z archeologické lokality mikulčického hradiště. Jedinci zde byli pohřbíváni mezi 9. a 10. stoletím. Hodnocený soubor čítá 89 dospělých jedinců, 40 žen a 49 mužů (podrobně viz Tab. 2). Požadovaným parametrem pro výběr materiálu byla dobrá celková zachovalost lebky bez patologických změn a atrofií, které by měly vliv na morfologii lebky.

Do studie byli zařazeni pouze dospělí jedinci. Odhadovaný věk jedinců byl převzat z předchozích studií stejného kosterního materiálu (viz Tab. 3) a pohyboval se v rozmezí od 20 do 60 let. Samotný odhad byl prováděn kombinací metod dle publikací Ferembach et al., (1979); Lovejoy, (1985); Brooks a Suchey, (1990); Buikstra a Ubelaker, (1994); Schmitt et al., (2002); Buckberry a Chamberlain, (2009). Odhad pohlaví jedinců byl převzat také z předešlých studií (viz. Tab. 3), jejichž závěry byly zkontrolovány na základě primární pohlavní diagnózy metodami podle publikací Bruzek, (2002) a Murail et al., (2005).

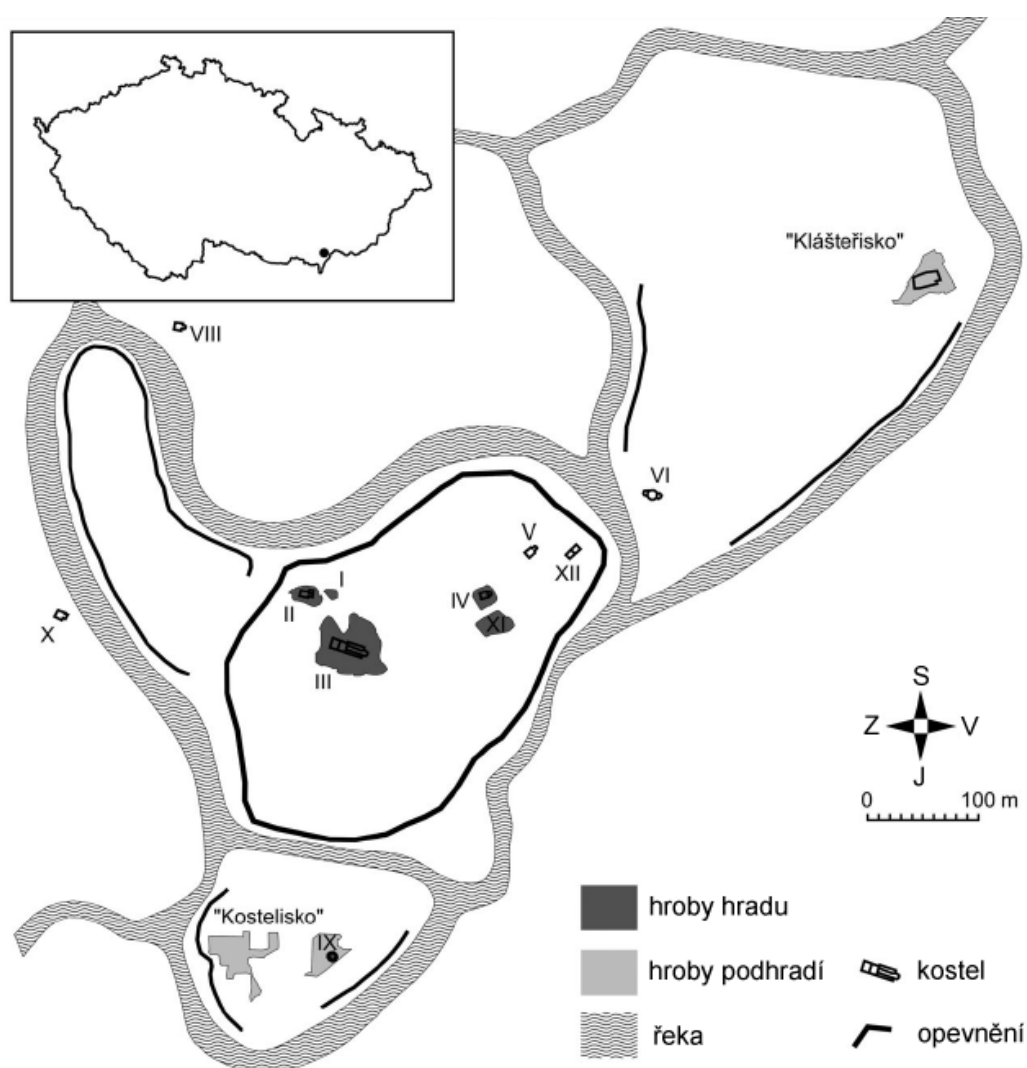
Samotné hodnocení materiálu bylo nejprve provedeno v rámci celého souboru a dále pak v rámci vybraných skupin obyvatelstva. Rozdělení souboru na užší skupiny vycházelo z lokality hradu (hrad × podhradí) a z bohatosti hrobové výbavy (elity × ostatní). První rozdělení, odvozené z lokality, ilustruje Obr. 6. Konkrétními pohřebišti z lokality mikulčický hrad jsou: I. kostel; II. kostel; III. kostel; XI. kostel. V podhradí se pak jedná o: VI. kostel; Klášterisko; Kostelisko. Rozdělení na elitní hroby bylo provedeno na základě přítomnosti předmětů spojovaných s vyšší sociální vrstvou (gombíky, kování rakve, náušnice, honosné nákončí opasku, zlato, luxusní textil, ostruhy, sekery).

**Tab. 2:** Početní zastoupení jednotlivých kategorií zkoumaného souboru

	Ženy	Muži
Hrad	24	26
Podhradí	19	24
Celkem	43	50
Elity	13	15
Ostatní	30	35
Celkem	43	50

**Tab. 3:** Přehled lokalit odkud pochází materiál a publikace, které materiál zpracovaly

Lokalita	Publikace
Mikulčice, I. Kostel	Stloukal, 1963
Mikulčice, II. Kostel	Stloukal, 1963; Brůžek a Velemínský, 2006b
Mikulčice, III. Kostel	Stloukal a Hanáková, 1967; Brůžek a Velemínský, 2006b
Mikulčice, VI. Kostel	Stloukal, 1964
Mikulčice, IX. Kostel	Hanáková, 1988
Mikulčice, Kostelisko	Velemínský et al., 2005b
Mikulčice, Klášteřisko	Stloukal a Hanáková, 1985



**Obr. 6:** Mapa mikulčického opevnění. Na obrázku jsou vyznačeny čísla kostely a s nimi spjatá pohřebiště (upraveno dle Bigoni et al., 2013)

## 5. Metody

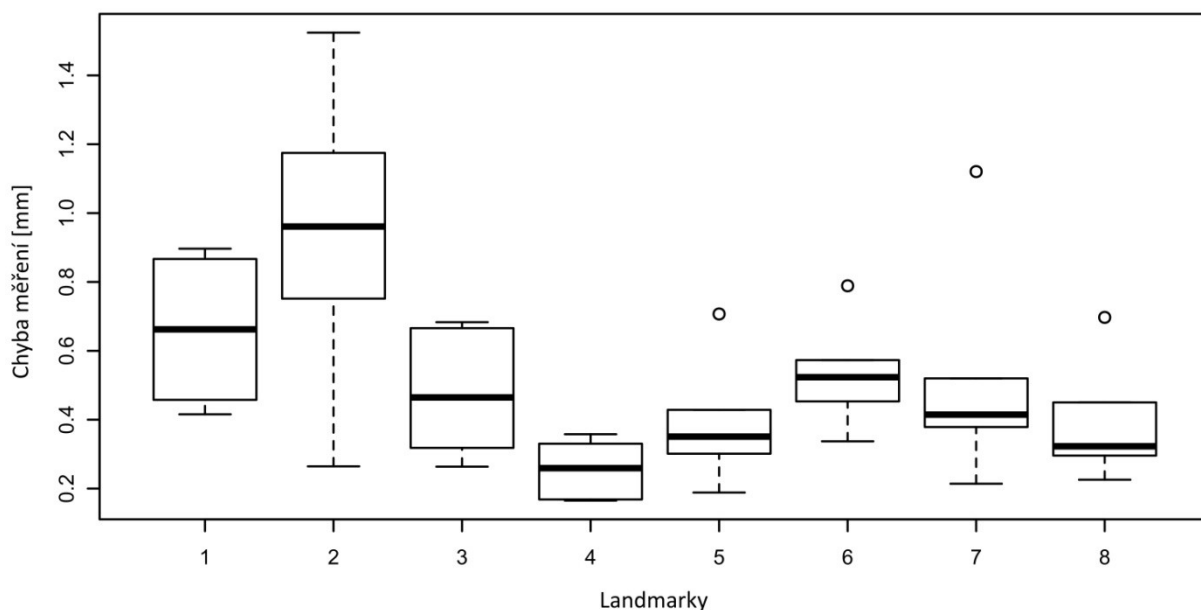
### 5.1. Sběr a úprava dat

Kosterní materiál byl nejprve nasnímkován pomocí CT skeneru Somatom Sensation 16 (Siemens, Erlangen, Německo) na radiodiagnostické klinice v nemocnici Na Homolce (Praha). Nastavené parametry při snímkování byly: vzdálenost řezů 0,75 mm; 0,4 mm kernel kostní tkáň H60 (rekonstrukční výpočetní algoritmus pro kostní tkáň). Pořízené CT-snímky byly převedeny do standardního datového a komunikačního formátu DICOM (*digital imaging and communications in medicine*), který slouží k přenosu a uchování radiologických dat.

Digitalizované CT-snímky byly následně upravovány programem Amira 5.3.3, Thermo Scientific™. V tomto programu došlo k převedení dat na trojúhelníkovou síť povrchu virtuálního modelu lebky. Dalším krokem bylo ořezání nehodnocených částí lebky, k tomuto byl použit open source software Meshlab v2016.12. Ořezána byla dolní čelist a částečně *proc. alveolaris* horní čelisti. Ve stejném programu byla provedena i redukce trojúhelníkové sítě modelu na cca 100 000 trojúhelníků. Takto upravená data byla přenesena do programu Morphome3cs II. Zde bylo naneseno 8 landmarků, opakovatelných homologních bodů (Bookstein, 1986), jejichž výběr byl částečně převzat z práce Musilová et al. (2016) (viz Tab. 4). Landmarky byly naneseny s průměrnou chybou 0,56 mm (viz Obr. 7). Chyba byla stanovena pomocí metody dle von Cramon-Taubadel et al., 2007. Landmarky byly použity pouze k rigidní registraci modelů a tudíž chyba jejich nanesení nehraje významnou roli.

**Tab. 4:** Seznam použitých landmarků a jejich definice (dle Fetter, 1967).

Landmark	Definice
Glabella	Silně zvýšený bod na dolním okraji čelní kosti, který je v mediální rovině položen nad nosním kořenem ( <i>sutura frontonasalis</i> ) mezi nadočnicovými oblouky
Inion	Bod styku <i>lineae nuchae superiores</i> s mediální rovinou
Opisthion	Bod průsečíku mediální roviny s <i>foramen magnum</i>
Nasospinale	Bod ležící na průsečíku tečny dolních okrajů <i>apertura piriformis</i> s mediální rovinou
Mastoidale dx, sin	Bod na vrcholu <i>proc. mastoideus</i> , většinou nejnižší a nejvíce laterálně
Frontomalare orbitale dx, sin	Bod na vnějším okraji očníce v místě, kde ho protíná <i>sut. Frontozygomatica</i>



**Obr. 7:** Chyba landmarkování vynesena v krabicovém grafu. Chyba je vyjádřena v milimetrech

V Morphome3cs II bylo také provedeno odstranění endokrania, které není v práci hodnoceno. Tento krok byl proveden automaticky pomocí algoritmu. Byla zkonstruována krychle o délce strany stonásobku vzdálenosti dvou nejvzdálenějších bodů konkrétní lebky. Geometrické těžiště lebky bylo zarovnáno na střed krychle. Následně byla na krychli definována množina 26 bodů Q. Q zahrnuje 8 vrcholů krychle; 6 středů stěn; 12 středů stran. Vnější povrch lebky byl poté zrekonstruován na základě viditelnosti trojúhelníku povrchové sítě z alespoň dvou bodů Q. Tímto byly trojúhelníky vnitřního povrchu, „skryté“ pod exokranium, odstraněny z výsledného modelu lebky (Musilová et al., 2016).

Před samotným statistickým vyhodnocením bylo provedeno zarovnání modelů lebek na sebe a vynucení homologie sítě. Homologie je dosaženo využitím metody coherent point drift-dense correspondence analysis (CPD-DCA). Modely byly tak upraveny postupem, při kterém je nejprve provedena generalizovaná Procrustovská analýza (GPA), která rigidně zarovná lebky na sebe podle 8 předem vnesených landmarků. Poté je spuštěn CPD-DCA algoritmus, jenž nerigidní registrací kompenzuje deformaci mezi studovanými sítěmi lebky a templátovou základní sítí. V rámci algoritmu je také proveden dopočet chybějících vrcholů podle předem zvolené předlohy. Na základě této předlohy jsou poté identifikovány chybějící vrcholy sítě, která je následně deformována podle předlohy adekvátně dopočítávanému povrchu. Po registraci jsou přiřazeny homologní vrcholy sítě a to na základě blízkosti bodů. Body, u kterých nebyly nalezeny jejich korespondující varianty, jsou ze sítě vyřazeny. Tím je

dosaženo povrchů s homologickou topologií. Konečně je znovu opakována GPA mezi korespondujícími body sítě. Společně se zarovnáním lebek je proveden dopočet poškozených částí povrchu (Dupej et al., 2014; Musilová et al., 2016). Takto ošetřená data lze podrobit statistické analýze.

## **5.2. Metody statistické analýzy**

### **5.2.1. Dvouvýběrový t-test**

Dvouvýběrový t-test testuje shodu středních hodnot dvou nezávislých výběrů. Předpokladem je normální rozdělení v obou výběrech. Normální (Gaussovo) rozdělení popisuje pravděpodobnost, s jakou se pohybuje hodnota náhodného jevu okolo střední hodnoty. Graficky lze normální rozdělení vyjádřit pomocí Gaussovy křivky. Ověření normality bylo provedeno pomocí Shapirova-Wilkova testu. V diplomové práci je dvouvýběrový t-test využit k srovnání průměrného modelu lebky muže a ženy a stanovení signifikantních rozdílů. Nulová hypotéza testu předpokládá, že výběrové průměry se statisticky neliší. Jelikož byl tento test použit separátně přes všechny body povrchové sítě (per-vertex), je možné vizualizovat konkrétní body, pro které byl rozdíl průměrů mužů a žen signifikantní a pro které nikoliv (Zvára, 2006; Haruštiaková et al., 2012).

### **5.2.2. Analýza hlavních komponent**

Analýza hlavních komponent (z angličtiny Principal component analysis, dále v textu jako PCA), je statistická metoda popisující vnitřní strukturu statistického souboru týkající se variability (Hotelling, 1933). Metoda redukuje dimenzi dat na menší počet hlavních komponent. Tyto komponenty jsou představovány vlastními ortogonálními vektory (eigenvectors). První hlavní komponenta pak představuje lineární závislost zachycující největší rozptyl souboru. Každá další komponenta popisuje největší rozptyl dat nezávisle na komponentu předchozí, tedy v kolmém směru vektoru. Celkovou variabilitu dat můžeme tedy pomocí PCA rozdělit na množství dílčích lineárních příspěvků. Grafické vyjádření hlavních komponent je možné pomocí konfidenčních elips v bodovém grafu zahrnujícím 2-3 hlavní komponenty. Elipsy vymezují oblast, kde bude pravděpodobně ležet jedinec dané skupiny. Dalším vyjádřením je suťový graf, který dokumentuje vlastní procentuální příspěvky jednotlivých komponent k celkové variabilitě (Haruštiaková et al., 2012).

### **5.2.3. MANOVA (Multivariate analysis of variance)**

Jedná se o statistickou metodu umožňující analýzu závislosti dvou a více náhodných veličin na hodnotě znaku, který vymezuje hodnocený soubor do skupin. Je tedy rozšířením analýzy rozptylu, ANOVA (z angl. Analysis of Variance), na více náhodných veličin. Předpokladem testu je normální rozdělení souboru a stejný rozptyl v jednotlivých skupinách, proto bylo před každým hodnocením souboru použito Shapirova-Wilkova testu s hladinou významnosti 0,05. MANOVA testuje hypotézu, zda jsou rozptyly hodnot náhodné veličiny stejné u všech skupin zkoumaného souboru (French et al., 2008).

### **5.2.4. Support vector machines (SVM)**

SVM je metoda strojového učení použitá v diplomové práci ke klasifikaci a třídění souboru na skupiny. Metoda skrze lineární klasifikátor dělí prostor příznaků na dvě skupiny podle předem určeného kritéria. V případě diplomové práce je SVM využito např. k rozdělení souboru podle pohlaví na základě skóre získaných z PCA. Statistický model je dále testován křížovou validací, kdy je soubor rozdělen na množiny trénovací a testovací. Takto je model nejprve natrénován a poté otestován za účelem zjištění míry ovlivnění výsledků. Výsledkem je potom procentuální úspěšnost, tedy procento správně klasifikovaných dat (Vapnik a Cortes, 1995; Franklin et al., 2012)

## 6. Výsledky

Výsledky jsou rozčleněny do tří kapitol. První kapitola dokumentuje vizuální reprezentaci dimorfismu v rámci srovnávaných skupin, s ohledem na pohlaví, lokalitu hrobu a hrobovou výbavu jedince. Popsán je tak pohlavní dimorfismus a vliv socioekonomické příslušnosti na morfologii jedince. Vizualizace je provedena pomocí projekce barevné škály na model průměrné lebky. Ze vzniklé barevné mapy lze číst průměrnou vzdálenost v daném místě modelu mezi průměrnými hodnotami srovnávaných skupin. Uvedeny jsou mapy ilustrující odlišnou formu s rozdíly uvedenými v milimetrech a také odlišný tvar, jenž zanedbává velikost, a proto promítnuté hodnoty jsou pouze relativní, bezrozměrné. Dále jsou přiloženy modely, na které jsou promítnuty p-hodnoty per vertex t-testu. Výsledkem testu jsou mapy signifikantních rozdílů s procentuálně vyčísleným podílem statisticky signifikantního povrchu.

Druhá kapitola pojednává o výsledcích analýzy hlavních komponent. Analýza dále rozvíjí výsledky předchozí kapitoly. Prezentovány jsou výsledné příspěvky jednotlivých hlavních komponent, dále jsou jednotlivé hodnocené skupiny srovnány v rámci prvních dvou hlavních komponent PC1 a PC2. Nakonec byl proveden test signifikance na základě vybraných relevantních hlavních komponent.

Poslední, třetí kapitola, prezentuje výsledky použití SVM. Takto byla srovnána jednotlivá kritéria (pohlaví, lokalita hrobu a hrobová výbava) a jejich kombinace s cílem rozpoznání překryvu variability mezi jednotlivými skupinami mikulčického obyvatelstva.

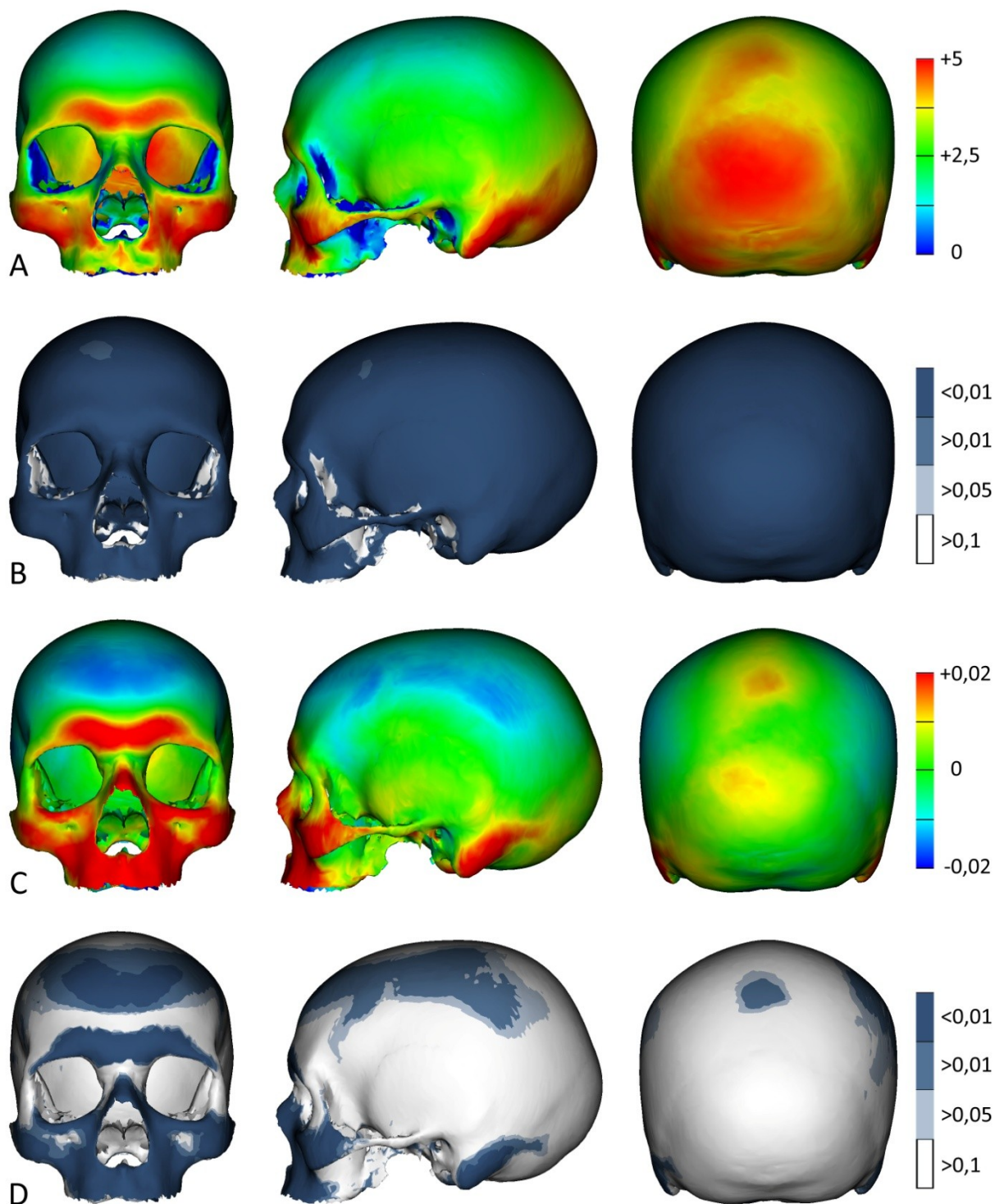
## 6.1. Morfologie lebky mikulčické populace

### 6.1.1. Pohlavní dimorfismus mikulčického obyvatelstva

Pohlavní dimorfismus byl hodnocen v rámci celé populace (41 žen a 48 mužů). Nejprve byla provedena analýza formy. Jak je možné vidět na přiloženém Obr. 8 B, mužská lebka se signifikantně liší prakticky v celém svém vnějším povrchu. Při bližším pohledu (Obr. 8 A) je patrné, že červené oblasti (*arcus superciliaris*, *os zygomaticum*, *proc. zygomaticus maxillae*, *proc. mastoideus*, *squama occipitalis*) jsou u mužů mohutnější až o 5 mm. Zelená barva, ilustrující rozdíl forem kolem 2,5 mm, je patrná v oblasti kořene nosu, nosních kostí, kostí spánkové a podél vnější strany očníce. Menší rozdílnost formy pak na lebce pozorujeme u *squama frontalis* čelní kosti, u které se rozdíl pohybuje okolo 1 mm.

Zkoumané lebky se dále liší i v tvaru. Dimorfní struktury jsou obdobné jako u formy. Červené oblasti signalizují prominentnější znaky u mužů vzhledem k ženám, modré potom signalizují opak. Na mužských lebkách jsou výraznější *arcus superciliaris*, *os zygomaticum*, *maxilla*, *proc. mastoideus*. Naopak šupina čelní kosti se více vyklenuje u žen (Obr. 8 C). Odlišnost tvaru již není signifikantní po celé lebce a je lokalizována především v oblasti obličeje, čela a bradavkového výběžku (Obr. 8 D).



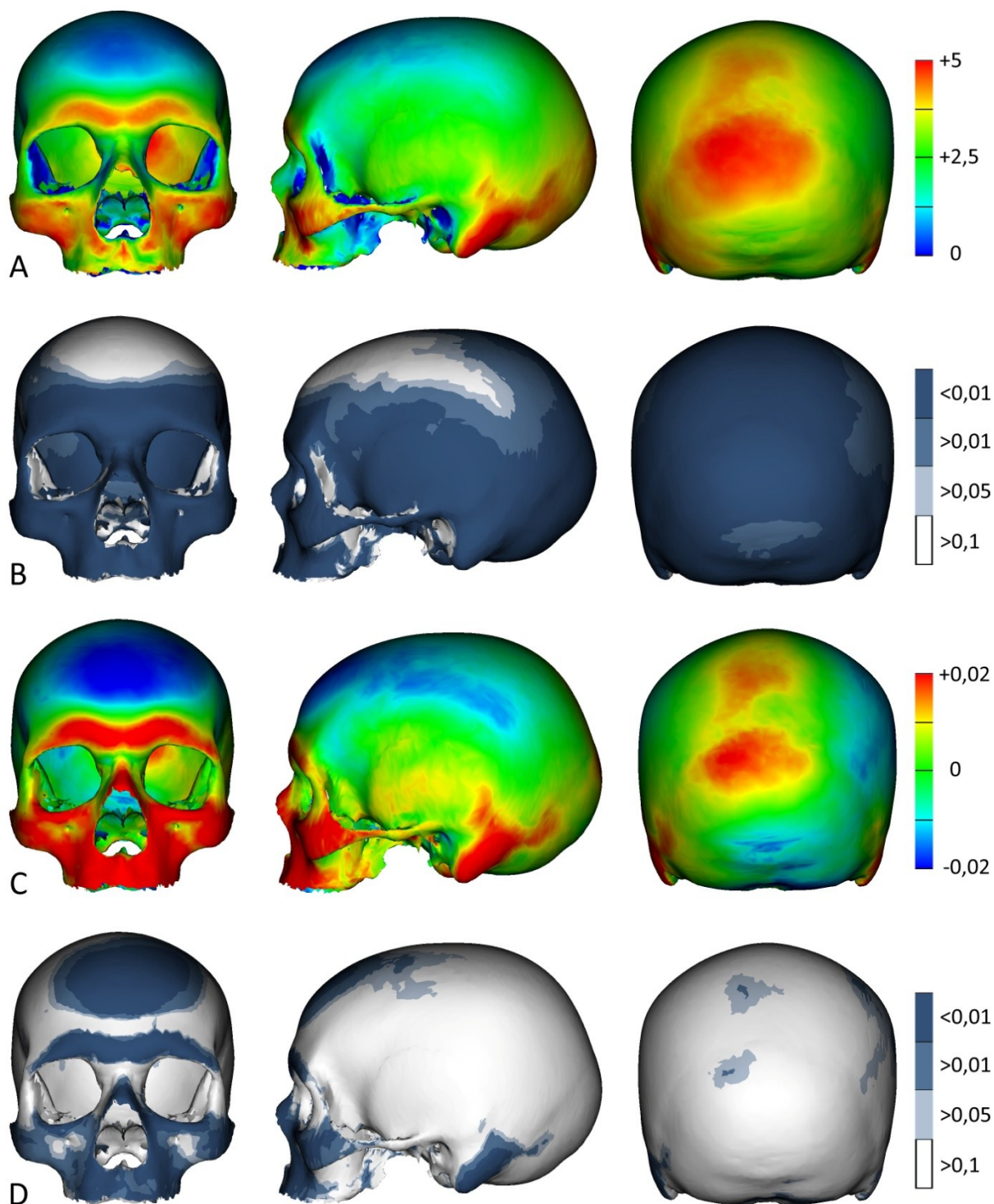


**Obr. 8:** Vizualizace pohlavního dimorfismu celé mikulčické populace. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (88,4 %) a D (22,8 %).

### 6.1.2. Pohlavní dimorfismus obyvatel mikulčického hradu

Dále byla provedena analýza pohlavního dimorfismu u subpopulace z mikulčického hradu (viz Obr. 9). Početní zastoupení pohlaví bylo 22 žen a 26 mužů. U formy (Obr. 9 A), lze pozorovat obdobné dimorfní znaky jako u celé hodnocené populace. Červené oblasti signalizující až 5mm rozdíly, výraznější u mužů, jsou lokalizovány v *arcus superciliaris*, *os zygomaticum*, *proc. zygomaticus maxillae*, *proc. mastoideus*, *squama occipitalis*. Kořen nosu a *fossa temporalis* jsou zabarveny do zelena a jsou tedy mohutnější o zhruba 2,5 mm. *Squama frontalis* čelní kosti je vyvedena v modré barvě a odlišnost v této oblasti lebky se tedy blíží nule, což dokládá i mapa signifikance, podle které se lebky v této oblasti mezipohlavně neliší (Obr. 9 B).

Dimorfismus tvaru se projevuje opět výraznějšími nadočnicovými oblouky, hřbetem nosu, celou dolní polovinou obličeje nebo bradavkovými výběžky u mužů. Poslední signifikantně rozdílnou oblastí je klenba čela, která je relativně vyklenutější u žen oproti mužům (viz Obr. 9 C a D).

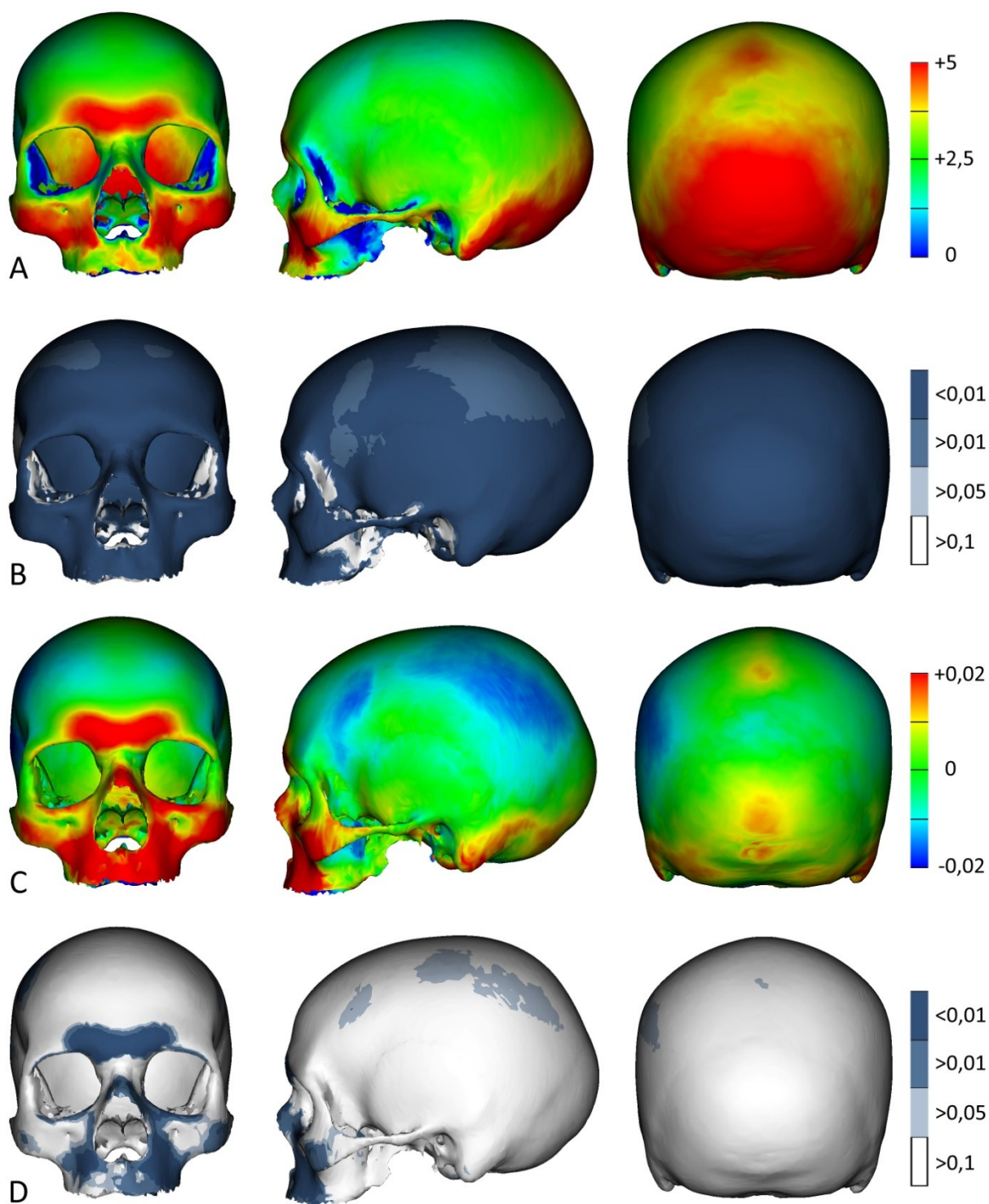


**Obr. 9:** Vizualizace pohlavního dimorfismu obyvatel mikulčického hradu. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (73,7 %) a D (16,0 %).

### 6.1.3. Pohlavní dimorfismus obyvatel mikulčického podhradí

Z podhradí pochází 18 žen a 23 mužů hodnoceného souboru. Z analýzy formy je patrné, že pohlavní rozdíly mezi lebkami jsou signifikantní téměř v celém povrchu (viz Obr. 10 B). Rozdíl ve formě nadočnicových oblouků je o něco větší v podhradí než u jedinců z hradu. Stejně tak u subpopulace z podhradí více mužům oproti ženám vystupuje týlní kost. Signifikantně větší, a to o asi 2,5 mm, jsou mužské lebky v oblasti šupiny čelní kosti, což se opět rozchází s výsledky jedinců pochovaných na hradě a ukazuje to pravděpodobně na méně maskulinní podobu čela u mužů (Obr. 10 A).

Pohlavní dimorfismus v rámci tvaru není stejně významný jako u subpopulace z hradu. Signifikantně markantnější jsou nadočnicové oblouky, ovšem ne ve stejné šíři jako u hradních jedinců. Podobně dolní polovina obličeje je v podhradí více podobná u obou pohlaví. Poslední signifikantně odlišná oblast při superiorním okraji *fossa temporalis*. Tento pruh na lebce je lehce užší u mužských lebek. Bradavkový výběžek, který je typickým dimorfním znakem, není u podhradní subpopulace signifikantně odlišný (Obr. 10 C a D).

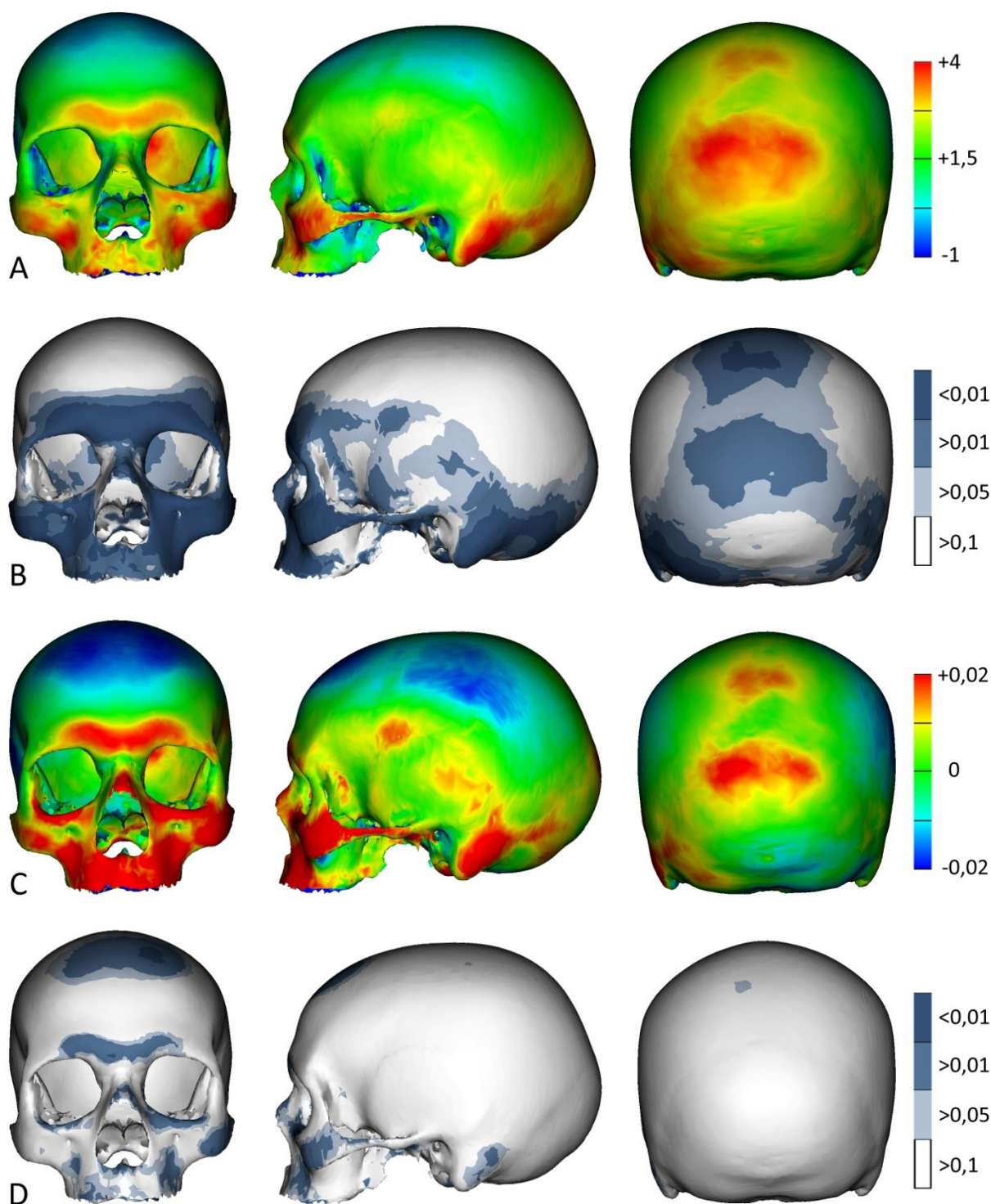


**Obr. 10:** Vizualizace pohlavního dimorfismu obyvatel mikulčického podhradí. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (83,68 %) a D (7,2 %).

#### **6.1.4. Pohlavní dimorfismus obyvatel s bohatou hrobovou výbavou**

Početní zastoupení pohlaví bylo v tomto hodnoceném souboru 12 žen a 15 mužů. Analýza formy ukázala, že většina plochy obličeje je u mužských lebek prominentnější než u žen, nejvýrazněji pak v oblasti *arcus superciliaris* a *os zygomaticum*. Prominentnější jsou u mužů také bradavkové výběžky a stejně tak i šupina kosti týlní. Šupina kosti čelní se jeví naopak výraznější u žen a to až do 1 mm, avšak na rozdíl od předešlých znaků se nejedná o signifikantní znak (Obr. 11 A a B).

Méně signifikantních rozdílů bylo pozorováno u tvarového dimorfismu (Obr. 11 D). Zde byly rozdíly omezeny na u mužů výraznější nadočnicové oblouky, dále spodní okraj očních, *spina nasalis* a do jisté míry i *proc. mastoideus*. U žen byla naopak prominentnější klenba čela (Obr. 11 C).



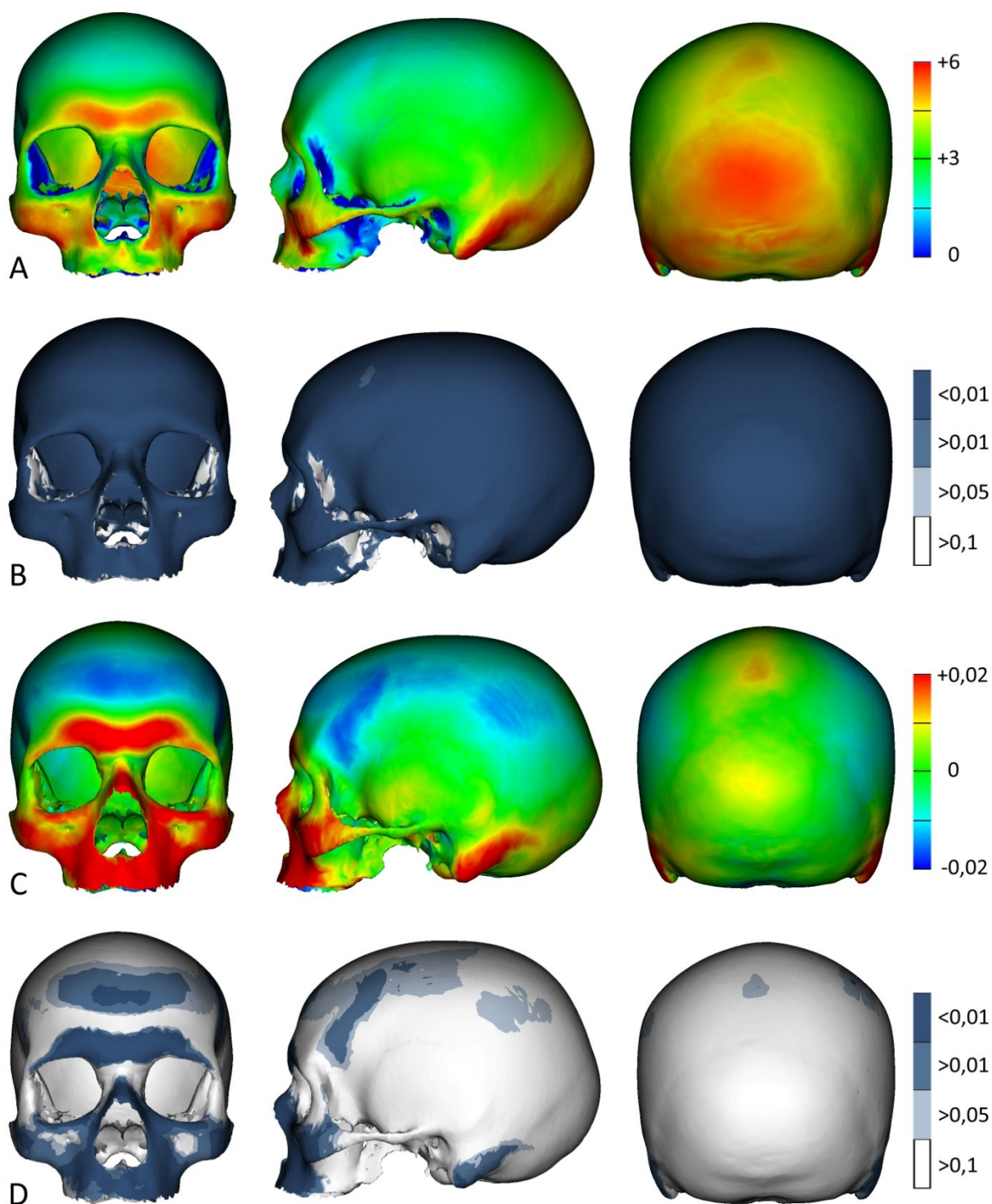
**Obr. 11:** Vizualizace pohlavního dimorfismu obyvatel z bohatých hrobů. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je vyvedena v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (27,6 %) a D (7,5 %).

### 6.1.5. Pohlavní dimorfismus obyvatel bez bohaté hrobové výbavy

Výsledky analýzy formy vychází signifikantní v celé ploše exocrania (soubor 28 žen a 34 mužů). Ve svých extrémech u *proc. mastoideus* a *arcus superciliaris* nabývají sexuální rozdíly až 6 mm. Dalšími výraznějšími strukturami je dolní polovina obličeje vyjma oblasti přiléhající k *proc. alveolaris maxillea*, která je prominentní asi o 3 mm. O více než 5 mm vybíhá u mužů také šupina kosti týlní. Nejméně dimorfní je opět oblast klenby čela a anteriorního okraje *fossa temporalis* (Obr. 12 A a B).

Tvarové pohlavní rozdíly dosahují nejvyšších hodnot v oblasti nadočnicových oblouků, dolní části obličeje a bradavkových výběžků. Tyto struktury jsou tak více manifestovány u mužských lebek. U žen je prominentnější klenba čela a také oblast při předním a horním okraji *fossa temporalis* (Obr. 12 C a D).



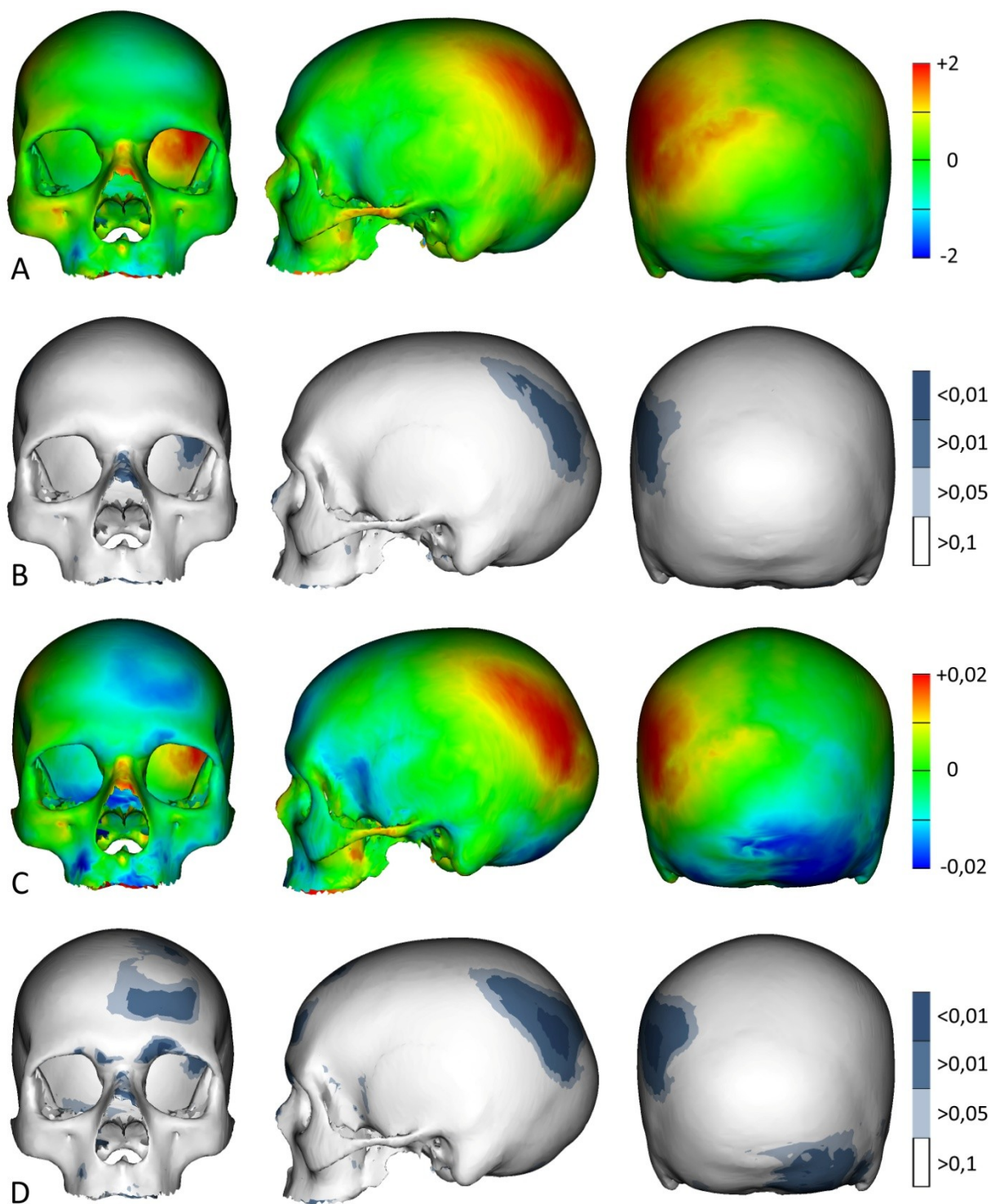


**Obr. 12:** Vizualizace pohlavního dimorfismu obyvatel bez bohaté hrobové výbavy. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (88,0 %) a D (11,2 %).

#### **6.1.6. Porovnání morfologie lebky mužů na základě lokality hrobu**

V diplomové práci bylo provedeno také srovnání závislosti morfologie lebky jednotlivých pohlaví na subpopulační příslušnosti. Hodnoceno bylo 26 mužů z hradu a 23 z podhradí.

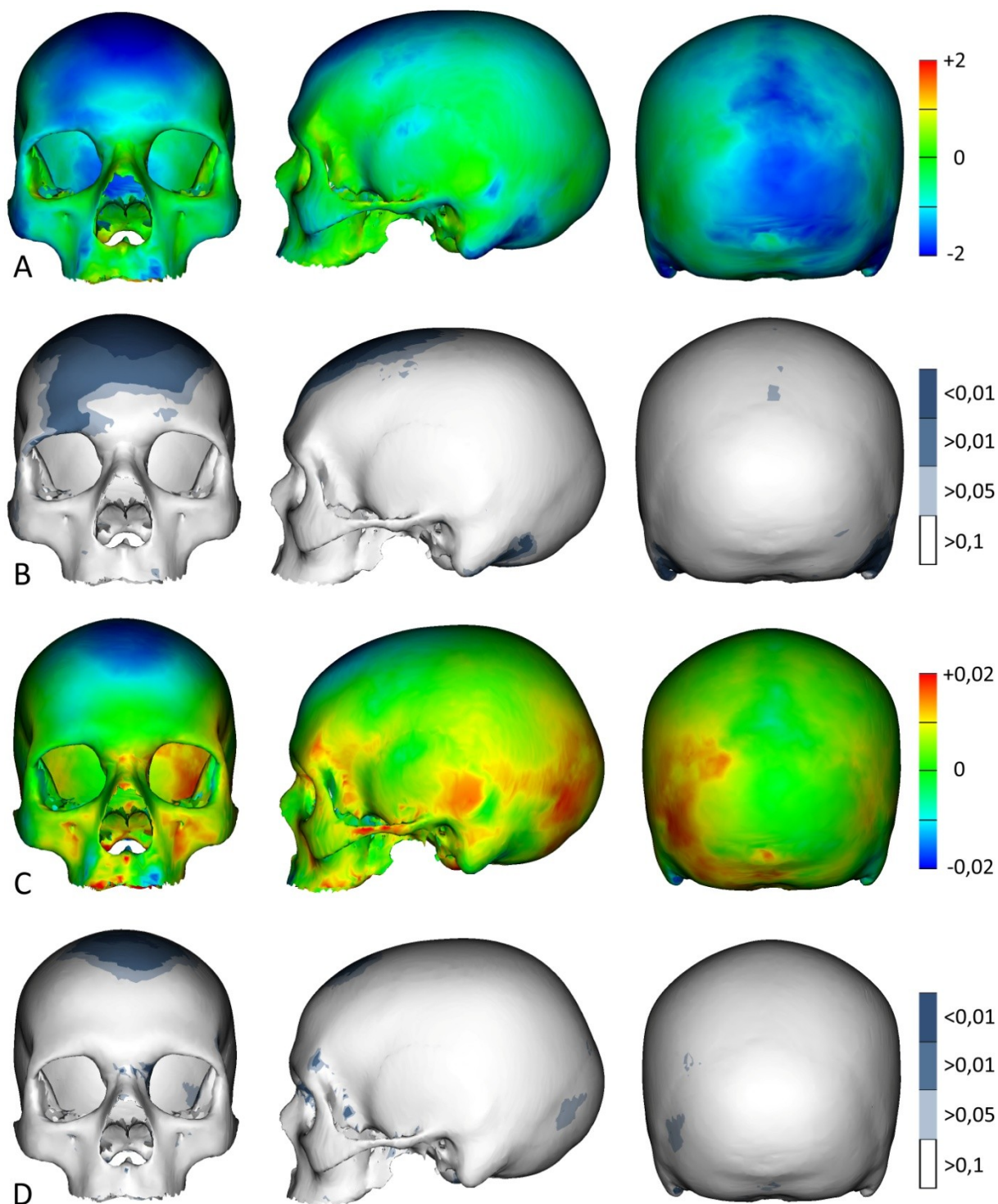
Na Obr. 13 je možné vidět srovnání odlišné morfologie lebky u mužů z hradu a podhradí. Z analýzy formy je patrná jistá asymetrie temenní kosti, která je i statisticky signifikantní. Dále pak u jedinců z hradu pozorujeme více vystupující nosní kosti, opět v signifikantní míře (Obr. 13 A a B). Tvarová analýza vykazuje stejnou asymetričnost u temenní kosti, ke které se přidává ještě asymetrie týlní a také čelní kosti (Obr. 13 C a D).



**Obr. 13:** Vizualizace odlišné morfologie u mužů z hradu a podhradí. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů z hradu. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (3,56 %) a D (7,0 %).

### **6.1.7. Porovnání morfologie lebky mužů na základě hrobové výbavy**

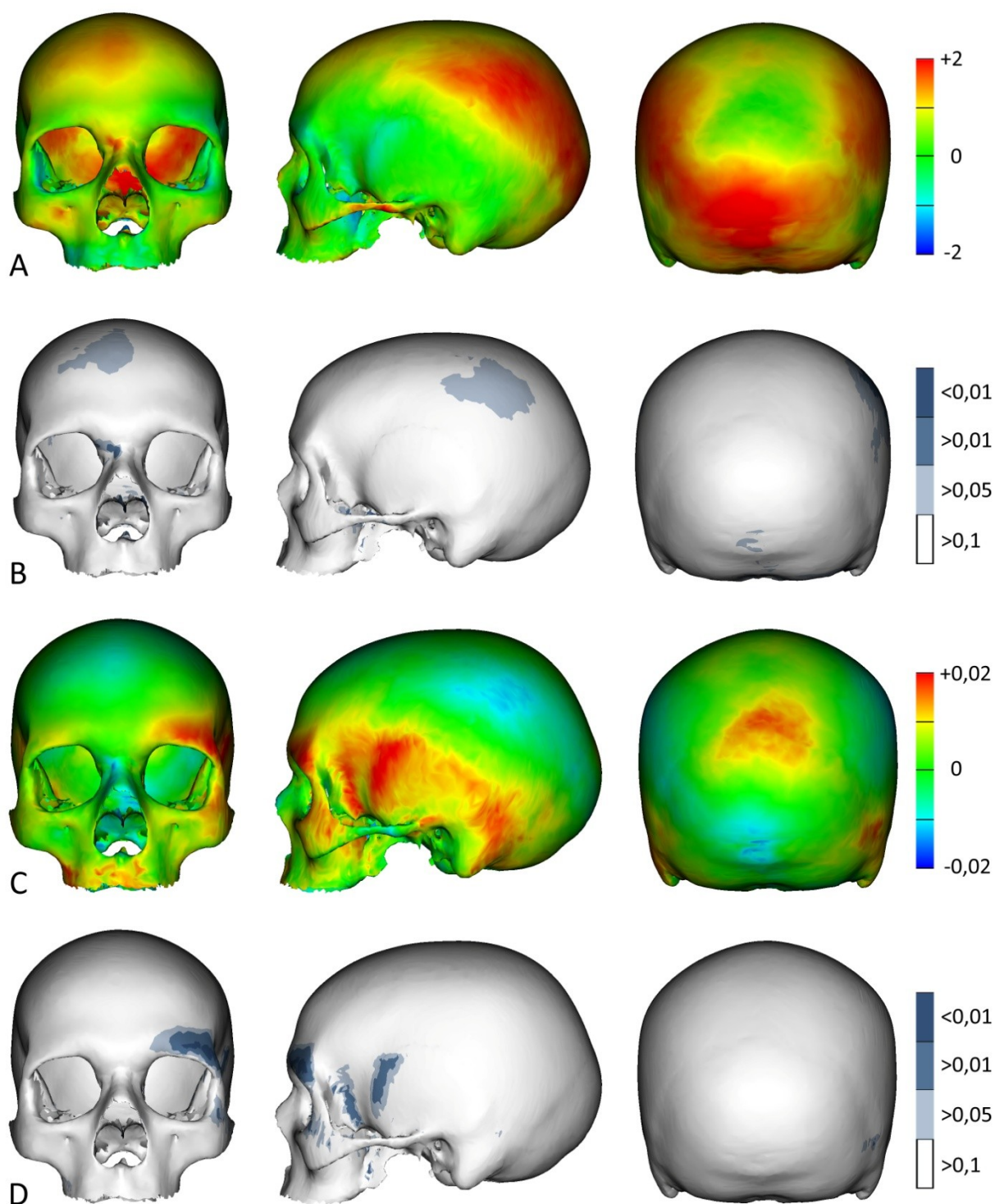
Hodnoceno bylo 15 lebek z elitních hrobů a 34 lebek z neelitních. Z Obr. 14 je patrné, že hlavním morfologickým rozdílem je forma i tvar klenby čelní kosti. Jak u formy tak tvaru je tato oblast méně výrazná u mužů z elitních hrobů, jejichž lebky tak nabývají více maskulinní podoby čela. Dalším signifikantním rozdílem je posteriorní stěna *proc. mastoideus*, která je mohutnější u jedinců z neelitních hrobů.



**Obr. 14:** Vizualizace odlišné morfologie u mužů z elitních a neelitních hrobů. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u mužů z elitních hrobů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (10,4 %) a D (4,4 %).

### **6.1.8. Porovnání morfologie lebky žen na základě lokality hrobu**

Morfologie ženských lebek se téměř neliší, pokud srovnáváme jedince z hradu a podhradí (22 žen z hradu a 18 z podhradí). U formy jsou lebky z hradu v průměru větší, tento rozdíl není ale statisticky významný. Stejně i jistá asymetrie na klenbě lebeční je odchylkou na hranici signifikance. Analýza tvaru ukázala asymetricky tvarované nadočnicové oblouky a oblast *fossa temporalis*, která je prominentnější na levé straně jedinců z hradu (viz Obr. 15).

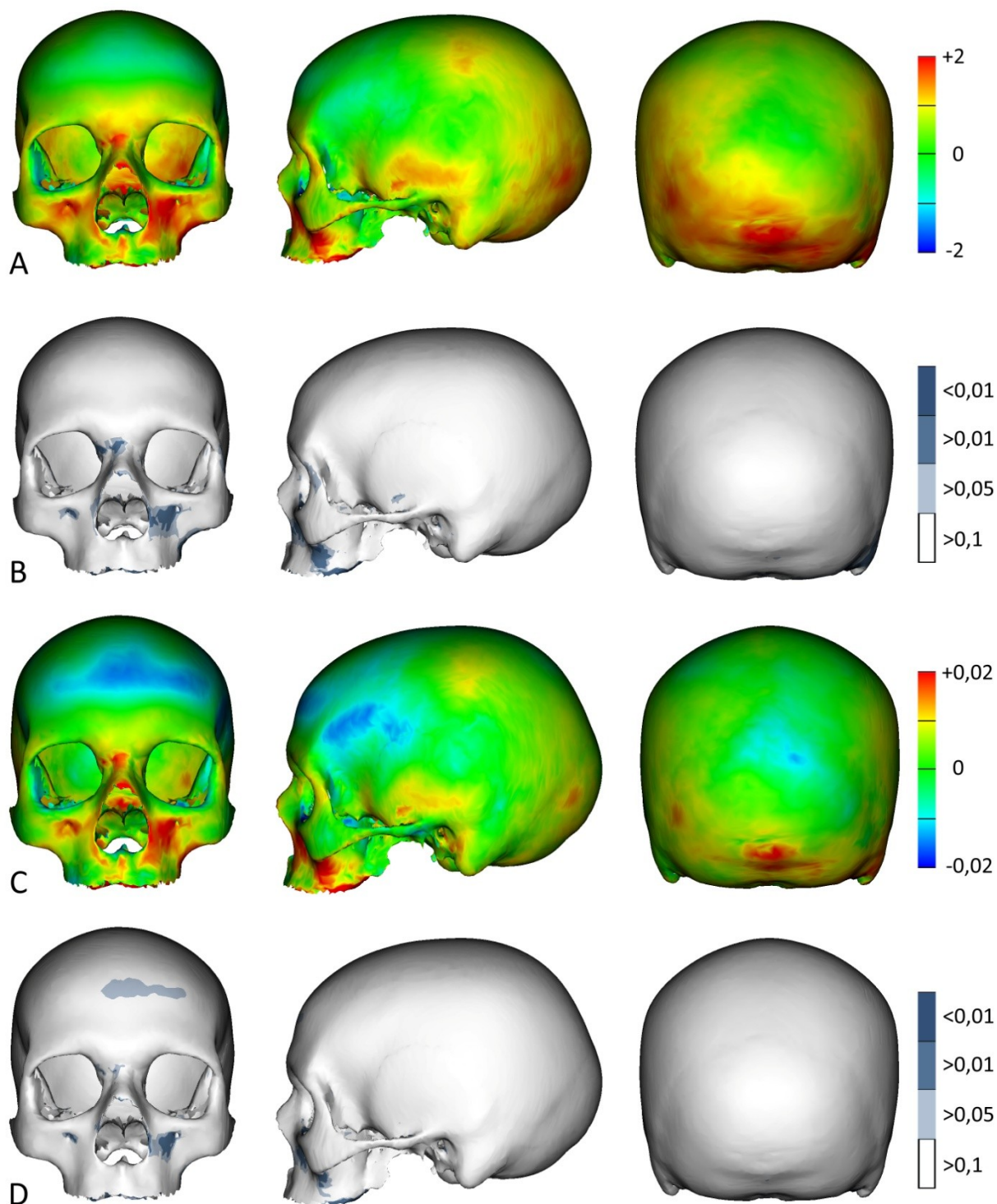


**Obr. 15:** Vizualizace odlišné morfologie u žen z hradu a podhradí. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u žen z hradu. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (3,25 %) a D (1,8 %).

### **6.1.9. Porovnání morfologie lebky žen na základě hrobové výbavy**

Srovnání morfologie lebek žen z hrobů, které byly označeny jako elitní a těch ostatních (12 z elitních hrobů a 28 z neelitních), ukázalo jen minimum signifikantních rozdílů. U formy jde pouze o asymetricky lokalizované místo na horní čelisti mezi *apertura piriformis* a *foramen infraorbitale* a při *sutura frontomaxillaris*. Tvarová analýza k výše uvedenému přidává vyklenutější hrboly čelní kosti u neelitních jedinců (Obr. 16).



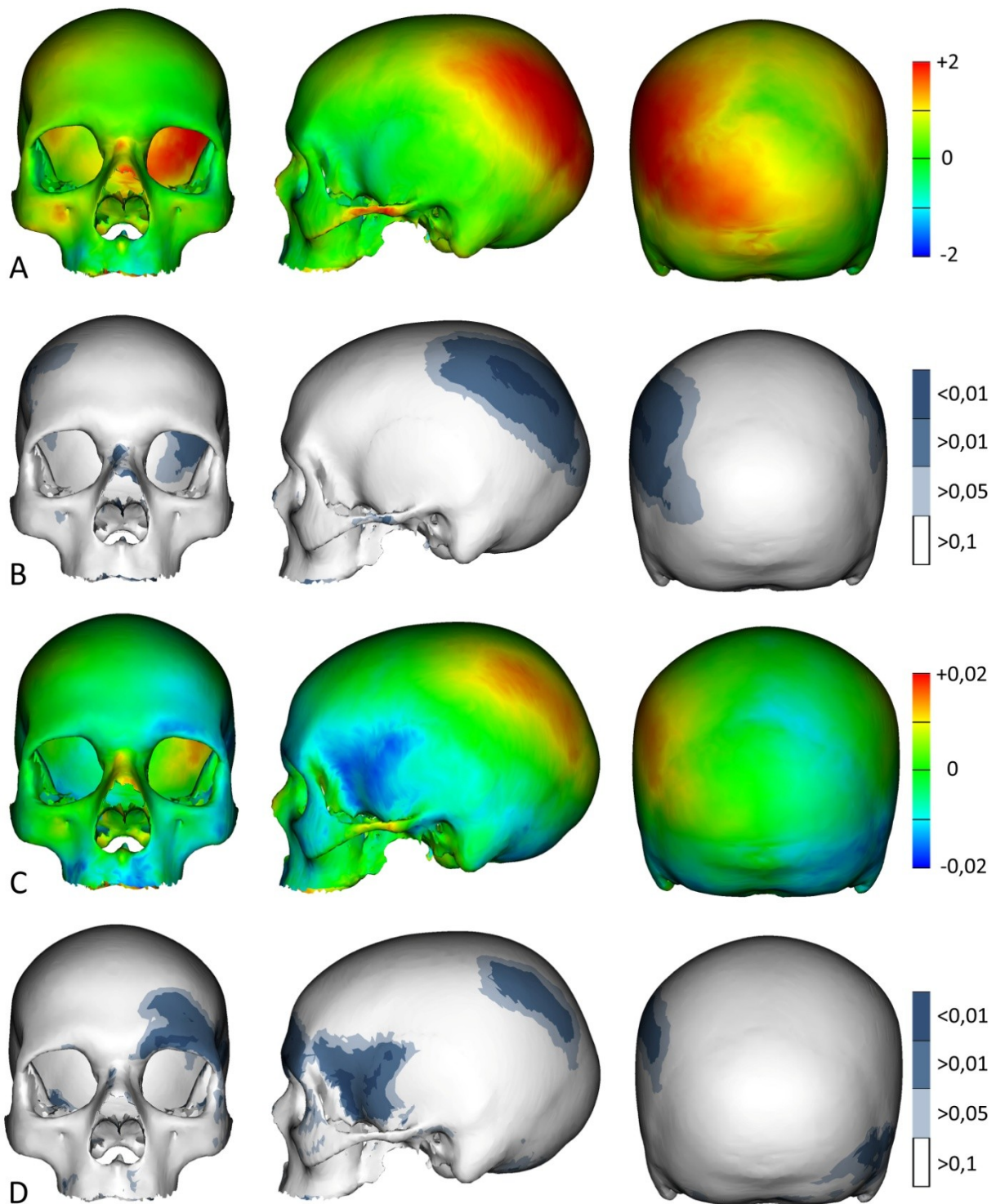


**Obr. 16:** Vizualizace odlišné morfologie u žen z elitních a neelitních hrobů. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u žen z elitních hrobů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (4,7 %) a D (2,4 %).

#### **6.1.10. Porovnání morfologie lebky obyvatel z mikulčického hradu a podhradí**

Obecný trend v rozdílné morfologii lebky je zobrazen na Obr. 17. Srovnány byly dvě stejně početné náhodně vybrané skupiny obyvatel s rovnocenně zastoupenými pohlavími z hradu a podhradí. Z analýzy formy vyplívá (Obr. 17 A a B), že hradní populace nese signifikantně výraznější hrboly parietální kosti, ovšem ne zcela stranově souměrně. Tato asymetrie vychází z mužské části souboru, jak je patrné z Obr. 17 A. Dalším znakem hradní subpopulace jsou šířeji postavené jařmové oblouky a to o cca 2 mm.

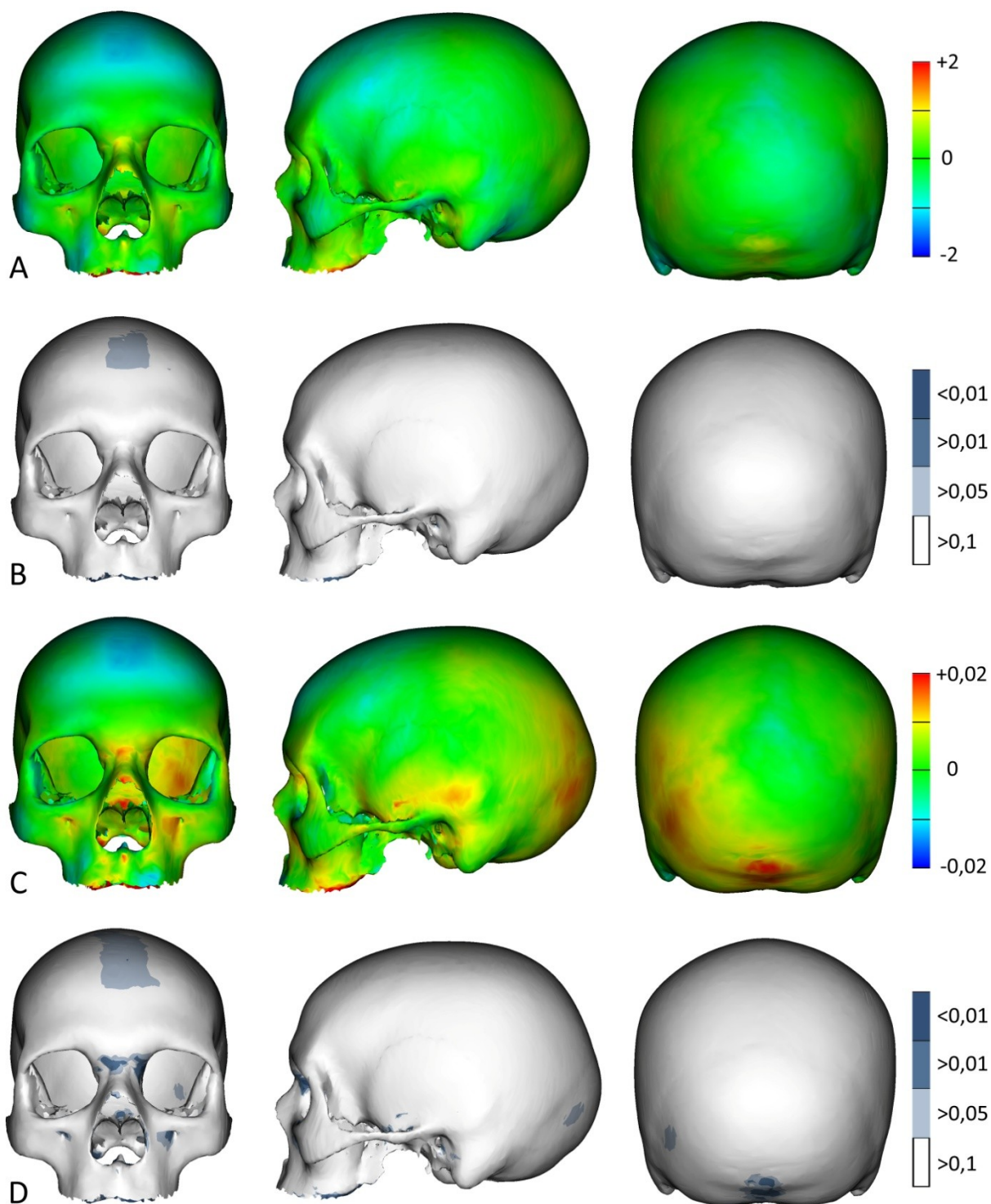
Tvarová analýza ukázala signifikantní rozdíly při levém horním okraji očnice, tedy části lebky, která byla asymetricky tvarována u obou pohlaví (Obr. 17 C a D).



**Obr. 17:** Vizualizace odlišné morfologie lebky u obyvatel hradu a podhradí. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u žen z elitních hrobů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (7,4 %) a D (5,6 %).

### **6.1.11. Porovnání morfologie lebky obyvatel s odlišně bohatou hrobovou výbavou**

Stejné srovnání bylo provedeno i na základě hrobové výbavy jedinců bez ohledu na pohlaví. Z Obr. 18 lze vyčíst, že jediným signifikantně jiným místem lebky je malá část kosti čelní, která více vystupuje u neelitních jedinců. Ke tvarovým odlišnostem (viz Obr. 18 C a D) můžeme přiřadit ještě výraznější *protuberantia occipitalis externa*.



**Obr. 18:** Vizualizace odlišné morfologie lebky z elitních a neelitních hrobů. Řádky A a B odpovídají formě, řádky C a D potom tvaru. Barevná škála u modelů A je v milimetrech, škála C je relativní. Teplejší odstíny značí struktury výraznější u žen z elitních hrobů. Signifikance je vyjádřena v promítnutých p-hodnotách s podílem signifikantního povrchu u řádků B (2,1 %) a D (6,9 %).

## 6.2. Hodnocení morfologie lebky pomocí analýzy hlavních komponent

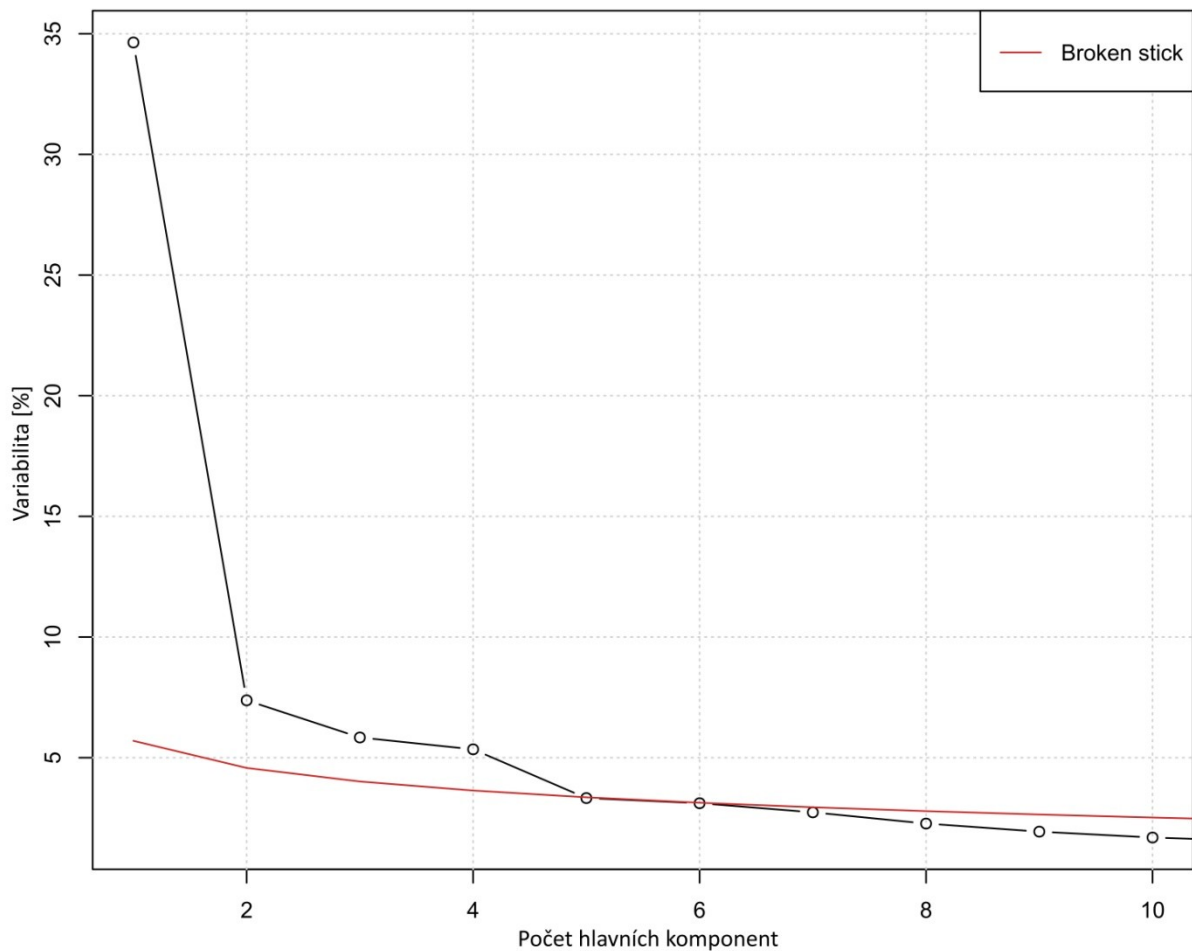
V následující kapitole jsou shrnuty výsledky analýzy hlavních komponent, použité k bližšímu popisu pohlavního dimorfismu a jednotlivých mezipopulačních odlišností. Analýze byla vystavena data vycházející z formy i tvaru. Výsledky jsou prezentovány jako procentuální příspěvky jednotlivých hlavních komponent k celkové variabilitě hodnoceného souboru dat. Reálný efekt projevu na morfologii lebky je popsán pro první dvě komponenty s největším podílem na celkové variabilitě. Pomocí konfidenčních elips jsou přiblíženy vztahy mezi jednotlivými studovanými populacemi. Nakonec byl na relevantním počtu hlavních komponent proveden statistický test (MANOVA) k určení závislosti skóre hlavních komponent na hodnocených skupinách.

### 6.2.1. Forma lebky mikulčické populace hodnocená analýzou hlavních komponent

Nejprve byla provedena analýza hlavních komponent pro studii formy. Tab. 5 dokumentuje jednotlivé procentuální příspěvky prvních deseti hlavních komponent k celkové variabilitě formy. Počet relevantních komponent, které významně přispívají k celkové variabilitě, je uveden v suťovém grafu (Obr. 19). Na tomto grafu je pomocí kritéria *broken stick* znázorněna selekce vhodného počtu hlavních komponent, které jsou později podrobeny další analýze. Takto byly vybrány první čtyři hlavní komponenty vysvětlující 53,1 % variability.

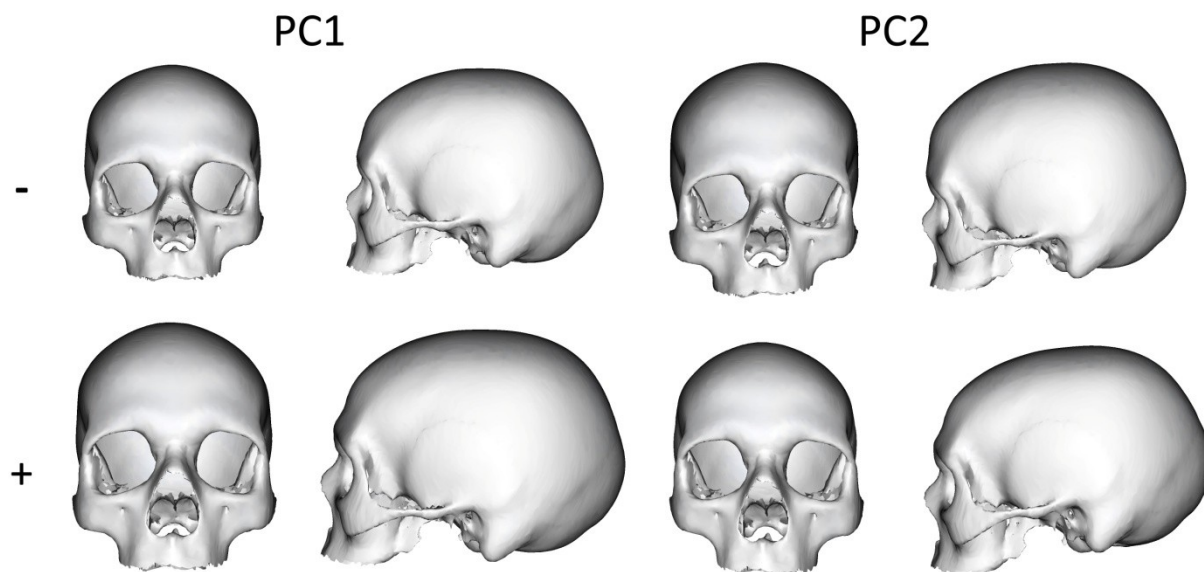
**Tab. 5:** Přehled procentuálních příspěvků k variabilitě formy.

Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Variabilita [%]	34,6	7,4	5,8	5,3	3,3	3,1	2,7	2,3	1,9	1,7



**Obr. 19:** Reprezentace prvních deseti hlavních komponent.

Na Obr. 20 je vizualizován reálný projev první a druhé hlavní komponenty (PC1 a PC2) na morfologii lebky. PC1 přispívá nejvíce k variabilitě formy a to 34 %. Jak je patrné, PC1 souvisí s velikostními rozměry lebky. Ve svých kladných hodnotách tedy charakterizuje jedince souboru s lebku větší velikosti a naopak. PC2 se podílí na variabilitě již o poznání méně, konkrétně 7,4 %. Záporné hodnoty PC2 ukazují na protáhlejší lebku v předozadním směru, větší lícní kosti a mírněji ustupující čelo. Kladné hodnoty komponenty provází globulárnější lebku s méně akcentovanými nadočnicovými oblouky a prominentnějšími *tubera frontalia*. Tyto znaky více odpovídají feminnímu fenotypu lebky.

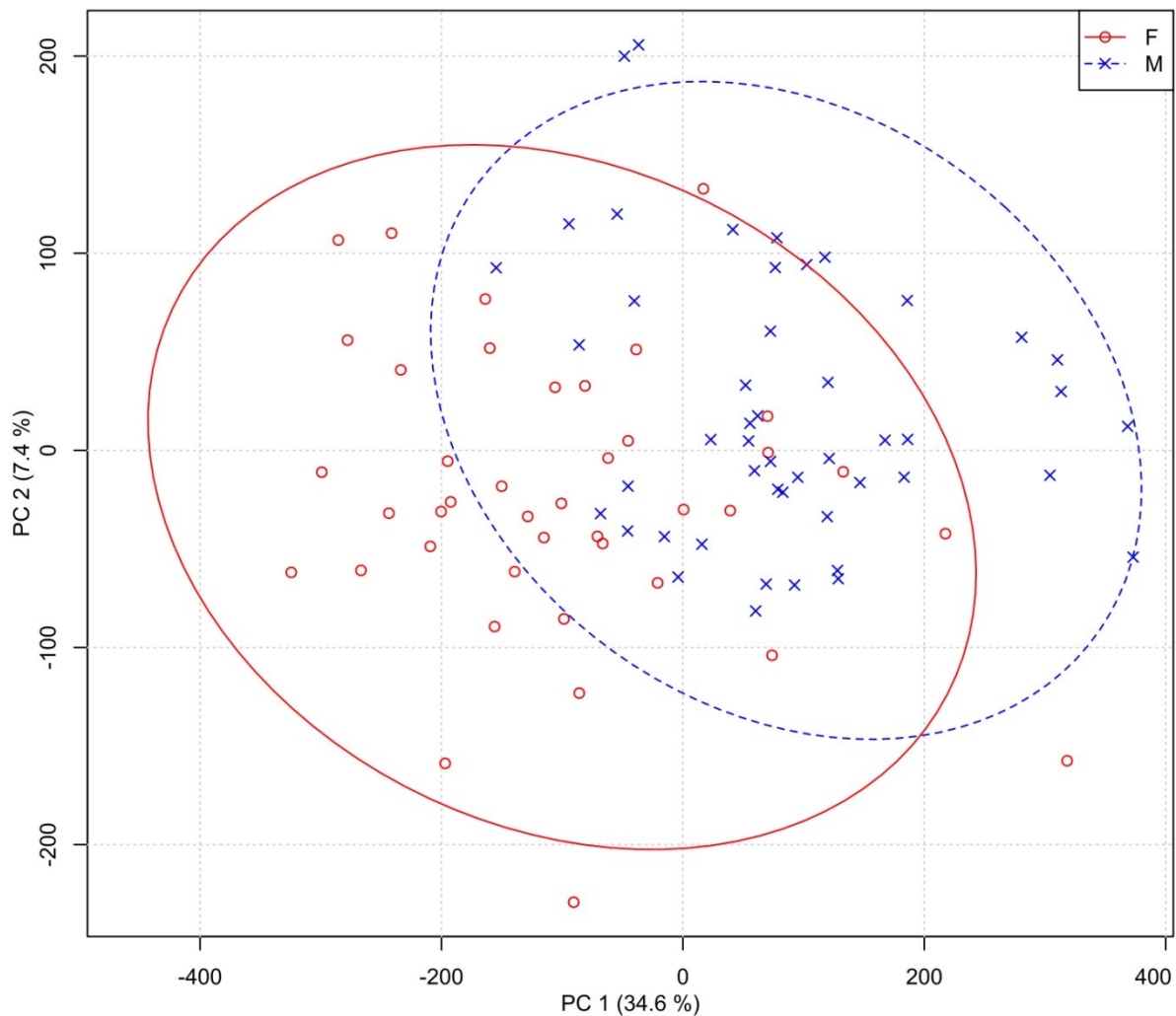


**Obr. 20:** Vizuální reprezentace hlavních komponent. Modely jsou deformovány v závislosti na velikosti skóre konkrétní komponenty PC1 a PC2.

Srovnání studovaných subpopulací a dimorfismu je provedeno pomocí bodového grafu, do kterého jsou zakresleny konfidenční elipsy. Konfidenční elipsy vymezují oblast grafu, ve které se jedinec dané skupiny vyskytuje s 95% pravděpodobností.

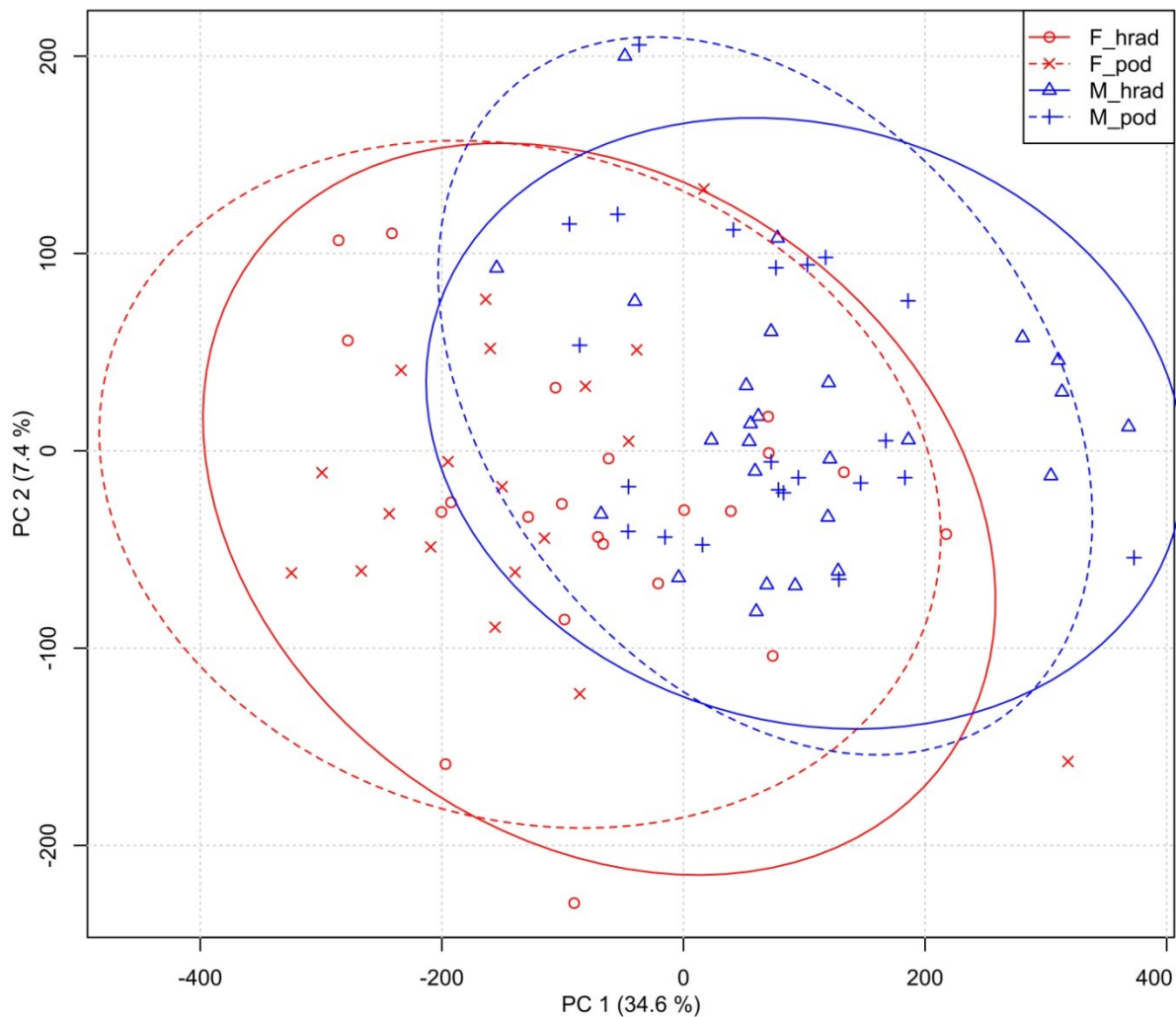
Jak lze vidět na Obr. 21, ženy a muži z Mikulčic se v míře projevu PC1 a PC2 liší. Muži dosahují vyšších skóre v obou zmíněných komponentách. Lebky mužů jsou tedy obecně větší a protáhlejší s výraznějším nadočnicovými oblouky a vysedlejšími lícními kostmi, čelo u mužských lebek ustupuje pozvolna. Ženské lebky jsou menší a globulárnější, hrboly čelní kosti jsou prominentnější. Přesto se variabilita PC1 a PC2 u obou pohlaví překrývá.





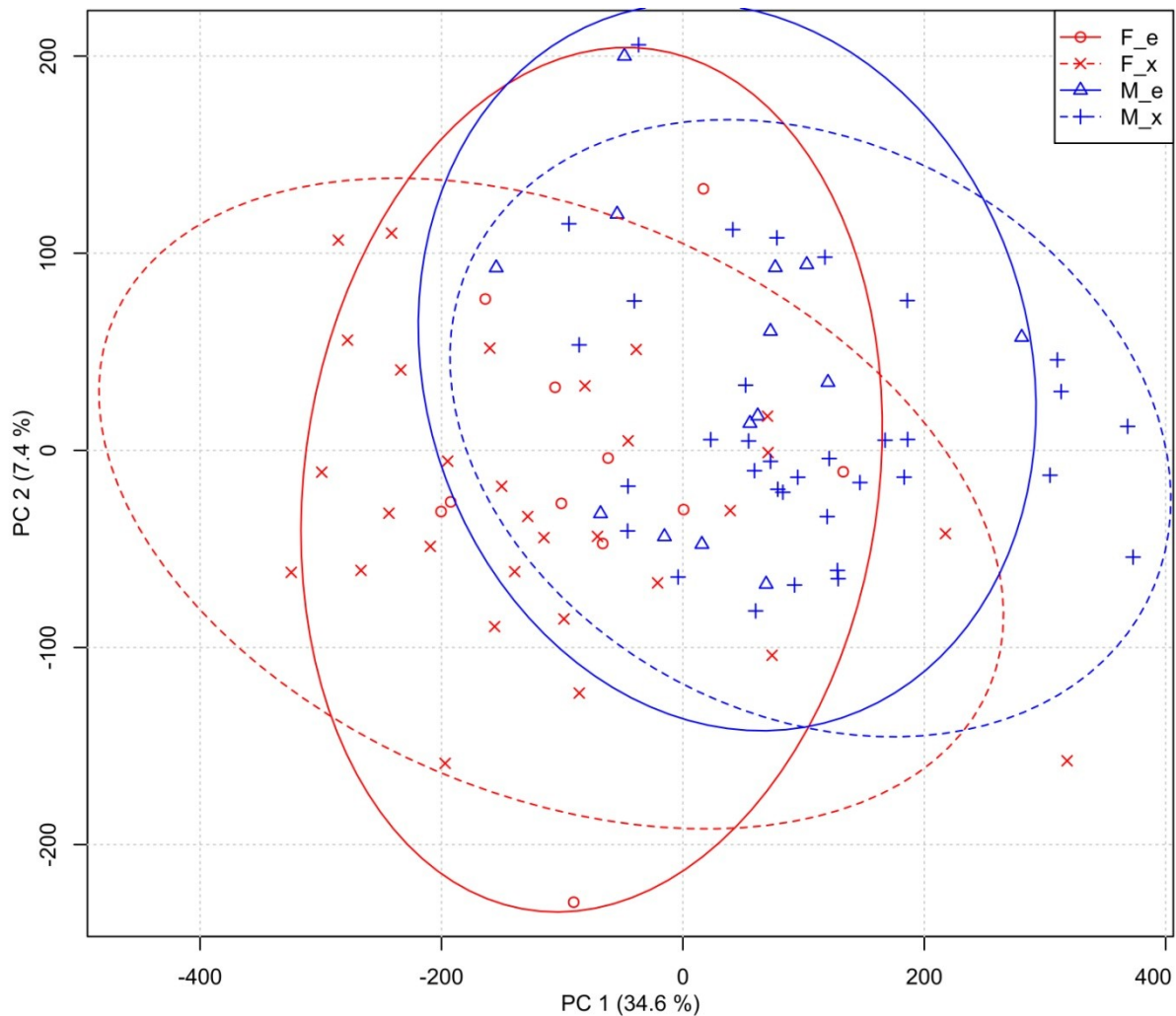
**Obr. 21:** Bodový graf s konfidenčními elipsami znázorňující míru projevu prvních dvou hlavních komponent (PC1; PC2) u mužů (M) a žen (F). Na osách jsou vyznačeny hodnoty PCA skóre.

Graf na Obr. 22 ilustruje odlišnou manifestaci prvních dvou hlavních komponent u mužů a žen v závislosti na lokalitě jejich hrobu. Opět je patrné, že i pokud je soubor takto rozdělen, skupiny se ve své variabilitě manifestace PC1 a PC2 překrývají. Podobnost je větší na základě pohlaví, spíše než na základě lokality hrobu. Dále je možné rozlišit, že největší hodnoty PC1 a tedy největší lebky mají muži z mikulčického hradu, nejmenší lebky mají zase ženy z podhradí. V rámci PC2 jsou muži z podhradí lehce variabilnější než ti z hradu a to hlavně směrem ke kladnějším hodnotám.



**Obr. 22:** Bodový graf s konfidenčními elipsami znázorňující míru projevu prvních dvou hlavních komponent (PC1; PC2) u mužů (M) a žen (F) z různých lokalit hrobu (hrad; podhradí). Na osách jsou vyznačeny hodnoty PCA skóre.

Poslední hodnocené kritérium, podle kterého byl soubor rozdělen, byla hrobová výbava. Na základě bohatosti hrobové výbavy byli jedinci rozděleni na elitní a neelitní jedince. Variabilita manifestovaná v rámci PC1 a PC2 u těchto skupin je uvedena na Obr. 23. Z grafu je patrné, že u elitních jedinců se dimorfismus projevuje spíše v ose PC2 a mužské lebky jsou větší. Neelitní jedinci jsou pohlavně dimorfni spíše v PC1, tedy jsou rozdílní zejména ve velikosti. Hlavním dělícím kritériem je však i v tomto případě pohlaví.



**Obr. 23:** Bodový graf s konfidenčními elipsami znázorňující míru projevu prvních dvou hlavních komponent (PC1; PC2) u mužů (M) a žen (F) s různě bohatou výbavou hrobu (e – s bohatou výbavou; x – bez bohaté výbavy). Na osách jsou vyznačeny hodnoty PCA skóre.

Získaná PCA skóre prvních čtyř relevantních komponent byla dále testována statistickou metodou MANOVA. Pomocí tohoto testu je možné prokázat signifikantní rozdíly náhodných proměnných v závislosti na dané třídící kategorii. Hladina významnosti byla zvolena 0,05. Nulová hypotéza předpokládá, že hodnoty náhodných proměnných se mezi zvolenými kritérii neliší. Předpokladem testu je normální rozdělení. Shapirův-Wilkův test prvních čtyř PC prokázal normální rozdělení s příslušnými p-hodnotami (viz Tab. 6).

**Tab. 6:** Test normality skóre hlavních komponent.

Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3	PC4
p-hodnota	0,2802	0,0751	0,1284	0,1334

V tabulce 7 jsou publikovány p-hodnoty jednotlivých testů MANOVA. Signifikantní rozdíl na prvních čtyřech hlavních komponentách je manifestován u mikulčické populace rozdělené na základě pohlaví. Pouhá lokalita nebo hrobová výbava není zdrojem signifikantních rozdílů. Pohlaví v kombinaci s lokalitou hrobu však vede k vysoce signifikantním výsledkům a takto vytvořené skupiny se tedy významně odlišují. Je tedy patrné, že se významně neliší pouze muži a ženy od sebe, ale také muži z hradu mají jinak formovanou lebku než ti v podhradí a totéž platí i pro ženy.

**Tab. 7:** P-hodnoty testu MANOVA.

Dělicí kritérium	p-hodnota
Pohlaví	0,0013*
Lokalita	0,0871
Hrobová výbava	0,4605
Pohlaví + lokalita	0,0008**
Pohlaví + hrobová výbava	0,03309*

\* statisticky významné na hladině 0,05

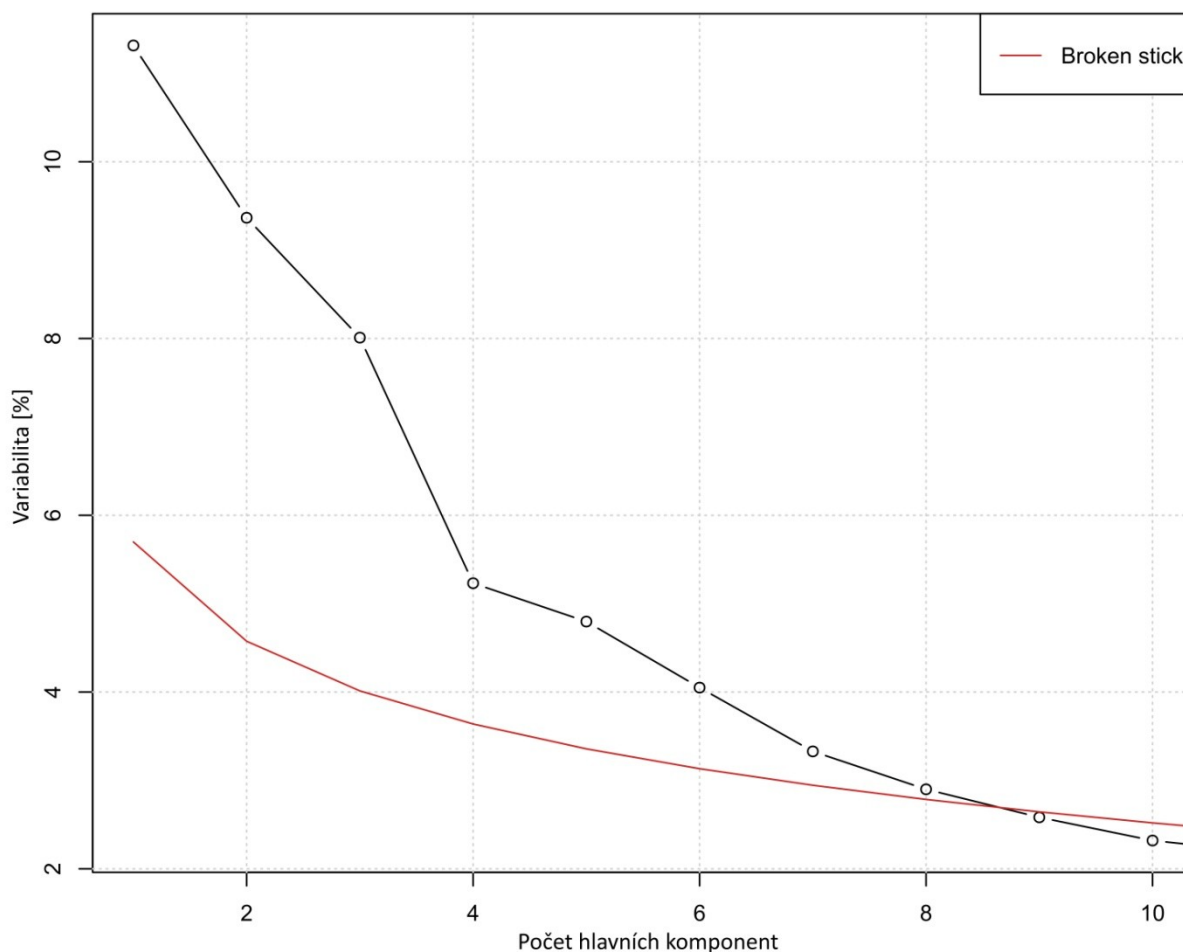
\*\* statisticky významné na hladině 0,001

### 6.2.2. Tvar lebky mikulčické populace hodnocený analýzou hlavních komponent

V následné kapitole jsou prezentovány výsledky analýzy hlavních komponent na datech, u kterých byla provedena normalizace velikosti a tím jsou tedy informativní pro tvarové odlišnosti mezi studovanými populacemi. V Tab. 8 jsou uvedena vypočítaná procenta příspěvku prvních deseti hlavních komponent. Ve srovnání s formou je patrné, že velikost představuje dominantní složku celkové variability lebky. Z Obr. 24 je dále možné vyčíst počet relevantních hlavních komponent. V případě tvaru se jedná o prvních osm. Tyto představují 49 % celkové variability tvaru.

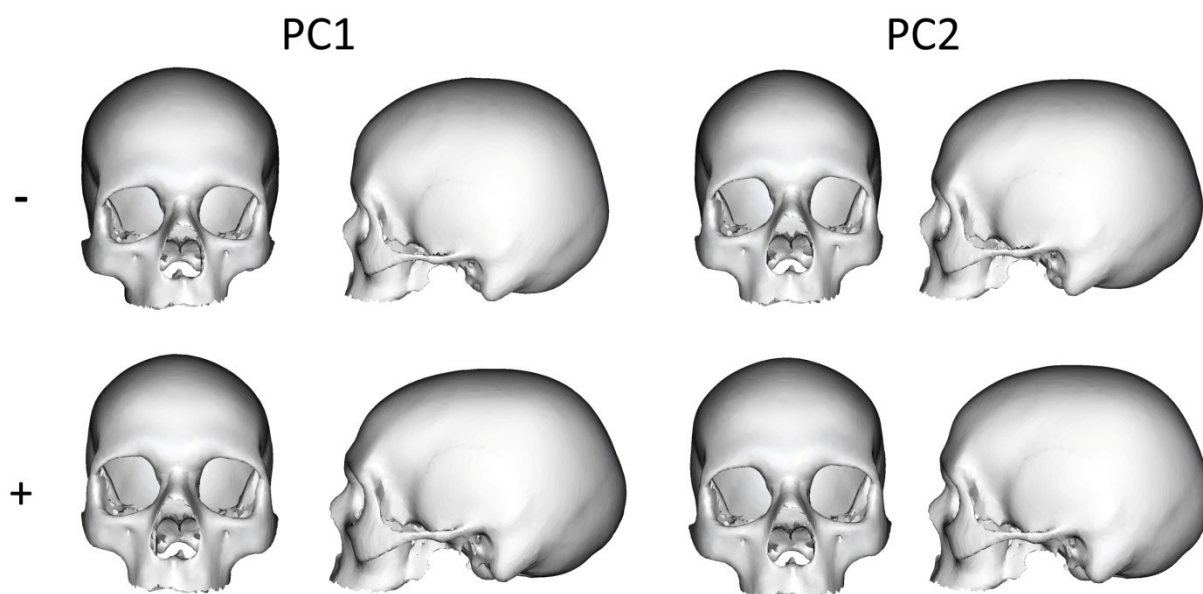
**Tab. 8:** Přehled procentuálních příspěvků k variabilitě tvaru.

Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8	PC9	PC10
Variabilita [%]	11,3	9,4	8	5,2	4,8	4,1	3,3	2,9	2,6	2,3



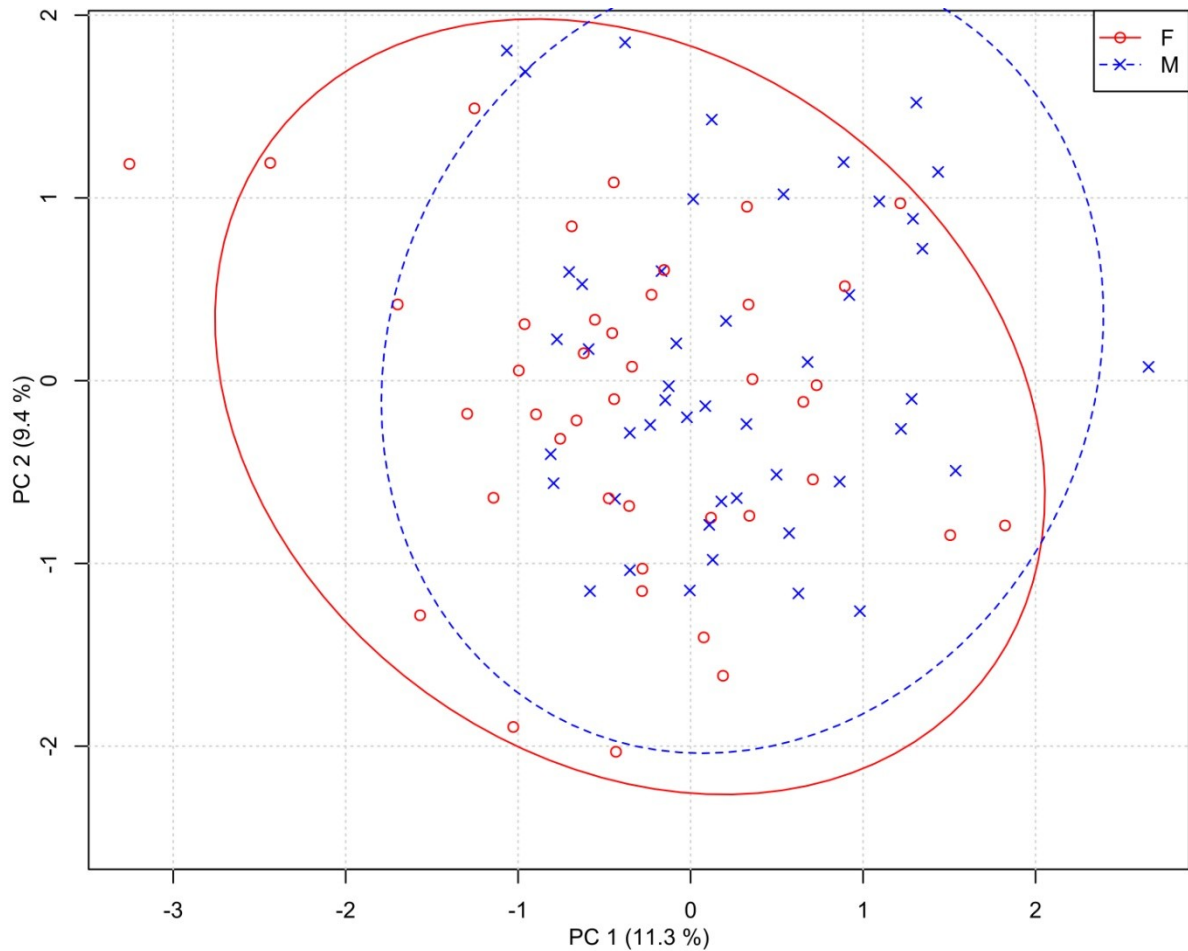
**Obr. 24:** Reprezentace prvních deseti hlavních komponent pomocí suťového grafu.

Na Obr. 25 jsou vizualizovány tvarové projevy PC1 a PC2 na lebku. PC1 je charakterizována v kladných hodnotách protáhlejší lebku a mohutnějším *splanchnocraniem*. Dále pak výraznějšími nadočnicovými oblouky a více ustupujícím čelem. V záporných hodnotách je lebka globulárnějšího tvaru s výraznými hrboly čelní kosti. PC1 také vypovídá o asymetrii v lících kostech, zvláště patrné v negativních hodnotách. PC 1 osvětluje 11,3 % variability. PC2 je odpovědná za 9,4 % tvarové variability. Ve svých kladných hodnotách je přítomna u lebek s mohutnějšími lícními kostmi více vyvinutým *proc. mastoideus*.



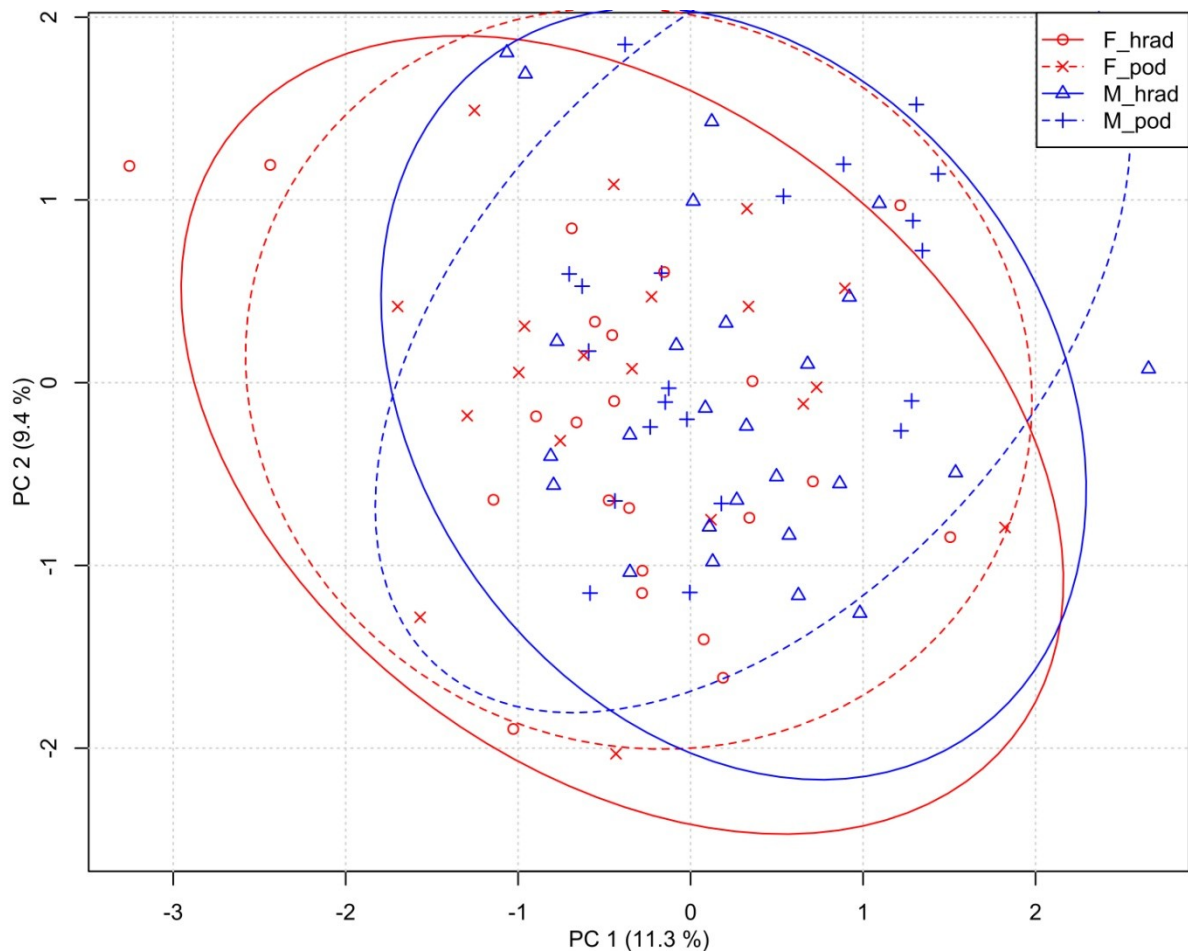
**Obr. 25:** Vizuální reprezentace hlavních komponent. Modely jsou deformovány v závislosti na velikosti skóre konkrétní komponenty PC1 a PC2.

PC1 a PC2 byly použity k srovnání studovaných subpopulací. Na Grafu na Obr. 26 jsou porovnávány míry projevu PC1 a PC2 u mužů a žen z Mikulčic. Mužské lebky skórují více při kladných hodnotách PC1 a nepatrně i u PC2. Vykazují tedy skutečně více znaky typicky mužské jako výraznější nadočnicové oblouky, mírně ustupující čelo nebo mohutnější bradavkové výběžky. Ženské lebky jsou naopak více globulární s výraznými čelními hrboly a subtilnějšími lícními kostmi a méně vyvinutými bradavkovými výběžky. U obou komponent dochází ke značnému překryvu variability.



**Obr. 26:** Bodový graf s konfidenčními elipsami znázorňující míru projevu prvních dvou hlavních komponent (PC1; PC2) u mužů (M) a žen (F). Na osách jsou vyznačeny hodnoty PCA skóre.

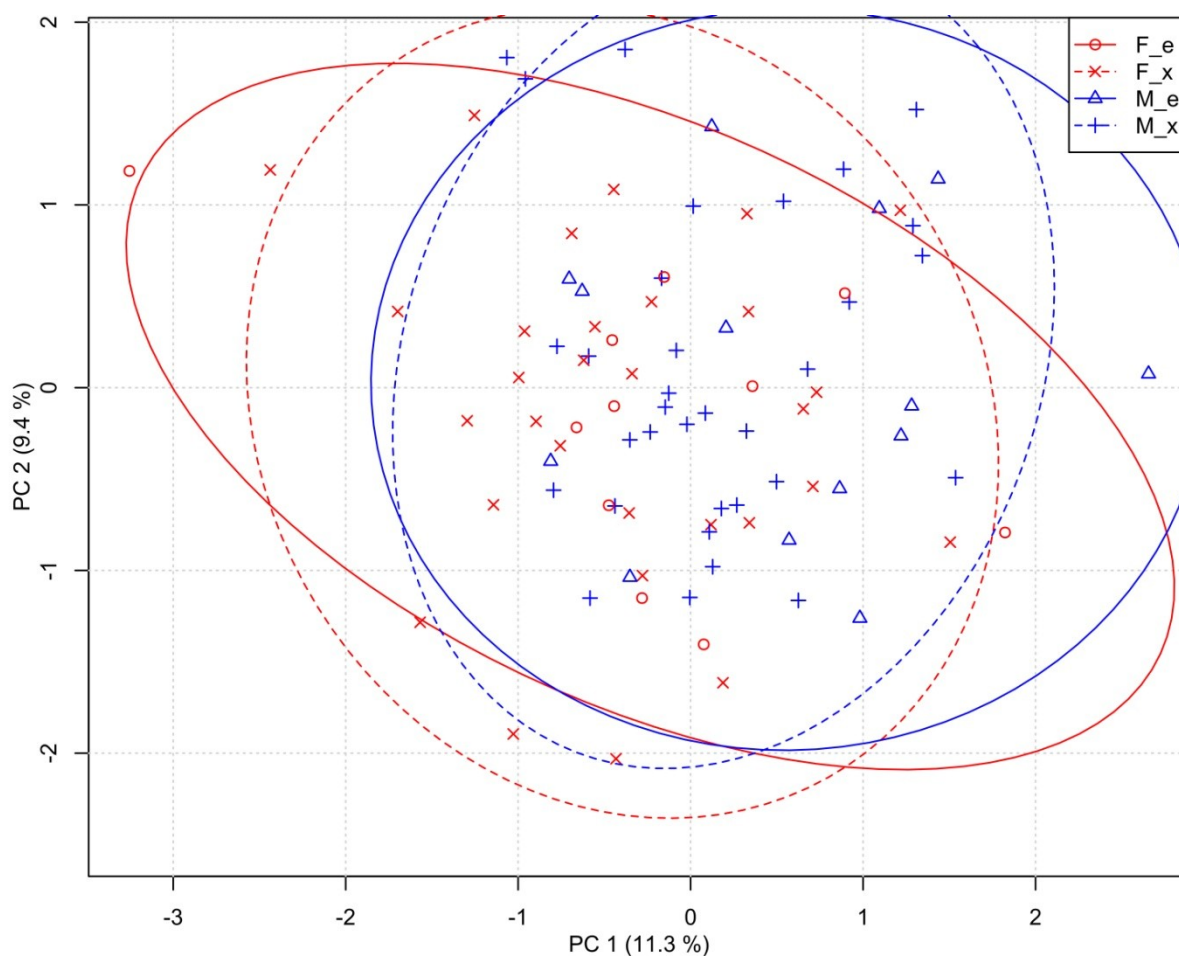
Graf na Obr. 27 ilustruje míru manifestace PC1 a PC2 mikulčických lebek v závislosti na pohlaví a také lokalitě, kde byl jedinec pohřben. Z grafu lze vyčíst velmi podobný projev obou hlavních komponent u mikulčických žen. U mužů je patrný především rozdíl v PC2. Muži z podhradí skórují u PC2 vyšších hodnot a více se u nich tedy projevují znaky s touto komponentou spojené.



**Obr. 27:** Bodový graf s konfidenčními elipsami znázorňující míru projevu prvních dvou hlavních komponent (PC1; PC2) u mužů (M) a žen (F) z různých lokalit hrobu (hrad; podhradí). Na osách jsou vyznačeny hodnoty PCA skóre.

Posledním hodnoceným kritériem byla hrobová výbava jedince. Na Grafu na Obr. 28 jsou zaznamenány konfidenční elipsy vymežující jedince na základě pohlaví a jejich příslušnosti k elitním, nebo neelitním hrobům. U mužů z elitních hrobů můžeme pozorovat větší hodnoty PC1, která je spojena s rozvinutějším *splanchnocraniem*, mohutnějšími nadočnicovými oblouky nebo s protáhlejším tvarem lebky. Ženy s elitní výbavou jsou oproti zbylým ženám výrazně variabilnější v PC1 a to jak do kladných, tak do záporných hodnot.





**Obr. 28:** Bodový graf s konfidenčními elipsami znázorňující míru projevu prvních dvou hlavních komponent (PC1; PC2) u mužů (M) a žen (F) s různě bohatou výbavou hrobu (e – s bohatou výbavou; x – bez bohaté výbavy). Na osách jsou vyznačeny hodnoty PCA skóre.

PCA skóre byla stejně jako u výsledků formy podrobena statistickému testu MANOVA pro vypočítané skóre hlavních komponent vtažujících se k tvaru. K statistickému hodnocení bylo použito prvních osm relevantních hlavních komponent s podílem na variabilitě 49 %. Hladina významnosti byla nastavena na 0,05. Normální rozdělení PCA skóre bylo potvrzeno skrze Shapirův-Wilkův test (viz Tab. 9).

**Tab. 9:** Test normality skóre hlavních komponent.

Hlavní komponenta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
p-hodnota	0,177	0,587	0,086	0,089	0,263	0,282	0,054	0,151

Vypočítané p-hodnoty analýzy rozptylu jsou přiloženy v Tab. 10. Statisticky významný vliv představuje lokalita hrobu a lokalita hrobu ve spojení s pohlavím jedince. Takto definované skupiny se významně liší. Ostatní kritéria, podle kterých byl statistický soubor rozdělen, nejsou v prvních osmi hlavních komponentách tvaru významné.

**Tab. 10:** P-hodnoty testu MANOVA.

Dělicí kritérium	p-hodnota
Pohlaví	0,1541
Lokalita	0,0285*
Hrobová výbava	0,4590
Pohlaví + lokalita	0,0454*
Pohlaví + hrobová výbava	0,3602

\* statisticky významné na hladině 0,05

### 6.3. Analýza skupin mikulčického obyvatelstva pomocí SVM

V následující kapitole jsou prezentovány výsledky získané využitím SVM. Touto metodou je hodnoceno dílčí rozdělení mikulčické populace na jednotlivé podskupiny. Tímto je možné částečně posoudit, která rozdělení skutečně odpovídají historickým realitám, a která jsou do jisté míry umělá. Pomocí SVM je vypočítán lineární klasifikátor, podle kterého je dělen soubor na vybrané podskupiny. Model poté vypočítá, včetně křížové validace, celkovou úspěšnost rozdělení jedinců. Další výpočet definuje vychýlení (v angl. literatuře sexual bias) odhadu ve prospěch jedné podskupiny. K tomuto vychýlení dochází kvůli překryvu mezi skupinami. Z důvodu tohoto překryvu totiž dochází k falešně pozitivním i negativním přiřazení mimo správnou podskupinu. Relevantnost jednotlivých srovnání byla uznána, pokud u nich úspěšnost s křížovou validací byla alespoň 70 % a zároveň vychýlení nepřesáhlo 5 % (Franklin et al., 2013). Výsledky srovnání dokumentuje Tab. 11. Přesná data lze vyhledat v Obr. 1-11 příloh. Jak je patrné, předem daná kritéria splňují u formy skupiny definované pohlavím a to i ve spojení s lokalitou, a dále také muži z různých lokalit. Algoritmus s 86,5% úspěšností třídí jedince podle jejich pohlaví a stačí mu k tomu 8 hlavních komponent. Pokud

je k pohlaví přidána i informace o lokalitě hrobu úspěšnost vzroste až na 93,7 % a vystačí si s 5 proměnnými. Muži a ženy z hradu se tedy liší od sebe více než jejich protějšky z podhradí. Je to dáno pravděpodobně větší rozdílností mezi muži. Rozlišit ženy podle lokality hrobu měl algoritmus větší problém.

Pokud je zanedbána velikost a je hodnocen pouze tvar, úspěšnost třídění klesá. Při rozdělení podle pohlaví jedince je úspěšnost s křížovou validací 71,9 %. I riziko špatného rozdělení je větší. Nejlepšího výsledku je opět dosaženo při rozdělení obyvatel hradu na muže a ženy. U obyvatel podhradí algoritmus lépe rozpoznává ženy než muže. V případě tvaru stačí lokalita hrobu k třídění souboru podle předem daných kritérií.

Zbylá srovnání nebyla schválena k dalšímu hodnocení převážně z důvodu vychýlení odhadu ve prospěch jedné skupiny. Toto platí zejména u srovnání, u kterých byla dělítkem bohatost hrobové výbavy. Jedinci s různě bohatou výbavou se formou lebky natolik překrývají, že algoritmus nenašel dělicí linii ani na maximálním počtu hlavních komponent. Větší vychýlení než stanovená 5% hranice mělo i srovnání skupin založených pouze na lokalitě hrobu. Při tomto rozdělení souboru výpočet preferenčně odhadoval obyvatele podhradí o 7,2 %. Zvolené hranice se také téměř dotýká srovnání mužů a žen s výbavou indikující příslušnost k elitám, kde lze ovšem předpokládat, že se u této kombinované skupiny založené na pohlaví spolu s hrobovou výbavou projevuje překryv jedinců s odlišnou hrobovou výbavou. Informace o hrobové výbavě se neprokázala jako vhodné kritérium pro dělení souboru.

**Tab. 11:** Výsledky analýzy s použitím SVM. Počet proměnných odpovídá počtu použitých hlavních komponent z předešlé PCA. Úspěšnost dělení s křížovou validací (CV úspěšnost) i vychýlení odhadu je uvedeno v procentech pro formu i tvar. Kladné znaménko dokládá vychýlení ve prospěch první podskupiny a minusové ve prospěch druhé.

Srovnávané podskupiny obyvatel		Počet proměnných		CV úspěšnost		Zešikmení odhadu	
		Forma	Tvar	Forma	Tvar	Forma	Tvar
Muži	Ženy	8	6	86,5	71,9	2,2	-0,2
Muži z hradu	Ženy z hradu	5	16	93,7	72,9	-1,7	-1,7
Muži z podhradí	Ženy z podhradí	6	6	82,9	70,7	-3,1	-5,5
Muži - elity	Ženy - elity	6	7	76,0	80,0	-5,2	5,8
Muži - ostatní	Ženy - ostatní	16	7	84,3	71,8	0,8	3,5
Muži z hradu	Muži z podhradí	19	6	70,8	75,0	2,8	8,0
Muži - elity	Muži - ostatní	1	1	77,0	50,0	-55,4	-48,3
Ženy z hradu	Ženy z podhradí	10	6	60,9	63,4	3,6	-1,7
Ženy - elity	Ženy - ostatní	1	1	70,7	63,4	-81,9	-81,9
Obyvatelé hradu	Obyvatelé podhradí	15	16	65,1	70,7	-7,2	2,2
Elity	Ostatní	1	1	59,5	65,1	-100,0	-100,0

## 7. Diskuze

Diplomová práce pojednává o pohlavním dimorfismu a populačních specifikách lebky u raně středověkých Slovanů z Mikulčic. Cílem práce bylo popsat morfologické znaky lebky s ohledem na pohlaví jedince, lokalitu hrobu a hrobovou výbavu. Tyto znaky byly nově popsány v celém povrchu lebky. Dále bylo také zhodnoceno, zda historické realie tehdejší společnosti lépe dokládá lokalita hrobu nebo bohatost hrobové výbavy.

Historická lokalita Mikulčice, odkud materiál pochází, představovaly mezi 9. a 10. stoletím náboženské a mocenské centrum Velkomoravské říše. Osídlení v Mikulčicích bylo rozděleno na opevněné hradiště a k němu přidružené podhradí. Je předpokládáno, že toto rozdělení souvisí i se sociálním rozdělením obyvatelstva, které zde žilo a bylo pohřbeno (Poláček, 2000, 2008; Hladík, 2012). Dalším možným indikátorem postavení jedince byla s ním uložená výbava hrobu. Předměty jako zlaté gombíky, náušnice, kování rakve nebo ostruhy mohou být spojovány s vyšší společenskou vrstvou. Naopak předměty denní potřeby, nebo úplná absence milodarů by potom ukazovala na méně privilegované jedince (Dostál, 1966; Měřínský, 2006). Tento předpoklad však narušuje možná změna pohřebního ritu s postupující křesťanskou tradicí, jenž se vymezuje k ukládání pohřební výbavy v podobě symbolických předmětů nebo obětí (Dostál, 1966).

Projevy pohlavního dimorfismu byly v práci studovány v rámci celé populace i pro jednotlivé dílčí podskupiny s odlišnými socioekonomickými podmínkami. Vliv pohlaví byl rozpoznán u všech zkoumaných skupin obyvatelstva. Nejvýraznějším projevem dimorfismu je u mikulčické populace větší velikost kostních struktur u mužů. Velikost, jako hlavní projev dimorfismu, byla popsána již dříve např. v pracích Larsen (2003), Joffe et al. (2005), Bulygina et al. (2006), Hsiao et al. (2010). V případě formy, jejíž významnou složkou je kromě tvaru právě velikost, byly signifikantní rozdíly mezi pohlavími patrné prakticky v celém povrchu lebky. Mužské lebky jsou robustnější a mohutnější, zejména v místech nadočnicových oblouků, bradavkového výběžku a dolní poloviny obličeje. Naopak čelo ustupuje rychleji u mužů a je tedy více vyklenuté u žen. Tyto znaky jsou patrné i po zanedbání velikosti a posouzení čistě tvaru. Takto popsáný dimorfismus odpovídá pohlavně dimorfním znakům popsaných v literatuře (např. Acsádi a Nemeskéri, 1970; Konigsberg a Hens, 1998; Williams a Rogers, 2006) i specifikům mikulčické populace (Brůžek a Velemínský, 2006; Velemínská et al., 2008).

Stejnými metodami byl popsán pohlavní dimorfismus u obyvatel hradu a podhradí. I u těchto skupin byl prokázán pohlavní dimorfismus s klasickými znaky (např. Acsádi a

Nemeskéri, 1970; Konigsberg a Hens, 1998; Williams a Rogers, 2006; Brůžek a Velemínský, 2006; Velemínská et al., 2008). Pokud jsou však srovnány skupiny mezi sebou, v míře manifestace pohlavního dimorfismu jsou patrné rozdíly. V oblasti šupiny čelní kosti s vybíhajícími pruhy podél *fossa temporalis* byly pozorovány tvarové rozdíly v pohlavním dimorfismu u obyvatel hradu. U obyvatel podhradí je pohlavní dimorfismus v těchto místech lebky manifestován spíše v rámci formy a tedy velikosti. Tvar lebky v těchto místech je tedy podobnější u mužů a žen z podhradí. Plocha povrchu lebky, která se signifikantně tvarově odlišuje, je více než dvojnásobná u mužů a žen z mikulčického hradu proti jedincům z podhradí. Z provedené analýzy hlavních komponent vyplývá, že příspěvek pohlaví k variabilní morfologii je významnější než vliv lokality hrobu. Dále bylo skrze MANOVA test potvrzeno, že jednotlivá pohlaví z různých lokalit se mezi sebou statisticky odlišují. Podobné výsledky byly získány využitím SVM, metody strojového učení, díky které je možné srovnat překryv variability mezi zkoumanými skupinami (Vapnik a Cortes, 1995). I tato metoda dokáže lépe klasifikovat jedince z hradu než z podhradí. Výše uvedené výsledky provedených analýz se shodují na významném vlivu lokality hrobu jedince na morfologii lebky, a že pohlavní dimorfismus je více manifestován u populace pohřbené na mikulčickém hradě. Možné vysvětlení tohoto jevu vychází z předpokladu, že se u výše postavených obyvatel s lepšími podmínkami, např. díky kvalitnější stravě, může více uplatnit genetický potenciál. Růst lebky není tolik limitován vnějšími faktory a dochází tak k většímu naplnění vrozených predispozic (Golden, 1994; Miller a German, 1999; Suazo Galdames et al., 2008). Tyto předpoklady byly u mikulčické populace popsány v literatuře a podporují závěry předkládané diplomové práce. Studie na mikulčickém materiálu příkládají lepší podmínky jedincům žijícím na hradě, ačkoli ani obyvatelé podhradí pravděpodobně nežili v bídě. Rozkvět Velké Moravy byl spojen s obdobím teplotního optima a příhodnými podmínkami pro zemědělství. Lze proto usuzovat, že kalorický příjem byl pro obyvatelstvo zajištěn bez ohledu na sociální příslušnost. Slované v raném středověku se těšili relativně dobrému zdraví obecně, nejen privilegovaná vrstva (Velemínský et al., 2009; Garcin et al., 2010b). Možným rozdílem v jídelníčku bylo množství masa. Jak již bylo prokázáno na krysích modelech, obsah proteinů v dietě je jedním z klíčových parametrů stravy potřebných k plné manifestaci geneticky podmíněných znaků lebky (Miller a German, 1999). Z izotopových analýz kostního kolagenu bylo vyčteno, že obyvatelé mikulčického hradu, zejména muži, konzumovali více masa než obyvatelé podhradí a tudíž subsistence byla na Velké Moravě poplatná sociální vrstvě (Kaupová et al., 2016). Vliv subsistence na morfologii lebky byl popsán i u jiných populací, u kterých v příhodných podmínkách roste míra pohlavního dimorfismu, a to

zejména skrze změny na mužské lebce, která citlivěji reaguje například na pokles formujících sil svalové hmoty při jejím úbytku (např. González-José et al., 2005; Noback et al., 2011; von Cramon-Taubadel, 2014; Noback a Harvati, 2015).

Dalším dělítkem mikulčické populace, které reflektuje socioekonomický status jedince, může být bohatost předmětů pohřbených s jedincem jako hrobová výbava (Dostál, 1966; Poláček, 2008). Hlavním projevem pohlavního dimorfismu u jedinců s bohatou výbavou i bez ní jsou velikostní rozdíly s většími mužskými lebkami. Sexuálně závislé znaky jako jsou nadočnicové oblouky, *proc. mastoideus*, lícní kosti, čelo a *tubera frontalia*, také odpovídají publikovaným znakům pohlavního dimorfismu (např. Acsádi a Nemeskéri, 1970; Konigsberg a Hens, 1998; Williams a Rogers, 2006; Velemínská et al., 2008). Z komparace pohlavního dimorfismu překvapivě vychází, že muži a ženy z bohatých hrobů manifestují menší intersexuální rozdíly než zbylé obyvatelstvo. Menší míra dimorfismu u bohatě vybavených hrobů se ukázala i u analýzy pomocí SVM. Zohlednění výbavy vnášelo do klasifikace větší chybu, a to protože morfologická variabilita lebky se více překrývala u mužů a žen s bohatou výbavou než u zbytku souboru. Pochyby o vhodnosti hrobové výbavy jako indikátoru sociálního statusu již byly vyneseny na základě absence obětí v hrobech z konce 9. století v jinak bohatě vybavených pohřebištích. K tomuto docházelo nejspíše s větším uplatňováním křesťanské pohřební tradice, která na rozdíl od pohanů neukládá obětiny ani žádné jiné předměty mrtvým do hrobu (Dostál, 1966; Měřínský, 2006). Výsledky naší provedené analýzy tyto pochybnosti prohlubují i na základě antropologických dat. V potaz musí dále být brána i relativně malá početnost souboru a tedy možné statistické zkreslení.

Dále diplomová práce studovala podrobněji variabilitu morfologických znaků v závislosti na socioekonomické příslušnosti. Tento vliv byl již částečně popsán v souvislosti s pohlavním dimorfismem. Jak již bylo uvedeno, vypovídací hodnota hrobové výbavy o postavení jedince je sporná. Statistický test MANOVA provedený na hlavních komponentách prokázal, že bohatost výbavy nedělí soubor na dvě morfologické skupiny. Při bližším pohledu se ukázalo, že jedinci s bohatou výbavou mají dokonce menší lebky než zbytek populace. Tvarové rozdíly závislé na výbavě nebyly shledány jako signifikantní. Možné příčiny tohoto byly popsány na předešlých řádcích a jsou dávány ve spojitost se změnou pohřbívání s příchodem křesťanství (Dostál, 1966; Měřínský, 2006).

Lokalita hrobu se však ukázala při studiu pohlavního dimorfismu jako relevantní aspekt, proto byla dále blíže zkoumána a to hlavně za účelem zjištění, u kterého pohlaví dochází k větším změnám v návaznosti na společenskou příslušnost jedince. U jedinců z hradu byly rozpoznány více vystupující zejména části temenní kosti a také šupina týlní

kosti. Tyto struktury se však pohybují na hranici signifikance a ve svém maximu vystupují o 2 mm a to jak u mužů tak žen z hradu. U mužů je také patrné jinak tvarované čelo, které rychleji ustupuje právě u jedinců z hradu. Ve studovaném souboru byl zjištěn pomocí SVM větší překryv tvarové i velikostní variability lebek u žen z různých lokalit než u mužů. Mužské lebky se lišily více. Lokalita hrobu a s ní spojované vyšší společenské postavení měla tedy dle výsledků větší vliv na morfologii lebky u mužů než žen. Tento závěr má řadu vysvětlení. Publikace Bigoni et al. (2013) na základě flukтуаční asymetrie uvádí, že ženy z hradu žily v horších podmínkách než muži z hradu, dokonce i než ženy z podhradí. Toto zjištění je vysvětlované autory možnou patrilokalitou, tedy že ženy nepocházely přímo z Mikulčic, možná z dobytých území, a proto neměly stejné postavení jako muži z hradu. Náplní a náročností práce, jak naznačují výsledky získané studiem entezopatií povrchu kostí, se ženy pohřbené na mikulčickém hradě netěšily takovým právům, která by je odlišovala od žen z podhradí (Havelková et al., 2011, 2013). Muži se v náročnosti i skladbě fyzické činnosti lišili. Muži z hradu se nejspíše nevěnovali těžké manuální práci na poli či jinde (Havelková et al., 2011, 2013). Odlišné stravování bylo také prokázáno pouze u obyvatel hradu. Muži zde konzumovali více masa než ženy. V podhradí k podobnému oddělení pravděpodobně nedocházelo a muži i ženy konzumovali stejné jídlo (Kaupová et al., 2016). Z těchto předpokladů vycházela naše hypotéza, že větší morfologické rozdíly panovaly mezi mikulčickými muži než mezi ženami, která byla potvrzena.

V diplomové práci také nebyla zvolenými metodami zjištěna závislost morfologie struktur spojených s mastikací (např. čelisti nebo *fossa temporalis* (Toro-Ibacache et al., 2016)) na lokalitě hrobu jedince. U těchto struktur lebky nebyly pozorovány signifikantní rozdíly v morfologii mezi studovanými skupinami. Je tedy otázkou, zda tvar a velikost lebky mikulčických obyvatel byl spíše ovlivněn obsahem proteinů v přijaté masě a tedy větším uplatněním genetických faktorů, nebo tuhostí stravy a rozvojem svalstva podílejícího se na kousání. Výsledky práce naznačují spíše první možnost se stravou bohatší na proteiny. Avšak obě možnosti je možné podpořit závěry předešlých publikací. Odlišná zátěž při mastikaci nebyla v rámci direkcionalní asymetrie pozorována na lebce ani na abrazi zubů (Bigoni et al., 2013; Ibrová et al., 2017). Byly ale zaznamenány výrazněji tvarované útvary na mandibule u hradní populace, což je dáváno do souvislosti s možným větším množstvím tužšího masa v jídelníčku u obyvatel mikulčického hradu (Kaupová et al., 2016; Ibrová et al., 2017).

Výsledky této práce rozšiřují poznání o morfologii lebky a potažmo života Slovanů, kteří žili na našem území v raném středověku. Vůbec poprvé byla porovnána vazba lokality hrobu a bohatosti výbavy hrobu se socioekonomickým postavením jedince. Zvolené metody



3D morfometrie velmi názorně zobrazují studovaný dimorfismus mezi pohlavími i morfologické rozdíly mezi dalšími skupinami obyvatelstva. Morfologická variabilita je nově popsána v celém povrchu lebky a není omezena pouze na landmarkové body významně redukující značnou část celkové variability (Yitschaky et al., 2011; Stull et al., 2014). Studium historického materiálu přináší značná úskalí jako je špatná zchovalost materiálu a tedy nízký počet jedinců vhodných k analýze. Tento nedostatek částečně překonává zapojení moderních rekonstrukčních algoritmů uplatněných v práci díky programu Morphome3cs II. Díky těmto metodám je možné studovat 3D struktury lebky bez ztráty důležitých dat a v dosud nemožném detailu (Dedouit et al., 2007; Stull et al., 2014).

## 8. Závěr

Předkládaná diplomová práce zkoumala variabilní morfologii lebky raně středověkých Slovanů z Mikulčic. Byl studován vliv pohlaví, lokality hrobu a hrobové výbavy na morfologii lebky. Takto definované skupiny obyvatelstva byly mezi sebou srovnány. Na základě provedených analýz jsou v souladu s výsledky vyneseny tyto závěry:

- Byl prokázán pohlavní dimorfismus v rámci celé studované populace i u podskupin obyvatelstva vymezených lokalitou nebo výbavou hrobu.
- Pohlavní dimorfismus byl manifestován zejména skrze velikostní rozdíly. Větší velikost lebky byla pozorována u mužů. Mezi nejvíce pohlavně dimorfní struktury, po stránce formy i tvaru, patří nadočnicové oblouky a oblast glabely, *proc. mastoideus*, šupina čelní kosti a *tubera frontalia*, horní čelist a lící kosti.
- Byl prokázán vliv lokality hrobu na morfologii lebky a pohlavní dimorfismus. Pohlavní dimorfismus obyvatel hradu je výraznější než u obyvatel podhradí. Toto je způsobeno pravděpodobně vyšším socioekonomickým postavením obyvatel hradu a tedy i lepšími vnějšími podmínkami. Díky tomu se u těchto jedinců mohl více projevit geneticky podmíněný pohlavní dimorfismus.
- Významnější rozdíly byly pozorovány na mužských lebkách z různých lokalit než na ženských. Je tomu tak pravděpodobně proto, že muži z hradu měli přístup ke kvalitnější stravě a nebyli tolik fyzicky exponováni proti mužům z podhradí. Ženy z Mikulčic nejspíše zastávaly stejnou práci a měly podobnou dietu bez ohledu na lokalitu pohřbu a tedy jejich předpokládané postavení.
- Hrobová výbava podle výsledků analýz neodráží podmínky v jakých jedinec žil a není proto vhodným indikátorem postavení jedince. Příčinou může být změna způsobu pohřbívání v průběhu času ovlivněná příchodem křesťanské tradice.

## 9. Seznam použité literatury

- Abdel Fatah EE, Shirley NR, Jantz RL, Mahfouz MR. 2014. Improving sex estimation from crania using a novel three-dimensional quantitative method. *J Forensic Sci* 59:590–600.
- Acsádi G, Nemeskéri J. 1970. History of human life span and mortality. Akadémiai Kiadó.
- Agrawal KR, Lucas PW, Prinz JF, Bruce IC. 1997. Mechanical properties of foods responsible for resisting food breakdown in the human mouth. *Arch Oral Biol* 42:1–9.
- Anderson C, John OP, Keltner D, Krings M. 2001. Who attains social status? Effects of personality and physical attractiveness in social groups. *J Personal Soc Psychol* 81 (1):116–132.
- Beals KL, Smith CL, Dodd SM. 1983. Climate and the evolution of brachycephalization. *Am J Phys Anthropol* 62:425–437.
- Beals KL, Smith CL, Dodd SM. 1984. Brain Size, Cranial Morphology, Climate, and Time Machines. *Curr Anthropol* 25:301.
- Bejdová Š, Krajíček V, Velemínská J, Horák M, Velemínský P. 2013. Changes in the sexual dimorphism of the human mandible during the last 1200 years in Central Europe. *HOMO- J Comp Hum Biol* 64:437–453.
- Benjamin M, Toumi H, Ralphs JR, Bydder G, Best TM, Milz S. 2006. Where tendons and ligaments meet bone: Attachment sites ('entheses') in relation to exercise and/or mechanical load. *J Anat* 208:471–490.
- Bharati S, Som S, Bharati P, Vasulu TS. 2001. Climate and head form in India. *Am J Hum Biol* 13:626–634.
- Bigoni L, Krajíček V, Sládek V, Velemínský P, Velemínská J. 2013. Skull shape asymmetry and the socioeconomic structure of an early medieval central european society. *Am J Phys Anthropol* 150:349–364.
- Bigoni L, Velemínská J, Brůžek J. 2010. Three-dimensional geometric morphometric analysis of cranio-facial sexual dimorphism in a Central European sample of known sex. *HOMO- J Comp Hum Biol* 61:16–32.

- Bookstein FL. 1986. Size and shape spaces for landmark data in two dimensions. *Stat Sci* 1:181–222.
- Brooks S, Suchey JM. 1990. Skeletal age determination based on the os pubis: a comparison of the Acsádi-Nemeskéri and Suchey-Brooks methods. *Hum Evol* 5:227–238.
- Bruner E, Manzi G. 2004. Variability in facial size and shape among North and East African human populations. *Ital J Zool* 71:51–56.
- Brůžek J. 2002. A method for visual determination of sex, using the human hip bone. *Am J Phys Anthropol* 117:157–168.
- Brůžek J, Murail P. 2006. Methodology and reliability of sex determination from the skeleton. In: *Forensic anthropology and medicine*. Springer. p 225–242.
- Brůžek J, Velemínský P. 2006. Sex diagnosis of the early medieval population of Great Moravia (9th to 10th century): Proposed population specific discriminant functions for cranial measurement. *Časopis Národního Muzea, Řada Přírodovědná* 175:41–56.
- Buckberry J, Chamberlain A. 2009. Age Estimation from the Auricular Surface of the Ilium: A Revised Method. *Am J Phys Anthropol* 239:231–239.
- Buikstra JE, Ubelaker DH. 1994. Standards for data collection from human skeletal remains. *Arkansas Archaeology Survey Research*, Fayetteville.
- Bulygina E, Mitteroecker P, Aiello L. 2006. Ontogeny of facial dimorphism and patterns of individual development within one human population. *Am J Phys Anthropol* 131:432–443.
- Buss DM, Gomes M, Higgins DS, Lauterbach K. 1987. Tactics of Manipulation. *J of Personal Soc Psychol* 52:1219–1229.
- Carlson DS. 1976. Temporal variation in prehistoric Nubian crania. *Am J Phys Anthropol* 45:467–484.
- Carlson DS, Van Gerven DP. 1977. Masticatory function and post-pleistocene evolution in Nubia. *Am J Phys Anthropol* 46:495–506.
- Carter DR, Beaupré GS, Giori NJ, Helms JA. 1998. Mechanobiology of skeletal regeneration.

- Clin Orthop Relat Res 355:S41–S55.
- Cheverud JM. 1982. Phenotypic, Genetic, and Environmental Morphological Integration in the Cranium. *Evolution* 36:499–516.
- Chrzanowska W, Januszkiewicz-Zalecka D, Poláček L. 2003. Tierknochenfunde aus der Vor- und Hauptburg des Burgwalls von Mikulcice. Archäologisches Institut der Akademie der Wissenschaften.
- Čihák R, Grim M. 2001. *Anatomie* 1. 2. vyd. Grada Publishing.
- Corruccini RS. 1984. An epidemiologic transition in dental occlusion in world populations. *Am J Orthod* 86:419–426.
- Corruccini RS, Beecher RM. 1982. Occlusal variation related to soft diet in a nonhuman primate. *Science* (80- ) 218:74–76.
- von Cramon-Taubadel N. 2014. Evolutionary insights into global patterns of human cranial diversity: Population history, climatic and dietary effects. *J Anthropol Sci* 92:43–77.
- Von Cramon-Taubadel N. 2009. Congruence of individual cranial bone morphology and neutral molecular affinity patterns in modern humans. *Am J Phys Anthropol* 140:205–215.
- von Cramon-Taubadel N, Frazier BC, Lahr MM. 2007. The problem of assessing landmark error in geometric morphometrics: theory, methods, and modifications. *Am J Phys Anthropol Off Publ Am Assoc Phys Anthropol* 134:24–35.
- Crook JH. 1972. Sexual selection, dimorphism, and social organization in the primates. *Sex Sel descent man* 231–281.
- Dedouit F, Telmon N, Costagliola R, Otal P, Florence LL, Joffre F, Rougé D. 2007. New identification possibilities with postmortem multislice computed tomography. *Int J Legal Med* 121:507–510.
- Dekaban AS, Sadowsky D. 1978. Changes in brain weights during the span of human life: relation of brain weights to body heights and body weights. *Ann Neurol* 4:345–356.
- Devlin MJ. 2011. Why does starvation make bones fat? *Am J Hum Biol* 23:577–585.

- Doláková N, Roszková A, Přichystal A. 2010. Palynology and natural environment in the Pannonian to Holocene sediments of the Early Medieval centre Pohansko near Břeclav (Czech Republic). *J Archaeol Sci* 37:2538–2550.
- Dostál B. 1966. Slovánská pohřebiště ze střední doby hradištní na Moravě. Academia.
- Dreslerová G, Hajnalová M, Macháček J. 2013. Subsistenční strategie raně středověkých populací v dolním Podyjí Archeozoologická a archeobotanická vyhodnocení nálezy z výzkumu Kostice - Zadní hrúd (2009-2011). *Archeol Rozhl* 65:825–850.
- Dupej J, Krajíček V, Pelikán J. 2014. Low-rank matrix approximations for Coherent point drift. *Pattern Recognit Lett* 52:53–58.
- Edwards AWF. 2003. Human genetic diversity: Lewontin's fallacy. *BioEssays* 25:798–801.
- Ferembach D, Schwidetzky I, Stloukal M. 1979. Recommendations for age and sex diagnoses of skeletons. *Bull Mem La Soc D Anthropol Paris* 6:7–45.
- Fetter V. 1967. Antropologie. Academia.
- Franklin D, Cardini A, Flavel A, Kuliukas A. 2013. Estimation of sex from cranial measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 229:158.e1-158.e8.
- Franklin D, Flavel A, Kuliukas A, Cardini A, Marks MK, Oxnard C, O'Higgins P. 2012. Estimation of sex from sternal measurements in a Western Australian population. *Forensic Sci Int* 217:230.e1--230.e5.
- French A, Macedo M, Poulsen J, Waterson T, Yu A. 2008. Multivariate analysis of variance (MANOVA). San Fr CA San Fr State Univ.
- Friede H. 1981. Normal development and growth of the human neurocranium and cranial base. *Scand J Plast Reconstr Surg* 15:163–169.
- Garcin V, Velemínský P, Trefný P, Bagousse AA Le, Lefebvre A, Brůžek J. 2010a. Dental health and lifestyle in four early mediaeval juvenile populations: Comparisons between urban and rural individuals, and between coastal and inland settlements. *HOMO- J Comp Hum Biol* 61:421–439.
- Golden M. 1994. Is complete catch-up possible for stunted malnourished children? *Eur J Clin*

Nutr 48:58–70.

González-José R, Ramírez-Rozzi F, Sardi M, Martínez-Abadías N, Hernández M, Pucciarelli HM. 2005. Functional-cranial approach to the influence of economic strategy on skull morphology. *Am J Phys Anthropol* 128:757–771.

Gonzalez PN, Bernal V, Perez SI. 2011. Analysis of sexual dimorphism of craniofacial traits using geometric morphometric techniques. *Int J Osteoarchaeol* 21:82–91.

Graham JH, Raz S, Hel-Or H, Nevo E. 2010. Fluctuating asymmetry: Methods, theory, and applications. *Symmetry (Basel)* 2:466–540.

Ha T, Overbeek G, Engels RCME. 2010. Effects of attractiveness and social status on dating desire in heterosexual adolescents: An experimental study. *Arch Sex Behav* 39:1063–1071.

Halffman CM, Velemínský P. 2015. Stable isotope evidence for diet in early medieval Great Moravia (Czech Republic). *J Archaeol Sci Reports* 2:1–8.

Hallgrímsson B, Lieberman DE, Liu W, Ford-Hutchinson AF, Jirik FR. 2007. Epigenetic interactions and the structure of phenotypic variation in the cranium. *Evol Dev* 9:76–91.

Hanáková H. 1988. Antropologické zpracování koster od IX. kostela na lokalitě Mikulčice - Valy. Praha: Národní Muz.

Hanáková H, Sekáčová A, Stloukal M. 1984. Pohřebiště v Ducovém, I, II. Praha: Národní Muz.

Harpending HC. 1982. Chemical systematics and human evolution. *Biochem Asp Evol Biol*:213–256.

Hartwig-Scherer S. 1993. Body weight prediction in early fossil hominids: Towards a taxon “independent” approach. *Am J Phys Anthropol* 92:17–36.

Haruštiaková D, Jarkovský J, Littnerová S, Ladislav D. 2012. Vícerozměrné statistické metody v biologii. Brno: Akademické nakladatelství CERM

Harvati K, Weaver TD. 2006. Human cranial anatomy and the differential preservation of population history and climate signatures. *Anat Rec - Part A Discov Mol Cell Evol Biol*

288:1225–1233.

- Havelková P, Hladík M, Velemínský P. 2013. Enthesal Changes: Do They Reflect Socioeconomic Status in the Early Medieval Central European Population? (Mikulčice - Klášterisko, Great Moravian Empire, 9th - 10th century). *Int J Osteoarchaeol* 23:237–251.
- Havelková P, Villotte S, Velemínský P, Poláček L, Dobisíková M. 2011. Enthesopathies and activity patterns in the Early Medieval Great Moravian population: Evidence of division of labour. *Int J Osteoarchaeol* 21:487–504.
- Hladík M. 2012. Výskum sídelných štruktúr v zázemí včasnostredovekého hradu v Mikulčiciach. *Mezi raným a vrcholným středověkem*:111–135. Brno.
- Hotelling H. 1933. Analysis of a complex of statistical variables into principal components. *J Educ Psychol* 24:417.
- Hrdlička A. 1920. Anthropometry. *Am J Phys Anthropol* 3:147–173.
- Hsiao T-H, Tsai S-M, Chou S-T, Pan J-Y, Tseng Y-C, Chang H-P, Chen H-S. 2010. Sex determination using discriminant function analysis in children and adolescents: a lateral cephalometric study. *Int J Legal Med* 124:155–160.
- Hubbe M, Hanihara T, Harvati K. 2009. Climate signatures in the morphological differentiation of worldwide modern human populations. *Anat Rec* 292:1720–1733.
- Hylander WL. 1977. The Adaptive Significance of Eskimo Craniofacial Morphology. *Orofac Growth Dev Mouton, Hague*:129–169.
- Ibrová A, Dupej J, Stránská P, Velemínský P, Poláček L, Velemínská J. 2017. Facial skeleton asymmetry and its relationship to mastication in the Early Medieval period (Great Moravian Empire, Mikulčice, 9th–10th century). *Arch Oral Biol* 84:64–73.
- Ingervall B, Bitsanis E. 1987. A pilot study of the effect of masticatory muscle training on facial growth in long-face children. *Eur J Orthod* 9:15–23.
- Israel H. 1973. Age factor and the pattern of change in craniofacial structures. *Am J Phys Anthropol* 39:111–128.



- Joffe TH, Tarantal AF, Rice K, Leland M, Oerke AK, Rodeck C, Geary M, Hindmarsh P, Wells JCK, Aiello LC. 2005. Fetal and infant head circumference sexual dimorphism in primates. *Am J Phys Anthropol* 126:97–110.
- Jurda M, Urbanová P, Králík M. 2015. The Post-Mortem Pressure Distortion of Human Crania Uncovered in an Early Medieval Pohansko (Czech Republic) Graveyard. *Int J Osteoarchaeol* 25:539–549.
- Kaupová S, Velemínský P, Herrscher E, Sládek V, Macháček J, Poláček L, Brůžek J. 2016. Diet in transitory society: isotopic analysis of medieval population of Central Europe (ninth–eleventh century AD, Czech Republic). *Archaeol Anthropol Sci*.
- Kiliaridis S. 1989. Muscle function as a determinant of mandibular growth in normal and hypocalcaemic rat. *Eur J Orthod* 11:298–308.
- Kiliaridis S. 1995. Masticatory muscle influence on craniofacial growth. *Acta Odontol Scand* 53:196–202.
- Kiliaridis S, Engström C, Thilander B. 1985. The relationship between masticatory function and craniofacial morphology: I. A cephalometric longitudinal analysis in the growing rat fed a soft diet. *Eur J Orthod* 7:273–283.
- Klanica Z. 1985. Náboženství a kult, jejich odraz v archeologických pramenech. *Velká Morava a počátky československé státnosti Praha: Academia* 107–139.
- Konigsberg LW, Hens SM. 1998. Use of ordinal categorical variables in skeletal assessment of sex from the cranium. *Am J Phys Anthropol* 107:97–112.
- Land C, Schoenau E. 2008. Fetal and postnatal bone development: reviewing the role of mechanical stimuli and nutrition. *Best Pract Res Clin Endocrinol Metab* 22:107–118.
- Larsen CS. 2003. Equality for the sexes in human evolution? Early hominid sexual dimorphism and implications for mating systems and social behavior. *Proc Natl Acad Sci U S A* 100:9103–4.
- Látková M. 2014. Vyhodnotenie rastlinných zvyškov lokality Mikulčice - plocha M17. *Archeologický ústav akademie věd ČR*.

- Lazenby RA. 2001. Sex dimorphism and bilateral asymmetry: modeling developmental instability and functional adaptation. *Am J Phys Anthropol Suppl* 32, 96
- Lecka-czernik B, Gubrij I, Moerman EJ, Kajkenova O, Lipschitz DA, Manolagas SC, Jilka RL. 1999. Inhibition of *Osf2 / Cbfa1* Expression and Terminal Osteoblast Differentiation by PPAR 2. *J Cell Biochem* 371:357–371.
- Lenroot RK, Gogtay N, Greenstein DK, Wells EM, Wallace GL, Clasen LS, Blumenthal JD, Lerch J, Zijdenbos AP, Evans AC, Thompson PM, Giedd JN. 2007. Sexual dimorphism of brain developmental trajectories during childhood and adolescence. *Neuroimage* 36:1065–1073.
- Leutenegger W, Shell B. 1987. Variability and sexual dimorphism in canine size of *Australopithecus* and extant hominoids. *J Hum Evol* 16:359–367.
- Lieberman DE. 2008. Speculations about the selective basis for modern human craniofacial form. *Evol Anthropol* 17:55–68.
- Lieberman DE, Krovitz GE, Yates FW, Devlin M, St. Claire M. 2004. Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. *J Hum Evol* 46:655–677.
- Lieberman DE, Ross CF, Ravosa MJ. 2000. The primate cranial base: ontogeny, function, and integration. *Am J Phys Anthropol Suppl* 31:117–169.
- Lovejoy CO. 1985. Dental wear in the Libben population: its functional pattern and role in the determination of adult skeletal age at death. *Am J Phys Anthropol* 68:47–56.
- Lukacs JR. 1989. Dental paleopathology: methods for reconstructing dietary patterns. *Reconstr Life from Skelet* 1:261.
- Lynch M. 1989. Phylogenetic Hypotheses Under the Assumption of Neutral Quantitative-Genetic Variation. *Evolution (N Y)* 43:1–17.
- Macháček J. 2009. Disputes over Great Moravia: Chiefdom or state? The Morava or the Tisza River? *Early Mediev Eur* 17:248–267.
- Mazuch M. 2012. Výzkumy severního podhradí hradiště Valy u Mikulčic: k otázce násilného

zániku velkomoravských mocenských center na počátku 10 . století. Mezi raným a vrcholným středověkem:137–159.

Měřínský Z. 2006. České země od příchodu Slovanů po Velkou Moravu II. Libri.

Miller JP, German RZ. 1999. Protein malnutrition affects the growth trajectories of the craniofacial skeleton in rats. *J Nutr* 129:2061–9.

Mioche L, Bourdiol P, Martin JF, Noël Y. 1999. Variations in human masseter and temporalis muscle activity related to food texture during free and side-imposed mastication. *Arch Oral Biol* 44:1005–1012.

Moore WJ, Lavelle CLB. 1974. Growth of the Facial Skeleton in the Hominoidea. Academic Press.

Moss ML, Young RW. 1960. A functional approach to craniology. *Am J Phys Anthropol* 18:281–292.

Murail P, Brůžek J, Houët F, Cunha E. 2005. DSP: a tool for probabilistic sex diagnosis using worldwide variability in hip-bone measurements. *Bull Mémoires la Société d'Anthropologie Paris*:167–176.

Musilová B, Dupej J, Velemínská J, Chaumoitre K, Brůžek J. 2016. Exocranial surfaces for sex assessment of the human cranium. *Forensic Sci Int* 269:70–77.

Noback ML, Harvati K. 2015. The contribution of subsistence to global human cranial variation. *J Hum Evol* 80:34–50.

Noback ML, Harvati K, Spoor F. 2011. Climate-related variation of the human nasal cavity. *Am J Phys Anthropol* 145:599–614.

Opperman L a. 2000. Cranial sutures as intramembranous bone growth sites. *Dev Dyn* 219:472–485.

Opravil E. 1972. Rostliny z velkomoravského hradiště v Mikulčicích: výzkum z let 1954-1965. Academia.

Paschetta C, de Azevedo S, Castillo L, Martínez-Abadías N, Hernández M, Lieberman DE, González-José R. 2010. The influence of masticatory loading on craniofacial

- morphology: A test case across technological transitions in the Ohio valley. *Am J Phys Anthropol* 141:297–314.
- Perez SI, Lema V, Diniz-Filho JAF, Bernal V, Gonzalez PN, Gobbo D, Pucciarelli HM. 2011. The role of diet and temperature in shaping cranial diversification of South American human populations: An approach based on spatial regression and divergence rate tests. *J Biogeogr* 38:148–163.
- Perez SI, Monteiro LR. 2009. Nonrandom Factors in Modern Human Morphological Diversification: a Study of Craniofacial Variation in Southern South American Populations. *Evolution (N Y)* 63:978–993.
- Plavcan JM, van Schaik CP. 1997. Intrasexual Competition and Canine Dimorphism in Anthropoid Primates. *Am J Phys Anthropol* 87:461–77.
- Poláček L. 2000. Terénní výzkum v Mikulčicích: národní kulturní památka slovanské hradiště v Mikulčicích. Archeologický Ústav AV ČR.
- Poláček L. 2008. Great Moravia, the Power Centre at Mikulčice and the Issue of the Socio-economic Structure. *Stud zum Burgwall von Mikulcice* 8:11–40.
- Relethford JH. 2004. Boas and beyond: Migration and craniometric variation. *Am J Hum Biol* 16:379–386.
- Relethford JH, Blangero J. 1990. Detection of differential gene flow from patterns of quantitative variation. *Hum Biol*:5–25.
- Rhodes G, Chan J, Zebrowitz L a, Simmons LW. 2003. Does sexual dimorphism in human faces signal health? *Proc Biol Sci* 270 Suppl:S93-5.
- Roseman CC, Weaver TD. 2004. Multivariate apportionment of global human craniometric diversity. *Am J Phys Anthropol* 125:257–263.
- Saini V, Srivastava R, Shamal SN, Singh TB, Pandey AK, Tripathi SK. 2011. Sex determination using mandibular ramus flexure: A preliminary study on Indian population. *J Forensic Leg Med* 18:208–212.
- Schmitt A, Murail P, Cunha E, Rougé D. 2002. Variability of the pattern of aging on the

- human skeleton: evidence from bone indicators and implications on age at death estimation. *J Forensic Sci* 47:1203–1209.
- Scott JH. 1954. The growth of the human face. *Proc R Soc Med* 47:91–100.
- Sokal RR, Uytterschaut H. 1987. Cranial Variation in European Populations: A Spatial Autocorrelation Study at Three Time Periods. *Am J Phys Anthropol* 74:21–38.
- Spector JA, Greenwald JA, Warren SM, Bouletreau PJ, Detch RC, Fagenholz PJ, Crisera FE, Longaker MT. 2002. Dura mater biology: autocrine and paracrine effects of fibroblast growth factor 2. *Plast Reconstr Surg* 109:645–654.
- Stanford C, Allen JS, Antón SC. 2011. *Biological anthropology: the natural history of humankind*. Pearson Education.
- Stinson S. 1985. Sex differences in environmental sensitivity during growth and development. *Am J Phys Anthropol* 28:123–147.
- Stloukal M. 1963. Der Gesundheitszustand des Gebisses bei der Population von grossmährischen Mikulčice. *Anthropologie* 1:35–45.
- Stloukal M. 1964. Čtvrté pohřebiště na hradišti „Valy“ u Mikulčic. *Památky Archeol* 55:479–505.
- Stloukal M, Hanáková H. 1967. Menschliche Unterkiefer aus Mikulčice. *Anthropologie* 1:33–51.
- Stloukal M, Hanáková H. 1985. Antropologický materiál z pohřebiště Mikulčice–Klášteřísko. *Památky Archeol* 76:540–588.
- Stramrud L. 1959. External and Internal Cranial Base a Cross Sectional Study of Growth and of Association in form. *Acta Odontol Scand* 17:239–266.
- Stull KE, Tise ML, Ali Z, Fowler DR. 2014. Accuracy and reliability of measurements obtained from computed tomography 3D volume rendered images. *Forensic Sci Int* 238:133–140.
- Suazo Galdames IC, Zavando Matamala DA, Smith RL. 2008. Evaluating Accuracy and Precision in Morphologic Traits for Sexual Dimorphism in Malnutrition Human Skull: a

- Comparative Study. *Int J Morphol* 26:877–881.
- Svoboda J, Cílek V, Vašků Z. 2003. Velká kniha o klimatu zemí koruny české. Regia.
- Swaddle JP, Reiersen GW. 2002. Testosterone increases perceived dominance but not attractiveness in human males. *Proc Biol Sci* 269:2285–9.
- Tallgren A. 1972. The continuing reduction of the residual alveolar ridges in complete denture wearers: a mixed-longitudinal study covering 25 years. *J Prosthet Dent* 27:120–132.
- Toro-Ibacache V, Zapata Muñoz V, O'Higgins P. 2016. The relationship between skull morphology, masticatory muscle force and cranial skeletal deformation during biting. *Ann Anat* 203:59–68.
- Třeštík D. 1987. Pád Velké Moravy. Typologie raně feudálních slovanských států: Sborník příspěvků. Ústav československých a světových dějin ČSAV 27–76.
- Trivers RLL. 1972. Parental investment and sexual selection. *Sex Sel descent man*:136–179.
- Vapnik V, Cortes C. 1995. Support-Vector Networks. *Mach Learn* 297:273–297.
- Vavřínek V. 1963. Církevní misie v dějinách Velké Moravy. Lidová demokracie.
- Velemínská J, Velemínský P, Bigoni L, Jantač M. 2008. Craniometric Analysis of the Great Moravian Population from Mikulčice X-ray film study. *Stud zum Burgwall von Mikulčice* 8:93–120.
- Velemínský P, Dobisíková M, Stránská P, Trefný P, Likovský J. 2009. The health status of the early medieval population of Greater Moravia in relations to social and economic structures. *Acta Univ Carol Med Monogr* 156:91–101.
- Velemínský P, Likovský J, Trefný P, Dobisíková M, Velemínská J, Poláček L, Hanáková H. 2005a. Anthropologische Analyse des großmährischen Gräberfeldes Kostelisko im Suburbium des Burgwalls von Mikulčice. *Stud zum Burgwall von Mikulčice* 6:539–633.
- Velemínský P, Likovský J, Trefný P, Dobisíková M, Velemínská J, Poláček L, Hanáková H. 2005b. Großmährisches Gräberfeld auf „Kostelisko“ im Suburbium des Mikulčicer Burgwalls. *Stud zum Burgwall von Mikulčice* 6:539–633.

- Vidarsdóttir U, O'Higgins P. 2001. Development of sexual dimorphism in the facial skeleton of anatomically modern Homo sapiens. In: American Journal of Physical Anthropology, Supplement. Vol. 30. . p 310–311.
- Vidarsdóttir U, Stringer C, O'Higgins P. 2002. A geometric morphometric study of regional differences in the ontogeny of the modern human facial skeleton. *J Anat* 201:211–229.
- Walker PL. 2008. Sexing skulls using discriminant function analysis of visually assessed traits. *Am J Phys Anthropol* 136:39–50.
- Weaver DS. 2000. Skeletal Tissue Mechanics. *Am J Phys Anthropol* 112:425–432.
- Wilkie AOM, Morriss-Kay GM. 2001. Genetics of Craniofacial Development and Malformation. *Nat Rev Genet* 2:458–468.
- Williams BA, Rogers TL. 2006. Evaluating the accuracy and precision of cranial morphological traits for sex determination. *J Forensic Sci* 51:729–735.
- Wood BA. 1976. The nature and basis of sexual dimorphism in the primate skeleton. *J Zool* 180:15–34.
- Wrangham R, Conklin-Brittain N Lou. 2003. Cooking as a biological trait. *Comp Biochem Physiol - A Mol Integr Physiol* 136:35–46.
- Yitschaky O, Redlich M, Abed Y, Faerman M, Casap N, Hiller N. 2011. Comparison of common hard tissue cephalometric measurements between computed tomography 3D reconstruction and conventional 2D cephalometric images. *Angle Orthod* 81:11–16.
- Zvára K. 2006. Pravděpodobnost a matematická statistika. Matfyzpress.

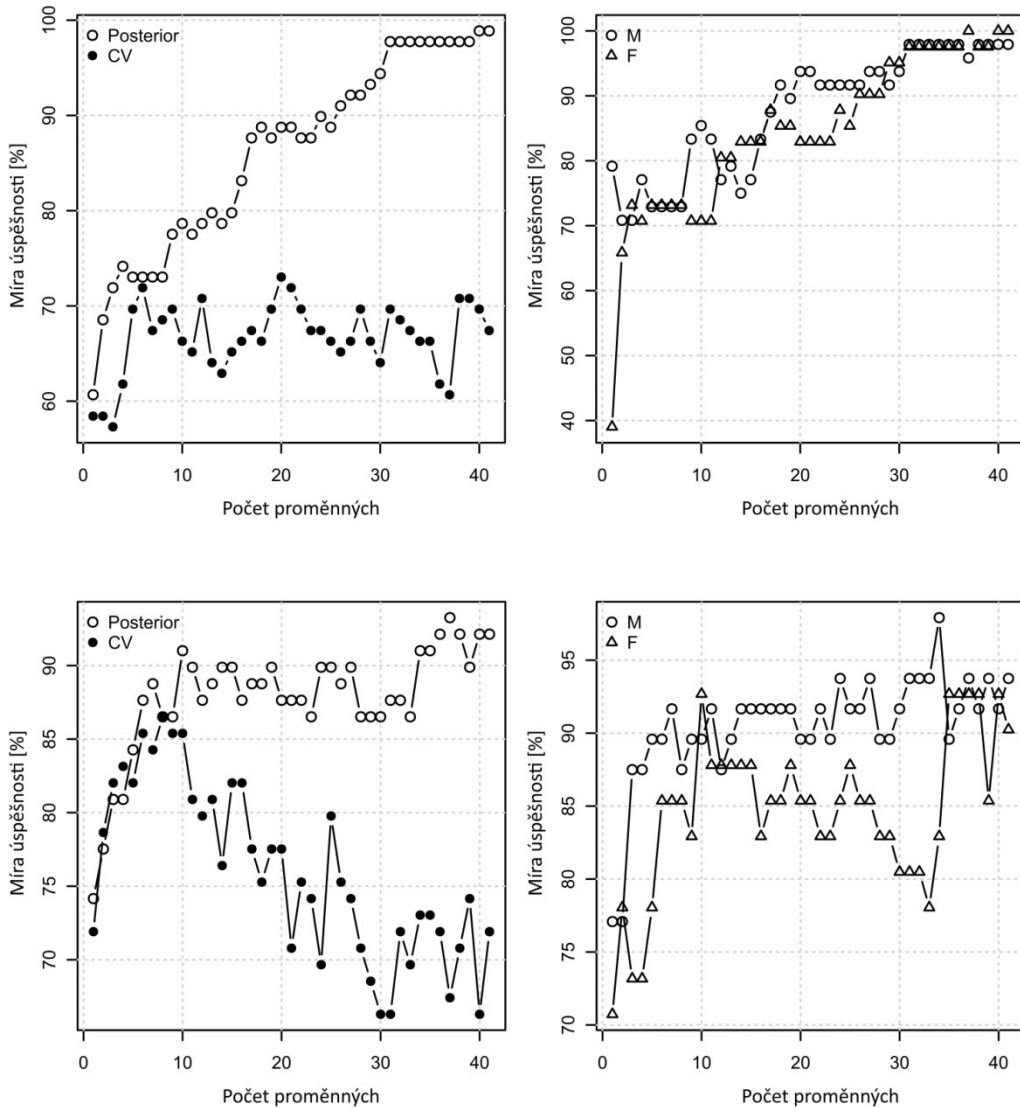
## 10. Seznam použitých zkratk

2B-PLS 2	block partial least squares analysis (bloková parciální analýza nejmenších čtverců)
ANOVA	analysis of variance (analýza rozptylu)
CPD-DCA	coherent point drift-dense correspondence analysis
CT	computed tomography (výpočetní tomografie)
CV	cross validation (křížová validace)
DICOM	digital imaging and communications in medicine
DX	dexter (pravý)
F	ženy
GPA	generalizovaná Procrustovská analýza
IGF-1	insuline like growth factor 1 (inzulinu podobný růstový faktor 1)
M	muži
MANOVA	multivariate analysis of variance (vícerozměrná analýza rozptylu)
PCA	principal component analysis (analýza hlavních komponent)
PPAR $\gamma$ 2	peroxisome proliferator-activated receptor gamma 2
SIN	sinister (levý)
SVM	support vector machines

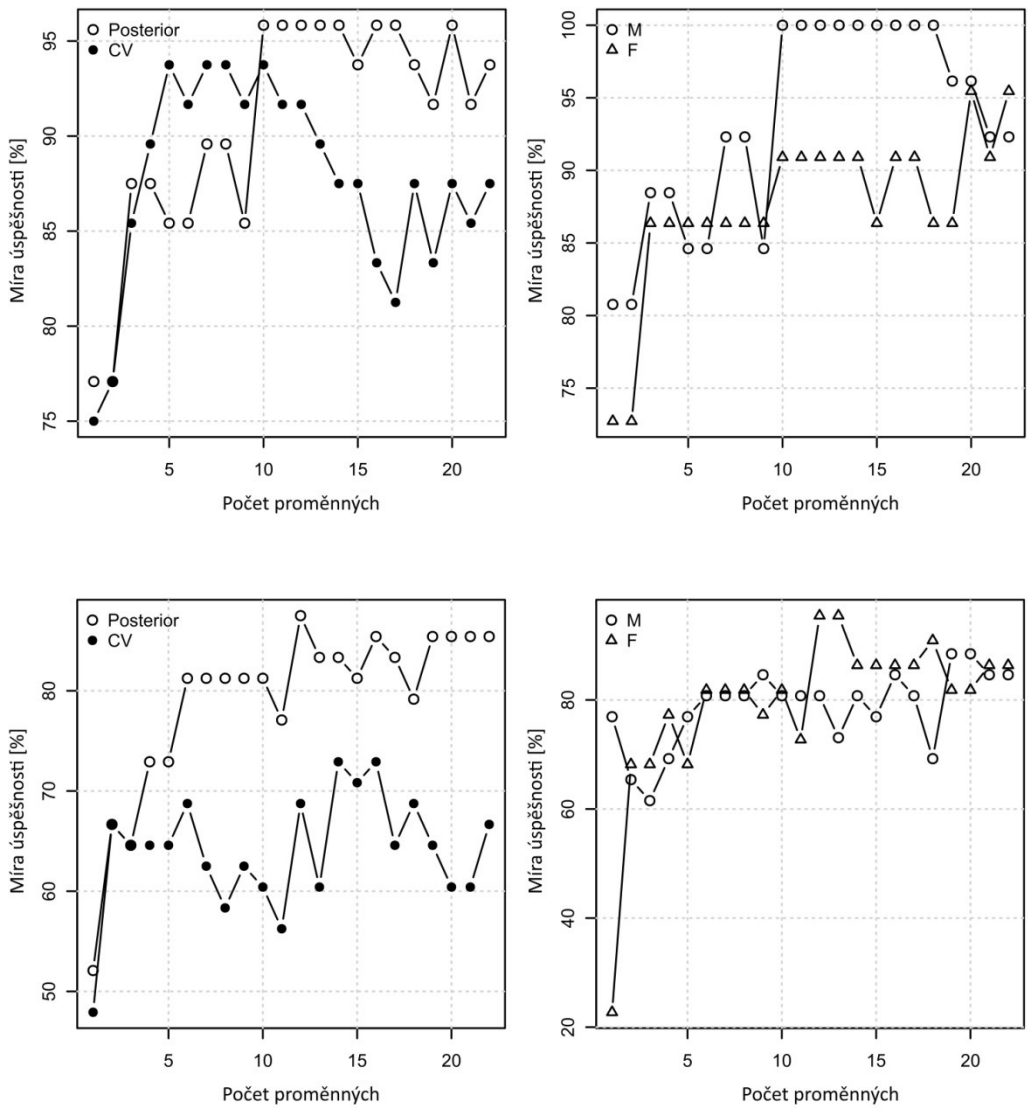


## 11. Přílohy

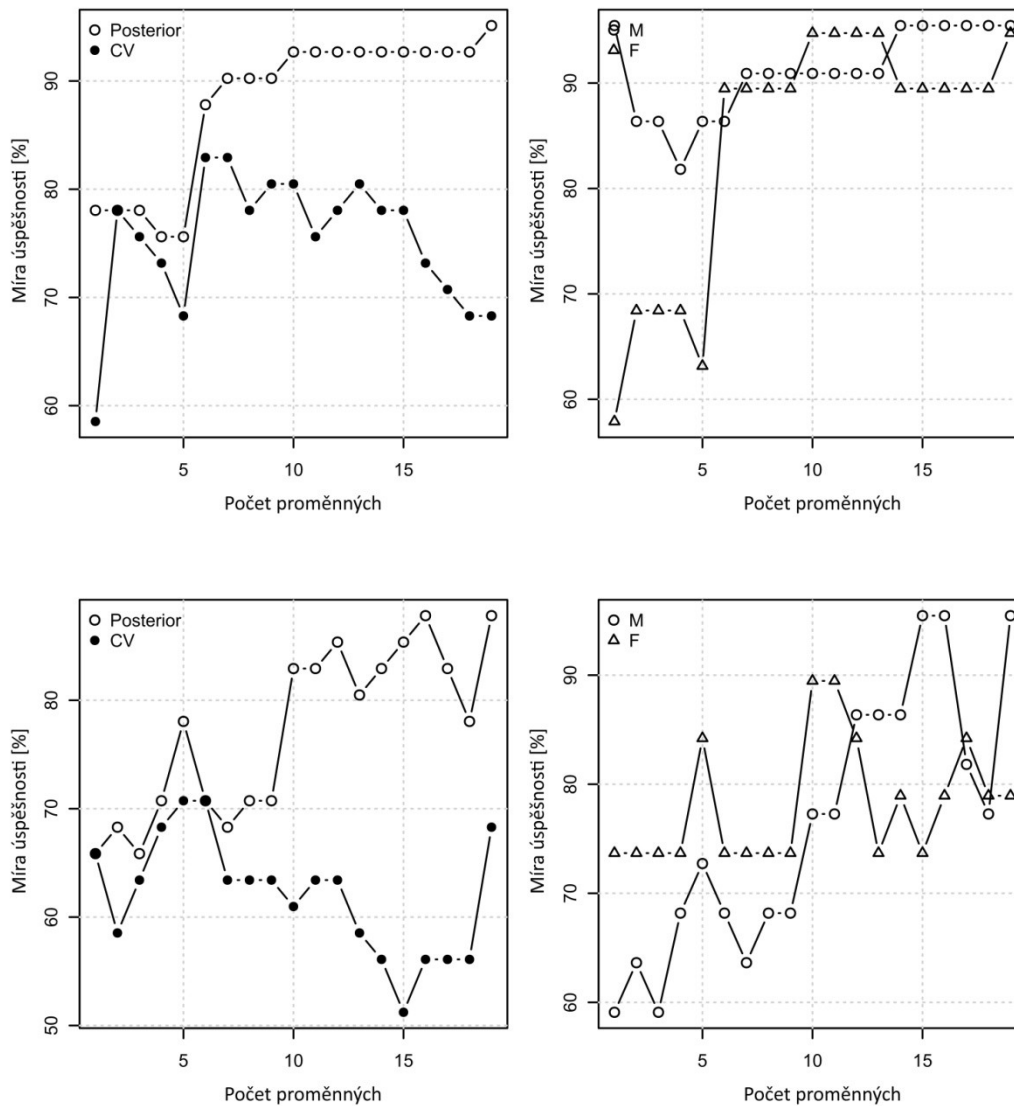
Přiložené grafy na Obr. 1-11 dokumentují výsledky analýz SVM. Lze z nich vyčíst podmíněnou pravděpodobnost správné klasifikace (z angl. posterior probability), tedy procento jedinců přiřazených do správné skupiny, a také úspěšnost po křížové validaci (z angl. cross-validation), která využívá náhodného jedince ke kontrole svého výpočtu. Úspěšnost odhadu, vyvedena na ose y, je vypočítána v závislosti na různém počtu použitých hlavních komponent z PCA analýzy (počet proměnných), čemuž odpovídá osa x.



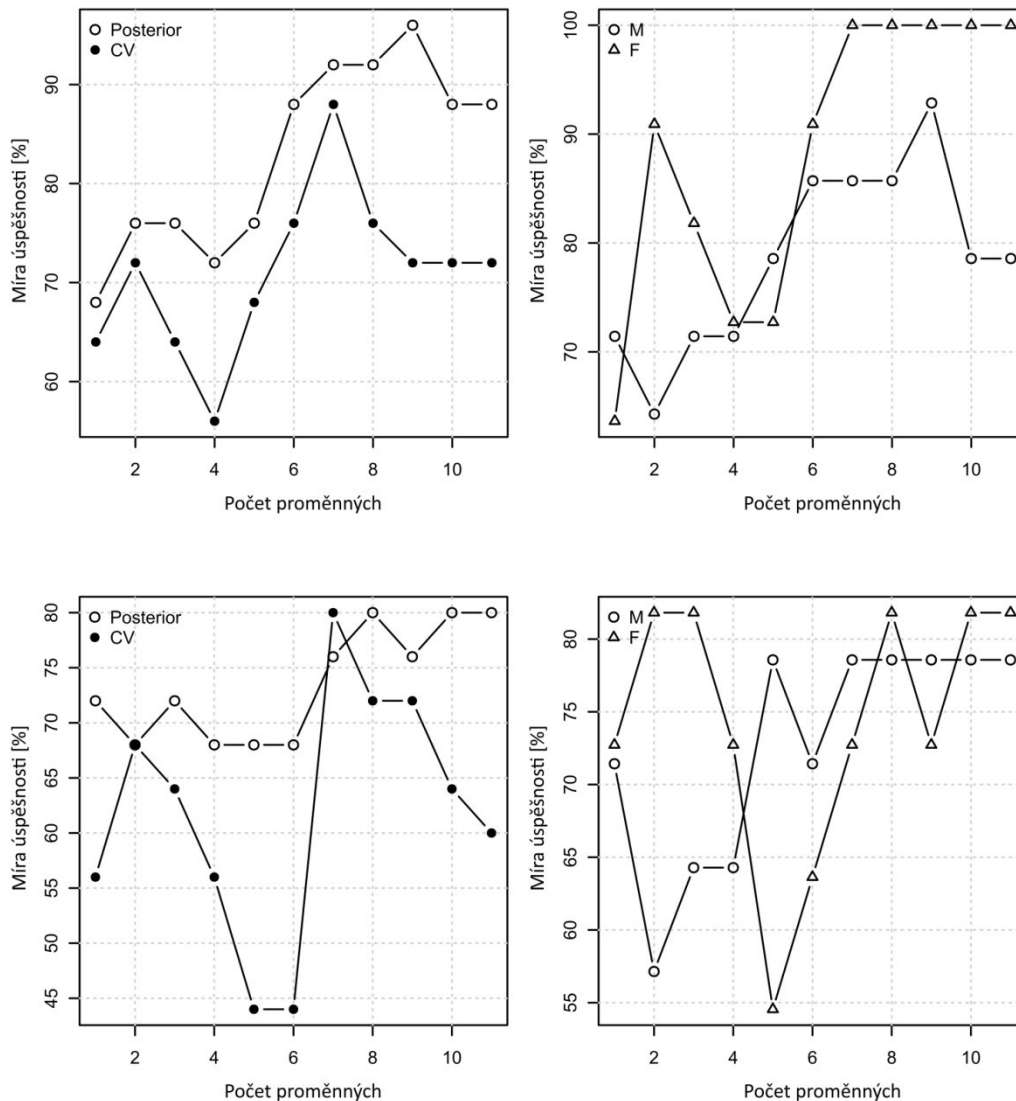
**Obr. 1:** Záznam úspěšnosti třídění pohlaví (M – muži; F – ženy) v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivá pohlaví. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



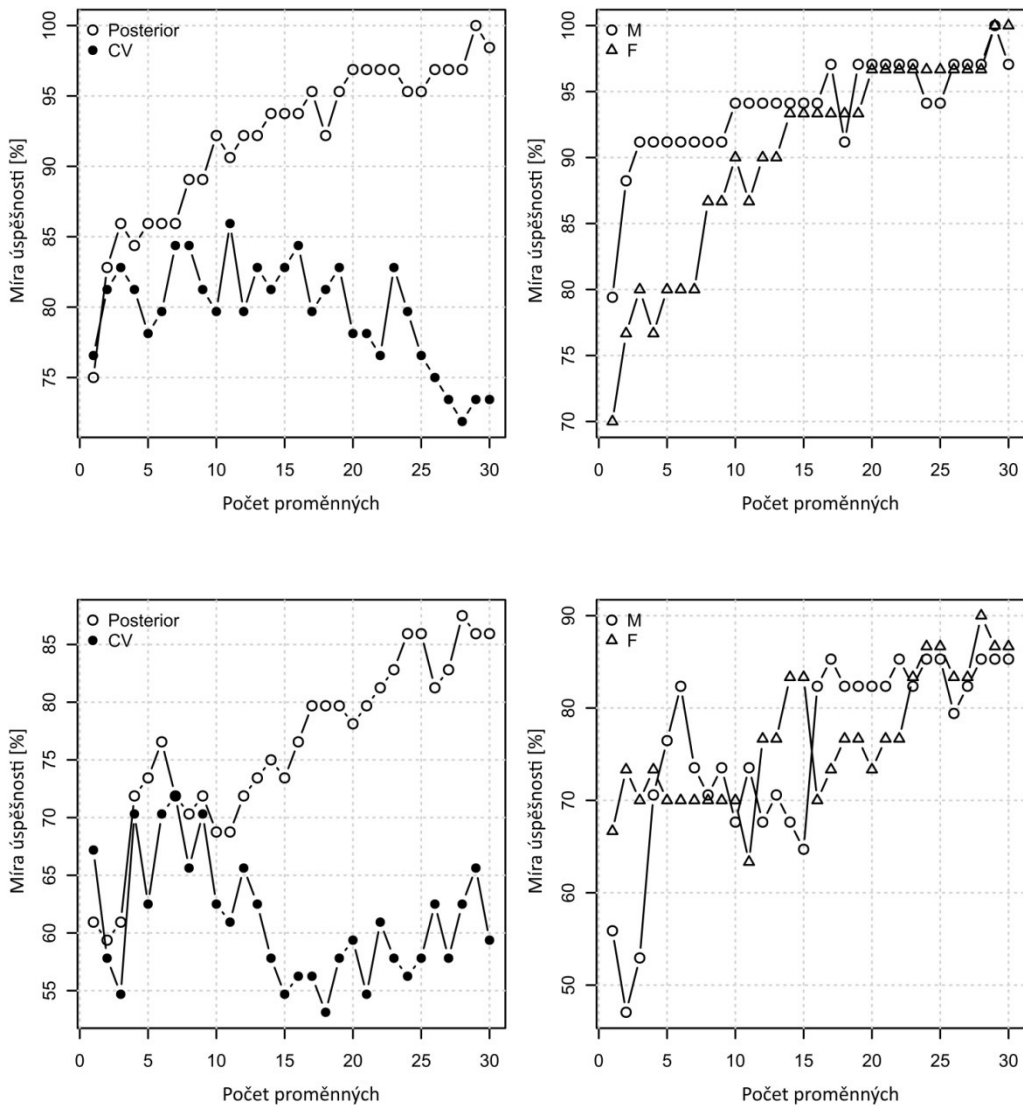
**Obr. 2:** Záznam úspěšnosti třídění mužů (M) a žen (F) z hradu v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivá pohlaví. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



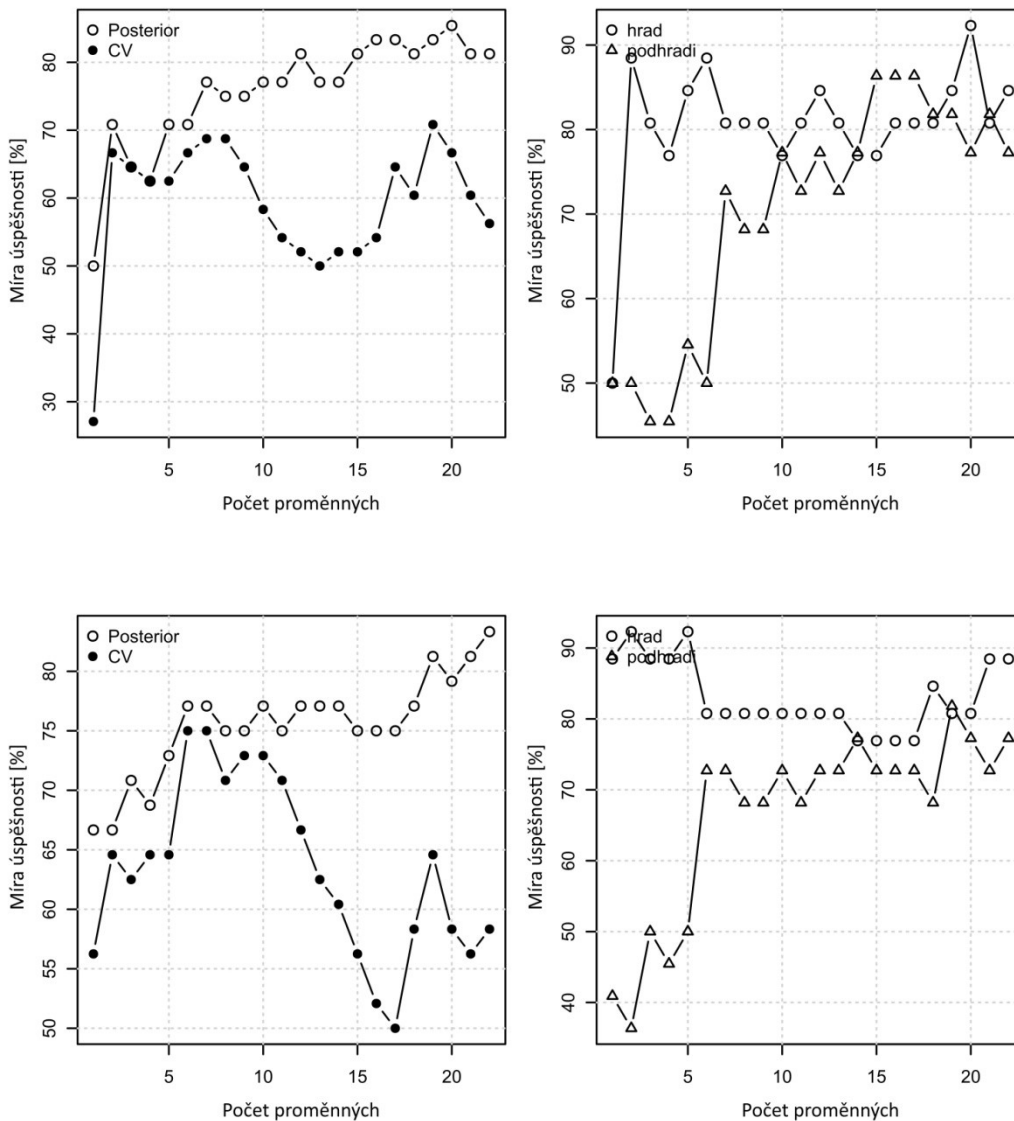
**Obr. 3:** Záznam úspěšnosti třídění mužů (M) a žen (F) z podhradí v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivá pohlaví. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



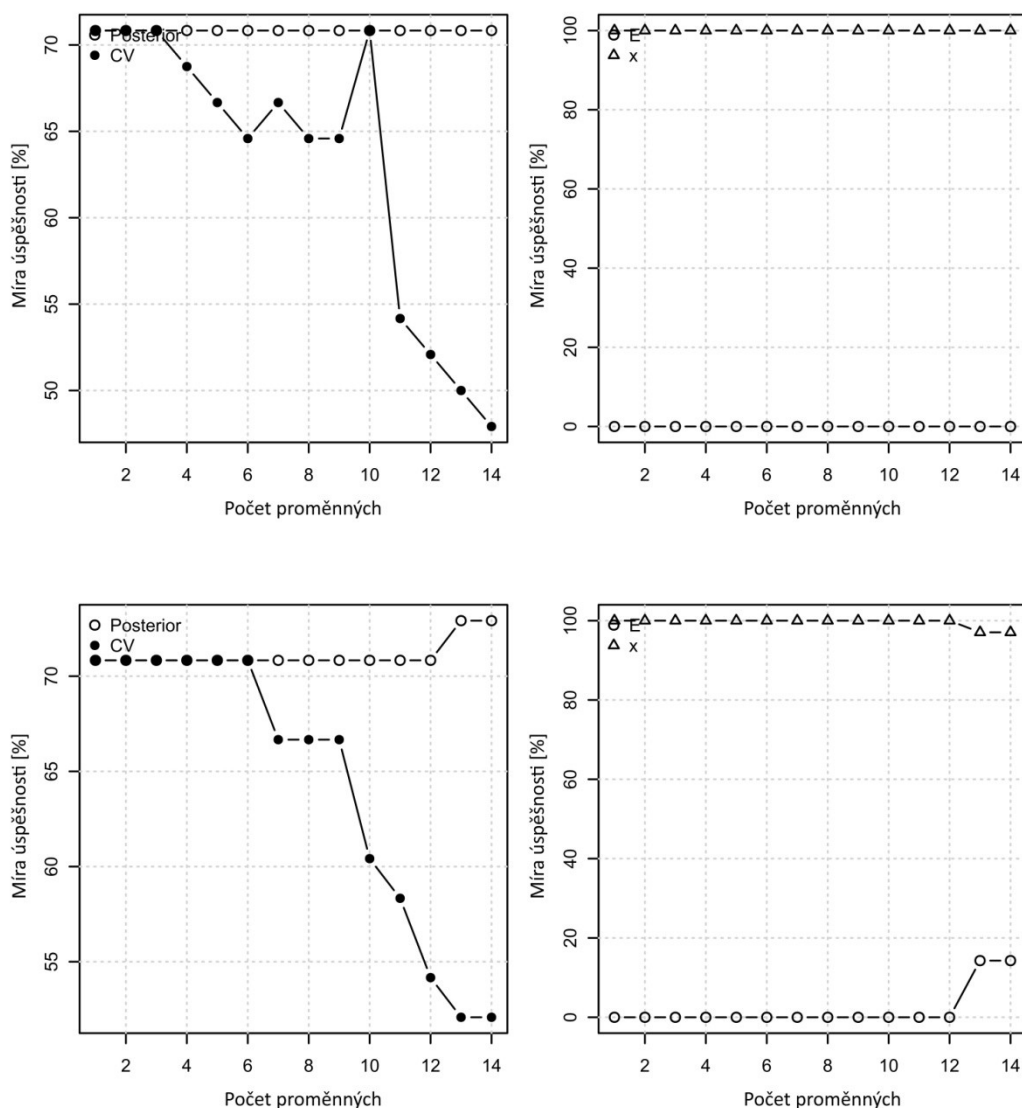
**Obr. 4:** Záznam úspěšnosti třídění mužů (M) a žen (F) s bohatou hrobovou výbavou v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivá pohlaví. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



**Obr. 5:** Záznam úspěšnosti třídění mužů (M) a žen (F) bez bohaté hrobové výbavy v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivá pohlaví. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.

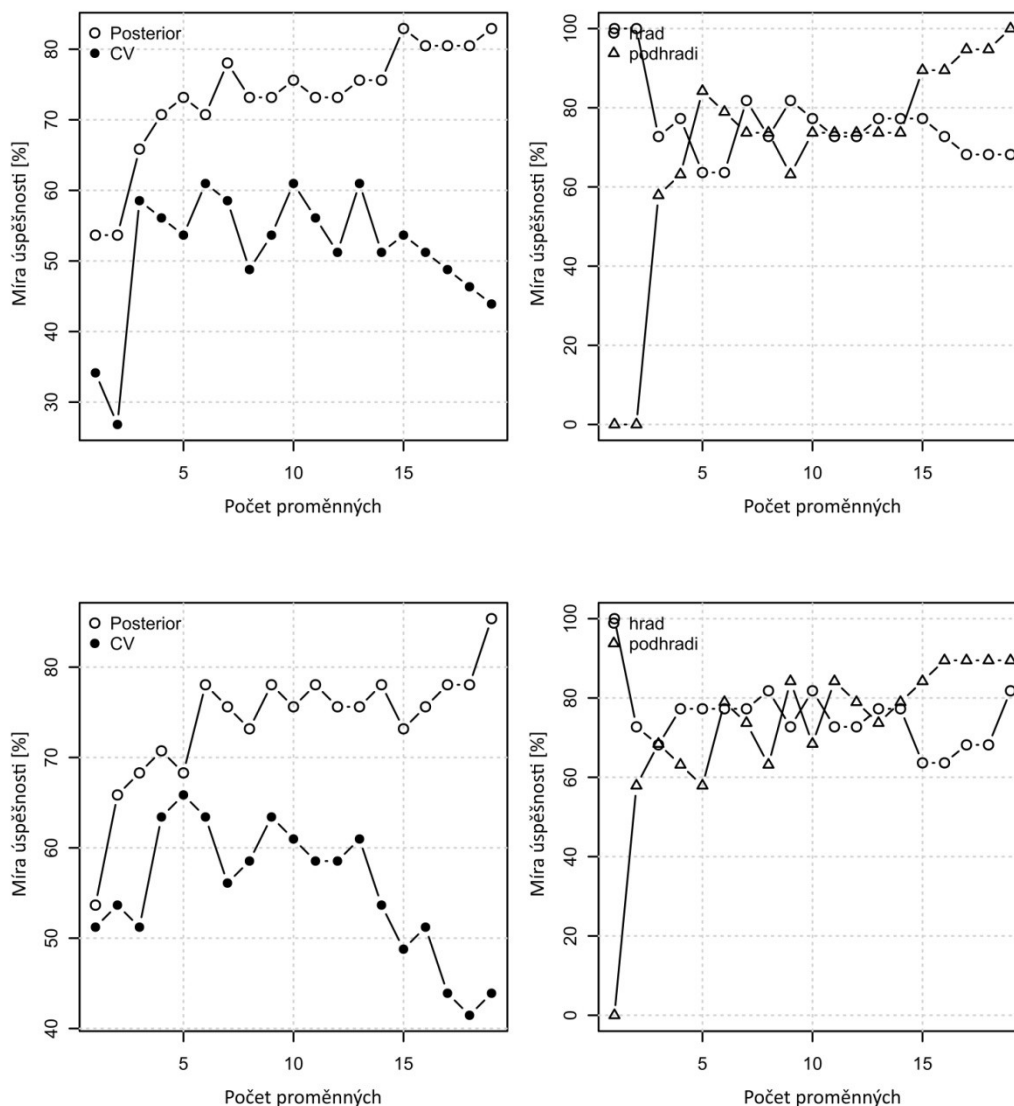


**Obr. 6:** Záznam úspěšnosti třídění mužů z hradu a podhradí v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivé lokality. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.

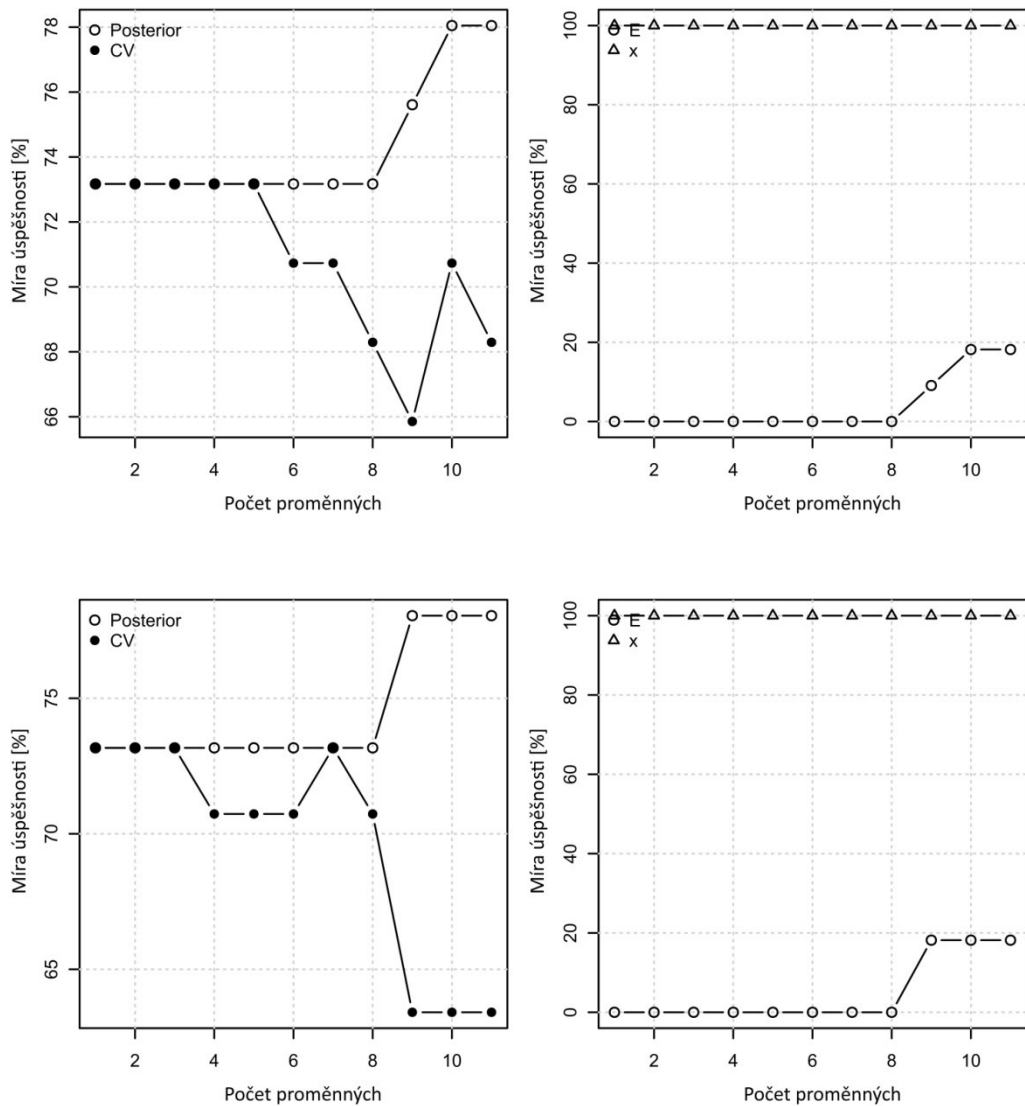


**Obr. 7:** Záznam úspěšnosti třídění mužů s rozdílnou hrobovou výbavou (E – s bohatou výbavou; x – bez bohaté výbavy) v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivé skupiny s odlišnou hrobovou výbavou. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.

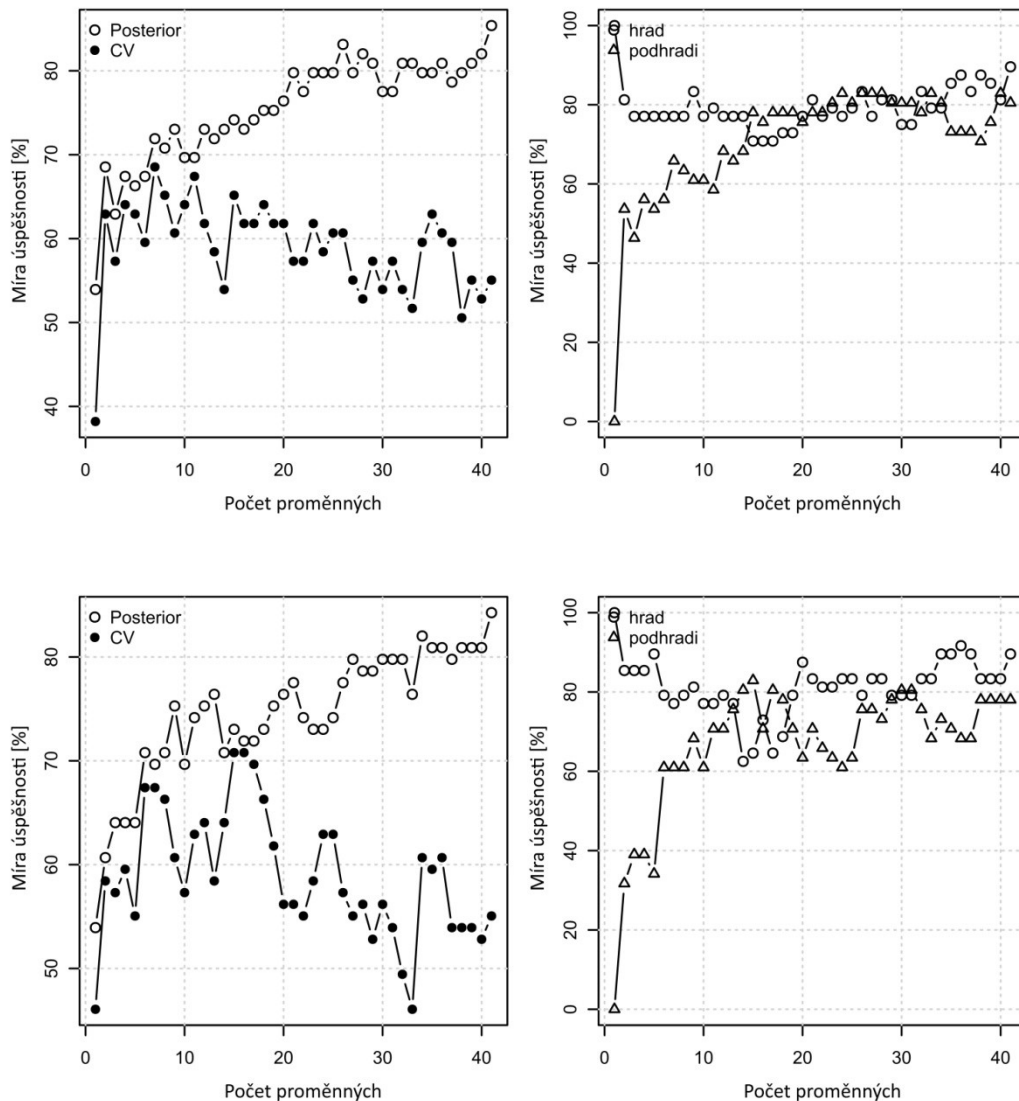




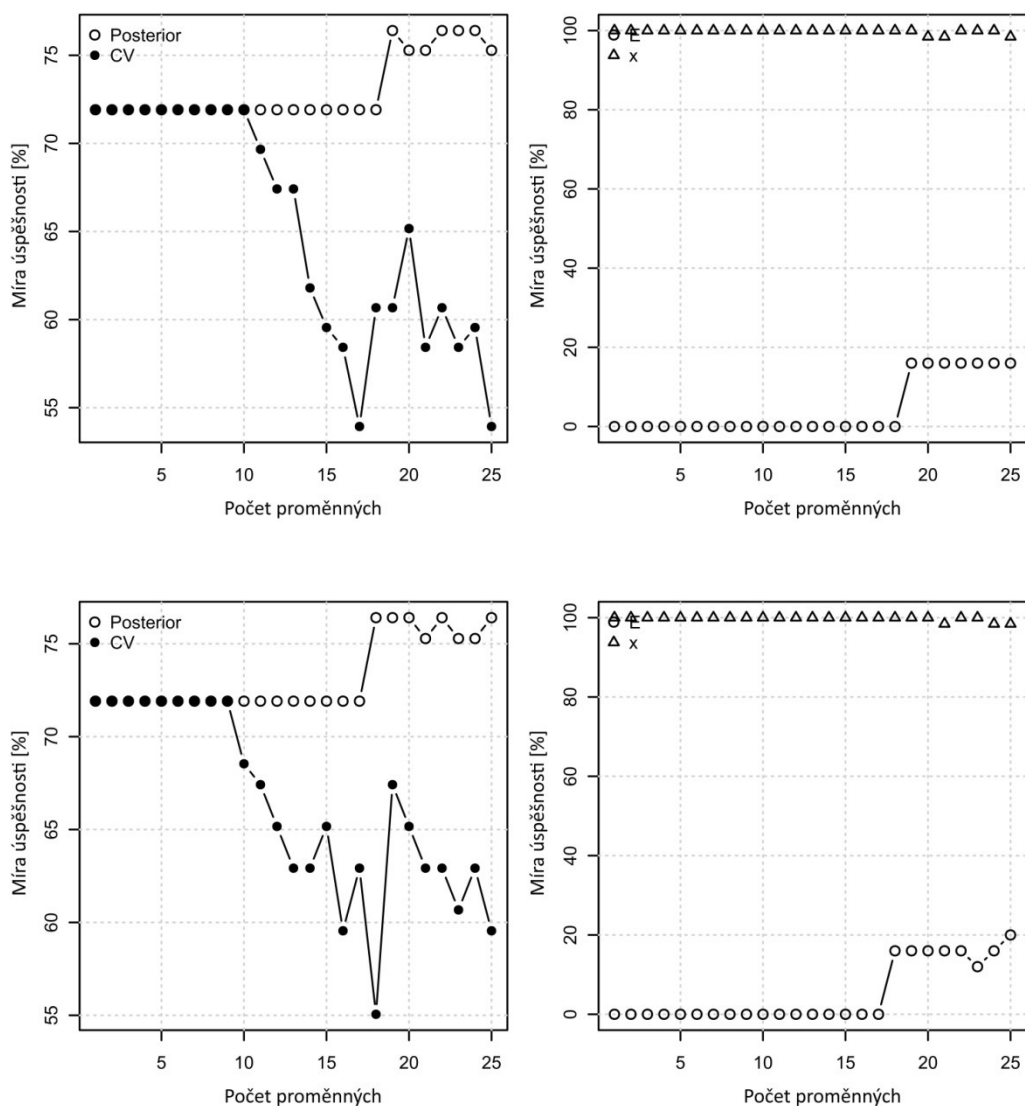
**Obr. 8:** Záznam úspěšnosti třídění žen z hradu a podhradí v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivé lokality. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



**Obr. 9:** Záznam úspěšnosti třídění žen s rozdílnou hrobovou výbavou (E – s bohatou výbavou; x – bez bohaté výbavy) v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivé skupiny s odlišnou hrobovou výbavou. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



**Obr. 10:** Záznam úspěšnosti třídění obyvatel hradu a podhradí v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivé lokality. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.



**Obr. 11:** Záznam úspěšnosti třídění obyvatel s rozdílnou hrobovou výbavou (E – s bohatou výbavou; x – bez bohaté výbavy) v závislosti na počtu použitých hlavních komponent. Na prvním grafu body Posterior udávají hodnotu podmíněné pravděpodobnosti správného rozřazení (z angl. posterior probability). Body CV udávají hodnotu úspěšnosti s použitím křížové validace (z angl. cross-validation). Druhý graf vyjadřuje hodnoty podmíněné pravděpodobnosti pro jednotlivé skupiny s odlišnou hrobovou výbavou. První řádek se vztahuje k formě, druhý k tvaru.