

Univerzita Karlova v Praze
Přírodovědecká fakulta
Studijní program: Biologie
Studijní obor: Ekologická a evoluční biologie



Michaela Jílková

Výživa ve středověké Evropě a stabilní izotopy
Diet in medieval Europe and stable isotopes

Bakalářská práce

Školitel: Doc. RNDr. Jaroslav Brůžek

Praha, 2015

Poděkování

Ráda bych na tomto místě poděkovala především svému školiteli Doc. RNDr. Jaroslavu Brůžkovi nejen za jeho odborné vedení a poskytnutí literárních pramenů a hodnotných rad, ale hlavně za jeho velkou trpělivost a přátelský přístup.

Prohlášení

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

V Praze, 10.5. 2015

Podpis

Abstrakt

V bioarcheologii jsou k rekonstrukci stravy stále častěji využívány analýzy poměrů stabilních izotopů v kosterním kolagenu, které se ukazují jako cenný nástroj, sloužící k pochopení života našich předků. Pomocí naměřených hodnot především izotopů uhlíku a dusíku je možné určit, zda analyzovaný jedinec využíval spíše terestrické či akvatické zdroje potravy, C3 nebo C4 rostliny, zda jeho hlavním zdrojem bílkovin byly rostlinné či živočišné produkty. Stabilní izotopy poskytují dále informace o případných rozdílech ve stravě jedinců různého pohlaví, socioekonomického statusu či různého věku. Také dálkový obchod a rezidenční mobilita mohou být studovány na základě izotopových poměrů. V kombinaci s poznatky archeologických disciplín nám tedy analýzy poměrů stabilních izotopů poskytují velmi cenné informace nejen o stravě, ale i o způsobu života historických populací. Na příkladě několika středověkých evropských populací byly zjištěny geografické a částečně i chronologické rozdíly v izotopových poměrech, odkazujících na rozdílnou stravu v jednotlivých oblastech a také na změny složení stravy během středověku.

Klíčová slova: Rekonstrukce stravy, stabilní izotopy, uhlík, dusík, středověk, kolagen

Abstract

Stable isotope analyses of human bone collagen are the valuable tool of the diet reconstruction in bioarchaeology. These analyses help to understand the lifestyle of our ancestors. Values of carbon and nitrogen stable isotope ratios show if an analysed specimen used more terrestrial or aquatic food sources, plants with C3 or C4 pathway of photosynthesis or whether his primary protein source were plants or animals. The stable isotopes also provide information about diet differences between different sexes, people with different socioeconomical status or different ages. We can study long-distance trade and residential mobility by results of isotope analyses. A combination of isotope ratios and archaeological knowledge provides valuable information not only about the diet but also about the lifestyle of historical populations. For example in several medieval European populations were discovered geographical differences and partly chronological differences which can be explained by the different diet in different localities and diet changes in Middle ages.

Key words: Diet reconstruction, stable isotope, carbon, nitrogen, Middle ages, collagen

Obsah

Teoretická část

1. Úvod	1
2. Rekonstrukce stravy na základě archeologických pramenů	2
2.1. Archeologické doklady	2
2.2. Historické prameny	3
2.3. Strava ve středověku.....	4
2.3.1. <i>Středověká strava obecně</i>	4
2.3.2. <i>Přírodní vlivy, působící na středověkou stravu</i>	5
2.3.3. <i>Sociokulturní vlivy</i>	6
3. Rekonstrukce stravy pomocí stabilních izotopů	8
3.1. Stabilní izotopy prvku	8
3.2. Zdroje a ukládání stabilních izotopů v lidském těle.....	8
3.3. Stabilní izotopy užívané při rekonstrukci stravy.....	8
3.3.1. <i>Uhlík</i>	9
3.3.2. <i>Dusík</i>	10
3.3.3. <i>Vodík</i>	12
3.3.4. <i>Kyslík</i>	12
3.4. Nepřímé souvislosti – rezidenční mobilita a izotopy	13
3.5. Metoda rekonstrukce stravy pomocí stabilních izotopů	14
3.5.1. <i>Části lidského těla využitelné v analýze</i>	14
3.5.2. <i>Příprava vzorku</i>	14
3.5.3. <i>Analýza vzorku</i>	15
4. Analýzy rostlinných a živočišných tkání	17
4.1. Studium lidské subsistence pomocí izotopové analýzy rostlinných a živočišných tkání	17
5. Izotopové analýzy z vybraných středověkých nalezišť v Evropě	18
6. Zpracování databáze izotopových poměrů	20
8. Závěr	27
9. Použitá literatura	28

Teoretická část

1. Úvod

Strava je nedílnou součástí života každého z nás, a jako takové je jí věnováno značné množství pozornosti. Jedním z oborů, jimiž se lze v souvislosti s touto problematikou zabývat, je historie lidské výživy. Velmi zajímavým úsekem této historie je potom evropská středověká strava vyvíjející se na pozadí velkých společenských, kulturních a environmentálních změn.

Široce rozšířenou metodou studia historické i současné výživy jsou analýzy poměrů stabilních izotopů určitých prvků v biologických materiálech (Reitsema, 2013). Principy těchto analýz jsou založeny na faktu, že těla všech živých organismů jsou tvořena látkami, které tyto tvorové získávají ze svého okolí, zpravidla skrze potravu. Látky přijaté v potravě prochází v tělech organismů metabolickými změnami a některé z nich jsou využity na tvorbu tkání či pletiv, ve kterých jsou pak po určitou dobu uchovávány. Chemické prvky se mohou přenášet potravními řetězci mezi různými organismy (van der Merwe & Vogel, 1978). Díky tomuto faktu můžeme studovat také původ jednotlivých prvků a látek tvořících naše těla. Stabilní izotopy dusíku, uhlíku či kyslíku jsou uchovávány například v kostním kolagenu a bioapatitu v zubech, což nám umožňuje analyzovat i historické vzorky, jelikož tyto části živočišných těl se zachovávají mnohem lépe a častěji než měkké tkáně (Müldner et al., 2009, Kovačiková & Brůžek, 2008).

Studium stabilních izotopů z tvrdých tkání lidských pozůstatků nám může napovědět mnohé o tom, jaký typ potravy tyto lidé preferovali, či k jakému měli přístup (van der Merwe & Vogel, 1978, Reitsema & Vercellotti, 2012, Barrett et al., 2008), ale také o tom, v jaké geografické oblasti žili (Schoeninger, 2010). Další užitečné informace o tom, jak lidé v minulosti žili a jak se starali o svá pole a domácí zvířata, získáváme studiem živočišných vzorků (Reitsema et al., 2013).

Cílem této práce je shromáždit a přehledně uspořádat poznatky týkající se studia poměrů stabilních izotopů používaných k rekonstrukci stravy se zaměřením na období středověku a dále vytvořit databázi hodnot poměrů stabilních izotopů ze středověkých nalezišť na evropském území a poté tyto hodnoty graficky zpracovat. V praktické části sledujeme tyto pracovní hypotézy:

- 1) rozdílné průměry izotopových hodnot pro jednotlivé lokality v souvislosti s převažujícími složkami potravy
- 2) možné rozdíly ve složení stravy v různých časových obdobích v jednotlivých státech

2. Rekonstrukce stravy na základě archeologických pramenů

Před využitím možnosti rekonstruovat stravu minulých populací pomocí stabilních izotopů byl historický jídelníček po desítky let sestavován pomocí poznatků z mnoha oborů. Informace o potravinách a pokrmech našich předků přinášely a dosud přináší například určité archeologické nálezy či historická literatura.

2.1. Archeologické doklady

Jedním ze způsobů získávání informací o stravě našich předků je studium archeologických pozůstatků z nalezišť po celém světě. Tyto nálezy, ať už se jedná přímo o zbytky pokrmů, kosti či kožní deriváty živočichů nebo části rostlin či odpad, nám mohou pomoci osvětlit nejen stravovací návyky historických populací, ale také způsob jejich života a podobu prostředí, ve kterém žily.

Studiem rostlinných a živočišných pozůstatků z minulosti a jejich vztahem k člověku se zabývají archeobotanika (v amerických státech známá spíše pod označením paleoetnobotanika či etnobotanika) (Ford, 1979) a archeozoologie (Reitz & Wing, 1999).

Systematický archeobotanický výzkum v Evropě započal v 50. letech 18. století pracemi Oswalda Heera, který studoval rostlinné pozůstatky z nalezišť ve Švýcarsku (Dennell, 2006). Pozůstatky rostlinných těl nám mohou poskytnout informace o domestikaci rostlin (Harris, 1967), zemědělství, ceremoniálních rostlinách, stravě našich předků a způsobech přípravy jejich pokrmů. Archeobotanická data mohou také přispět k porozumění sociálním rozdílům pomocí informací o hodovních návycích a přístupu k luxusním potravinám (Palmer & van der Veen 2002). V souvislosti se středověkými odpadními jámami a příkopy, latrínami a farmaceutickými nádobami uvádí Bosi et al. (2009) nálezy pecek, oříšků a dalších plodů mnoha druhů rostlin a dále množství semen. Tyto nálezy nám pomáhají pochopit nejen potravní chování středověké populace lidí, žijících v italském městě Ferrara, ale také jak tito lidé pěstovali užitkové rostliny a jak připravovali svá jídla.

První zmínka o zooarcheologii se objevuje v díle Sira Johna Lubbocka (1865), ten ve své knize popisuje pány Steenstrupa a Rüttimeyera zabývající se studiem živočišných pozůstatků, jako „zoologico-archaeologists“, tedy zooarcheology. Toto vědní odvětví se zabývá studiem živočišných pozůstatků, např. kostí, lastur, chlupů, šupin a kůže. Tradičně se tento obor v souvislosti s člověkem zaměřuje na studium lidské stravy a subsistence, domestikaci, rekonstrukci prostředí a historii hospodářství (Landon, 2005). Ashby (2002) ukazuje na příkladu živočišných pozůstatků z evropských středověkých nalezišť také možnost odhalení socioekonomického statusu pomocí informací o stravě. Stejně jako archeobotanika i archeozoologie nám poskytuje informace o tom, jak si lidé v minulosti připravovali jídlo - Wheat (1967) například na základě kosterních pozůstatků bizonů uvádí způsob porcování těchto zvířat americkými indiány z období 6500 před Kristem. Tyto informace je možné odvodit například z typu ran a vrypů zanechaných na kostech (Landon, 2005).

Dalším hodnotným zdrojem informací o stravě minulých populací jsou koprolity a dále obsah historických latrín, jímek a odpadních jam. Termín koprolit (Buckland, 1829) byl poprvé použit pro popis mineralizovaného dinosauřího trusu, do té doby považovaného za tzv. bezoárové kameny. Dnes se tento pojem používá k označení výkalů a vyschlého obsahu střev mumifikovaných ostatků. Obsah latrín, odkrytých na archeologických nalezištích, může zahrnovat části rostlin a živočichů, prošlých zaživacím traktem našich předků, dále například hyfy a spory hub nebo různá životní stadia parazitů (Reinhard & Bryant, 1992).

Z rostlinných pozůstatků můžeme v zachovalých výkalech objevit hlavně semena, a to díky jejich rezistenci vůči trávicím pochodům (Reinhard & Bryant, 1992). Pylová zrna nalezená v koprolitech nám mohou poskytnout informace o tom, jak se lidé v minulosti stravovali, ale také o prostředí, ve kterém žili (Martin & Sharrock, 1964, Callen, 1967, Bryant, 1974). Greig (1981) objevil v obsahu latríny z 15. století ve Worcesteru nejen množství pylových zrn, ale i pozůstatky různých rostlin, mezi jinými například semena angreštu. Kromě rostlinných zbytků uvádí také nálezy různých druhů hmyzu, někdy synantropního, zbytky kuřecích a rybích kostí a vajíčka dvou druhů parazitů. Netolitzky (1911) jako jeden z prvních vědců zabývajících se výzkumem lidských výkalů uvádí nález rybích kostí a šupin a také pozůstatků několika obilovin. Kromě kostí a šupin je možné v koprolitech a latrínách objevit také pozůstatky chlupů (Fry & Hall, 1975), peří a vaječných skořápek (Greig, 1981) a také lastury měkkýšů (Jones, 1988). Vajíčka a larvální stadia parazitů ze zachovalých výkalů nám mohou pomoci nejen při výzkumu infekcí a nemocí minulých populací, ale také při rekonstrukci stravy, jelikož některé druhy parazitů se mohou přenášet například v nedostatečně tepelně upraveném mase (Reinhard & Bryant, 1992).

V neposlední řadě nám informace o podobě stravy může poskytnout také výzkum opotřeby zubů. Postupné obrušování okluzních ploch může být způsobeno například nečistotami, které se do potravy dostávají při mletí mouky na kamenných mlýncích (Broca, 1879). Určitý typ potravin může ovlivnit stav dentice i jinak než obrusem, například žvýkání betelu způsobuje hnědé až černé zbarvení zubů (Reichert et al., 1985).

Studovat můžeme také přímo pozůstatky historických pokrmů, nalezených v dobových nádobách. Chemickou analýzou takovýchto zbytků můžeme získat alespoň hrubou představu o jejich původní podobě (Pavelka & Orna, 2011).

A konečně o tom, co naši předkové jedli, ale hlavně jak si jídlo připravovali, jak ho servírovali a pomocí čeho ho konzumovali, nás informují nálezy historického nádobí, kuchyňského náčiní a pozůstatky různých typů ohnišť a pecí (Beranová, 2005).

2.2. Historické prameny

Představu o tom, jak vypadala strava v minulosti, můžeme získat také z dobové literatury. Informace nám mohou poskytnout na příklad některé kroniky. Na tyto zdroje musíme ovšem pohlížet

kriticky, jelikož záznamy v nich nejsou vždy věrohodné (Beranová, 2005). Jako zdroj informací by mohly posloužit také dobová korespondence či deníky.

Přímé svědectví o tom, co naši předkové jedli, nám poskytují historické kuchařky. Nejstarší dochované kuchařské knihy a předpisy pochází z doby kolem 5. století před naším letopočtem z Řecka. Zřejmě první vcelku zachovalou kuchařskou knihou je Apiciova *De re coquinaria*. Z období středověku a raného novověku pochází například kuchařky Bartolomea Platina *O počestné rozkoši těla* (z roku 1474) a *Kniha kuchmisterská* Bavora Rodovského z Hustiřan (Beranová, 2005).

Podobu a složení historických pokrmů můžeme také vidět na mnoha dobových malbách či freskách. Například *Přebohaté hodinky vévody z Berry* bratrů z Limburka, vytvořené někdy kolem roku 1410, obsahují ilustraci panské hostiny.



Obrázek č.1 – Přebohaté hodinky vévody z Berry – Leden (*christusrex*)

2.3. Strava ve středověku

2.3.1. Středověká strava obecně

Za počátek středověku je nejčastěji pokládán rok 476 n. l., tedy rok, kdy padla Západořímská říše. Tímto rokem začalo v Evropě období velkých změn, trvající až do roku 1492, kdy byla objevena Amerika Kryštofem Kolumbem. Tato událost je obvykle brána jako počátek novověkých dějin. Lidská společnost v této době procházela mnoha proměnami, které se odrazily i na podobě stravy. Vlivem stěhování národů docházelo k mísení kultur, a tedy i prolínání kuchyní jednotlivých etnik. Řeckořímská, spíše vegetariánská kuchyně se mísila s „barbarskou“, která kladla mnohem větší důraz na lov a masitou stravu. Obrovský vliv nejen na potravní návyky středověké populace mělo také šíření se křesťanství (Montanari, 2003).

Zde jsou uvedeny některé základní znaky středověké stravy, jak je uvádí Beranová (2005) a Adamson (2004):

Významnou složkou byly obiloviny. Kaše, chléb a další pečivo byly součástí jídelníčku jak chudých, tak bohatých. Méně movití ovšem do mouky někdy přidávali prášek z různých rostlin, například laskavce nebo rdesna. Do jídelníčku chudších vrstev patřilo také proso, ze kterého byly připravovány kaše, či se přidávalo do polévek. Často jím byla také krmena domácí zvířata. Další obilninou, která se v raném středověku dostala do Evropy, a to díky expanzi Arabů, byla rýže. Ve třináctém století se s touto obilninou obchodovalo jako s luxusním zbožím a koncem středověku už se pěstovala na severu Itálie.

Další složkou jídelníčku byly luštěniny. Fazole patřily opět mezi potraviny chudých a mnichů, zatímco hrách požívaly jako postní jídlo a zdroj proteinů v zimním období i vyšší vrstvy. Významnou složkou středověké stravy byla také různá zelenina, od česneku a cibule, přes okurky, které byly využívány také proti horečce, až po chřest, který se připravoval různými způsoby a mimo jiné byl považován za mužské afrodiziakum. Z ovocných plodů byly oblíbeny hrušky, jablka a různé peckoviny.

Maso hrálo významnou roli především ve stravě vyšších vrstev, majetní si totiž mohli dovolit čerstvé maso mnohem častěji. Konzumovaly se snad všechny části zabitého zvířete, včetně vnitřností, tuku, krve a morku. Významný podíl zpracovávaného masa tvořila zvěřina. Kulinařsky se zpracovávala i dnes poněkud neobvyklá zvířata, jako například veverky, bobří, želvy nebo drobní ptáci. Hospodářská zvířata se chovala nejen kvůli masu, ale také pro mléko, ze kterého se vyrábělo také množství mléčných výrobků. Součástí středověké stravy bylo také velké množství různé zeleniny a ovoce, ať už čerstvé, nebo jako ingredience v různých pokrmech.

K dochucování jídel se používaly nejrůznější druhy koření, dováženého i domácího (Laurieux, 1985). Ke slazení pokrmů se ve středověku nepoužíval cukr, ale med. Cukr do Evropy, konkrétně Španělska, přivezli až Arabové a z počátku sloužil jako léčivo a sladit jídlo cukrem si mohly dovolit jen nejbohatší vrstvy (Adamson, 2004, Laurieux, 1985).

Středověká strava byla různorodá. Podoba jídel se různila podle krajevých zvyklostí a možností, ale také podle toho, komu byla určena. Strava poddaných byla mnohem chudší, zatímco příslušníci vyšších společenských vrstev si mohli dopřávat nejrůznější lahůdky a luxusní potraviny.

2.3.2. Přírodní vlivy, působící na středověkou stravu

Velký vliv na stravu lidské populace mají přírodní podmínky, ve kterých tato populace žije. Soubor těchto faktorů určuje složení rostlinných a živočišných druhů žijících na různých místech naší planety. V dnešní globalizované době jsou stejné potraviny dostupné téměř po celém světě, ale ve středověku tomu tak nebylo. Lidé se živili hlavně tím, co rostlo a žilo v jejich nejbližším okolí.

V době středověku měly na složení stravy velký vliv klimatické výkyvy. Přibližně od 9. do 13. století panovalo na Zemi tzv. středověké klimatické optimum (Lamb, 1965, Hughes & Diaz, 1994), vyznačující se vyššími průměrnými teplotami a úhrny srážek na mnoha místech planety. V tomto období docházelo k úbytku ledu v arktických oblastech. Průměrné teploty na mnoha místech světa se zvýšily zhruba o 1-2 °C, jinde, jako například v Grónsku, až o 4 °C, což mělo za následek tání permafrostu - to dokazují nálezy kořenů rostlin v dnes trvale zmrzlé půdě (Lamb, 1965). Dalším důkazem oteplení jsou pozůstatky kolonií norských námořníků v Grónsku a na Newfoundlandu (Hughes & Diaz, 1994). Horní hranice lesa ve střední Evropě byla o několik set metrů výše. Firbas a Losert (1949) uvádí, že tato hranice poklesla mezi 14. a 17. stoletím o 100-200 m. Ve střední Evropě se tehdy pěstovalo víno v severnějších oblastech a ve vyšších nadmořských výškách než dnes. Množství vinic se v této době nacházelo také na jihu Anglie (Lamb, 1965, Montanari, 2003). Příznivé klima středověku umožňovalo pěstovat zemědělské plodiny i tam, kde to dříve nebylo možné. Také obilniny se pěstovaly ve vyšších polohách (Firbas & Losert, 1949). Díky teplému počasí se prodloužilo i vegetační období (Yoder, 2010).

Od 11. do 13. století probíhalo intenzivní kácení lesů a jejich přeměna na zemědělskou půdu, stejný osud potkal i většinu luk. Zvýšení zemědělské produkce bylo spojeno také s populačním růstem. Tento proces byl ovšem narušován hladomory objevujícími se po celé Evropě (Montanari, 2003). Zvyšování počtu obyvatel Evropy vedlo ke vzrůstu urbanizace a mnoho lidí opouštělo své farmy, aby se usadili v rozrůstajících se městech (Yoder, 2010).

Další změna klimatu nastala v pozdním středověku, kdy docházelo ke znatelnému ochlazení a rozšiřování horských ledovců nejen v Evropě. Následné chladnější období, trvající přibližně 400 let, je označováno jako tzv. Malá doba ledová (Mann, 2002). Nástup chladného a nepředvídatelného počasí měl za následek další hladomory (Montanari, 2003).

2.3.3. Sociokulturní vlivy

Značný vliv na podobu stravy má i sociokulturní prostředí. Na jídelníček působí společenská a náboženská pravidla, mění se obchodní styky a mnohé další faktory.

Od 4. do 6. století docházelo v Evropě k tzv. stěhování národů. Bylo to období velkých změn, prolínání kultur a utváření nové evropské společnosti. Římská kultura se mísila s „barbarskou“, kterou představovaly germánské kmeny, pronikající na území bývalé Římské říše. Římská kuchyně kladla velký důraz na rostlinnou potravu, byla velmi závislá na zemědělství, zatímco Germáni preferovali lov a maso tvořilo mnohem větší podíl v jejich stravě. Řím nabádal ke střídmosti a rovnováze, v germánské kultuře byli jedlíci naopak oslavováni hrdinové (Montanari, 2003). Na těchto protichůdných základech se vytvořila nová středověká kuchyně.

Velmi významný vliv na středověké stravování mělo šířící se křesťanství. Křesťanská církev kladla velký důraz na některé potraviny, využívané mimo jiné při církevních ceremoniích – chléb, víno a olej. Tyto potraviny měly značný symbolický význam. V některých dřívějších pohanských

rituálech se naopak uplatňovalo pivo (Montanari, 2003), původně nechmelené, zato s přidavkem různých bylin či například malin (Beranová, 2005). S vývojem křesťanství se rozšířil také půst. Původně byly půsty dodržovány jako součást mnišských řeholí či pokání (Montanari, 2003), ale během středověku došlo k jejich rozšíření i mimo církevní společnost. Odřikání masa a dalších potravin bylo charakteristické pro mnoho dní v roce. Lidé se postili v období adventu, před Velikonocemi, dále například každý pátek a středu a dodržovalo se také množství svátečních půstů. Restrikce se původně vztahovaly na všechny druhy masa, postupem času se ovšem jako postní jídlo začali tolerovat například ryby, raci, žáby, hlemýždi nebo bobří (Beranová, 2005).

Změny se ve středověku nevyhnuly ani zemědělskému systému. Dosavadní dvojpolejší systém se zhruba v polovině středověku změnil na systém trojpolejší, který umožnil lepší regeneraci půdy a zvýšení výnosů zemědělských plodin (Cooter, 1978).

Také lovecké možnosti se měnily. Právo lovit se postupně omezovalo na stále menší okruh lidí a lovecká privilegia se tak nakonec vztahovala pouze na nejvyšší vrstvy (Beranová, 2005).

Středověká strava se také neomezovala pouze na evropské potraviny, při přípravě mnoha pokrmů byly využívány i dovážené pochutiny. Jídla se kořenila například pepřem, zázvorem nebo skořicí (Laurioux, 1985). Obchodovalo se také s mořskými rybami, které se vozily do vnitrozemí. Čerstvé mořské ryby si mohly dopřát spíše vyšší vrstvy a to pouze do vzdálenosti přibližně 150 km od pobřeží, dál nebylo možné ryby dopravit, aniž by se zkazily. Proto se (nejen mořské) ryby často konzervovaly – udily, sušily či nasolovaly. Takto upravené je bylo možno dopravit mnohem dál. Konzervované ryby byly ovšem pokládány za jídlo chudých (Hoffmann, 2001). Pro středověk je charakteristický nárůst významu ryb, jakožto potraviny, jelikož na rybí maso se nevztahoval postní zákaz (van Dam, 2009).

Jak je vidět, na stravu ve středověku působilo mnoho faktorů, přírodních i společenských. Tak, jak se formovala a měnila Evropa, měnila se i lidská strava. Tyto změny nám kromě různých archeologicko – historických pramenů mohou pomoci pochopit analýzy poměrů stabilních izotopů. Takovéto analýzy mají oproti výše zmíněným archeologickým metodám tu výhodu, že vypovídají o tom, co skutečně naši předkové konzumovali – nález kuřecích kostí v jímce archeologického naleziště ještě nemusí nutně znamenat, že onen kur byl zkonsumován člověkem, kdežto izotopová analýza lidské kostry může jednoznačně potvrdit konzumaci živočišných proteinů. Neřekne nám sice, zda bylo snědono ono kuře, či zda to byla kachna, ale víme-li z výsledků izotopové analýzy, že jedinec požíval živočišné proteiny a máme-li kuřecí kosti ze stejné lokality a jejich izotopové hodnoty, můžeme po jejich porovnání tvrdit, zda tento člověk pojídal či nepojídal kuřata, s mnohem větší jistotou.

3. Rekonstrukce stravy pomocí stabilních izotopů

3.1. Stabilní izotopy prvku

Atomy jednotlivých chemických prvků se v přírodě vyskytují v různých formách. Jako izotopy (izotopické nuklidy) se označují atomy, které mají stejný počet protonů a elektronů, ale liší se počtem neutronů v jádře. Některé tyto izotopy jsou nestabilní, radioaktivní a jejich jádra se samovolně přeměňují na jádra jiných prvků, zatímco jiné izotopy jsou stabilní. Například uhlík se v přírodě vyskytuje ve formách $^{12}_6\text{C}$ a $^{13}_6\text{C}$ - stabilní izotopy, a $^{14}_6\text{C}$, což je radioaktivní forma uhlíku. Izotopy prvků mají stejné chemické vlastnosti, ale liší se svými fyzikálními vlastnostmi (Schoeninger, 2010, Hoefs, 2004). Hmotnostní rozdíly izotopů vedou k lehce odlišné reakční kinetice a různým vazebným energiím (Schoeller, 1999), díky čemuž je možné využít je v různých chemických analýzách.

3.2. Zdroje a ukládání stabilních izotopů v lidském těle

Izotopy různých prvků se účastní mnoha reakcí nejen v přírodě, ale také v živých organismech. Prostřednictvím potravy se do našich těl dostávají různé živiny, které jsou pak v těle metabolizovány a distribuovány dle aktuální potřeby a jsou reflektovány tkáněmi konzumenta. Tento vztah není přímý, ale je ovlivněn konzumentovou fyziologií přes proces zvaný frakcionace (Reitsema, 2013), což je částečná separace izotopů stejného prvku během fyzikálních nebo chemických procesů (Mcglynn, 2007). Existují tedy rozdíly v relativním izotopovém zastoupení prvků, pocházejících z konzumenta a z jeho potravy (Schoeller, 1999), přičemž záleží také na typu analyzované tkáně. Jak uvádí (Tieszen et al., 1983), zjištěné hodnoty se liší u různých typů měkké tkáně (játra, svalovina, tuk...), a liší se i v případě analýzy dentinu a kostních vzorků (Reitsema & Vercellotti, 2012).

Chemické prvky se v přírodě předávají mezi jednotlivými organismy prostřednictvím vztahů v potravních řetězcích. Poměry stabilních izotopů svědčí krom informace o původu izotopů - např. suchozemské/vodní zdroje (Schoeninger and DeNiro, 1984) také o pozici jedince na určité trofické hladině (McConnaughey & McRoy, 1979, Post, 2002).

Kromě rekonstrukcí potravních vztahů a složení stravy můžeme pomocí stabilních izotopů zkoumat také fyziologické procesy probíhající v lidském těle a díky vlivu patofyziologií na frakcionaci také lidské zdraví (Reitsema, 2013).

3.3. Stabilní izotopy užívané při rekonstrukci stravy

Jak již bylo zmíněno, analýza poměrů stabilních izotopů v tělesných tkáních jedince nám může poskytnout informace o podobě jeho stravy, jelikož izotopové hodnoty lidských tkání do značné míry reflektují směs veškerých izotopových hodnot požitě potravy a nápojů, a díky tomu, že různé typy potravy mají odlišné izotopové složení (McGlynn, 2007). Touto metodou je možné analyzovat složení stravy dosud žijících jedinců, ale je také možné aplikovat ji na fosilní materiál, což nám umožňuje rekonstruovat podobu stravy historických jedinců a populací (DeNiro & Epstein, 1978).

Vůbec první pokusy o rekonstrukci stravy minulých populací nacházíme u pánů van der Merwa a Vogela (1977, 1978), kteří se zabývali stravou historických populací Severní Ameriky, hlavně pak podílem C4 rostlin v jejich jídelníčku.

Z výsledků analýzy se nedá určit, zda zkoumaný jedinec večeřel třikrát týdně kance a snídal ovesnou kaši, ale přesto je jejich přínos značný. Stabilní izotopy nám pomáhají určit širší okruh potravních zdrojů, které historičtí jedinci využívali (Reitsema, 2013). Můžeme například zjišťovat, jak velký podíl ve stravě tvořily C4 rostliny (Vogel & van der Merwe, 1977), nebo co bylo pro dané jedince hlavním zdrojem proteinů – zda to byly rostliny nebo živočichové a zda živočišné zdroje proteinů pocházely z terestrických či mořských ekosystémů (Müldner & Richards, 2005). Dále je možné určit stupeň karnivorie (McGlynn, 2007), pro lidské populace spíše odlišit jedince s vegetariánskou stravou od těch, co se živili také masem.

Pomocí stabilních izotopů lze také zjišťovat rozdíly ve složení stravy uvnitř jednotlivých populací. Porovnáním izotopových poměrů lze zjistit, zda a jak se lišila strava jedinců s odlišným socioekonomickým statusem (Müldner et al., 2009). Dále můžeme objevit odlišnosti v podobě jídelníčků mužů a žen, případně zda se dětská strava nějak lišila od té, kterou konzumovali dospělí jedinci (Reitsema & Vercellotti, 2012).

Velkou výhodou analýzy stabilních izotopů je to, že nám podává přímé svědectví o lidské stravě na úrovni jedince z dlouhodobého a obecného hlediska, na rozdíl od tradičních environmentálně archeologických metod, které nám přináší informace o specifických potravinách. Společně s dalšími nepřímými svědectvími o lidské stravě, jako jsou archeologické artefakty či analýzy rostlinných a živočišných pozůstatků, nám poskytuje mnohem jasnější obraz subsistenčních praktik člověka, než bylo možné získat v minulosti (McGlynn, 2007).

Nebezpečí pro izotopové analýzy představují post-depoziční procesy, způsobující degradaci či znehodnocení kolagenu, což je nutné při analýze vzorků zohlednit (Reitsema, 2012).

3.3.1. Uhlík

Pro rekonstrukci stravy se využívají relativní poměry dvou stabilních izotopů uhlíku, a to ^{12}C a ^{13}C . Hlavním zdrojem těchto izotopů pro živé organismy je atmosférický CO_2 , který je fixován rostlinami během fotosyntézy (Schoeninger, 2010). Atmosférický CO_2 obsahuje přibližně 1,1% ^{13}C a 98,9% ^{12}C . Během fotosyntézy rostliny diskriminují ^{13}C , díky jeho nepatrným hmotnostním odlišnostem, od ^{12}C (O'Leary, 1988). Různé rostliny se mohou lišit typem fotosyntézy, přičemž pro rekonstrukci stravy jsou důležité hlavně C3 a C4 cesta fotosyntézy. Mezi C3 rostliny patří většina druhů mírného pásu, C4 rostliny jsou hlavně druhy adaptované na teplé aridní klima – z kulturních plodin například kukuřice, proso nebo cukrová třtina. C4 rostliny mají díky svému typu fotosyntézy vyšší poměr $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ($\delta^{13}\text{C}$) oproti C3 rostlinám, což vede také k vyššímu poměru $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ u jejich konzumentů (Vogel & van der Merwe, 1977). Průměrný relativní poměr $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ pro C3 rostliny se

pohybuje okolo -26‰ až - 28‰, pro C4 rostliny kolem -12‰, poměry pro rostliny s CAM fotosyntézou se velmi podobají C4 rostlinám (Schoeninger, 2010).

Zastoupení stabilních izotopů uhlíku ve tkáních rostlinných konzumentů závisí jak na typu zkoumané tkáně, tak na původu potravy (DeNiro & Epstein, 1981). Z hodnot $\delta^{13}\text{C}$ můžeme také zjišťovat, zda jedinec využíval spíše suchozemské nebo mořské zdroje potravy, ale to pouze v případě, že u něj není možnost využívání C4 rostlin (Schoeninger & DeNiro, 1984). Průměrné izotopové hodnoty různých druhů potravy a jejich konzumentů jsou uvedeny v Tabulce č.1.

V bioarcheologii nám poměr stabilních izotopů uhlíku poskytuje informace o konzumaci rostlinné potravy, o pozici daného jedince v trofickém řetězci a o domestikaci či importu nových rostlin (Kovačiková & Brůžek, 2008).

Tabulka č.1 Průměrné hodnoty izotopových poměrů uhlíku v jednotlivých zdrojích potravy

Strava	Průměrný izotopový poměr	Poměr u konzumenta
C3 rostliny	-26,5‰	-21,5‰
Maso C3 býložravce	-25,5‰	-20,5‰
C4 rostliny	-12,5‰	-7,5‰
Maso C4 býložravce	-11,5‰	-6,5‰
Mořský plankton	-19,5‰	-14,5‰
Maso mořského býložravce	-18,5‰	-13,5‰
Maso mořského masožravce	-17,5‰	-12,5‰

Podle Chrisholm, 1989

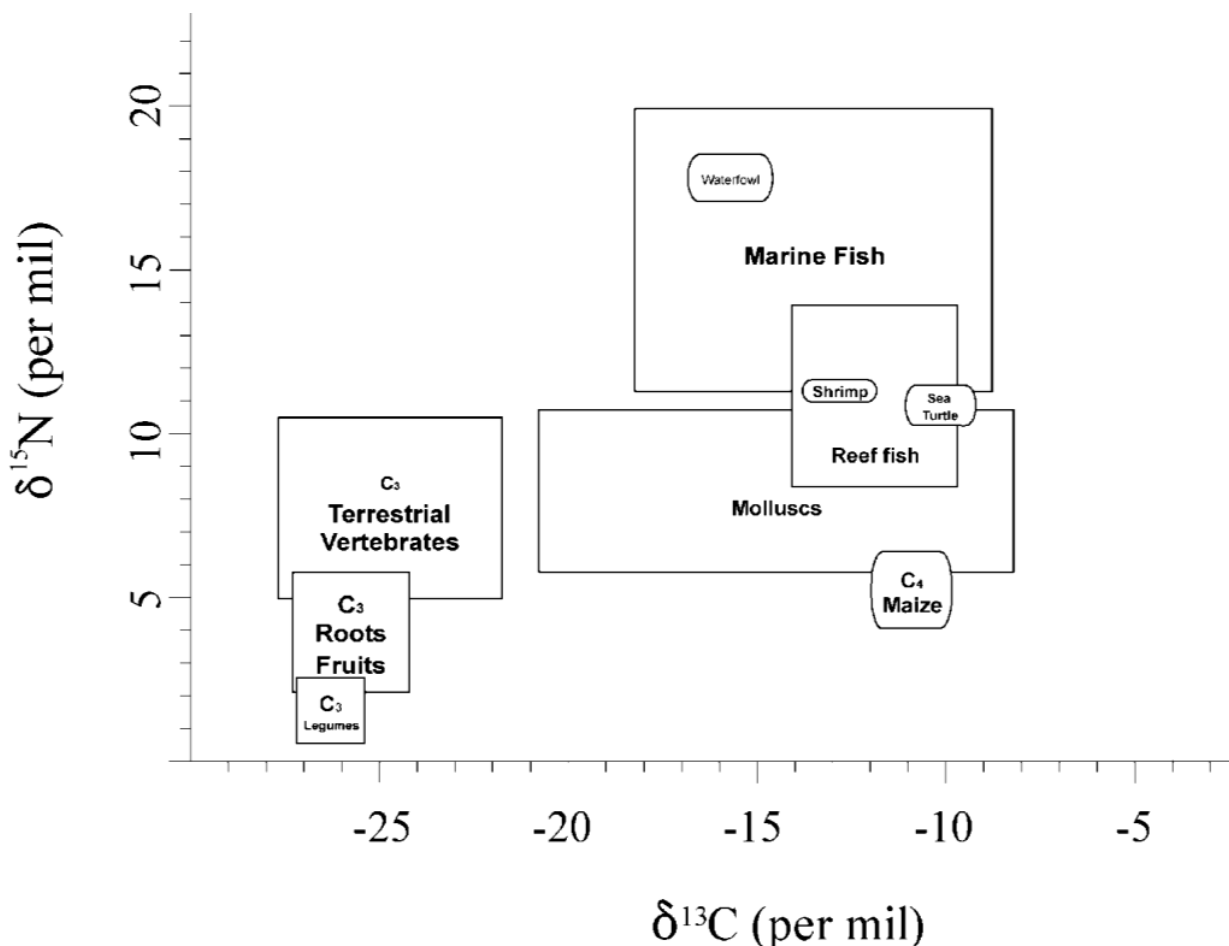
3.3.2. Dusík

Dalším významným prvkem pro rekonstrukci stravy je dusík, který se vyskytuje ve dvou formách stabilních izotopů – ^{15}N a ^{14}N . Primárně se dusík v přírodě vyskytuje v atmosféře a mořské vodě (McGlynn, 2007). U rostlin závisí poměr $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ ($\delta^{15}\text{N}$) primárně na tom, zda získávají dusík z půdních nitrátů nebo jeho fixací z atmosféry, pomocí symbiotických bakterií (Kovačiková & Brůžek, 2008). U rostlin fixujících dusík z atmosféry se jejich izotopové složení podobá poměru $\delta^{15}\text{N}$ v atmosféře (atmosférický $\delta^{15}\text{N} = 0,0\text{‰}$ (Schoeninger, 2010)), u rostlin, které vzdušný dusík nefixují je $\delta^{15}\text{N}$ blízký poměru v médiu, na kterém rostou (Delwiche & Steyn, 1970). Zastoupení jednotlivých izotopů dusíku ovlivňuje také klima – například Schwarcz, Dupras a Fairgrieve (1999) uvádějí vyšší hodnoty $\delta^{15}\text{N}$ v aridních oblastech.

Tkáně konzumentů rostlinné potravy reflektují poměry izotopů dusíku z potravy, ale vykazují vyšší inkorporaci ^{15}N než ^{14}N . Zjištěná hodnota opět závisí na analyzované tkáni (DeNiro & Epstein, 1981). Mořští živočichové vykazují vyšší hodnoty poměru $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ než suchozemští, což se projevuje také u jejich konzumentů. Schoeninger a DeNiro (1984) naměřili v průměru o 9‰ vyšší hodnoty u

živočichů krměných výlučně potravou z mořského prostředí, oproti živočichům, krměným výhradně ze suchozemských zdrojů.

Relativní poměry $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ nám mohou osvětlit také potravní vztahy, jelikož rozdíly v $\delta^{15}\text{N}$ se mezi jednotlivými trofickými úrovněmi různých organismů pohybují okolo 3‰ (Schoeninger & DeNiro, 1984, Minagawa & Wada, 1984). S tímto faktem také souvisí možnost využít stabilní izotopy k výzkumu doby kojení a zjišťování odstavného věku u historických populací (Richards et al., 2002).



Obrázek č.2 – Izotopové poměry různých potravních zdrojů (Tykot, 2004 (upraveno))

Výsledky analýz relativních poměrů stabilních izotopů uhlíku a dusíku se nejčastěji vyhodnocují společně, jelikož teprve jejich kombinace a porovnání s archeologickými prameny nám poskytuje ucelený pohled na podobu stravy našich předků.

Na základě kombinace těchto poznatků uvádí Quintelier et al. (2013) signifikantní rozdíly v jídelníčku mužů a žen z belgického karmelitánského kláštera z období 16. – 18. století, přičemž muži měli v potravě vyšší podíl mořských i suchozemských živočišných bílkovin. Reitsema a Vercellotti (2012) objevili odlišnosti ve stravě obyvatel severoitalského Trino Vercellese (8. – 13. st.) jak u mužů a žen, tak i u jedinců s odlišným socioekonomickým statutem – ženy (s vysokým i nízkým statutem) se stravovaly podobně, vysoce postavení muži konzumovali více živočišných proteinů než

ženy a muži s nižším statutem. Zároveň se lišila strava žen a nízko postavených mužů. Částečně se lišila také strava privilegovaných a „chudých“ dětí. Obecně byla výživa této populace založena na terestrických zdrojích a obsahovala podíl C4 rostlin, pravděpodobně prosa. Halffman a Velemínský (2015) na základě izotopové analýzy kosterních pozůstatků z raně středověkého velkomoravského pohřebiště Mikulčice-Kostelisko uvádějí, že strava tamější populace zahrnovala hlavně suchozemské zdroje, včetně rostlinných i živočišných proteinů. Zvýšené hodnoty $\delta^{13}\text{C}$ naznačují, že důležitým komponentem stravy těchto jedinců bylo prosa, a zvýšené $\delta^{15}\text{N}$ ukazují na výskyt živočišných produktů v jídelníčku. Kaupová et al. (2014) pomocí izotopových poměrů uhlíku a dusíku studovali výživu několika desítek nedospělých jedinců z velkomoravských nalezišť Mikulčice a Josefov. Při výzkumu raně středověkých hřbitovů v Bavorsku Hakenbeck et al. (2010) zjistili, že se jídelníček v této oblasti obecně skládal hlavně z produktů C3 rostlin a živočišných proteinů. U některých žen z analyzované skupiny byla zjištěna větší variabilita ve složení stravy, což může naznačovat migraci a tedy přístup k rozdílným zdrojům potravy. Bourbou et al. (2011) na základě izotopových hodnot osmi řeckých populací z 6. – 15. století uvádí důkazy konzumace potravy z mořských zdrojů v pobřežních i vnitrozemských oblastech, což vypovídá o dobře organizovaném obchodě s rybami. Ryby a mořské plody mohly být součástí jídelníčku omezeného postními pravidly ortodoxní církve, což naznačuje fakt, že studie z předchozích historických období Řecka ryby jako významný zdroj potravy neuvádí.

3.3.3. Vodík

Vodík se v přírodě vyskytuje ve dvou stabilních izotopech - ^1H a ^2H . Díky relativně velkému hmotnostnímu rozdílu mezi těmito dvěma izotopy vodík vykazuje vysokou pozitivní frakcionaci při výparu vody z listů a vysokou negativní frakcionaci při syntéze organických sloučenin rostlinami (Schoeninger, 2010, White, 1989). Hlavním zdrojem vodíku pro rostliny je voda. Vodní pára je oproti kondenzované vodě ochuzená o ^2H a voda z různých zdrojů vykazuje různý poměr $^2\text{H}/^1\text{H}$ (Ziegler, 1989, Bowen et al., 2005). Pokud organismy žijí v odlišných biomech nebo se mezi nimi pohybují, je možné pomocí poměru vodíkových izotopů, které získávají ve vodě a potravě z rozdílných zdrojů, vysledovat původ či rekonstruovat pohyb těchto organismů (Bowen et al., 2005). Birchall et al. (2005) uvádějí, že existuje také silný vztah mezi poměrem $\delta^2\text{H}$ a pozicí terestrických i vodních konzumentů v potravním řetězci. Reynard a Hedges (2008) pomocí $\delta^2\text{H}$ analyzovali trofické úrovně lidských i živočišných jedinců z různých časových období a různých nalezišť v Evropě a uvádí, že $\delta^2\text{H}$ se zvyšuje směrem od herbivorů k všežravcům a k člověku v jednotlivých úrovních o 10 - 30‰.

3.3.4. Kyslík

Kyslík se přirozeně vyskytuje ve třech stabilních izotopech, a to ^{16}O , ^{17}O a ^{18}O . ^{16}O je nejrozšířenějším izotopem kyslíku na Zemi – představuje 99,765% atomů kyslíku, ^{18}O představuje 0,1995% a ^{17}O je velmi vzácný (McGlynn, 2007). Obvykle se pro izotopovou analýzu využívají jen ^{16}O a ^{18}O , díky jejich většímu hmotnostnímu rozdílu (Schoeninger, 2010).

Kyslík je přítomen v atmosféře a ve vodě a prostřednictvím pitné vody a vody v potravě se dostává do těl organismů, kde je zabudováván do jejich tkání. Různé vodní zdroje (jezera, ledovce, studny...) obsahují různé množství ^{18}O . Variabilita $\delta^{18}\text{O}$ je způsobena klimatickými a geografickými rozdíly – především množstvím srážek a kolísáním teplot během roku. Díky variabilnímu poměru kyslíkových izotopů ve vodních zdrojích z různých geografických oblastí je možné rekonstruovat migrační cesty živočichů (Kovačiková & Brůžek, 2008). Také lidé nesou ve svých tkáních izotopový záznam z vody, kterou pijí v místě svého pobytu. Tento záznam je dobrým ekologickým znakem určujícím okolí, ve kterém daný jedinec žil, nebo oblast, ve které se pohyboval – rezidenční mobilitu (McGlynn, 2007). Pomocí porovnání $\delta^{18}\text{O}$ zjištěného v zubní sklovině a v kostech můžeme například zjistit, zda daný jedinec žil po celý život na jednom místě, nebo zda se během života přesunul z místa svého narození do jiného regionu. Toto je možné díky faktu, že zubní sklovina je formována v raném dětství, zatímco izotopový záznam v kostní tkáni odpovídá několika posledním letům života (Schoeninger, 2010).

3.4 Nepřímé souvislosti – rezidenční mobilita a izotopy

S rekonstrukcí stravy pomocí stabilních izotopů souvisí také výzkum rezidenční mobility, jelikož izotopy z různých geografických oblastí se do lidského těla dostávají prostřednictvím potravy a vody, kterou lidé na místě svého pobytu využívají.

Jedním z nejpoužívanějších izotopů pro výzkum migrace lidí a živočichů je stroncium. V přírodě se vyskytuje ve čtyřech různých stabilních izotopech – ^{84}Sr , ^{86}Sr , ^{87}Sr a ^{88}Sr . Izotop ^{87}Sr je radiogenní, vzniká rozpadem radioaktivního rubidia. Zastoupení ^{87}Sr a tedy i poměr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ tedy závisí na počátečním poměru Rb/Sr a stáří analyzovaného minerálu či horniny (Bentley, 2006, Budd et al., 2004). $\delta^{87}\text{Sr}$ v přirozených materiálech přibližně odpovídá geologickému stáří substrátu. Geologicky starší horniny mají tento poměr vyšší než horniny geologicky mladší (Kovačiková & Brůžek, 2008). Stroncium z erodujících hornin se dostává do půdy a poté prostřednictvím potravních řetězců i do lidských těl, kde nahrazuje vápník v kosterních minerálech (Bentley, 2006). Oproti výše zmíněným izotopům stroncium nevykazuje signifikantní frakcionaci při průchodu potravními řetězci (Ericson, 1985) a charakteristický poměr jeho izotopů v konkrétních geografických oblastech a jeho perzistence v lokálních zdrojích potravy a tkáních konzumentů (včetně člověka) poskytuje základ pro rekonstrukci místa pobytu v době, kdy se tkáň formovala (Budd et al., 2004).

Åberg et al. (1998) na základě analýzy izotopových poměrů stroncia a olova v zubech z několika oblastí v Norsku a porovnání středověkých a současných vzorků uvádějí snadnou možnost určení původu jedince (města při pobřeží moře/venkovská síla). Z jejich studie dále vyplývá, že lidé se v historii živili lokálními produkty, zatímco v dnešní době lidé konzumují spíše importované a průmyslově upravené potraviny.

3.5. Metoda rekonstrukce stravy pomocí stabilních izotopů

3.5.1. Části lidského těla využitelné v analýze

K analýze poměrů stabilních izotopů z historických jedinců se nejčastěji využívají vzorky z kostí a zubů (Lightfoot et al., 2012, Kjellström et al., 2009, Barrett & Richards, 2004, Bourbou et al., 2011, Knipper et al., 2013, Reitsema & Vercellotti, 2012), jelikož tvrdé tkáně se oproti měkkým (až na vzácné případy) lépe a častěji dochovávají. Konkrétně je analyzován kosterní kolagen – protein tvořený aminokyselinami, které jsou produktem reakcí rozkládajících složité komponenty z potravy a vlastních živočišných tkání, přičemž poměr $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ v kolagenu se liší od tohoto poměru v potravě. Obvykle je kostní kolagen vůči potravě obohacen o ^{13}C , a to díky tomu, že vazba ^{12}C se snáze porušuje a ^{12}C se tedy z organismu vyloučí relativně více (Schoeninger, 2010). Pokud se jedná o zuby, je možné provádět analýzu dentinu (Reitsema & Vercellotti, 2012, Richards et al., 2002) nebo zubní skloviny (Wright & Schwarcz, 1998). Při výzkumu prováděném na materiálu ze současnosti, nebo v případě jejich zachování, je možné analyzovat i měkké tkáně (DeNiro & Epstein, 1981). Při výzkumu prováděném na lidských jedincích žijících v současnosti je izotopová analýza prováděna z vlasů či nehtů (O'Connell et al., 2001).

Kostní tkáň není statickým rezervoárem izotopových „podpisů“ prostředí, ale během života jedince se vyvíjí, dochází k tzv. remodelaci kosti. Během tohoto procesu se složení kostí průběžně obměňuje a kolagen, zformovaný v předchozích letech, z kosti časem vymizí (Reitsema & Vercellotti, 2012). Wild et al. (2000) uvádí jako dobu obratu kolagenu u člověka 20 let, naproti tomu McGlynn (2007) uvádí, že kost dospělého člověka nese izotopový záznam přibližně z posledních 10 let života.

Na rozdíl od kosterního kolagenu, zubní sklovina a dentin se během života neremodelují a jejich izotopový záznam nám poskytuje informaci o stravě v dětství (výjimkou jsou sekundární a terciální dentin) (Reitsema & Vercellotti, 2012).

Vzorky pro izotopovou analýzu jsou nejčastěji odebírány ze žeber, v případě jejich absence z dlouhých kostí, popřípadě z mandibuly (Hakenbeck et al., 2010, Quintelier et al., 2013, Lightfoot et al., 2012). Je-li analýza prováděna na zubním materiálu, pak se nejčastěji jedná o moláry (Reitsema & Vercellotti, 2012, Richards et al., 2002).

3.5.2. Příprava vzorku

Nejprve je nutné pomocí vhodného nástroje odebrat část očištěné kosti či zubu – přibližně 0,5–1g. Z tohoto materiálu je poté chemickou cestou extrahován kolagen.

Vzorek je nejdříve demineralizován, nejčastěji pomocí HCl, poté promyt destilovanou vodou a želatinizován v kyselém roztoku (pH 3). Mezi těmito kroky je možné ze vzorku pomocí NaOH odstranit organické nečistoty. Tento proces trvá několik dní až týdnů. Z výsledného produktu je poté pomocí centrifugace oddělena proteinová frakce, která je dále lyofilizována (vysušena pomocí vakuového vymrazování), čímž se získá výsledný kolagenový produkt (Hakenbeck et al., 2010, Lightfoot et al., 2012, Reitsema & Vercellotti, 2012, Bourbou et al., 2011). Během analýzy poměrů

stabilních izotopů ve vzorku je tento vzorek zničen, tudíž se jedná o destruktivní metodu. Nicméně množství odebíraného materiálu je téměř stopové (Kovačiková & Brůžek, 2008).

3.5.3. Analýza vzorku

Vlastní analýza poměrů jednotlivých izotopů ve vzorku se provádí pomocí hmotnostního spektrometru (Hakenbeck et al., 2010, Lightfoot et al., 2012). Změny poměru izotopů jsou malé, takže přímé vyjádření poměru izotopů (např. $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) je nepraktické. Proto jsou izotopové poměry vyjadřovány jako δ hodnota (např. $\delta^{13}\text{C}$) v jednotkách ‰ – tedy jako rozdíl mezi izotopovým poměrem uvnitř zkoumaného vzorku a izotopovým poměrem mezinárodně uznávaných standardů (Schoeninger, 2010) viz. Tabulka č.2.

Tabulka č.2 Mezinárodně uznávané standardy pro jednotlivé prvky

Prvek	Standard
Uhlík	PDB (Pee Dee Belemnite) fosilní mořský vápenec z PeeDee formace v Jižní Karolíně
Dusík	AIR atmosférický dusík
Vodík	SMOW (Standard Mean Ocean Water) průměrná hodnota oceánské vody
Kyslík	PDB nebo SMOW

Zdroj dat o standardech: Schoeninger, 2010, Kovačiková & Brůžek, 2008

Vzorec pro výpočet δ hodnoty (podle McGlynn, 2007 (upraveno)):

$$\delta^*X = \frac{(*X/X_{\text{vzorek}} - *X/X_{\text{standard}})}{(*X/X_{\text{standard}})} \times 1000$$

*Kde *X představuje těžší izotop a X lehčí izotop.*

Při izotopové analýze je třeba zohlednit také kvalitu kolagenového vzorku, k čemuž slouží například poměr uhlíku a dusíku v tomto vzorku, či procentuální vyjádření obsahu jednotlivých prvků ve vzorku. Přijatelné hodnoty pro „použitelný“ kolagen jsou uvedeny v Tabulce č.3.

Tabulka č.3 – Indikátory kvality kolagenu (Reitsema, 2012)

Indikátor kvality	Akceptovatelné rozpětí v kosterním kolagenu
% uhlíku	13 – 47 %
% dusíku	5 – 17 %
C/N	2,9 – 3,6
% kolagenu	5 – 28 %

Pro poskytnutí kontextu lidským hodnotám poměrů stabilních izotopů by měly být známy nebo současně zjištěny hodnoty poměrů pro živočichy z dané lokality (Bourbou et al., 2011, Kjellström et al., 2009). Pokud nejsou dostupná data pro faunu z dané lokality, je možné pro srovnání použít data z okolních nalezišť (Reitsema & Vercellotti, 2012).

4. Analýzy rostlinných a živočišných tkání

4.1. Studium lidské subsistence pomocí izotopové analýzy rostlinných a živočišných tkání

Abychom mohli lépe a úplněji pochopit výsledky analýz poměrů izotopů v lidských tkáních, je nutné, jak již bylo řečeno, provést také analýzu rostlinných a živočišných pozůstatků. Výsledky pak slouží nejen jako základ pro interpretaci „lidských“ dat, ale mohou také poskytnout cenné informace o zvířatech samotných, způsobu jejich chovu či obhospodařování polí, jelikož poměry stabilních izotopů v živočišných tkáních ovlivňují zemědělské praktiky jako například hnojení polí či trojpolní systém využití zemědělské půdy nebo třeba krmení zvířat zbytky z domácností (Reitsema et al., 2013). Dále je možné zjišťovat relativní množství zkonsumované potravy z vodních zdrojů a tak určit význam rybolovu pro danou populaci (Barrett & Richards, 2004), popřípadě, zda existoval dálkový obchod s mořskými rybami mezi pobřežními a vnitrozemskými oblastmi (Barrett et al., 2008). Noe-Nygaard et al. (2005) uvádí také možnost rozlišení domestikovaného dobytka a volně žijícího pratury na většině území Evropy dle izotopových poměrů uhlíku a dusíku. Jasně rozdíl mezi domestikovanými a nedomestikovanými živočichy, způsobené antropogenními aktivitami (hnojení, orba a vypalování polí) uvádí i Reitsema et al. (2013).

5. Izotopové analýzy z vybraných středověkých nalezišť v Evropě

Česká republika

Na základě izotopových poměrů v kostech nedospělých jedinců (věk 0-6 let) z období Velkomoravské říše Kaupová et al. (2014) studovali potravní chování této části populace – tedy zda a jak dlouho byly děti kojeny. Objevili rozdíly v délce kojení u dětí pocházejících z městských a venkovských oblastí – městské děti byly někdy kojeny až do věku 4-5 let, zatímco venkovské děti byly povětšinou odstavovány po 2. roce života.

Německo

Hakenbeck et al. (2010) na základě izotopové analýzy dvou bavorských populací z nalezišť Altenerding a Straubing-Bajuwarenstrasse uvádí, že lidé se v této oblasti živili především terestrickými C3 rostlinami se značnou příměsí živočišných bílkovin. V Altenerdingu dokládají signifikantní rozdíly ve stravě mužů a žen, které mohly být způsobeny větší mírou mobility u ženského pohlaví. U populace ze Straubing-Bajuwarenstrasse překvapivě nezjistili výrazný podíl sladkovodních ryb ve stravě, přestože naleziště leží na břehu řeky Dunaje. Jídelníček populace ze soudobých nalezišť v centrálním Německu (Obermöllern a Rathewitz) se skládal převážně z obilovin a masa, oproti ženám, požívali více živočišných produktů (Knipper et al., 2013). V oblasti Weingartenu bylo možné na základě izotopové analýzy objevit rozdílné zastoupení živočišných produktů u osob s různým socioekonomickým statutem. Rostlinnou složku potravy ale u celé populace představovaly hlavně C3 rostliny (Schutkowski et al., 1999). Na příkladu dvou významných obchodních center z dob vlády Vikingů a středověku – Haithabu a Schleswigu můžeme v izotopovém záznamu vidět posun ve způsobu života populace od závislosti na rybolovu k farmaření (Grupe et al., 2013).

Rakousko

McGlynn (2007) uvádí u populace z raně středověkého alpského naleziště Volders konzumaci C3 rostlin s malým rozpětím izotopových hodnot mezi různými jedinci a dále, že nebyla zjištěna výrazná příměs ryb z okolních řek a jezer v jídelníčku.

Polsko

Reitsema (2012) uvádí u středověkých nalezišť Gruczno a Kałdus izotopové hodnoty dokládající konzumaci prosa a variabilní jídelníček s příměsí ryb.

Z důvodu nedostatku zdrojů, týkajících se států střední Evropy doplňujeme přehled státy z oblastí Středomoří a Skandinávie.

Švédsko

Jídelníček populace středověkého Ridanäsu se sestával z přibližně stejných podílů marinních a terestrických zdrojů potravy (Kosiba et al., 2007), naproti tomu Kjellström et al. (2009) uvádí u nalezišť Church 1, The block Nunnan a St. Laurencés jako převažující složku potravy terestrické

zdroje, v případě The block Nunnan také značný podíl zeleniny ve stravě. Práce týkající se naleziště Birka (Linderholm et al., 2008) uvádí rozdílný podíl mořských zdrojů v potravě jedinců pohřbených se zbraněmi (vyšší podíl) a bez nich, mezipohlavní rozdíly, ale izotopové hodnoty nenaznačují. Strava středověké populace v Björned se během zkoumaného období (300 let) výrazně nezměnila, ovšem byly objeveny intrapopulační rozdíly – u několika jedinců bylo možno vysledovat rozdílný přísun potravin pocházejících z moře během jejich života (v dospělosti pojídali více potravy z terestrických zdrojů) (Linderholm et al., 2008).

Norsko

Naumann et al. (2014) uvádí na základě studia jedinců z několika středověkých nalezišť z pobřežních oblastí variabilní stravu mezi těmito jedinci. Lišil se například podíl mořských plodů v jejich jídelníčku. Zdá se také, že chovatelství, lov a kultivace půdy hrály větší roli v ranější části zkoumaném období.

Řecko

Garvie-Lok (2001) se zabývala studiem izotopových poměrů na několika řeckých středověkých nalezištích a zjistila, že ve stravě tamější populace zřejmě nehrály větší roli luštěniny, zdroje proteinů byly spíše živočišné, a to pravděpodobně mléčné produkty a vejce. Kupodivu neobjevila obecnou závislost na mořských zdrojích, přestože většina nalezišť leží nedaleko od mořského pobřeží. Izotopové hodnoty také naznačují konzumaci primárně C3 rostlin s příměsí C4 rostlin.

Španělsko

Pro španělské naleziště Colegiata ze 13. – 16. století byla zřejmě typická strava založená na směsici C3 a C4 rostlin. Mezi křesťanskou a muslimskou částí populace ale existovaly rozdíly v míře konzumace C4 rostlin a mořských plodů. Existovaly také difference mezi jedinci s různým socioekonomickým statutem (Alexander et al., 2014).

Itálie

Ciaffi et al. (2013) uvádí, že strava v oblasti naleziště Palazzo Doria Pamphili byla převážně založena na terestrických C3 rostlinách, data u některých jedinců ovšem nasvědčují také konzumaci C4 rostlin (prosa) nebo akvatických proteinů. Dále uvádějí, že nebyl objeven signifikantní rozdíl ve stravě mužů a žen, ale lišilo se složení stravy mezi ranou a pozdní fází středověku.

Izotopová data z výše zmíněných zdrojů byla nadále využita v praktické části této bakalářské práce.

Praktická část

6. Zpracování databáze izotopových poměrů

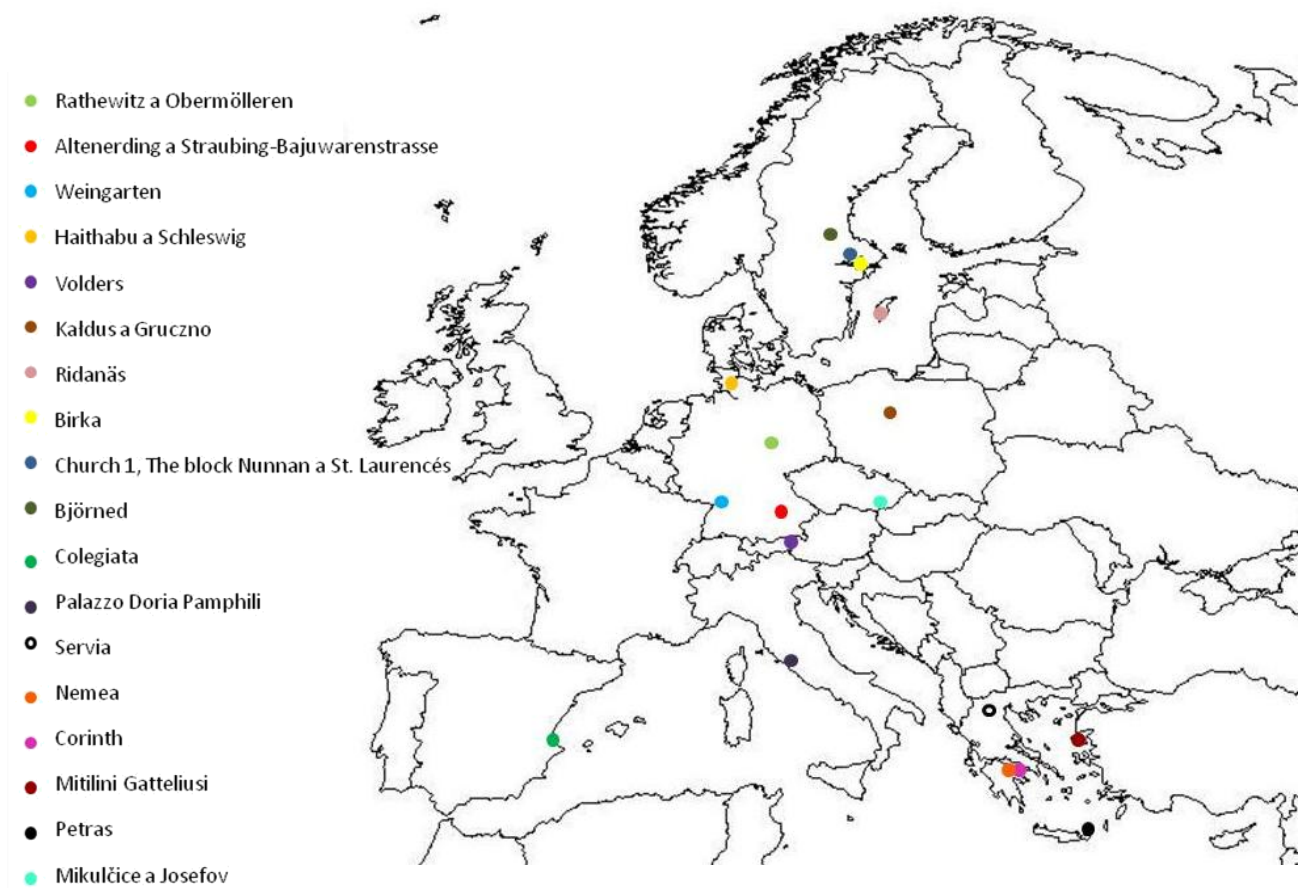
Pro praktickou část této práce jsme vytvořili databázi izotopových poměrů uhlíku a dusíku z lidských kosterních pozůstatků pro lokality v několika evropských státech z období středověku. Konkrétně se jednalo o 8 nalezišť v Německu, 6 v Řecku a Švédsku, 4 v Polsku, 2 v Česku a po 1 nalezišti v Rakousku, Itálii a Španělsku a několik pobřežních nalezišť v Norsku. Datování těchto nalezišť spadá do období mezi 5. až 16. stoletím. Původním záměrem bylo zpracovat pouze data spadající do období od 7. do 15. století, což by středověku odpovídalo lépe, bohužel, dat z odpovídajících nalezišť se nám podařilo nalézt jen velmi málo, a proto bylo nutné časový úsek rozšířit. Kromě izotopových hodnot jsme zaznamenávali také údaje o pohlaví, věku a datování nálezů.

Tabulka č.3 – Evropská naleziště, kde byla provedena izotopová analýza

Stát	Naleziště	Datování	Reference
Německo	Altenerding	400-600 AD	(Hakenbeck et al., 2010)
	Straubing-Bajuwarenstrasse	400-600 AD	
	Obermölleren	400-600 AD	(Knipper et al., 2013)
	Rathewitz	400-600 AD	
	Weingarten	500-900 AD	(Schutkowski et al., 1999)
	Haithabu	800-1100 AD	(Grube et al., 2013)
	Schleswig Rathausmarkt	1070-1210 AD	
Schleswig St. Clements	1250-1350 AD		
Rakousko	Volders	400-900 AD	(McGlynn, 2007)
Polsko	Kałdus 1	1100-1300 AD	(Reitsema, 2012)
	Kałdus 4	1000-1100 AD	
	Gruczno 1	1100-1200 AD	
	Gruczno 2	1200-1400 AD	
Česká republika	Mikulčice	800-1000 AD	(Kaupová et al., 2014)
	Josefov	800-1000 AD	
Švédsko	Birka	750-1000 AD	(Linderholm et al., 2008)
	Björned	300-1300 AD	(Linderholm et al., 2008)
	Ridanäs	900-1300 AD	(Kosiba et al., 2007)
	Church 1	900-1300 AD	(Kjellström et al., 2009)
	The block Nunnan	900-1100 AD	
	St. Laurencés	1300-1500 AD	
Norsko	pobřežní naleziště	550-1030 AD	(Naumann et al., 2014)

Řecko	Corinth Frankish	1200-1300 AD	(Garvie-Lok, 2001)
	Corinth Ruined church	1300-1500 AD	
	Mitilini Gatteliusi	1300-1500 AD	
	Nemea	1100-1500 AD	
	Petras	1100-1400 AD	
	Servia	1000-1500 AD	
Španělsko	Colegiata	1200-1600 AD	(Alexander et al., 2014)
Itálie	Palazzo Doria Pamphili	1040-1220 AD	(Ciaffi et al., 2013)

Shromážděná data jsme následně graficky zpracovali. Nejprve jsme se věnovali geografickým rozdílům v izotopových poměrech. Pro každé naleziště jsme vypočítali průměrné hodnoty izotopových poměrů a tyto hodnoty jsme poté zanesli do grafu. Dále jsme graficky znázornili průměrné hodnoty z jednotlivých časových období pro státy, u kterých byla tato data dostupná.



Obrázek č.3 – Evropská naleziště s provedenou izotopovou analýzou.

7. Výsledky a diskuse

Souhrnné informace o průměrných hodnotách izotopových poměrů podává Tabulka č.4.

Tabulka č. 4 – Průměry - geografické

Stát	Naleziště	Počet jedinců	Průměrná hodnota $\delta^{13}\text{C}$ [‰]	Směrodatná odchylka	Průměrná hodnota $\delta^{15}\text{N}$ [‰]	Směrodatná odchylka
Německo	Altenerding	73	-19,4	0,478411	9,6	0,705402
	Straubing-Bajuwarenstrasse	95	-19,7	0,359628	9,6	0,687979
	Obermölleren	27	-19,9	0,256002	9,6	0,9942
	Rathewitz	16	-19,8	0,263495	9,7	0,851186
	Weingarten	37	-19,8	0,664105	8,7	0,653266
	Haithabu	46	-20,0	0,501881	11,5	1,44358
	Schleswig Rathausmarkt	204	-19,6	0,734833	12,0	1,238002
	Schleswig St. Clements	49	-19,8	1,499064	11,8	1,528888
Rakousko	Volders	103	-20,0	0,560319	10,0	0,94722
Polsko	Kaldus 4 (120 km)	37	-18,5	1,061808	10,2	0,756503
	Kaldus 1	30	-19,5	0,428172	10,2	0,724418
	Gruczno 1	34	-19,8	0,410224	9,4	0,652139
	Gruczno 2	32	-20,1	0,380144	9,3	0,73966
Švédsko	Church 1	40	-21,0	0,692091	12,9	1,156421
	The block Nunnan	17	-21,4	0,621324	11,2	1,355548
	St. Laurencés	15	-20,9	0,729907	12,5	1,266749
	Björned	36	-20,4	0,612852	12,3	0,63837
	Ridanäs	10	-17,3	1,281709	11,1	0,988602
	Birka	22	-20,0	0,588508	13,6	1,081725
Norsko	směs z pobřeží	25	-17,8	1,389328	14,8	1,693537
Řecko	Corinth Frankish	15	-18,7	0,473286	10,6	1,59726
	Corinth Ruined church	15	-19,0	0,249189	9,6	0,616673
	Mitilini Gatteliusi	12	-19,1	0,426668	8,8	1,129629
	Nemea	25	-19,1	0,28624	8,9	0,692892
	Petras	17	-19,2	0,436648	9,5	1,030848
	Servia	19	-18,7	0,400803	8,9	0,818249
Španělsko	Colegiata	24	-17,2	1,012065	10,2	0,777946
Itálie	Palazzo Doria Pamphili	24	-18,7	0,470873	8,4	0,988128

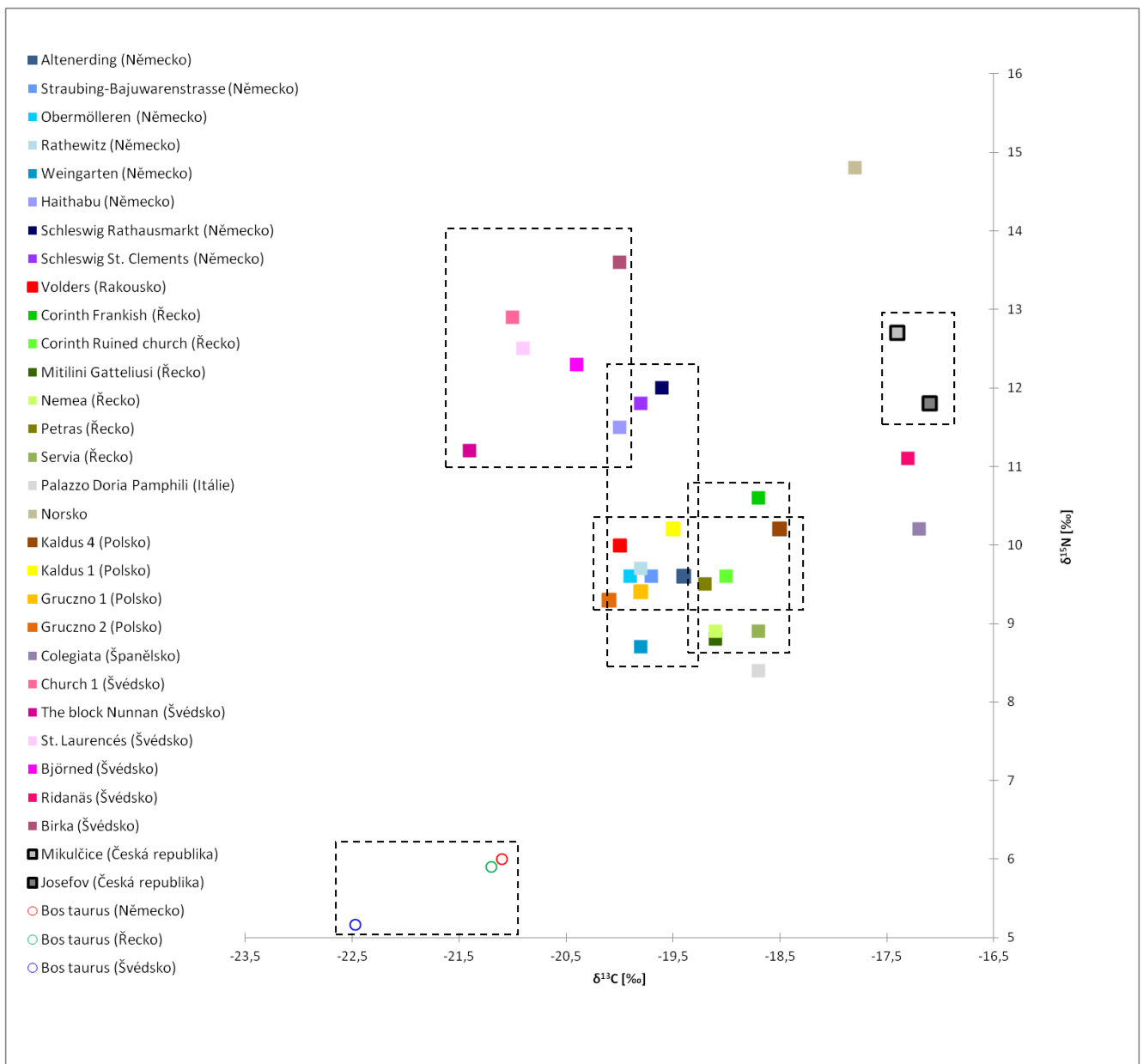
Vnitrozemská naleziště zvýrazněna tmavě šedou barvou (přes 150 km od moře) a světle šedou (přes 100 km od moře)

Nejvyšší průměrná hodnota $\delta^{13}\text{C}$ byla zjištěna v případě švédského naleziště The block Nunnan, a to -21,4%. Naopak nejnižší hodnota (-17,2‰) vyšla pro španělskou Colegiatu, což je pravděpodobně způsobeno konzumací C4 rostlin. Nejčastěji se izotopové hodnoty pro uhlík pohybují

kolem -19 a -20 ‰, což naznačuje stravu založenou na terestrických C3 rostlinách na většině nalezišť – výraznější geografické rozdíly se tedy neprojevují.

Nejvyšší průměrné hodnoty $\delta^{15}\text{N}$ vykazují severské státy – Švédsko a Norsko a také naleziště ze severního Německa, přičemž Norská naleziště mají průměrnou hodnotu 14,8‰. Takto vysoké hodnoty dusíku jsou nejspíše způsobené konzumací mořských ryb. Pro jižněji položená naleziště vychází izotopové poměry dusíku naopak nižší – přestože se jedná o příbřežní naleziště, ryby zřejmě nebyly výraznou součástí tamějšího jídelníčku.

Graf č.1 – Geografické průměry



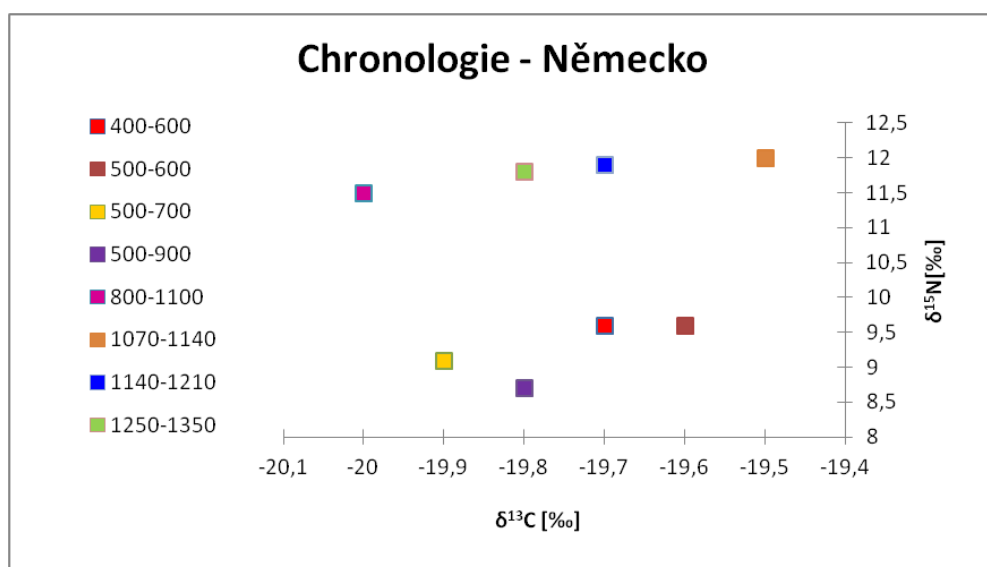
Na grafu č.1 je jasně vidět posun v trofickém řetězci mezi lidmi (znázorněno čtvercovou značkou) a faunou (kruhová značka) z vybraných lokalit – lidé se jednoznačně nacházeli na vyšší

trofické úrovni. Průměrné hodnoty izotopových poměrů všech lidských populací spadají do oblasti, naznačující konzumaci jak rostlinné, tak živočišné potravy – můžeme tedy odlišit „všežravého“ člověka a „býložravý“ skot.

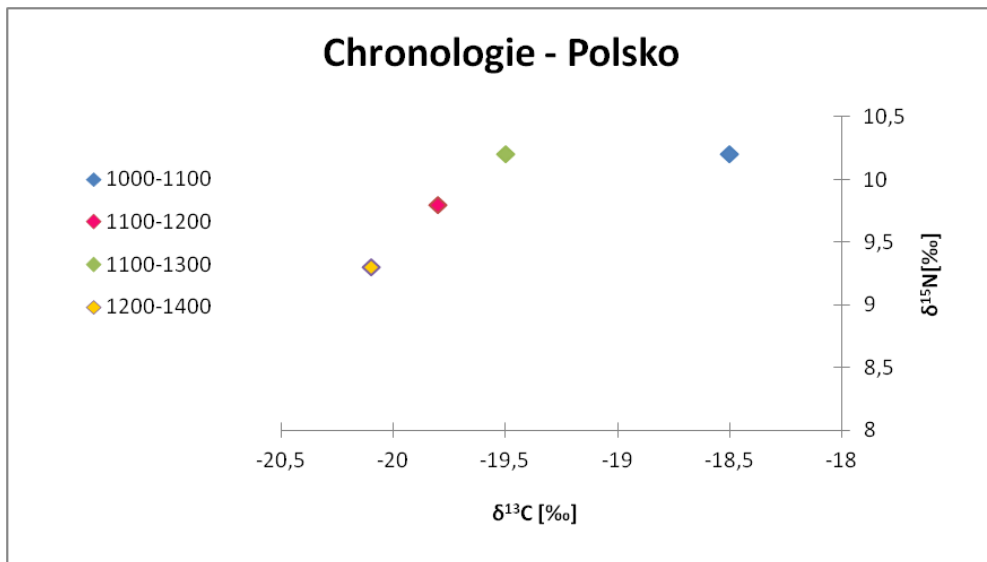
Dále je patrné, že obyvatelé severských států (Norsko a Švédsko) a také přímořských lokalit v Německu mají vyšší průměrné hodnoty $\delta^{15}\text{N}$ než lidé z ostatních nalezišť. Tento rozdíl je pravděpodobně způsoben zvýšenou konzumací mořských ryb. Naproti tomu data z Řecka konzumaci potravy z mořských zdrojů nenasvědčují (Garvie-Lok, 2001), což je v souladu s údaji ze starších období – Tykot (2004) uvádí, že potrava pocházející z moře nebyla významnou součástí řeckého jídelníčku například ani v době bronzové.

Hodnoty poměrů uhlíku z různých lokalit dále naznačují, že rostlinnou složku potravy tvořily převážně C3 rostliny. Výjimkou může být španělské naleziště Colegiata, jehož hodnoty už naznačují větší podíl C4 rostlin ve stravě (Alexander et al., 2014).

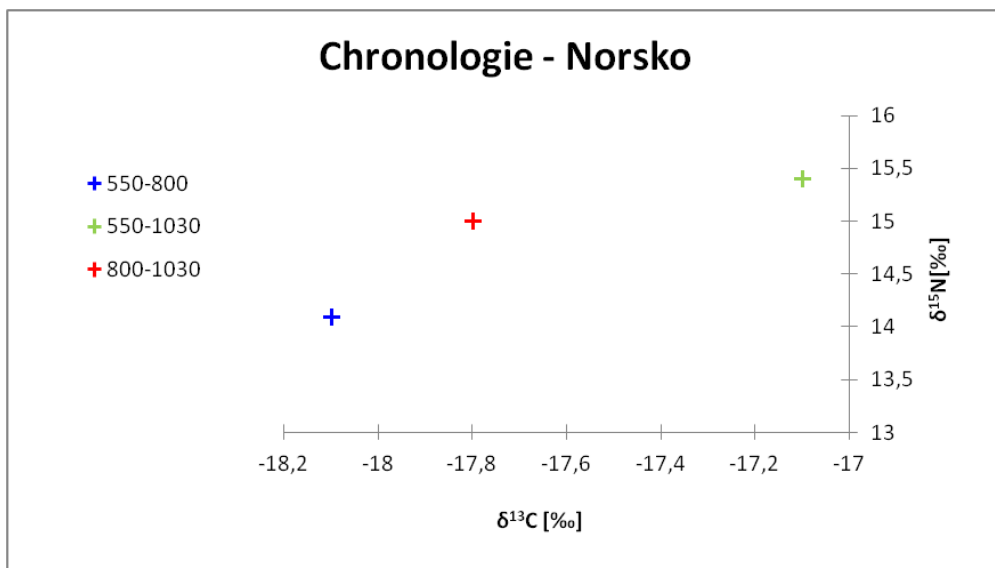
Vyšší izotopové poměry dusíku u vzorků z České republiky jsou způsobeny tím, že se jedná o nedospělé jedince, kteří byli z velké části ještě kojeni, což znamená, že stáli na vyšší trofické úrovni než jejich matky. Nízké hodnoty poměrů uhlíku jsou pravděpodobně způsobeny také tím, že tyto jedinci požívali převážně mateřské mléko, starší jedinci mohli mít ve stravě také příměs prosa a mléka domácích zvířat (Kaupová et al., 2014).



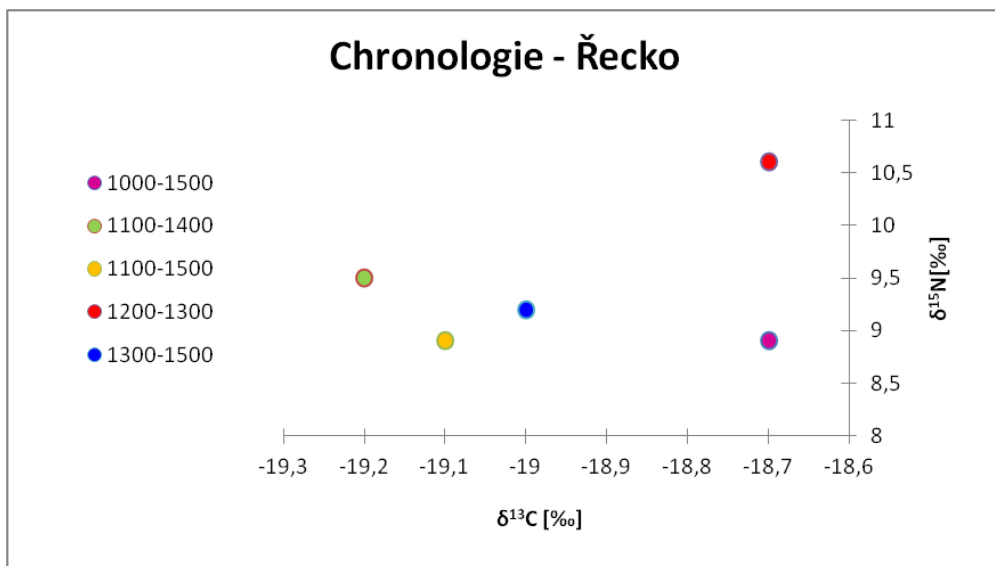
Graf č. 2 – Chronologické průměry Německo



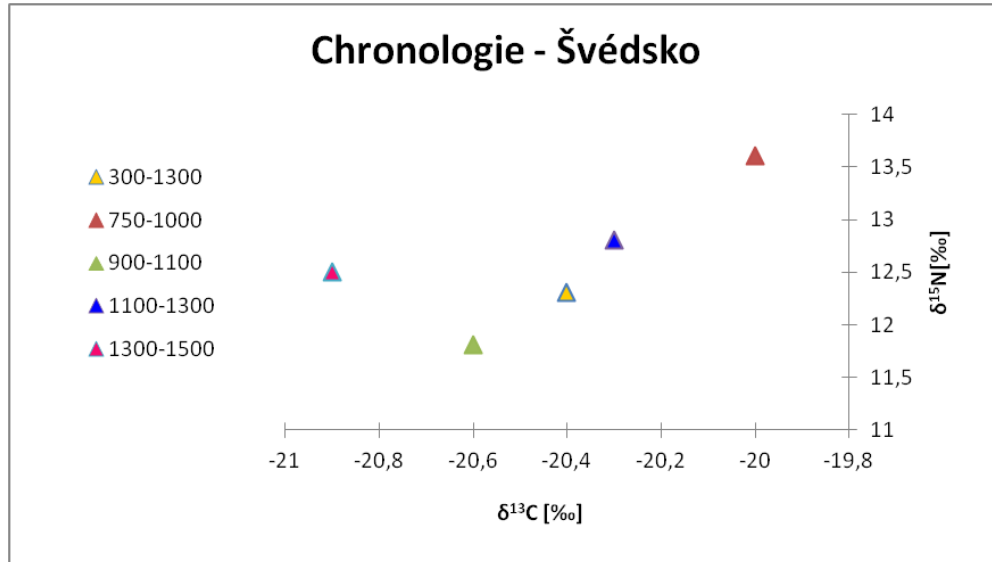
Graf č.3 – Chronologické průměry Polsko



Graf č.4 – Chronologické průměry Norsko



Graf č.5 – Chronologické průměry Řecko



Graf č.6 – Chronologické průměry Švédsko

Grafické znázornění chronologických průměrů hodnot izotopových poměrů nenaznačuje ve většině případů velké změny ve složení stravy v průběhu středověku. Jediný výrazný posun můžeme vidět v případě Německa. Tento rozdíl je ale pravděpodobně způsoben spíše faktem, že naleziště z pozdějšího období jsou z přímořských lokalit, zatímco starší naleziště jsou vnitrozemská. Z takto omezeného vzorku izotopových hodnot tedy nelze posoudit, zda skutečně došlo ke změně ve složení stravy, nebo zda je tento posun způsoben pouze rozdílnou konzumací mořských ryb ve vnitrozemí a při pobřeží.

8. Závěr

Tato bakalářská práce shrnuje poznatky týkající se analýzy poměrů stabilních izotopů v kosterních pozůstatcích, která je skutečně cenným nástrojem v bioarcheologickém výzkumu. Dalo by se říci, že pro rekonstrukci stravy je přímo nepostradatelným pomocníkem. Izotopové poměry nám pomáhají interpretovat archeologické nálezy minimálně ve stejné míře, jako archeologické nálezy pomáhají interpretovat izotopová data.

Období středověku je charakteristické změnami jak v oblasti sociokulturní, tak životního prostředí – postupnou feudalizací, šířícím se křesťanstvím a klimatickými změnami, což vedlo také ke změnám složení stravy lidských populací. Poměry stabilních izotopů nám tyto procesy pomáhají studovat, stejně jako mohou být využívány také k určení rozdílů v potravním chování mužů a žen, různě starých jedinců či různých etnických skupin. Bohužel pro středověkou Evropu existuje poměrně málo publikací uvádějících rekonstrukce stravy na základě stabilních izotopů a většina této literatury je věnována Velké Británii, Německu či severským zemím, naopak z ostatních států střední Evropy a z jižněji položených evropských zemí máme, co se týká izotopového záznamu, minimum informací.

Využili jsme data z dostupné literatury týkající se evropského středověku a vytvořili databázi izotopových hodnot pro několik historických nalezišť. Dalším zpracováním této databáze jsme zjistili, že existují geografické rozdíly mezi zeměmi ležícími na severu a na jihu Evropy, způsobené rozdílným zastoupením mořských plodů a C4 rostlin v jídelníčku. Chronologické rozdíly mezi jednotlivými časovými úseky z různých vybraných států, které by se na základě mohutných středověkých změn daly očekávat, se nám ale prokázat nepodařilo, pravděpodobně kvůli omezenému množství izotopových dat.

9. Použitá literatura

- Åberg, Göran, Gisle Fosse, and Helge Stray. 1998. "Man, Nutrition and Mobility: A Comparison of Teeth and Bone from the Medieval Era and the Present from Pb and Sr Isotopes." *Science of the Total Environment* 224: 109–19. doi:10.1016/S0048-9697(98)00347-7.
- Adamson, Melitta Weiss. 2004. *Food in Medieval Times*. Westport: Greenwood Press.
- Alexander, Michelle M., Christopher M. Gerrard, Alejandra Gutiérrez, and Andrew R. Millard. 2014. "Diet, Society, and Economy in Late Medieval Spain: Stable Isotope Evidence from Muslims and Christians from Gandía, Valencia." *American Journal of Physical Anthropology* 156: 263–73. doi:10.1002/ajpa.22647.
- Ashby, Steven P. 2002. "The Role of Zooarchaeology in the Interpretation of Socioeconomic Status: A Discussion with Reference to Medieval Europe." *Archeological Review from Cambridge* 18: 37–59.
http://scholar.google.com/scholar?cites=13213851478161991707&as_sdt=2005&scioldt=0,5&hl=en#14.
- Barrett, J.H., and M.P. Richards. 2004. "Identity, Gender, Religion and Economy: New Isotope and Radiocarbon Evidence for Marine Resource Intensification in Early Historic Orkney, Scotland." *European Journal of Archaeology* 7 (3): 249–71. doi:10.1177/1461957104056502.
- Barrett, James, Cluny Johnstone, Jennifer Harland, Wim Van Neer, Anton Ervynck, Daniel Makowiecki, Dirk Heinrich, et al. 2008. "Detecting the Medieval Cod Trade: A New Method and First Results." *Journal of Archaeological Science* 35: 850–61. doi:10.1016/j.jas.2007.06.004.
- Bentley, R. Alexander. 2006. "Strontium Isotopes from the Earth to the Archaeological Skeleton: A Review." *Journal of Archaeological Method and Theory* 13 (3): 135–87. doi:10.1007/s10816-006-9009-x.
- Beranová, Magdalena. 2005. *Jídlo a Pítí v Pravěku a ve Středověku*. Praha: Academia.
- Birchall, Jennifer, Tamsin C. O'Connell, Tim H.E. Heaton, and Robert E.M. Hedges. 2005. "Hydrogen Isotope Ratios in Animal Body Protein Reflect Trophic Level." *Journal of Animal Ecology* 74: 877–81. doi:10.1111/j.1365-2656.2005.00979.x.
- Bosi, Giovanna, Anna Maria Mercuri, and Marta Bandini Mazzanti. 2009. "Plants and Man in Urban Environment: The History of the City of Ferrara (10th - 16th Cent . A . D .) through Its Archaeobotanical Records." *Boccone* 23: 285–300.
- Bourbou, Chryssi, Benjamin T. Fuller, Sandra J. Garvie-Lok, and Michael P. Richards. 2011. "Reconstructing the Diets of Greek Byzantine Populations (6th-15th Centuries AD) Using Carbon and Nitrogen Stable Isotope Ratios." *American Journal of Physical Anthropology* 146: 569–81. doi:10.1002/ajpa.21601.
- Bowen, Gabriel J., Leonard I. Wassenaar, and Keith a. Hobson. 2005. "Global Application of Stable Hydrogen and Oxygen Isotopes to Wildlife Forensics." *Oecologia* 143: 337–48. doi:10.1007/s00442-004-1813-y.
- Broca, Paul. 1879. "Instructions Relatives À L'étude Anthropologique Du Système Dentaire." *Bulletins de La Société D'anthropologie de Paris* 2: 128–63. doi:10.3406/bmsap.1879.5212.

- Bryant, Vaughn M. Jr. 1974. "Prehistoric Diet in Southwest Texas: The Coprolite Evidence." *American Antiquity* 39 (3): 407–20.
- Buckland, W. 1829. "On the Discovery of Coprolites, or Fossil Feces, in the Lias at Lyme Regis, and I Other Formations." *Transactions of the Geological Society of London* 1: 223–36.
- Budd, P., A. Millard, C. Chenery, S. Lucy, and C. Roberts. 2004. "Investigating Population Movement by Stable Isotope Analysis : A Report from Britain." *Antiquity* 78 (299): 127–41. <http://antiquity.ac.uk/ant/078/Ant0780127.htm>.
- Callen, E.O. 1967. "Society for American Archaeology The First Peopling of the New World." *American Antiquity* 32 (4): 535–38.
- Ciaffi, R., R. Lelli, G. Müldner, K. Stantcheva, a. L. Fischetti, G. Ghini, O. E. Craig, et al. 2013. "Palaeobiology of the Medieval Population of Albano (Rome, Italy): A Combined Morphological and Biomolecular Approach." *International Journal of Osteoarchaeology*. doi:10.1002/oa.2316.
- Cooter, William S. 1978. "Ecological Dimensions of Medieval Agrarian Systems." *Agricultural History* 52 (4): 458–77. <http://www.jstor.org/stable/10.2307/3742255>.
- Delwiche, C C, and Pieter L Steyn. 1970. "Nitrogen Isotope Fractionation in Soils and Microbial Reactions." *Environmental Science & Technology* 4 (11): 929–35. doi:10.1021/es60046a004.
- DeNiro, M, and S Epstein. 1981. "Influence of Diet on the Distribution of Nitrogen Isotopes in Animals." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 45: 341–51. doi:10.1016/0016-7037(81)90244-1.
- DeNiro, Michael J., and Samuel Epstein. 1978. "Influence of Diet on the Distribution of Carbon Isotopes in Animals." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 42: 495–506.
- Dennell, Robin W. 2006. "The Origins of Crop Agriculture in Europe." In *The Origins of Agriculture*, edited by C. W. Cowan, P. J. Watson, and N. L. Benco, 73. Tuscaloosa: University of Alabama Press. http://books.google.cz/books?id=S18w4FwWi48C&pg=PT82&lpg=PT82&dq=Heer+1850+swiss+lake+dwelling+sites&source=bl&ots=UYq55KQtBM&sig=QPdziQ3IcZzzCGGHUDnRGgO7unc&hl=cs&sa=X&ei=BRWEVPWlOMytUcztg_gP&ved=0CDIQ6AEwAg-v=onepage&q&f=true#v=onepage&q&f=false.
- Ericson, Jonathon E. 1985. "Strontium Isotope Characterization in the Study of Prehistoric Human Ecology." *Journal of Human Evolution* 14: 503–14. doi:10.1016/S0047-2484(85)80029-4.
- Firbas, Franz, and Hubert Losert. 1949. "Untersuchungen Über Die Entstehung Der Heutigen Waldstufen in Den Sudeten." *Planta* 36: 478–506.
- Ford, Richard I. 1979. *Paleoethnobotany Archaeology in American. Advances in Archaeological Method and Theory*. Vol. 2.
- Fry, Gary, and H.J. Hall. 1975. "Human Coprolite from Antelope House: Preliminary Analysis." *The Kiva* 41 (1): 87–96.
- Garvie-Lok, Sandra J. 2001. "Loaves and Fishes: A Stable Isotope Reconstruction of Diet in Medieval Greece." University of Calgary.

- Greig, James. 1981. "The Investigation of a Medieval Barrel-Latrine from Worcester." *Journal of Archaeological Science* 8: 265–82. doi:10.1016/0305-4403(81)90003-0.
- Grupe, Gisela, Claus Carnap-Bornheim, and Cornelia Becker. 2013. "Rise and Fall of a Medieval Trade Centre: Economic Change from Viking Haithabu to Medieval Schleswig Revealed by Stable Isotope Analysis." *European Journal of Archaeology* 16 (1): 137–66.
- Hakenbeck, Susanne, Ellen McManus, Hans Geisler, Gisela Grupe, and Tamsin O'Connell. 2010. "Diet and Mobility in Early Medieval Bavaria: A Study of Carbon and Nitrogen Stable Isotopes." *American Journal of Physical Anthropology* 143: 235–49. doi:10.1002/ajpa.21309.
- Halffman, Carrin M, and Petr Velemínský. 2015. "Stable Isotope Evidence for Diet in Early Medieval Great Moravia (Czech Republic)." *Journal of Archaeological Science: Reports* 2. Elsevier Ltd: 1–8. doi:10.1016/j.jasrep.2014.12.006.
- Harris, D R. 1967. "New Light on Plant Domestication and the Origins of Agriculture: A Review." *Geographical Review* 57 (1): 90–107. doi:10.2307/212761.
- Hoefs, J. 2004. *Stable Isotope Geochemistry: With 18 Tables*. Springer.
[http://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=G0WN5F2DVwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Stable+Isotope+Geochemistry:+With+18+Tables+hoefs&ots=J4olCIZ4w4&sig=01JUP3U6QYsfCc2jMLBVAGH4ahc&redir_esc=y#v=onepage&q=Stable Isotope Geochemistry: With 18 Tables hoefs&f=false](http://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=G0WN5F2DVwC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Stable+Isotope+Geochemistry:+With+18+Tables+hoefs&ots=J4olCIZ4w4&sig=01JUP3U6QYsfCc2jMLBVAGH4ahc&redir_esc=y#v=onepage&q=Stable+Isotope+Geochemistry:With+18+Tables+hoefs&f=false).
- Hoffmann, Richard C. 2001. "Frontier Foods for Late Medieval Consumers: Culture, Economy, Ecology." *Environment and History* 7 (2): 131–67.
- Hughes, Malcolm K., and Henry F. Diaz. 1994. "Was There a 'Medieval Warm Period', and If So, Where and When?." *Climatic Change* 26: 109–42.
- Chrisholm, B. S. 1989. "Variation in Diet Reconstructions Based on Stable Carbon Isotopic Evidence." In *The Chemistry of Prehistoric Human Bone*, edited by Theron Douglas Price, 10–37. Cambridge University Press.
http://books.google.cz/books?id=DO08AAAIAAJ&printsec=frontcover&hl=cs&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Jones, John Glendon. 1988. "Middle to Late Preceramic (6000-3000 BP) Subsistence Patterns on the Central Coast of Peru: The Coprolite Evidence."
- Kaupová, Sylva, Estelle Herrscher, Petr Velemínský, Sandrine Cabut, Lumír Poláček, and Jaroslav Brůžek. 2014. "Urban and Rural Infant-Feeding Practices and Health in Early Medieval Central Europe (9th-10th Century, Czech Republic)." *American Journal of Physical Anthropology* 155: 635–51. doi:10.1002/ajpa.22620.
- Kjellström, Anna, Jan Storå, Göran Possnert, and Anna Linderholm. 2009. "Dietary Patterns and Social Structures in Medieval Sigtuna, Sweden, as Reflected in Stable Isotope Values in Human Skeletal Remains." *Journal of Archaeological Science* 36: 2689–99. doi:10.1016/j.jas.2009.08.007.
- Knipper, Corina, Daniel Peters, Christian Meyer, Anne France Maurer, Arnold Muhl, Bernd R. Schöne, and Kurt W. Alt. 2013. "Dietary Reconstruction in Migration Period Central Germany: A Carbon and Nitrogen Isotope Study." *Archaeological and Anthropological Sciences* 5: 17–35. doi:10.1007/s12520-012-0106-3.

- Kosiba, Steven B., Robert H. Tykot, and Dan Carlsson. 2007. "Stable Isotopes as Indicators of Change in the Food Procurement and Food Preference of Viking Age and Early Christian Populations on Gotland (Sweden)." *Journal of Anthropological Archaeology* 26: 394–411. doi:10.1016/j.jaa.2007.02.001.
- Kovačiková, Lenka, and Jaroslav Brůžek. 2008. "Stabilní Izotopy a Bioarcheologie – Výživa a Sledování Migrací v Populacích Minulosti (1)." *Živa* 1: 42–45.
- Lamb, H. H. 1965. "The Early Medieval Warm Epoch and Its Sequel." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 1: 13–37.
- Landon, David B. 2005. "Zooarchaeology and Historical Archaeology: Progress and Prospects." *Journal of Archaeological Method and Theory* 12 (1): 1–36. doi:10.1007/s10816-005-2395-7.
- Lauriou, Bruno. 1985. "Spices in the Medieval Diet: A New Approach." *Food and Foodways : Explorations in the History and Culture of Human Nourishment* 1: 43–76. doi:10.1080/07409711003708413.
- Lightfoot, E., M. Šlaus, and T. C. O'Connell. 2012. "Changing Cultures, Changing Cuisines: Cultural Transitions and Dietary Change in Iron Age, Roman, and Early Medieval Croatia." *American Journal of Physical Anthropology* 148: 543–56. doi:10.1002/ajpa.22070.
- Linderholm, Anna, Karin Andersson, Carl-Magnus Mörth, Leif Grundberg, Barbro Hårding, and Kerstin Lindén. 2008. "An Early Christian Cemetery at Björned in Northern Sweden: Stable Isotope Analyses of Skeletal Material." *Fornvännen* 103: 176–89. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=20794337>.
- Linderholm, Anna, Ch Jonson, Olle Svensk, and K Lidén. 2008. "Diet and Status in Birka: Stable Isotopes and Grave Goods Compared." *Antiquity* 82: 446–61. <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=20548218>.
- Lubbock, J. 1865. *Pre-Historic Times: As Illustrated by Ancient Remains and the Manners and Customs of Modern Savages*. London: Williams and Norgate. http://books.google.cz/books?id=xHoAAAIAAJ&pg=PA107&hl=cs&source=gbs_selected_pages&cad=2 - v=onepage&q&f=false#v=onepage&q&f=false.
- Mann, Michael E. 2002. "Little Ice Age The Earth System: Physical and Chemical Dimensions of Global Environmental Change." In *Encyclopedia of Global Environmental Change*, edited by M. MacCracken, John S. Perry, and Munn Ted, 1:504–9. Chichester: John Wiley and Sons.
- Martin, Paul S, and Floyd W Sharrock. 1964. "Pollen Analysis of Prehistoric Human Feces : A New Approach to Ethnobotany." *American Antiquity* 30 (2): 168–80.
- McConaughy, T, and C P McRoy. 1979. "Food-Web Structure and Fractionation of Carbon Isotopes in the Bering Sea." *Marine Biology* 53 (2): 257–62.
- Mcglynn, George. 2007. "Identify Transhumance , High Altitude Habitation and Reconstruct Palaeodiet for the Early Medieval Alpine Population at Volders , Austria."
- McGlynn, George. 2007. *Using 13C-, 15N- and 18O Stable Isotope Analysis of Human Bone Tissue to Identify Transhumance , High Altitude Habitation and Reconstruct Palaeodiet for the Early Medieval Alpine Population at Volders , Austria.*

- Minagawa, Masao, and Eitaro Wada. 1984. "Stepwise Enrichment of ^{15}N along Food Chains: Further Evidence and the Relation between $\delta^{15}\text{N}$ and Animal Age." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1135–40. doi:10.1016/0016-7037(84)90204-7.
- Montanari, Massimo. 2003. *Hlad a Hojnost: Dějiny Stravování v Evropě*. Praha: Nakladatelství Lidové noviny.
- Müldner, G., J. Montgomery, G. Cook, R. Ellam, A. Gledhill, and C. Lowe. 2009. "Isotopes and Individuals: Diet and Mobility among the Medieval Bishops of Whithorn." *Antiquity* 83 (322): 1119–33. <http://antiquity.ac.uk/ant/083/ant0831119.htm>.
- Müldner, Gundula, and Michael P. Richards. 2005. "Fast or Feast: Reconstructing Diet in Later Medieval England by Stable Isotope Analysis." *Journal of Archaeological Science* 32: 39–48. doi:10.1016/j.jas.2004.05.007.
- Naumann, Elise, T. Douglas Price, and Michael P. Richards. 2014. "Changes in Dietary Practices and Social Organization During the Pivotal Late Iron Age Period in Norway (AD 550-1030): Isotope Analyses of Merovingian and Viking Age Human Remains." *American Journal of Physical Anthropology* 155 (3): 322–31. doi:10.1002/ajpa.22551.
- Netolitzky, Fritz. 1911. "Nahrungs- Und Heilmittel Der Urägypter." *Zeitschrift Für Untersuchung Der Nahrung Und Genusmittel* 21: 607–13. doi:10.1007/BF02006404.
- Noe-Nygaard, N., T. D. Price, and S. U. Hede. 2005. "Diet of Aurochs and Early Cattle in Southern Scandinavia: Evidence from ^{15}N and ^{13}C Stable Isotopes." *Journal of Archaeological Science* 32: 855–71. doi:10.1016/j.jas.2005.05.001.
- O'Connell, T C, R E M Hedges, M a Healey, and a H R Simpson. 2001. "Isotopic Comparison of Hair, Nail and Bone: Modern Analyses." *Journal of Archaeological Science* 28: 1247–55. doi:10.1006/jasc.2001.0698.
- O'Leary, Marion H. 1988. "Carbon Isotopes in Photosynthesis." *BioScience* 38 (5): 328–36.
- Palmer, Carol, and Marijke van der Veen. 2002. "Archaeobotany and the Social Context of Food." *Acta Palaeobotanica* 42 (2): 195–202. http://www.ib-pan.krakow.pl/ibwyd/acta_paleo/act-p42.htm#16.
- Pavelka, Jaroslav, and Jiří Orna. 2011. "Výsledky Analýzy Potravinových Zbytků Na Pozdně Středověké Keramice Z Plzně." *Acta Fakulty Filozofické Západočeské Univerzity v Plzni* 3: 84–99.
- Post, David M. 2002. "Using Stable Isotopes to Estimate Trophic Position: Models, Methods, and Assumptions. ." *Ecology* 83 (3): 703–18. doi:10.2307/3071875.
- Quintelier, Kim, Anton Ervynck, Gundula Müldner, Wim Van Neer, Michael P. Richards, and Benjamin T. Fuller. 2013. "Isotopic Examination of Links Between Diet, Social Differentiation, and DISH at the Post-Medieval Carmelite Friary of Aalst, Belgium." *American Journal of Physical Anthropology* 153: 203–13. doi:10.1002/ajpa.22420.
- Reichert, P a, H Lenz, H König, J Becker, and U Mohr. 1985. "The Black Layer on the Teeth of Betel Chewers: A Light Microscopic, Microradiographic and Electronmicroscopic Study." *Journal of Oral Pathology* 14: 466–75.

- Reinhard, Karl J., and Vaughn M. Bryant. 1992. "Coprolite Analysis: A Biological Perspective on Archaeology." *Archaeological Method and Theory* 4: 245–88.
- Reitsema, L. J., T. Kozłowski, and D. Makowiecki. 2013. "Human-Environment Interactions in Medieval Poland: A Perspective from the Analysis of Faunal Stable Isotope Ratios." *Journal of Archaeological Science* 40: 3636–46. doi:10.1016/j.jas.2013.04.015.
- Reitsema, Laurie J. 2013. "Beyond Diet Reconstruction: Stable Isotope Applications to Human Physiology, Health, and Nutrition." *American Journal of Human Biology* 25: 445–56. doi:10.1002/ajhb.22398.
- Reitsema, Laurie J., and Giuseppe Vercellotti. 2012. "Stable Isotope Evidence for Sex- and Status-Based Variations in Diet and Life History at Medieval Trino Vercellese, Italy." *American Journal of Physical Anthropology* 148: 589–600. doi:10.1002/ajpa.22085.
- Reitsema, Laurie. J. 2012. *Stable Carbon and Nitrogen Isotope Analysis of Human Diet Change in Prehistoric and Historic Poland*.
- Reitz, E. J., and E. S. Wing. 1999. *Zooarchaeology*. Cambridge . Cambridge University Press. http://books.google.cz/books?id=0lIMf8c_DusC&pg=PA2&lpg=PA2&dq=zooarcheologie+reitz+wing&source=bl&ots=8SIVWYnJNd&sig=MlnKUOn8M6IP5d34ZZRt8GgAQ4&hl=cs&sa=X&ei=DZyEVIKcFYYPYatb4gIAH&ved=0CDsQ6AEwBA - v=onepage&q=zooarcheologie reitz wing&f=false#v=snippet&.
- Reynard, L. M., and R. E. M. Hedges. 2008. "Stable Hydrogen Isotopes of Bone Collagen in Palaeodietary and Palaeoenvironmental Reconstruction." *Journal of Archaeological Science* 35: 1934–42. doi:10.1016/j.jas.2007.12.004.
- Richards, M. P., S. Mays, and B. T. Fuller. 2002. "Stable Carbon and Nitrogen Isotope Values of Bone and Teeth Reflect Weaning Age at the Medieval Wharram Percy Site, Yorkshire, UK." *American Journal of Physical Anthropology* 119: 205–10. doi:10.1002/ajpa.10124.
- Schoeller, Dale A. 1999. "Isotope Fractionation: Why Aren't We What We Eat?" *Journal of Archaeological Science* 26: 667–73. doi:10.1006/jasc.1998.0391.
- Schoeninger, Margaret J. 2010. "Diet Reconstruction and Ecology Using Stable Isotope Ratios." In *A Companion to Biological Anthropology*, edited by Clark Spencer Larsen, 11:397–408. Wiley-Blackwell. <http://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=W3ikJxiAidsC&oi=fnd&pg=PR10&dq=A+Companion+to+Biological+Anthropology&ots=EL1SimYXo&sig=iloYCTrE4GAFRzGpO9e0-0hjLUE>.
- Schoeninger, Margaret J, and Michael J DeNiro. 1984. "Nitrogen and Carbon Isotopic Composition of Bone Collagen from Marine and Terrestrial Animals." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 625–39. doi:10.1016/0016-7037(84)90091-7.
- Schutkowski, Holger, B Herrmann, F Wiedemann, H Bocherens, and G Grupe. 1999. "Diet, Status and Decomposition at Weingarten: Trace Element and Isotope Analyses on Early Mediaeval Skeletal Material." *Journal of Archaeological Science* 26: 675–85. doi:10.1006/jasc.1998.0384.
- Schwarz, Henry P, Tosha L Dupras, and Scott I Fairgrieve. 1999. "15N Enrichment in the Sahara: In Search of a Global Relationship." *Journal of Archaeological Science* 26: 629–36. doi:10.1006/jasc.1998.0380.

- Tieszen, L. L., T. W. Boutton, K. G. Tesdahl, and N. a. Slade. 1983. "Fractionation and Turnover of Stable Carbon Isotopes in Animal Tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ Analysis of Diet." *Oecologia* 57: 32–37. doi:10.1007/BF00379558.
- Tykot, R. H. 2004. "Stable Isotopes and Diet: You Are What You Eat." In *Physics Methods in Archaeometry*, edited by M. Martini, M. Milazzo, and M. Piacentini, 433–44. Amsterdam: IOS Press. doi:10.3254/978-1-61499-010-9-433.
- Van Dam, P. J. E. M. 2009. "Fish for Feast and Fast: Fish Consumption in the Netherlands in the Late Middle Ages." In *Beyond the Catch: Fisheries of the North Atlantic, the North Sea and the Baltic, 900-1850*, edited by J. Sicking and D. Abreau-Ferreira, 309–36. BRILL. <https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=M9rn3rZAQBcC&oi=fnd&pg=PA309&dq=feast+fish&ots=FxNUbVLHgn&sig=u18tbAkH98nSM5GzhKy2axylw8#v=onepage&q=feastfish&f=false>.
- Van der Merwe, N J, and J C Vogel. 1978. " ^{13}C Content of Human Collagen as a Measure of Prehistoric Diet in Woodland North America." *Nature*. doi:10.1038/276815a0.
- Vogel, J. C., and Nikolaas J. van der Merwe. 1977. "Isotopic Evidence for Early Maize Cultivation in New York State." *American Antiquity* 42 (2): 238–42.
- Wheat, Joe Ben. 1972. "A Paleo-Indian Bison Kill." *American Antiquity* 37 (1): 109–17.
- White, J. W. C. 1989. "Stable Hydrogen Isotope Ratios in Plants: A Review of Current Theory and Some Potential Applications." In *Stable Isotopes in Ecological Research*, edited by P. W. et al. Rundel. New York: Springer-Verlag. papers2://publication/uuid/6B7AA5EF-4D8A-4E02-9694-6F3CAC665606.
- Wild, E.M, K.a Arlamovsky, R Golser, W Kutschera, A Priller, S Puchegger, W Rom, P Steier, and W Vycudilik. 2000. " ^{14}C Dating with the Bomb Peak: An Application to Forensic Medicine." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 172: 944–50. doi:10.1016/S0168-583X(00)00227-5.
- Wright, Lori E., and Henry P. Schwarcz. 1998. "Stable Carbon and Oxygen Isotopes in Human Tooth Enamel: Identifying Breastfeeding and Weaning in Prehistory." *American Journal of Physical Anthropology* 106: 1–18. doi:10.1002/(SICI)1096-8644(199805)106:1<1::AIDAJPA1>3.0.CO;2-W.
- Yoder, Cassady. 2010. "Diet in Medieval Denmark: A Regional and Temporal Comparison." *Journal of Archaeological Science* 37 (9). Elsevier Ltd: 2224–36. doi:10.1016/j.jas.2010.03.020.
- Ziegler, H. 1989. "Hydrogen Isotope Fractionation in Plant Tissues." In *Stable Isotopes in Ecological Research*, edited by P. W. et al. Rundel. New York: Springer-Verlag.

Přebohaté hodinky vévody z Berry

<http://www.christusrex.org/www2/berry/f2r.html>

Obrázek č.3 (slepá mapa Evropy) - upraveno

http://geoportal.alej.cz/_uploads/files/europe.jpg