



# Analytická chemie a její aplikace (nejen) v archeologii

Lubomír Prokeš

Katedra fyziky, chemie a odborného vzdělávání, PdF MU

Ústav fyzikální elektroniky, PŘF MU

Ústav chemie, PŘF MU

# Chemie

Anorganická chemie

Organická chemie

Biochemie

Fyzikální chemie



**Analytická chemie**



Fyzika

Matematika

# Analytické metody

„bulk“ analýza (průměrná složení)

vs

lokální analýza



mikroskopie

Destruktivní

Semidestruktivní

Nedestruktivní

Anorganická analýza

Organická analýza

Kvalitativní

Semikvantitativní

Kvantitativní

Atomová spektrometrie

Molekulová spektrometrie

Metody (= způsob práce) kvalitativní i kvantitativní analýzy lze rozdělit podle různých kritérií:

**1. Podle způsobu práce se zkoumanou látkou (= vzorkem):**

**a) metody chemické** – jsou založené na chemických reakcích zkoumané látky;

**b) metody instrumentální** – jsou založené na využití přístrojové a výpočetní techniky.

**2. Podle hmotnosti zkoumané látky (= vzorku):**

**a) metody makroanalytické** – hmotnost zkoumané látky je větší než  $10^{-1}$  gramu, popř. více než 10 ml látky nebo jejího roztoku;

**b) metody semimikroanalytické** – hmotnost zkoumané látky je  $10^{-1}$  až  $10^{-2}$  gramu (100 – 10 mg), popř. 3 až 0,1 ml látky nebo jejího roztoku;

**c) metody mikroanalytické** – hmotnost zkoumané látky je  $10^{-2}$  až  $10^{-3}$  gramu (10 – 1 mg), popř. 0,1 až 0,01 ml látky nebo jejího roztoku.

# Aplikace analytické chemie v archeologii

Terénní prospekce

Charakterizace dávných technologických postupů a výrob (metalurgie, výroba vápna, kolomazi, keramiky, apod.).

Odhad provenience některých typů artefaktů (obsidián, kovy, keramika, ...)

Sledování degradace archeologických nálezů (kovy, kosti, organické materiály) pro diagnostiku poškození a východisko pro návrh optimálního postupu konzervace.

Interpretace konkrétních archeologických nálezů či situací.

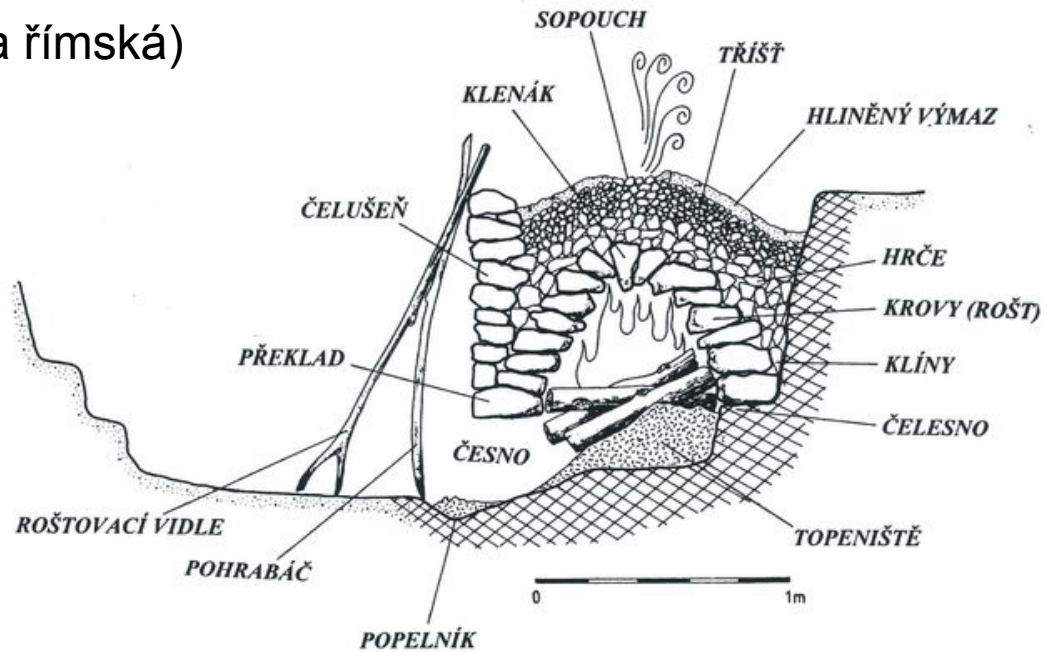
# Studium výrobních technologií



# Výroba vápna

## Hrubá Vrbka ("Za Bařinou,,"), (doba římská)

Kanálová pec pracuje na principu žíhání vápence ( $\text{CaCO}_3$ ) dlouhým plamenem (750 - 1000 C), který pozvolna prostupuje samonosnou kamennou klenbou, zbudovanou rovněž z vápence. Vysoká teplota způsobuje únik  $\text{CO}_2$  za vzniku  $\text{CaO}$ . K výpalu jednokanálové pece o výrobním objemu cca 0,8 - 1,0 m<sup>3</sup> vápence bylo spotřebováno cca 2 - 4 m<sup>3</sup> dřeva.



Infračervená spektrometrie

## Suroviny pro výrobu vápna

**Vápenec** je jemnozrnná až celistvá sedimentární hornina. V převážné míře (nad 80 %) je složena z uhličitanu vápenatého ( $\text{CaCO}_3$ ) ať už ve formě kalcitu, nebo aragonitu. Jako příměsi se vyskytují dolomit, siderit, křemen, jílové minerály a úlomky zkamenělin. Vápence se používají se k výrobě páleného vápna, cementu, drceného kameniva i pro ušlechtilou kamenickou výrobu, v metalurgii, chemickém průmyslu, papírenství a v mnoha dalších oborech. Jemnozrnný vápenec se používá pro tiskovou techniku zvanou litografie.

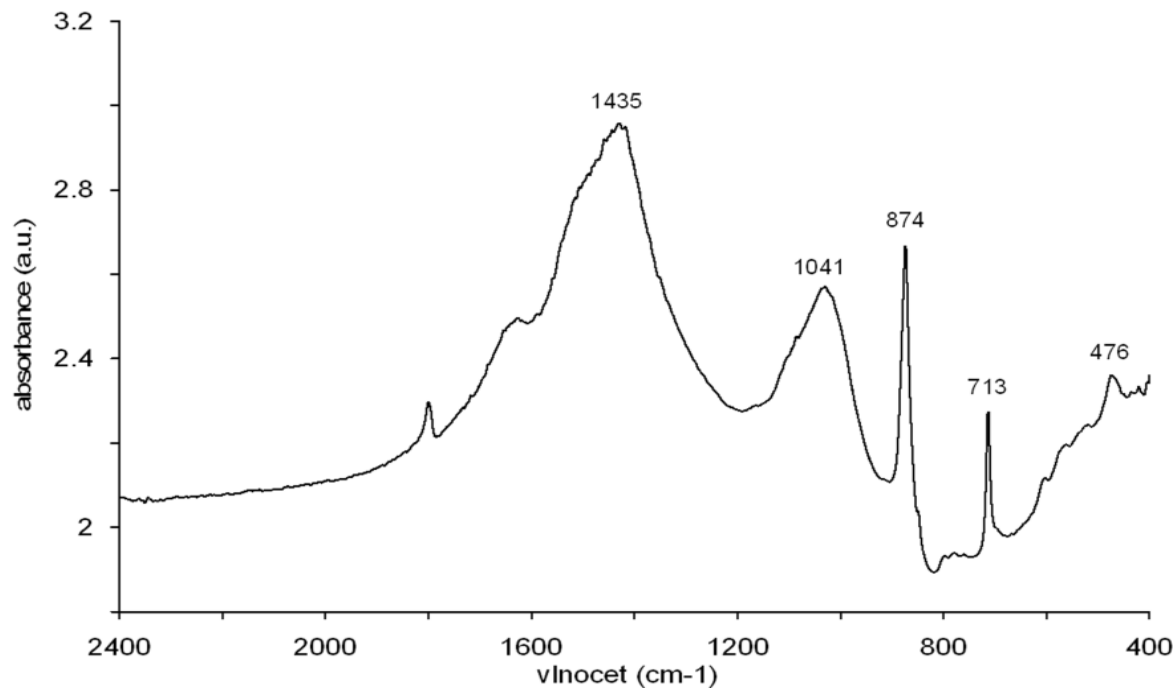
**Dolomit**  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  (uhličitan vápenato-hořečnatý), používá se na výrobu speciálních druhů cementu ve stavebnictví, ohnivzdorných materiálů a jako hnojivo.



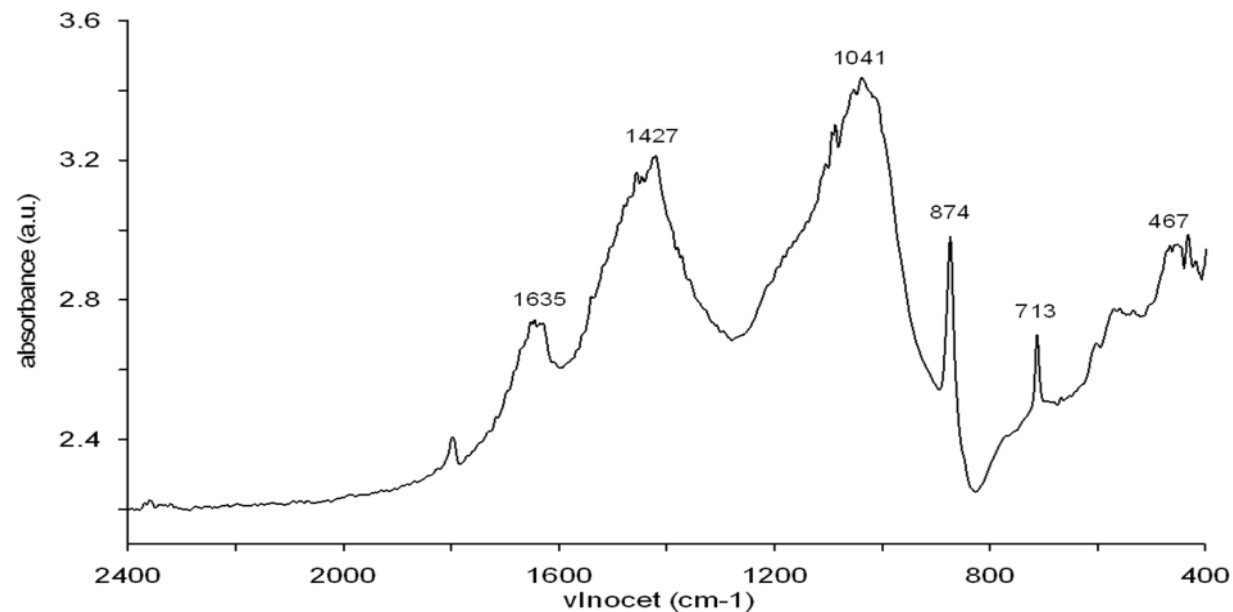


# Hrubá Vrbka

(doba římská)

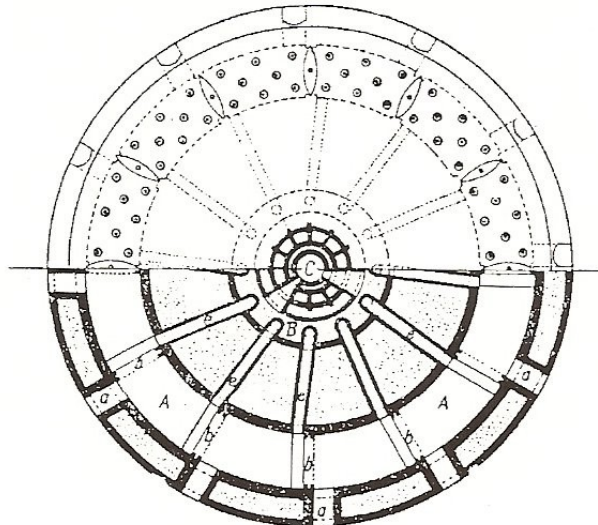
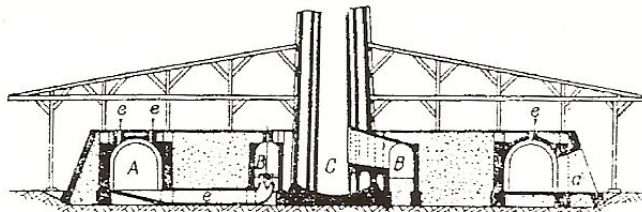


Pásky uhličitanu a křemičitanu indikují vysoký obsah křemene ve vzorku. Jde patrně o **výrobní odpad**.



## Kruhová pec

Teplo z vypáleného vápna se využívalo k předehřátí spalovacího vzduchu a tepla zplodin hoření se využívalo k předehřátí vápence. Peciště tvořil souvislý kanál, který umožňoval stálý a nepřetržitý postup ohně. Zdivo pece mělo v určitých místech navážecí a vyvážecí otvory, které pec rozdělovaly na určitý počet komor. Každá komora měla otvor pro odvádění spalin z pece. Palivo se přikládalo otvory v klenbě tzv. sypáky, které se uzavíraly litinovými poklopy. Pod sypáky se z vápence skládaly topné šachtice, ve kterých se přikládané palivo spalovalo. Jako palivo se používal uhelný prach.



←  
Obr. 1. Původní Hoffmannova kruhovka: *a* – dveře kruhového peciště, *A* – kruhové peciště, *b* – přepážky, *B* – sběrač kouře, *C* – komín, *e* – podzemní odtah do sběrače kouře, *f* – sypáky paliva.

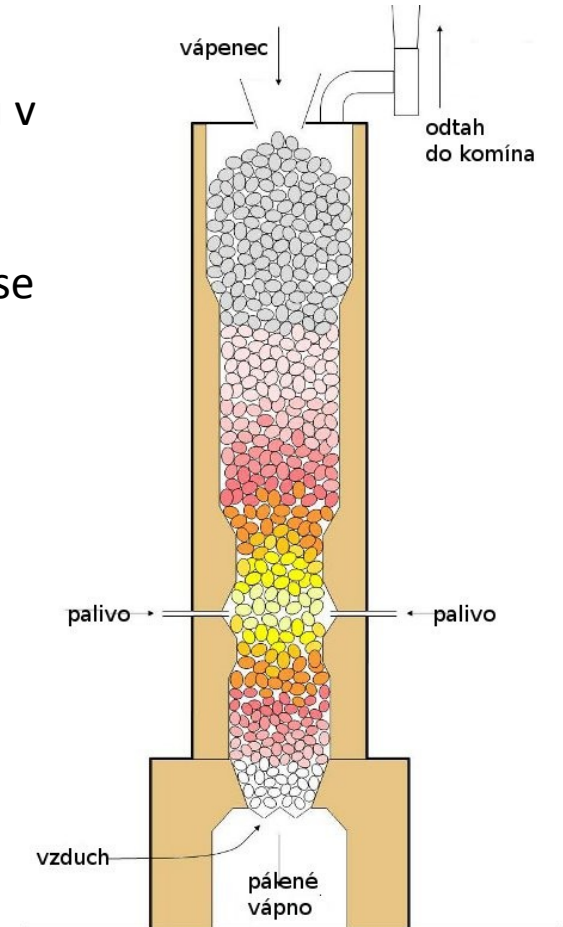
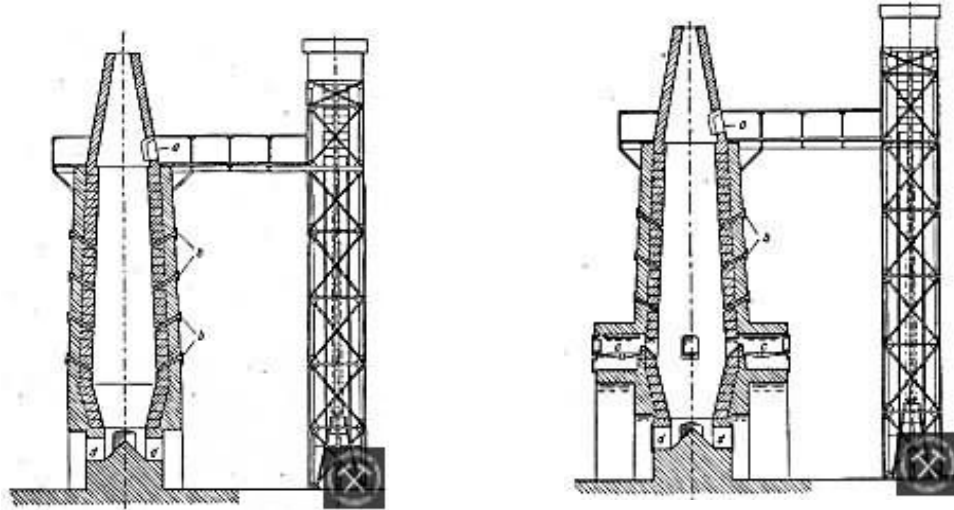
Poslední kruhové vápenky ukončily provoz v 60. letech 20. století.

# Šachtová pec

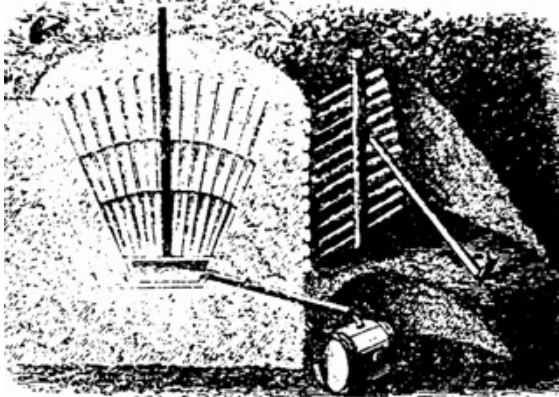
Používá se ve dvou provedeních.

První variantou je **pec s vnějším topením**, kdy je jako palivo použit plyn a jeho spalování probíhá v několika řadách hořáků v různé výšce.

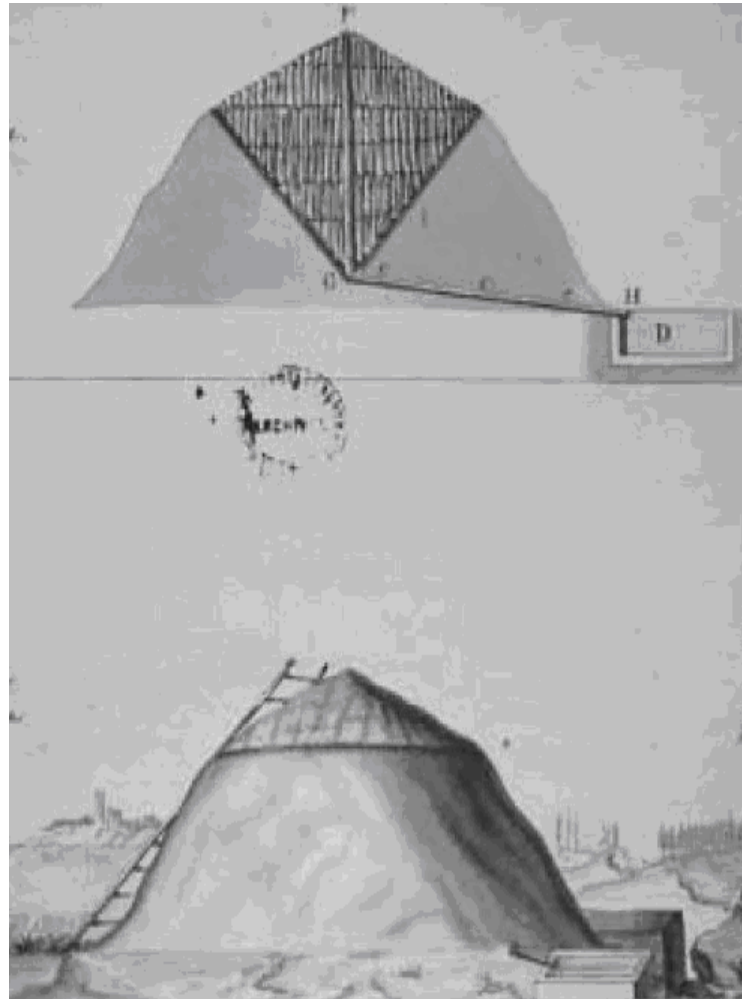
Druhou je pak **pec s vnitřním vytápěním**. Při použití tohoto způsobu se pec střídavě plní vrstvou koksu a vápence a nebo se plní jejich směsí.



# Výroba dřevního dehtu a kolomazi



Varianty zahloubených milířů



# Výroba dřevního dehtu a kolomazi

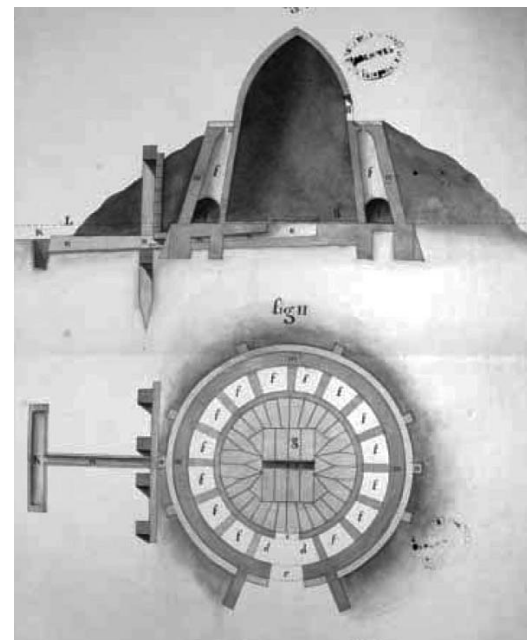
Kolomazné kameny



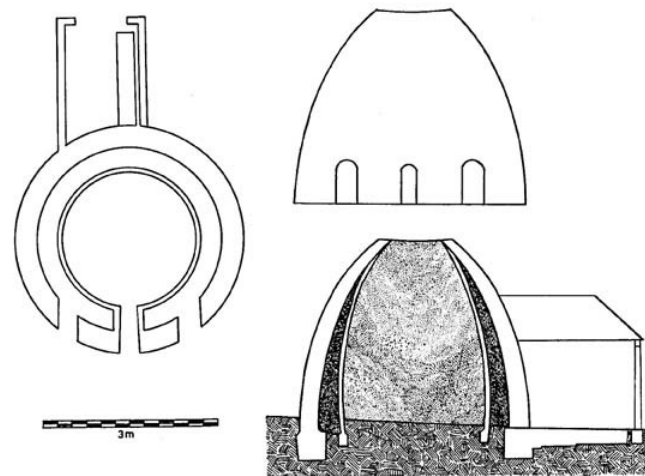
Trnava (okr. Třebíč)

# Výroba dřevního dehtu a kolomazi

Dvouplášťové komorové pece



Plzeň-Bolevec



# Výroba dřevního dehtu a kolomazi

## Dehtařské pracoviště

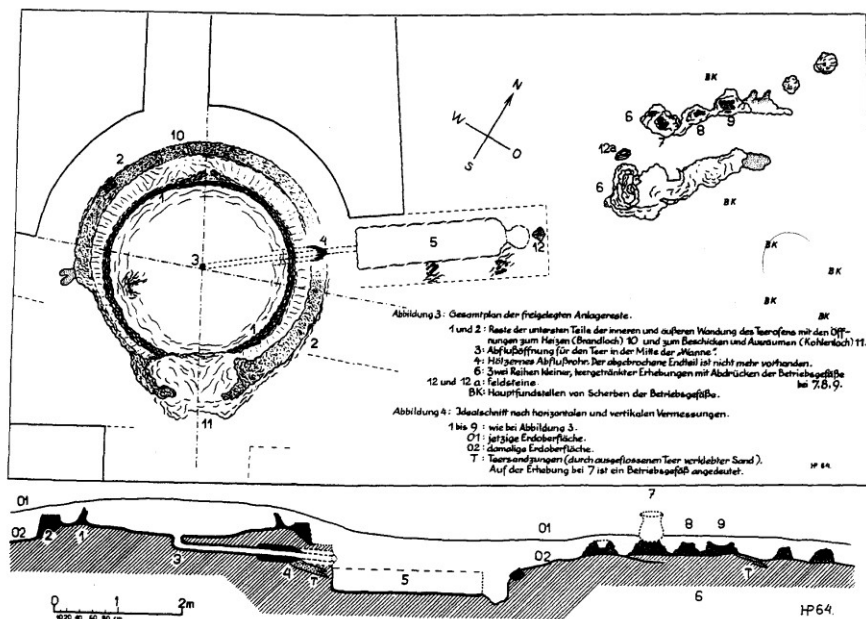


Abb. 5: J. W. Meil: Der Theerbrenner (1765). Dorn 160, SMPK.

# Suchá destilace diterpenoidních pryskyřic



# Kolomaz

= mazivo vyráběné z dřevního dehtu, používané v minulosti pro mazání kol dopravních prostředků. Během 19. století byla vytlačena oleji a plastickými mazivy, které mají výrazně lepší mazací vlastnosti.



Abb. 15. Abschmieren eines Reisewagens im 15. Jahrhundert.  
Nach S. Brant, *Das Narrenschiff* (1494). Photo: Deutsches Museum, München

**Příměsi**

Terpentýn

Lněný olej

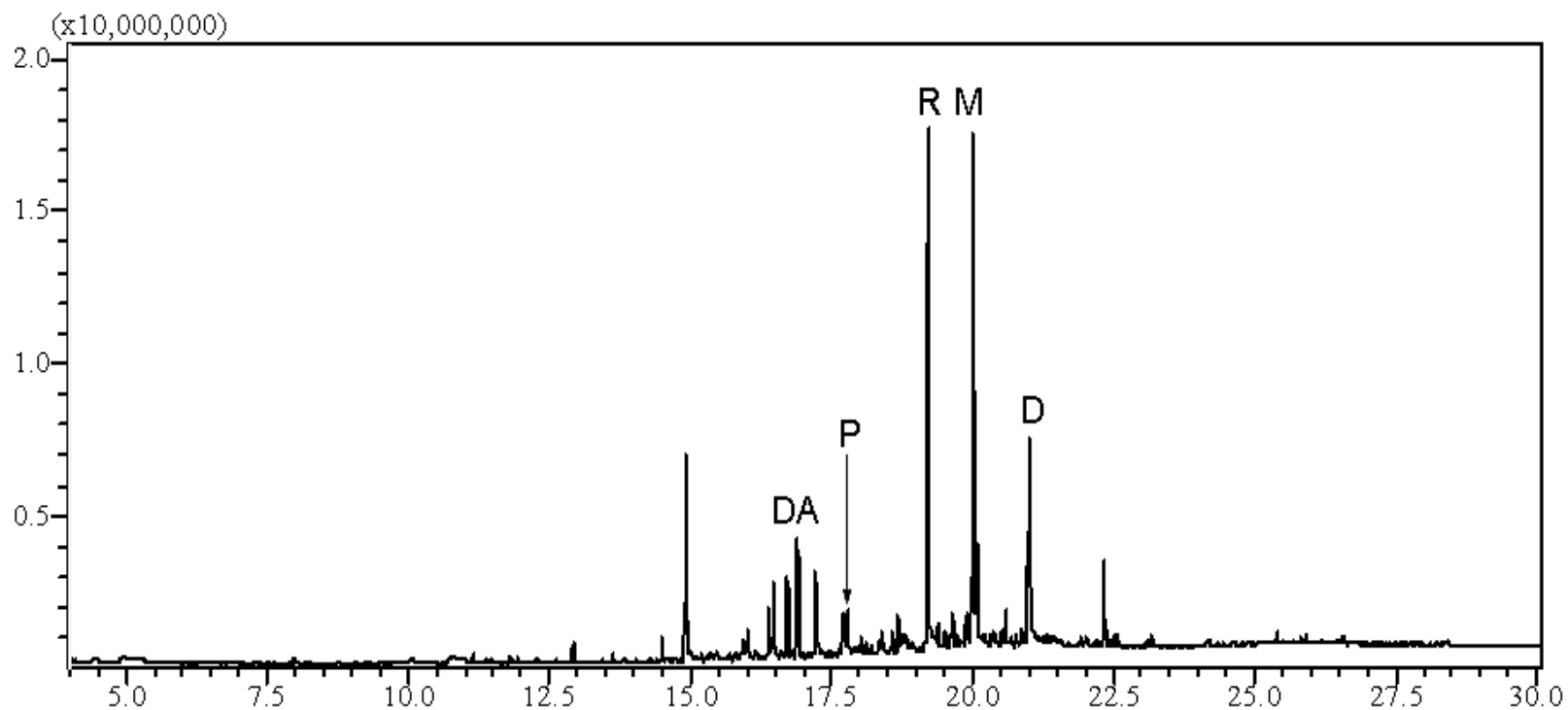
Lůj

Síra



# Rynartice (SZ Čechy)

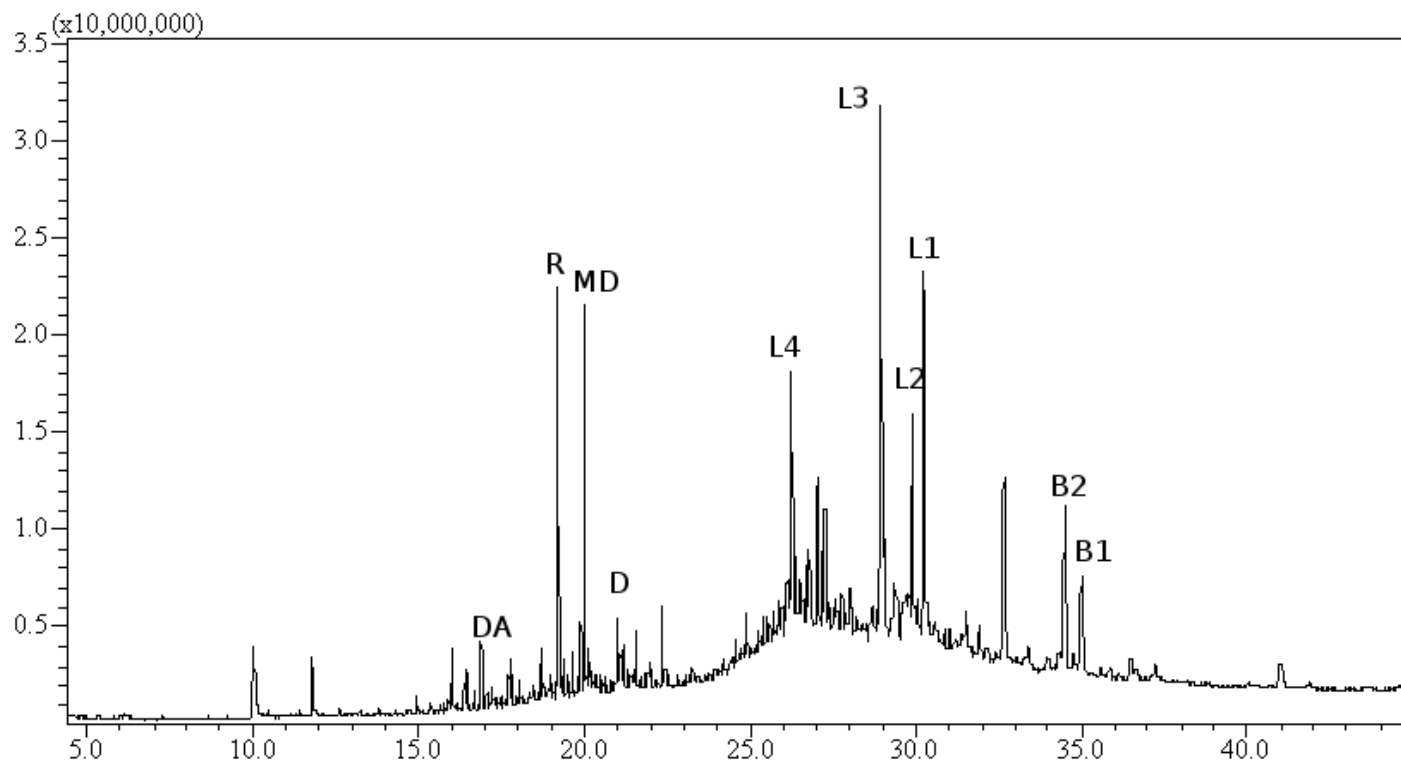
Vzorek hmoty ze dna rozkladné komory dehtářské pece (1. polovina 15. století)



Chromatogram (Scan mod) chloroformového extraktu vzorku z Rynartice (DA dehydroabietin, R reten, MD methyl dehydroabietát, D kyselina dehydroabietová).

# Mostek (V Čechy)

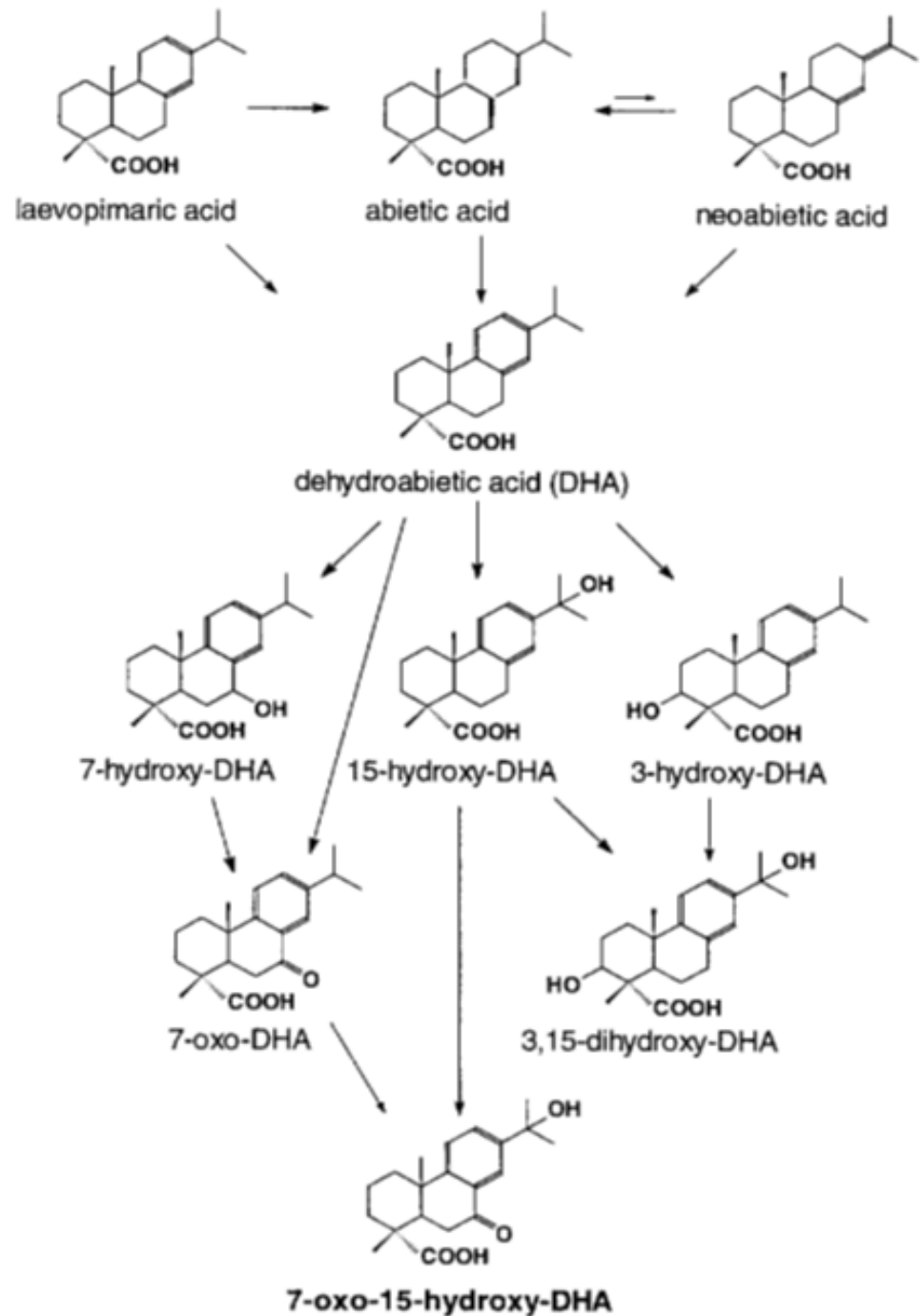
Vzorek z vnějšího povrchu keramického fragmentu z blízkosti dehtařské pece (14. stol.)



Chromatogram (Scan mod) chloroformového extraktu vzorku z Mostku (DA dehydroabietin, R reten, MD methyl dehydroabietát, D kyselina dehydroabietová, L4 lupa-2,20(29)-dien, L3 lupa-2,20(29)-dien-28-ol, L2 lupenon, L1 lupeol, B2 betulon, B1 betulin).

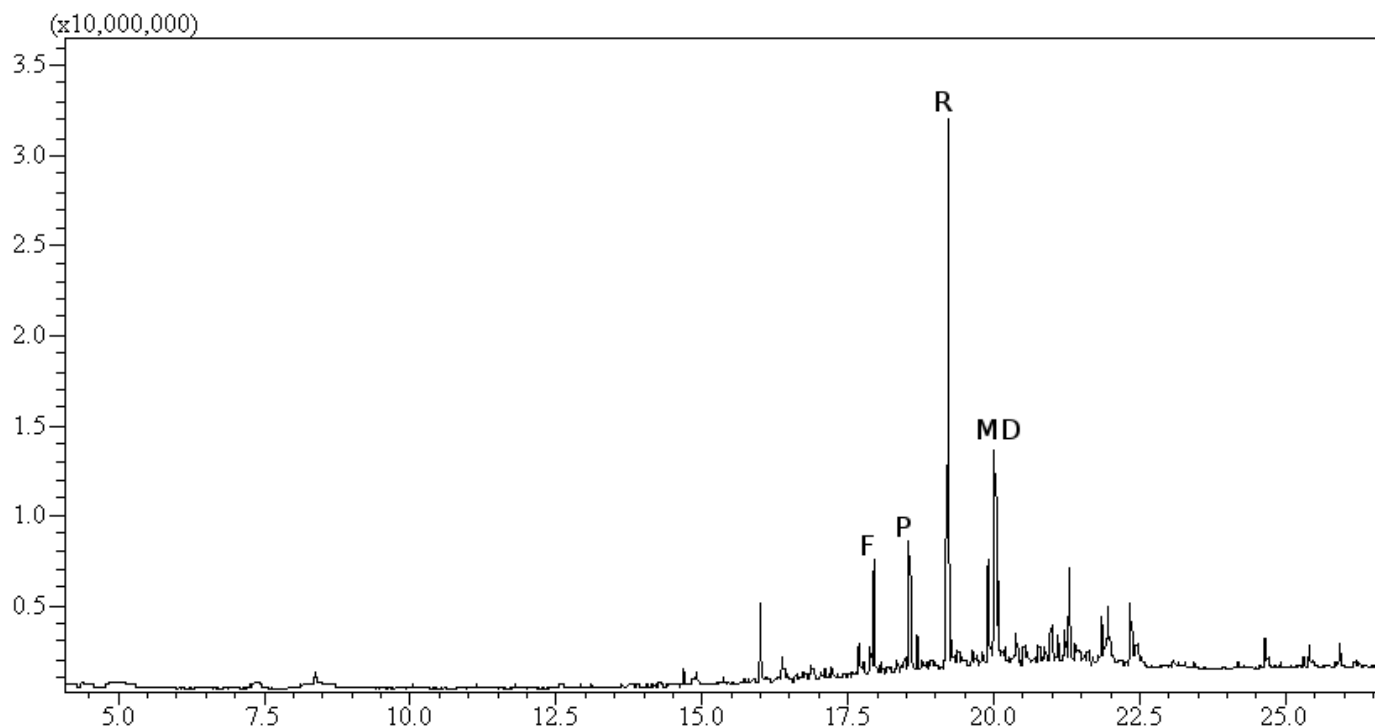


# Změny diterpenoidních pryskyřic za přístupu kyslíku



# Tábor, dům čp. 308

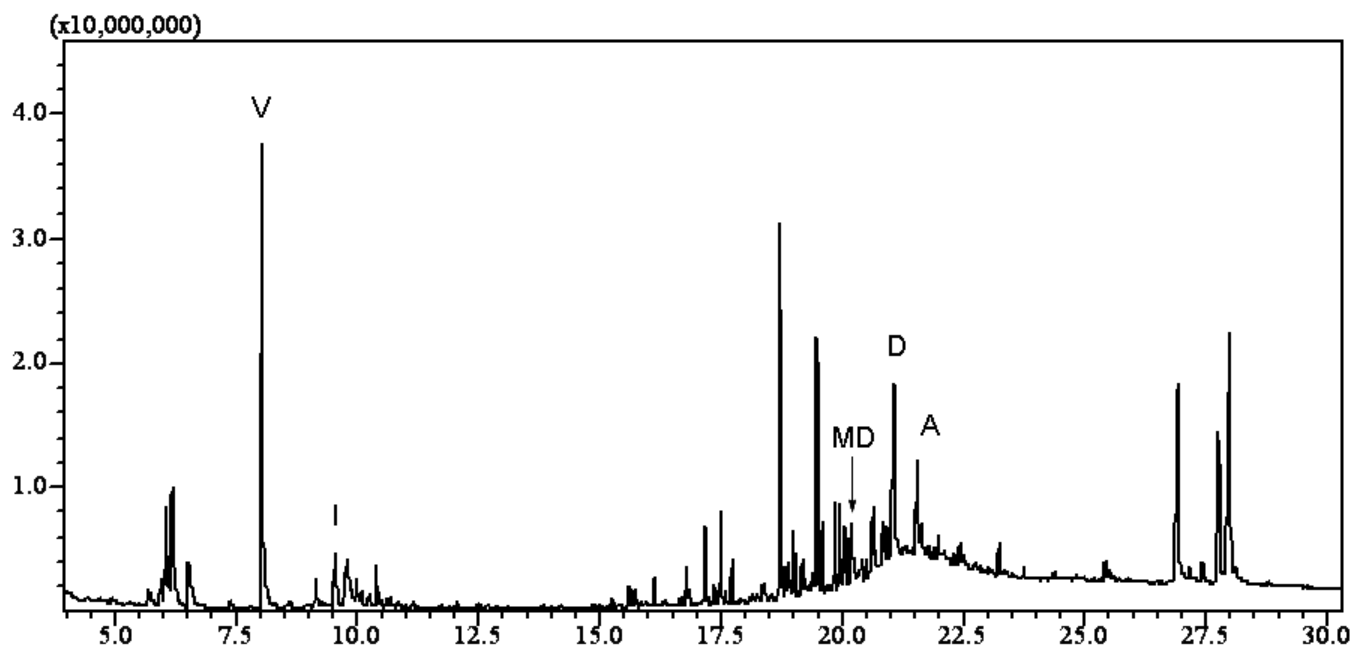
Zbytky kachlových kamen z 15. století.



Chromatogram (Scan mod) chloroformového extraktu vzorku z komorového kachle z Tábora (F fluoranthen, P pyren, R reten, MD methyl dehydroabietát).

# Veletiny

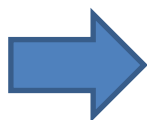
šipka typu Štramberk-Krnov, střední eneolit, povrchový sběr.



Chromatogram chloroformového extraktu vzorku nativní pryskyřice (A kyselina abietová, PA kyselina pimarová, MD methyl dehydroabietát, D kyselina dehydroabietová, R reten, V vinylguajakol, I isovanilin).

# Borová pryskyřice

Borová pryskyřice je výchozí surovinou pro výrobu terpentýnu (spolu s Iněným olejem ho používají výtvarníci při olejomalbě), destilační zbytek je kalafuna, která se používala při zabíjačkách nebo v bednářství.



# Dehet z březové kůry

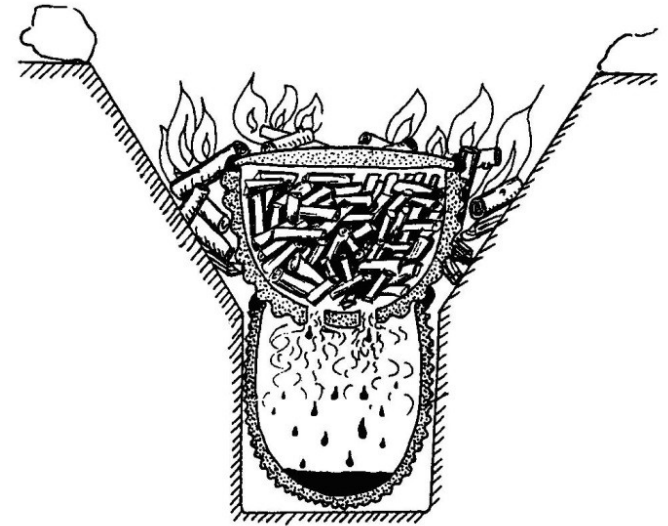
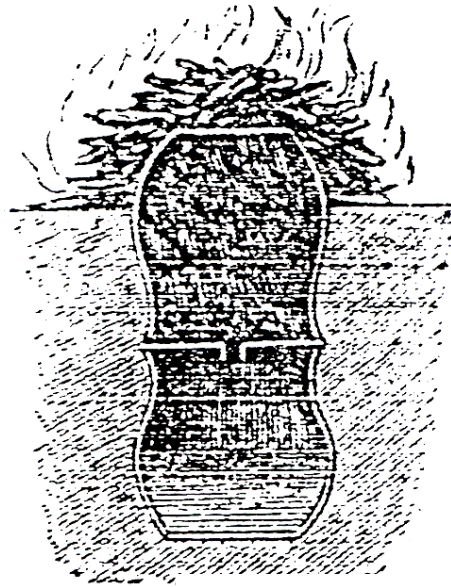
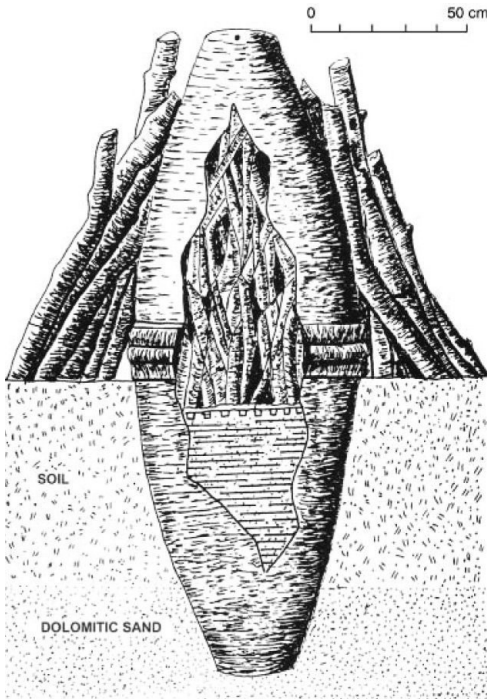
Aplikace březové kůry



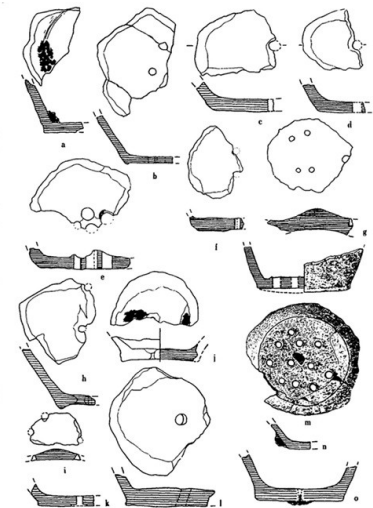
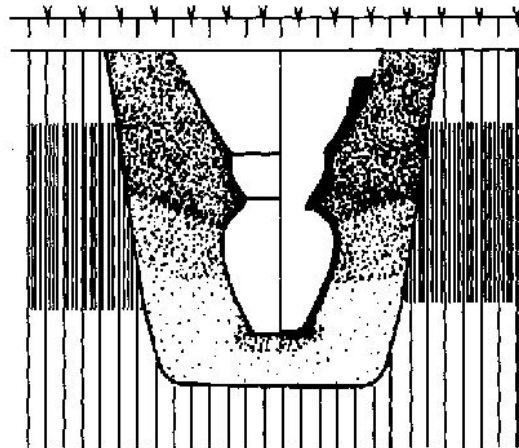


# Výroba dehtu z březové kůry

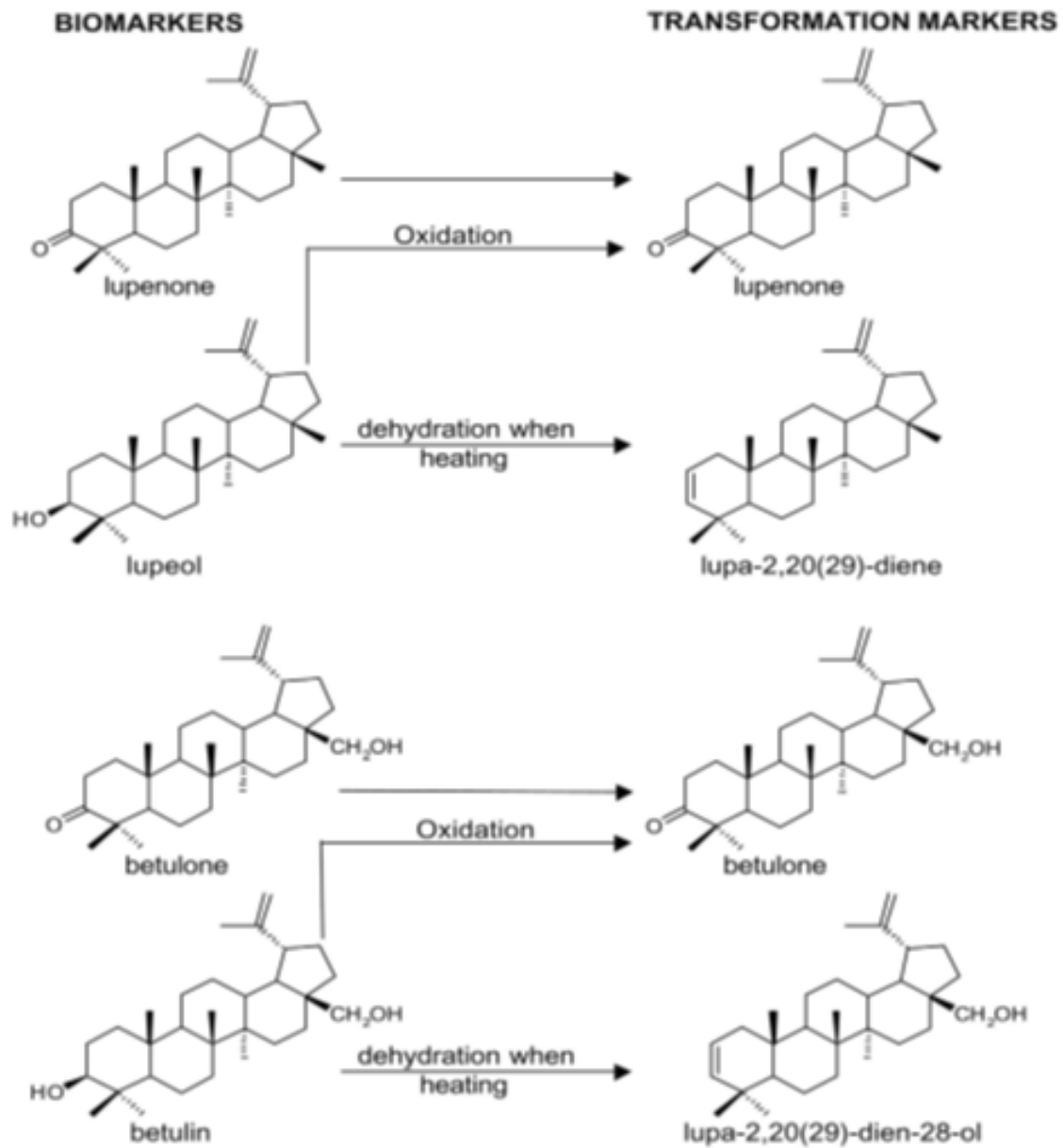
Různé varianty „metody dvou nádob“



Archeologický doklad technologie a pozůstatky nádob s perforovaným dnem (Meklenbursko).

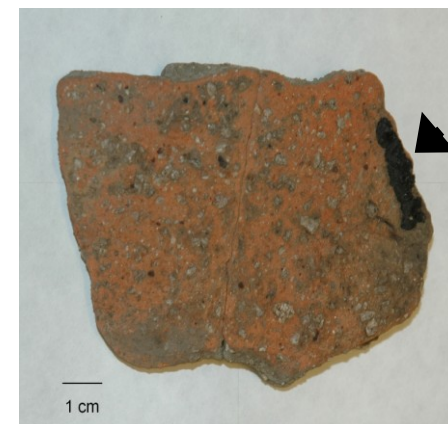
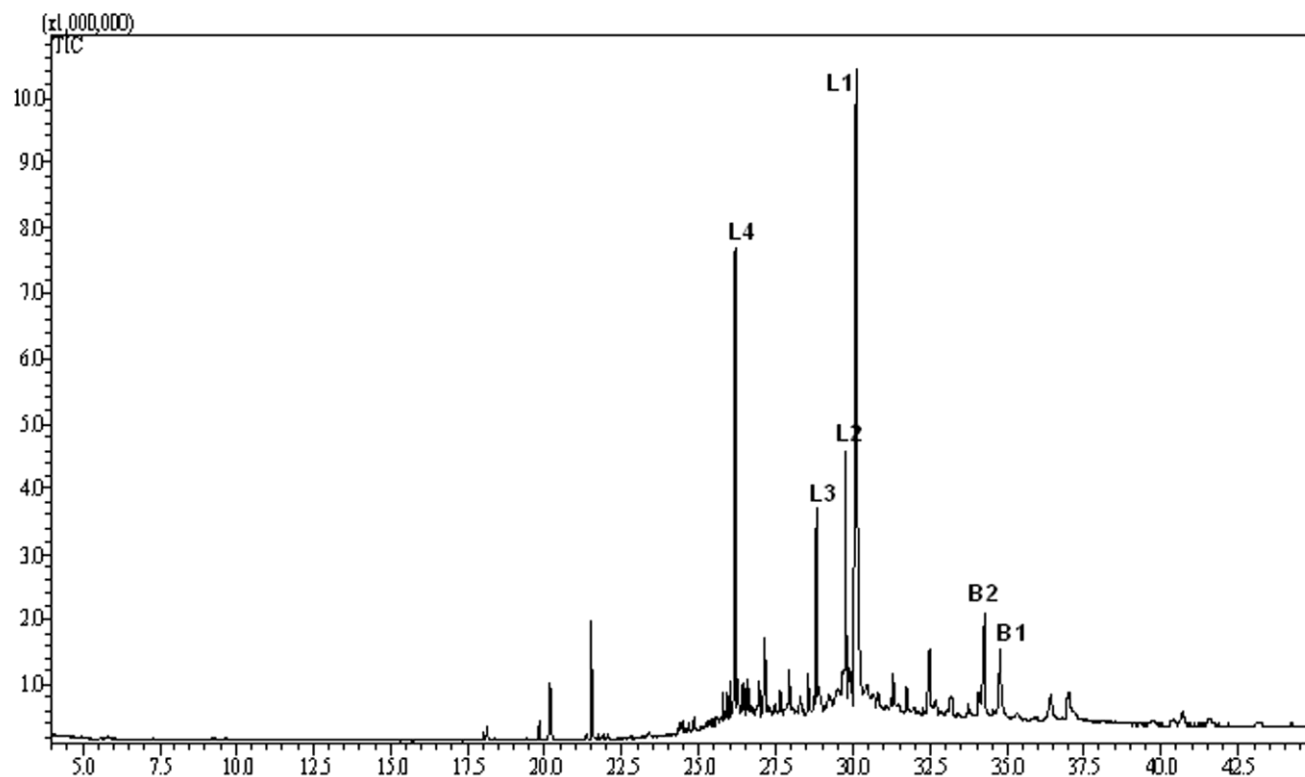


# Suchá destilace triterpenoidních pryskyřic



# Krhov

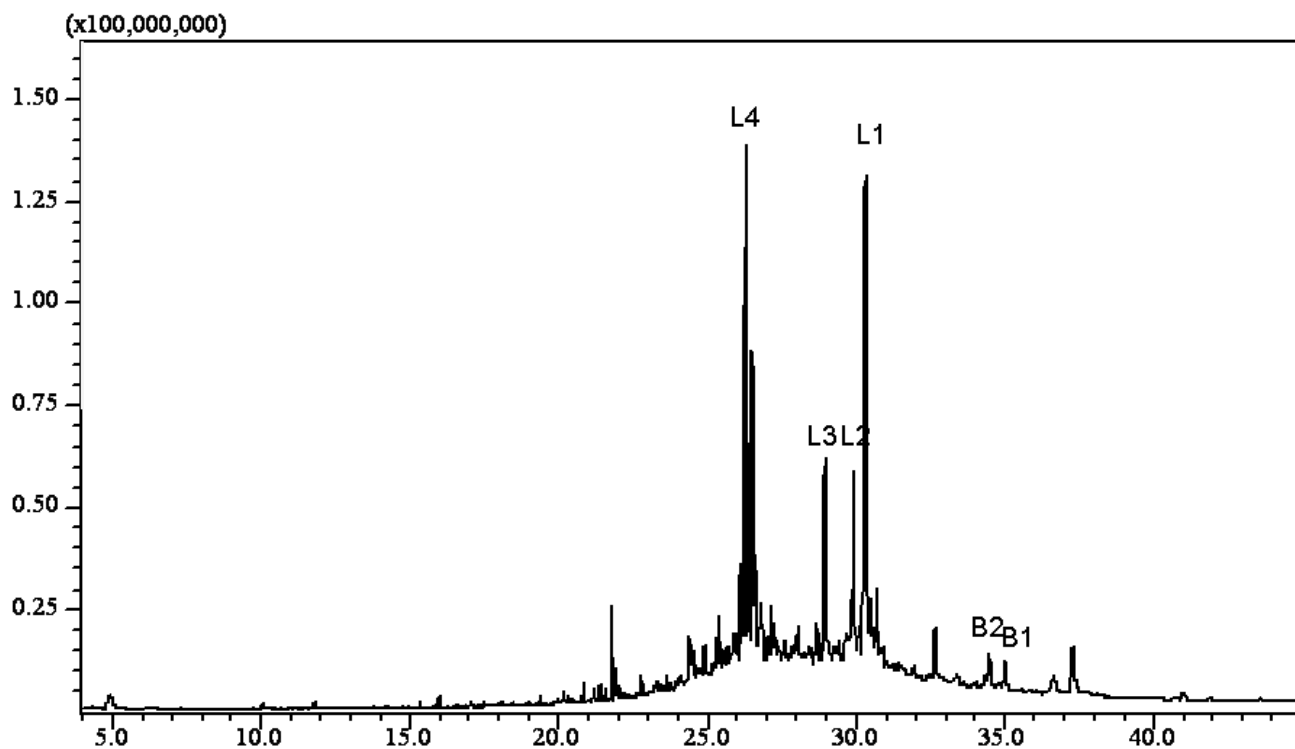
V průběhu prací spojených s revitalizací rybníka Utopenec bylo lokalizováno sídliště šáreckého stupně kultury s lineární keramikou (střední neolit).



Chromatogram (Scan mod) chloroformového extraktu vzorku z Krhova (L4 lupenon, L3 lupenon-28-ol, L2 lupenon, L1 lupeol, B2 betulon, B1 betulon).

# Ivanovice na Hané

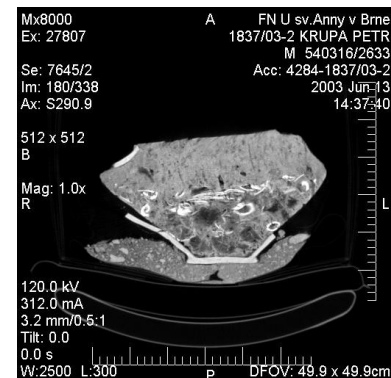
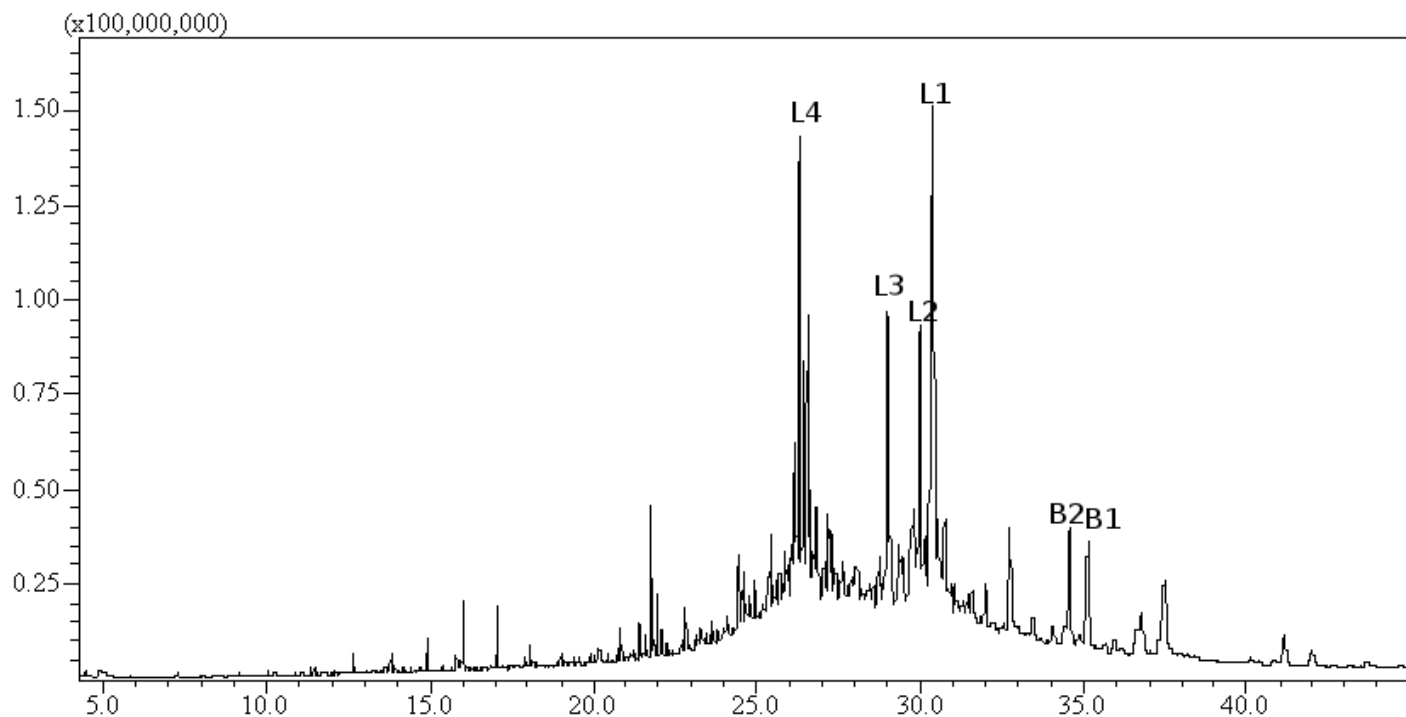
- výzkum eneolitického sídliště



Chromatogram (Scan mod) chloroformového extraktu vzorku z Ivanovic na Hané (L4 lupa-2,20(29)-dien, L3 lupa-2,20(29)-dien-28-ol, L2 lupenon, L1 lupeol, B2 betulon, B1 betulin).

# Brno–Modřice

- v žárovém hrobě ze starší doby římské byla mezi kostmi nalezena hrudka tmavé organické hmoty.



Chromatogram (Scan mod) chloroformového extraktu vzorku z Brna-Modřic (L4 lupan-2,20(29)-dien, L3 lupan-2,20(29)-dien-28-ol, L2 lupenon, L1 lupeol, B2 betulon, B1 betulin).



1 cm



2 cm

Lešany u Prostějova



0,5 cm

Těšetice-Kyjovice



0,5 cm

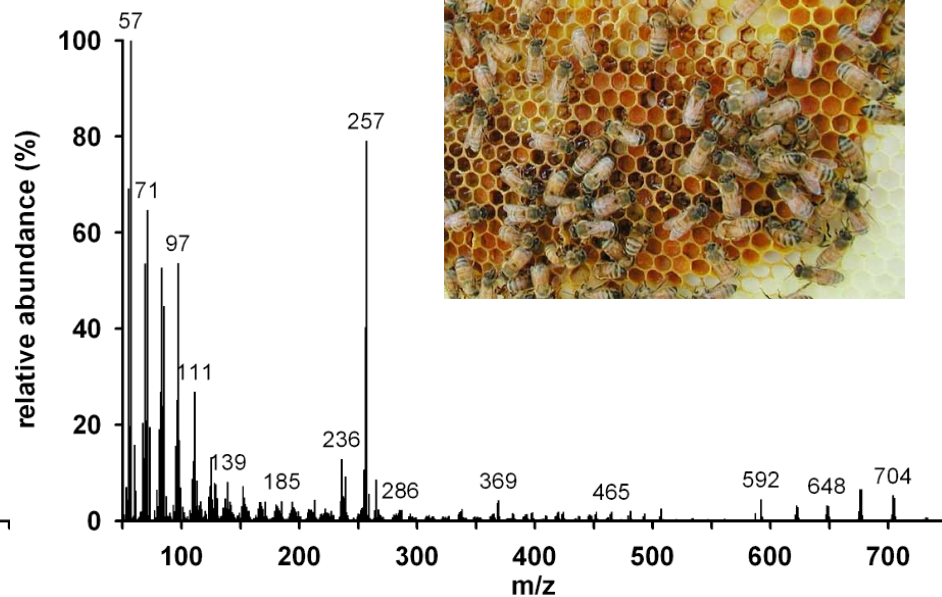
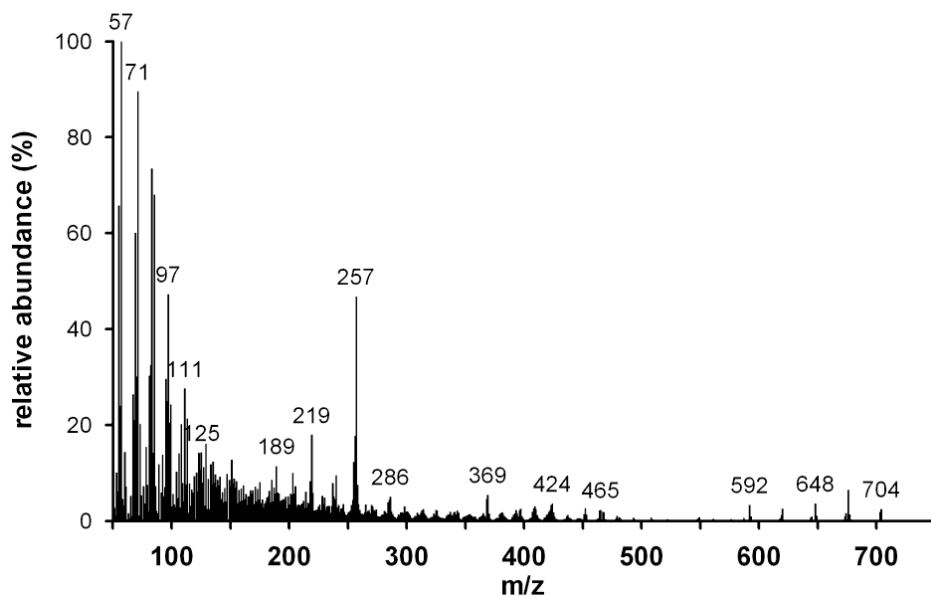
Hulín

# Dolní Sukolom

Silicitový nožík s nánosem organické hmoty (pozdní eneolit).



1 cm



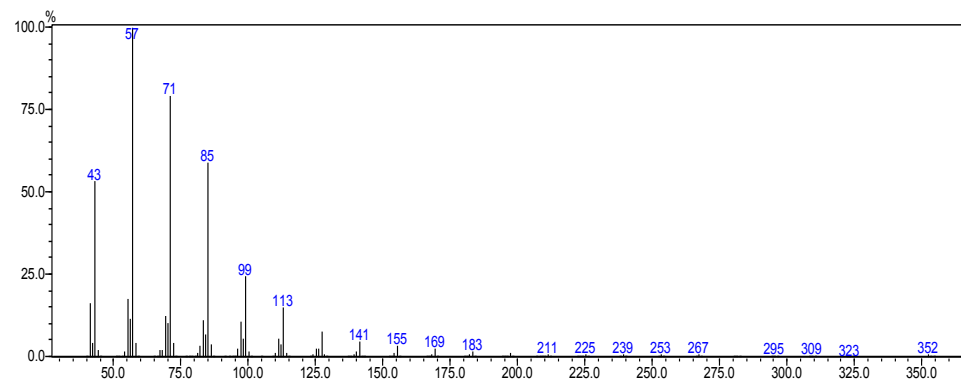
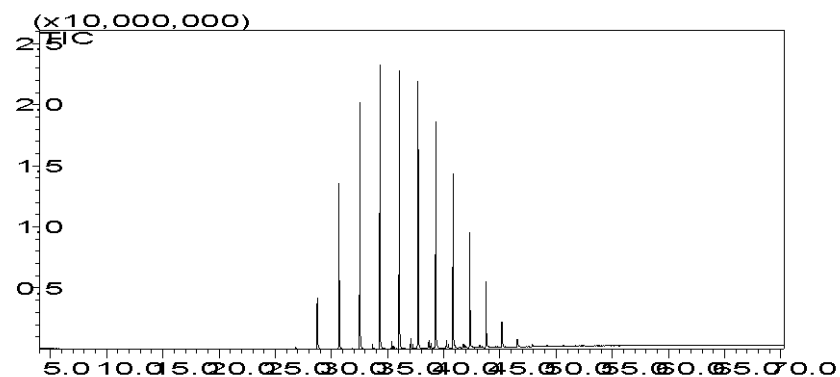
Hmotnostní spektrum (DIP-MS) vzorku organické hmoty z Dolní Sukolomi (A) a recentního vosku (B) pro energii ionizace 70 eV.

# Boskovice, kostel sv. Jakuba

(krypta Morkovských ze Zástřizl)



Parafin patrně z doby  
otevření krypty r. 1912



MS spektrum n-pentakosanu ( $C_{25}H_{52}$ , 5. pík zepředu) ze vzorku z helmice



# Kamenouhelný dehet

## Aromatic Hydrocarbons

### BTEX



Benzene



Toluene



Ethylbenzene

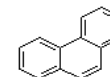


Xylene

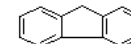
### Non-heterocyclic PAHs



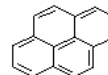
Naphthalene



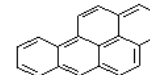
Phenanthrene



Fluorene



Pyrene



Benzo[a]pyrene

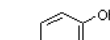
### Tar Acids / Phenolics



Phenol



o-Cresol

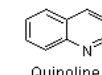


2,4-Dimethylphenol

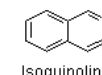
### Tar Bases / Nitrogen-containing Heterocycles



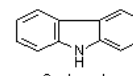
Indole



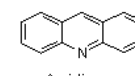
Quinoline



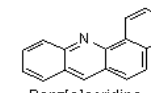
Isoquinoline



Carbazole

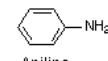


Acridine

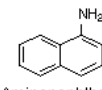


Benz[a]acridine

### Aromatic Amines



Aniline

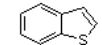


Aminonaphthalene

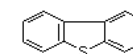
### Sulfur-containing Heterocycles



Thiophene



Benzo[b]thiophene

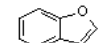


Dibenzothiophene

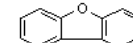
### Oxygen-containing Heterocycles



Furan



Benzofuran



Dibenzofuran

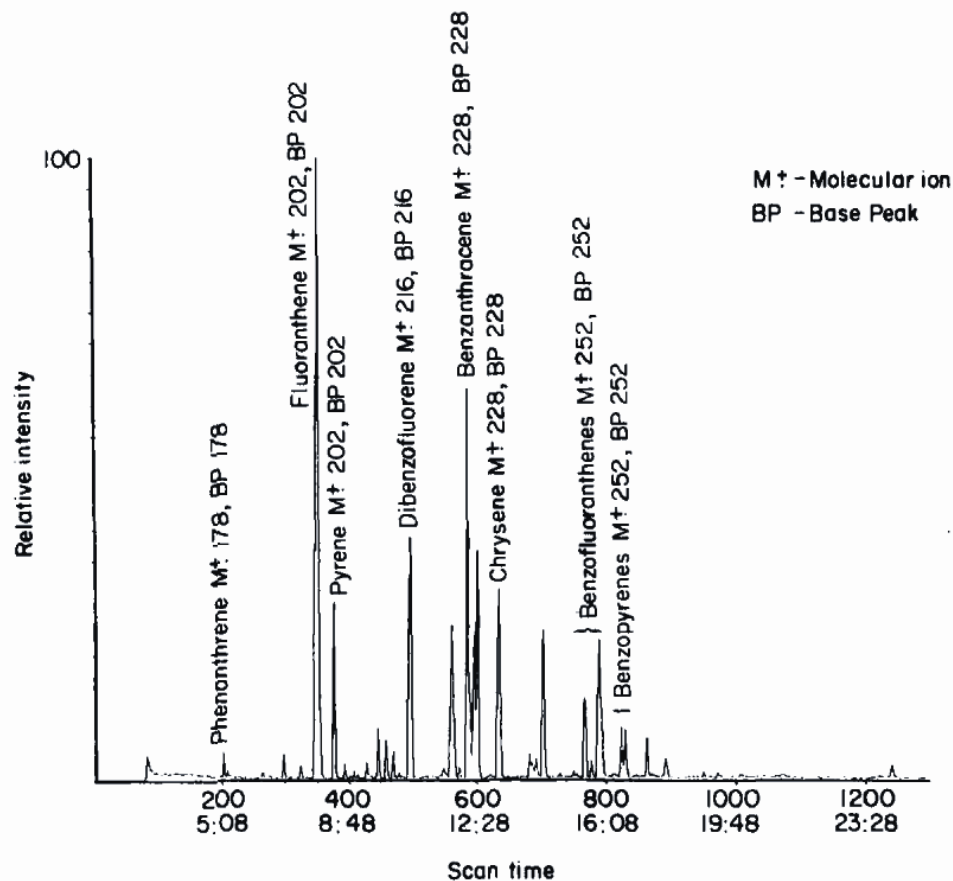


Figure 1. Total ion current (TIC) chromatogram given by the solvent washing of caulking material from the Tredunnoc boat.

# Analýza spálených kosterních pozůstatků



# Průběh spalování

- Spalování paliva
- Odpaření vody
- Spalování měkkých tkání
- Spalování kostí

*Teplotní (vlhkostní) gradient*

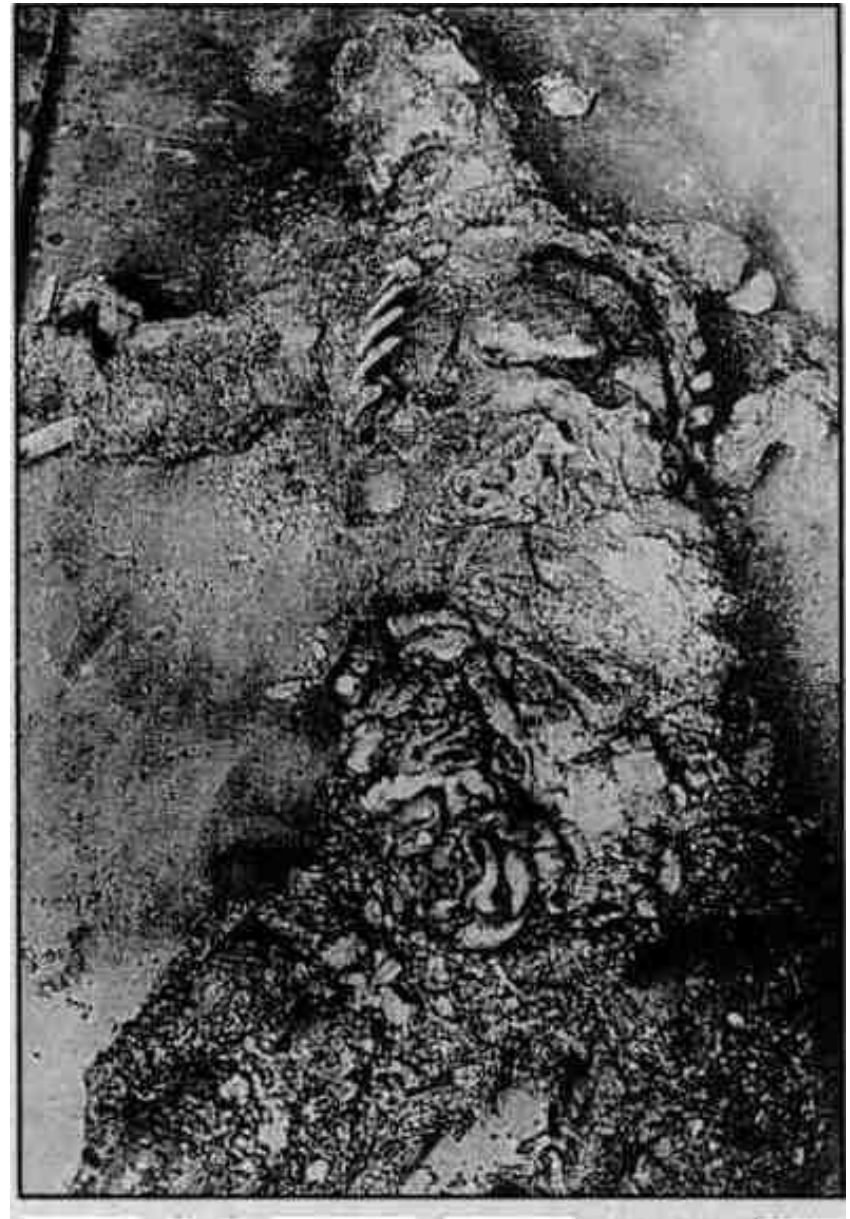
*Knotový efekt*



# Obsah vody v těle a teplotní gradient

Zpomalené hoření tkání s vysokým obsahem vody.

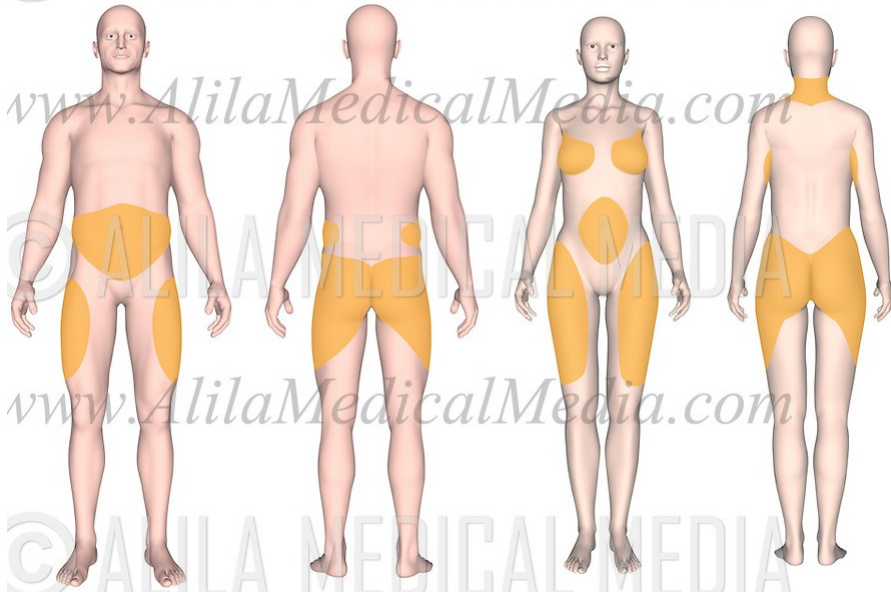
<i>Tkáň</i>	<i>Obsah vody (%)</i>
kostra	22
tuková tkáň	30
kůže	70
svalstvo	75
mícha	70
bílá hmota mozková	70
šedá hmota mozková	86
krev	80
játra	70
ledviny	83
plíce	79
srdce	79



# Knotový efekt

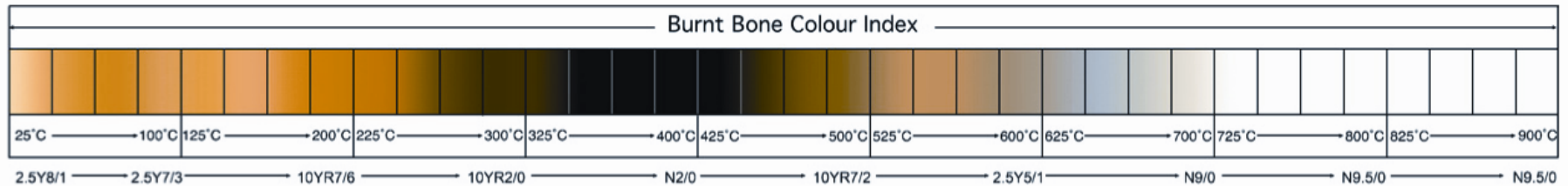
Během hoření knotu se svíčka se taví a vzniklá kapalina je nasávána do knotu, kde hoří. Lidské tělo obsahuje velké množství tuku, který se začne tavit, je nasáván oblečením, které tak funguje jako knot, a udržuje hoření.

Distribution of Subcutaneous Fat in Males and Females



# Zbarvení kosti

Temperature (°C)	Color Effects
300	Black color of cortical bone
200–400	Ultrastructural orientation of collagen fibers is well preserved
600	Gray color indicates a leaching out of the organic portion
800	White color of bone



Bone Color (temp. °C)	Cortical Position	Crystal Morphology	Size Range	Lamellar Pattern	Collagen Fibers in Haversian Canal
White (800–1400)	Outer	Spherical and Hexagonal	$0.25 \pm 0.07 \mu\text{m}$ to $0.41 \pm 0.09 \mu\text{m}$	Not observable	Indistinguishable
Gray (~600)	Mid-cortex	Spherical	$\sim 0.060 \pm 0.007 \mu\text{m}$	Not observable	Fraying
Black (200–600)	Inner	No crystals	–	Observable	No Fraying

# Metoda FTIR

Přítomnost vody (fyzikálně i chemicky vázaná)

Přítomnost organické složky (rezidua kolagenu)

Změny krystalické mřížky kostního minerálu (uhličitan,  $\beta$ -trikalciium fosfát, aj.)

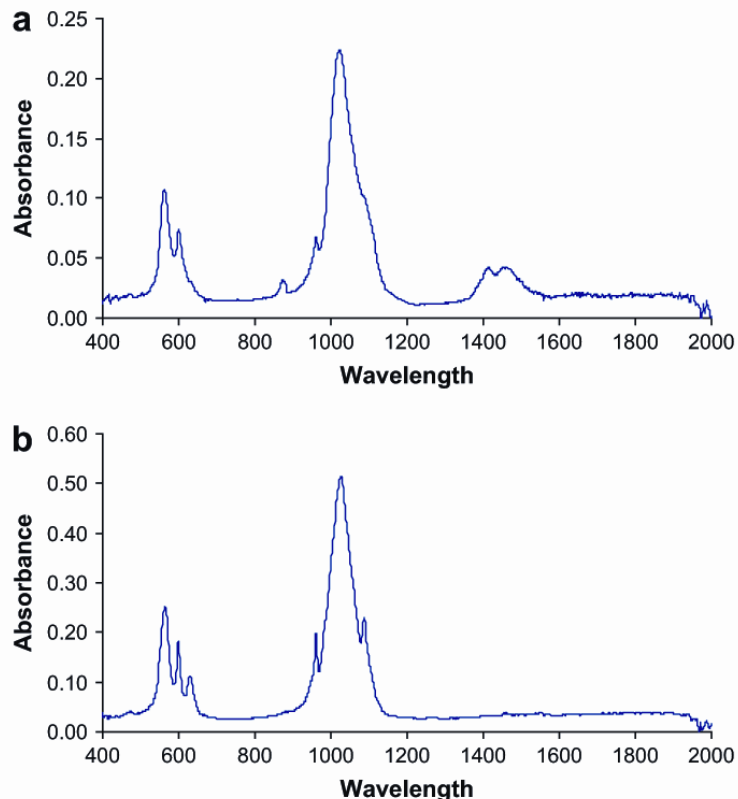
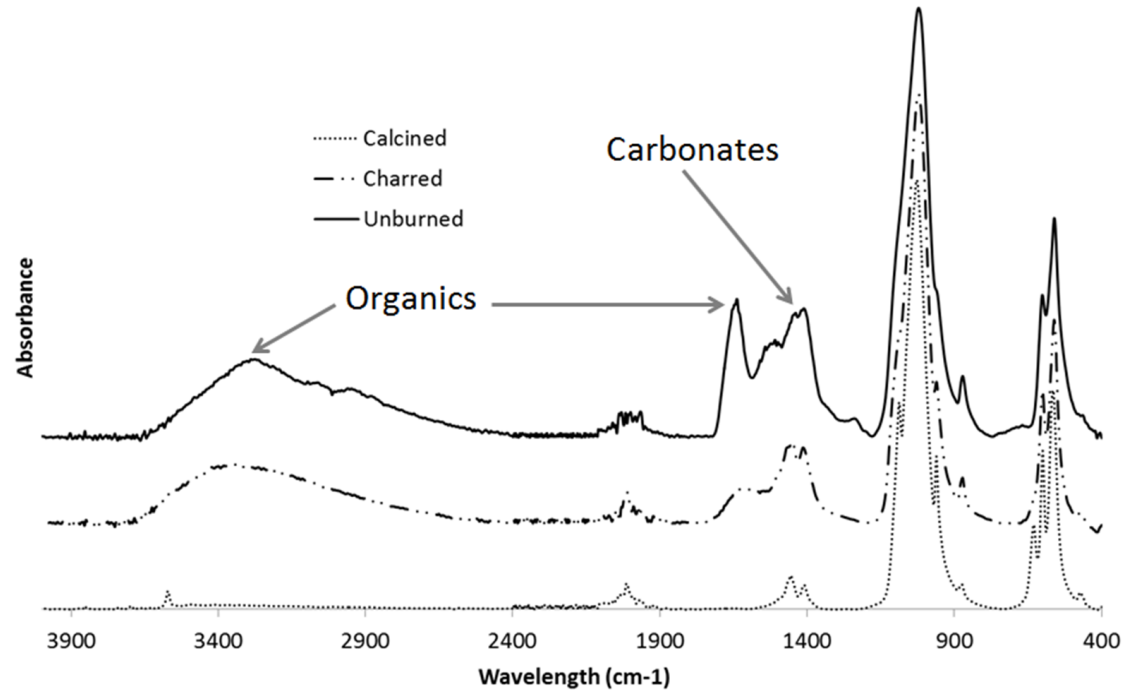
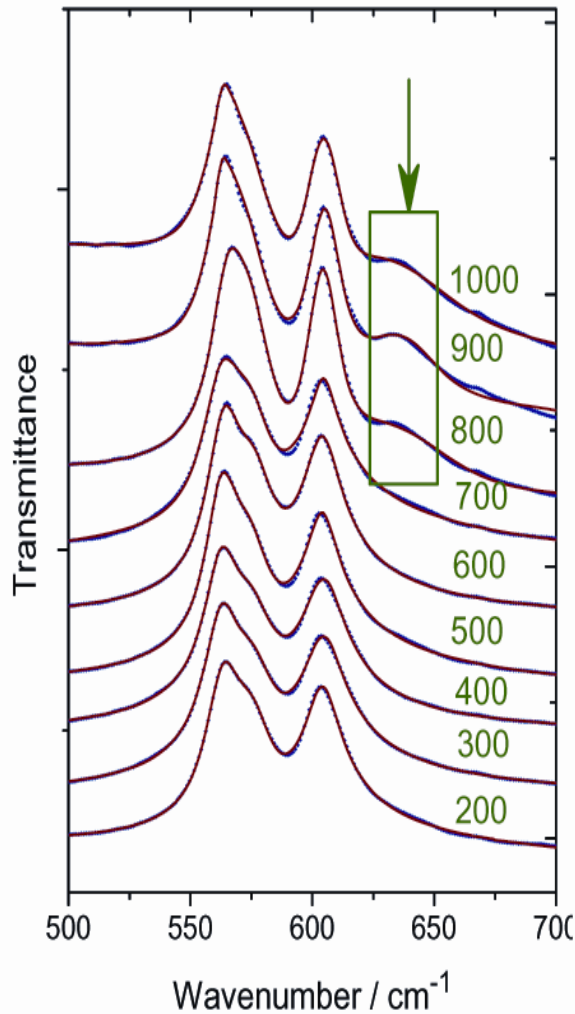


Fig. 2. Comparison of (a) low intensity (500 °C) burning and (b) high intensity (900 °C) burning FTIR-ATR spectra.

Stage of Transformation	Evidence	Revised Temperature Range (°C)
Dehydration	Fracture patterns; weight loss	100–600
Decomposition	Color change; weight loss; reduction in mechanical strength; changes in porosity	300–800
Inversion	Increase in crystal size	500–1100
Fusion	Increase in mechanical strength; reduction in dimensions; increase in crystal size; changes in porosity	700+

# Metoda FTIR



## Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )

## Effect

300–500

$\text{H}_2\text{O}$  removed from nonmineralized portion.

600–700

Organic carbon burnt to  $\text{CO}_2$  and eliminated from bone.

>700

$\text{H}_2\text{O}$  removed from apatite crystals;  $\text{CO}_2$  formation.

>800

Physiological hydroxyapatite changes to  $\beta$ -tricalcium phosphate;

Shrinking 30% due to recrystallization and crystal fusion.



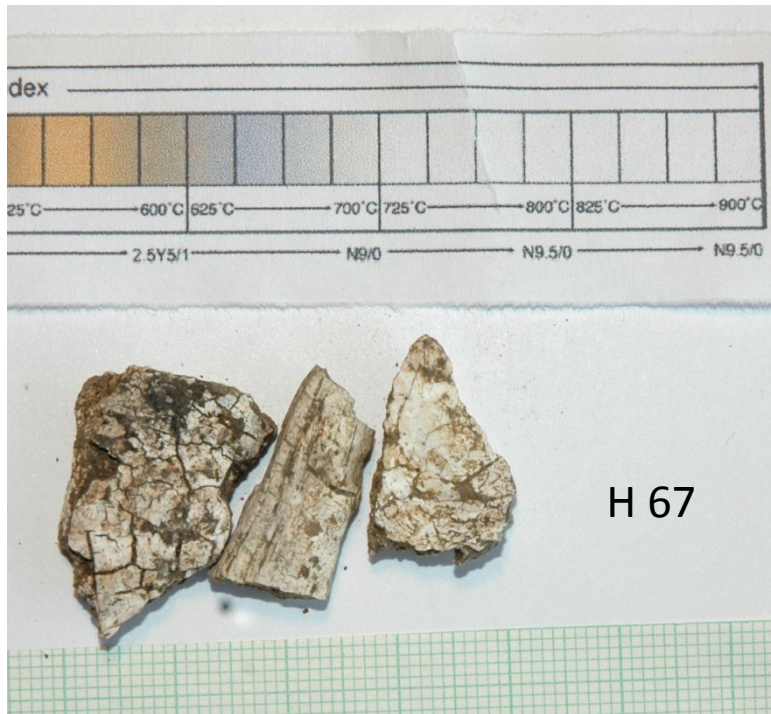


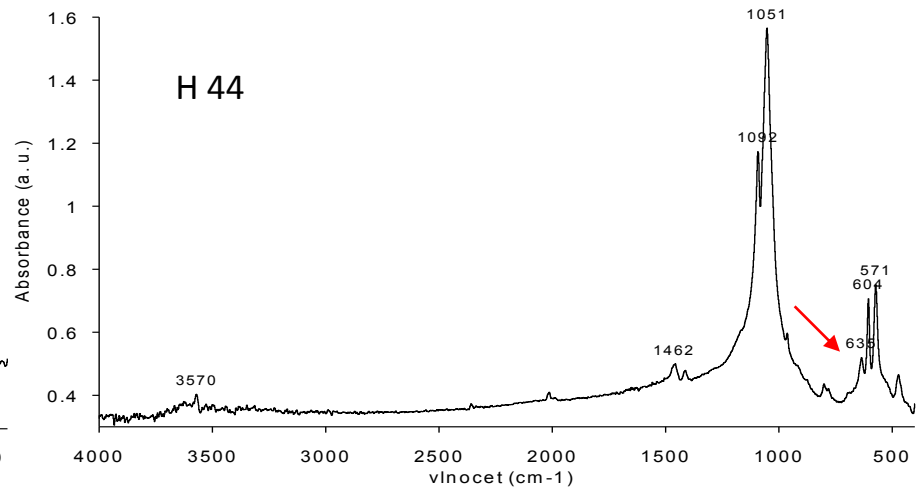
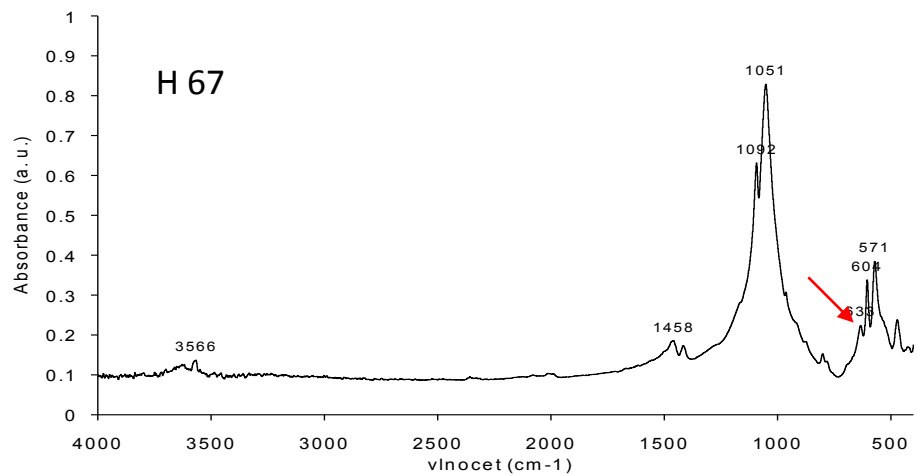
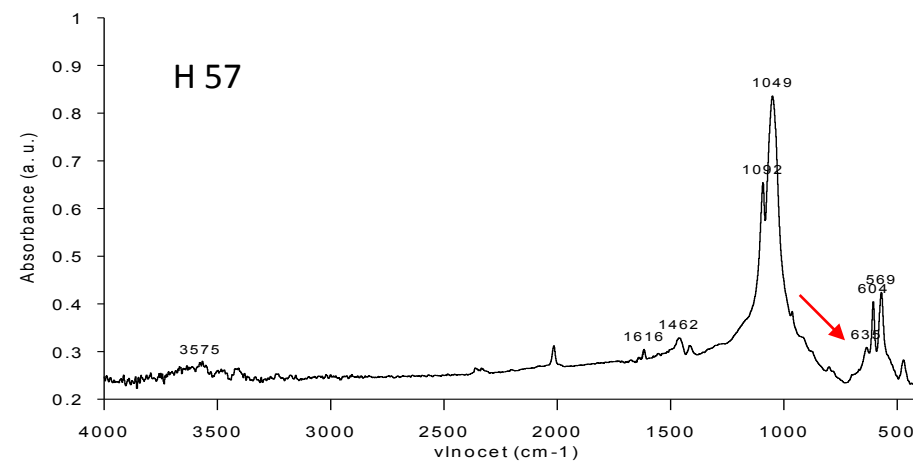
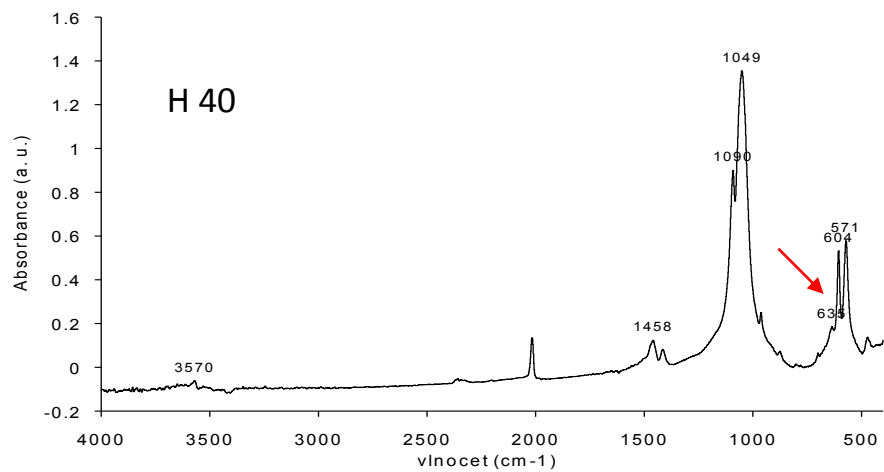
# Žárové pohřebiště lužické kultury v Příboře

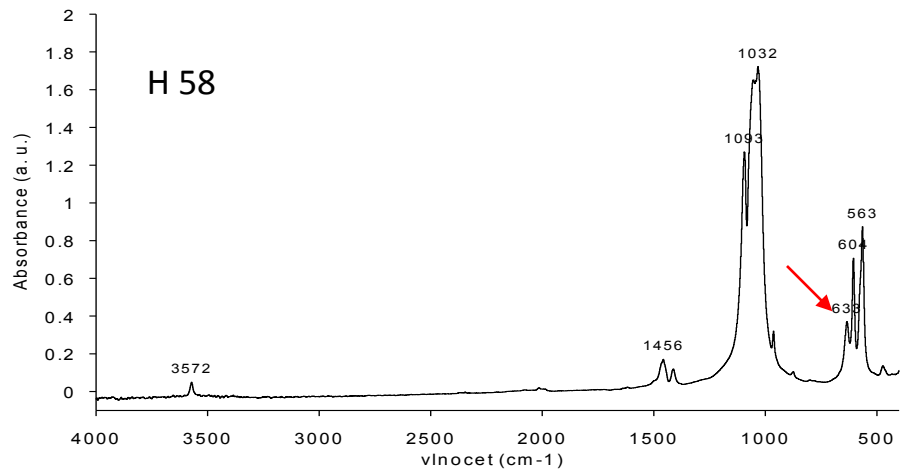
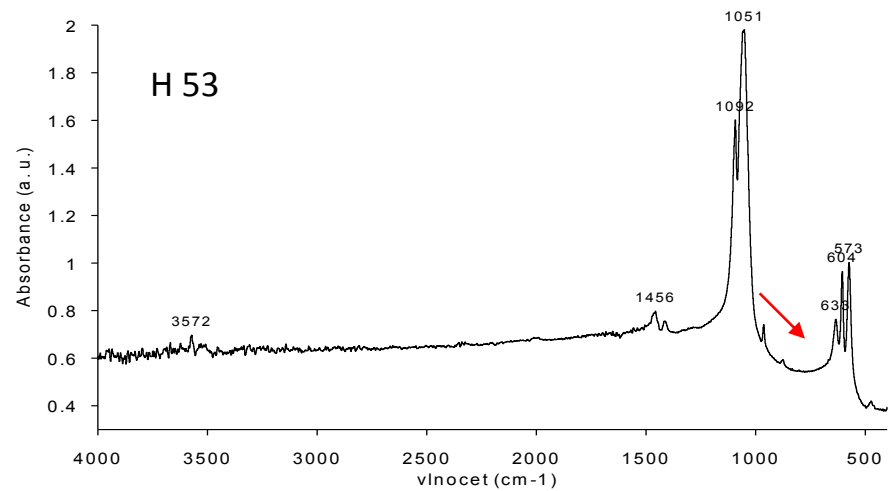
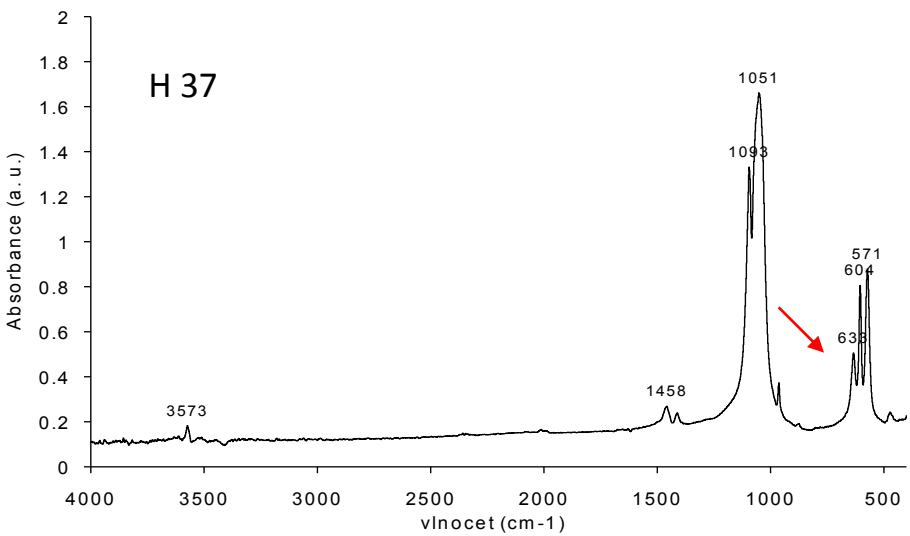




# Spálené kosterní pozůstatky







# Pohřební ritus lužické kultury

**Lužická kultura: dobře organizovaná technická stránka kremace (snad spodní přívod vzduchu, omezení ztrát tepla do okolí), případně použití značného množství paliva (Chochol 1961).**

a = křídovité  
b = křídovité – dokonalé  
c = dokonalé  
d = téměř dokonalé  
e = nedokonalé

# Charakteristika pohřebního ritu na pohřebišti v Příboře:

Ustálená technologie kremace

Teplota kremace okolo 800 - 900 C s dobrým přístupem vzdušného kyslíku.



Experimentální hranice (McKinley1997),  
Lokálně teplota dosáhla až 1000 C.



Etnografická analogie: kremace v Tibetu

# Hradisko Chotěbuz-Podobora





Zbytky stáje



CH-P/09  
SONDA 50  
CTV.C.1-2/15

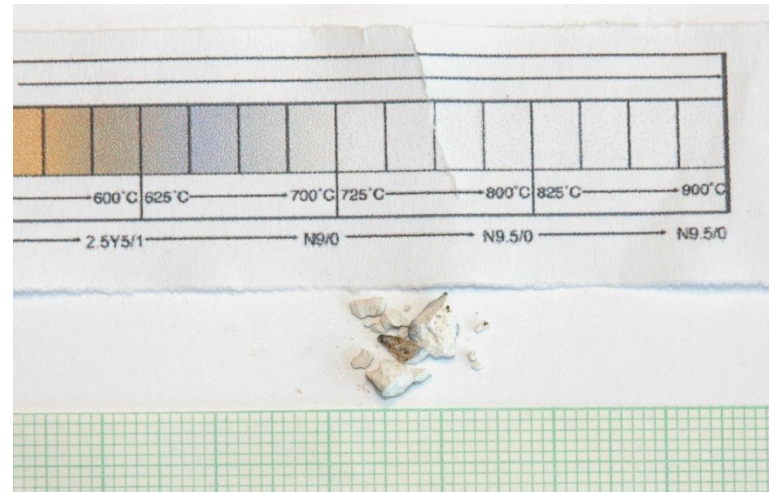
**Kráva** v červené elipse, **ovce/koza** v oranžové elipse, **prase** ve žluté elipse a **pes** v modré elipse.

# Spálené kosti

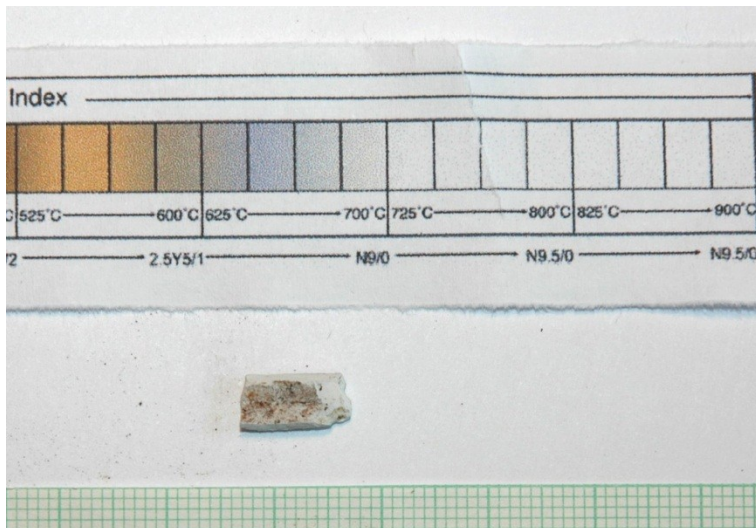
Kráva (hnědá kost)



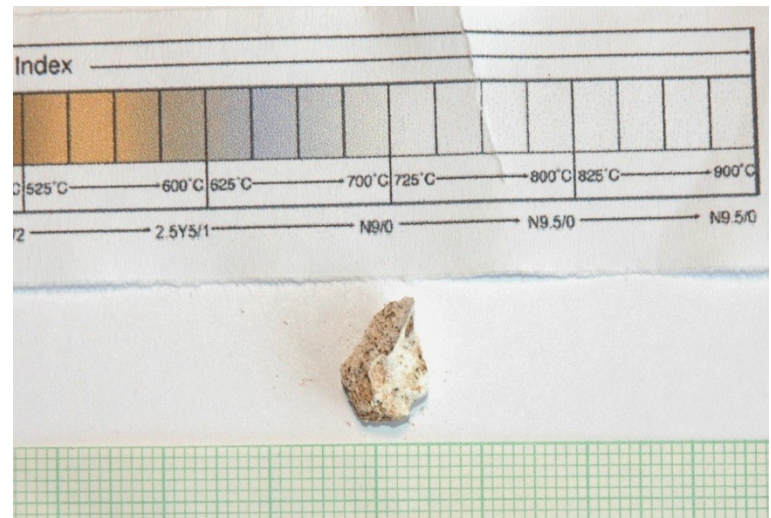
Kráva (bílá kost)



Prase



Ovce/koza



## Stupeň spálení

	<b>Dokládal 1999</b>	<b>Holck 1997</b>
<b>Kráva (hnědá kost)</b>	<b>Stupeň II (± 300°C)</b>	<b>Stupeň 1 (cca 300°C)</b>
<b>Kráva (černá kost)</b>	<b>Stupeň II (± 400°C)</b>	<b>Stupeň 2 (cca 400°C)</b>
<b>Kráva (bílá kost), prase, ovce/koza</b>	<b>Stupeň V (up to 750°C)</b>	<b>Stupeň 3 resp. 4 (up to 800°C)</b>

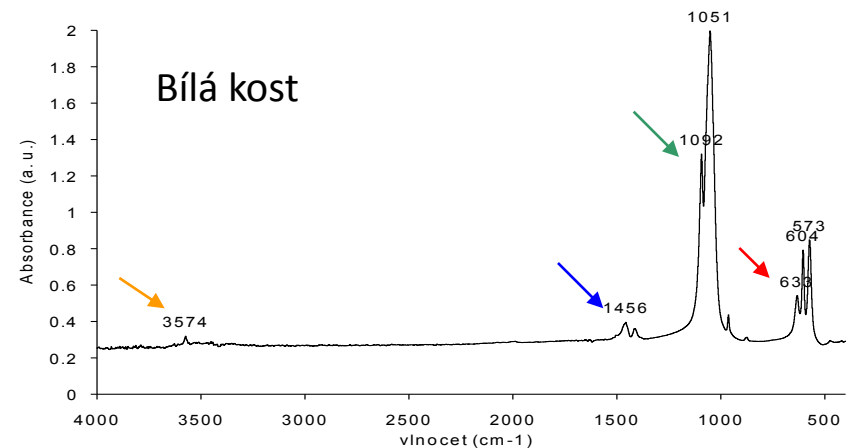
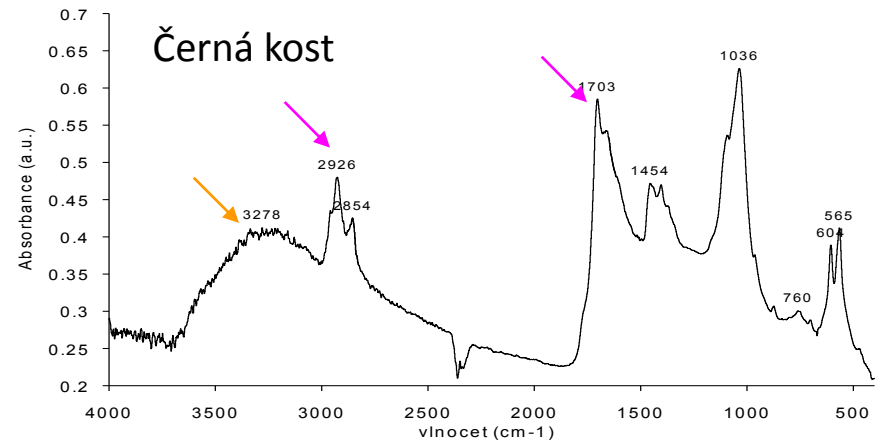
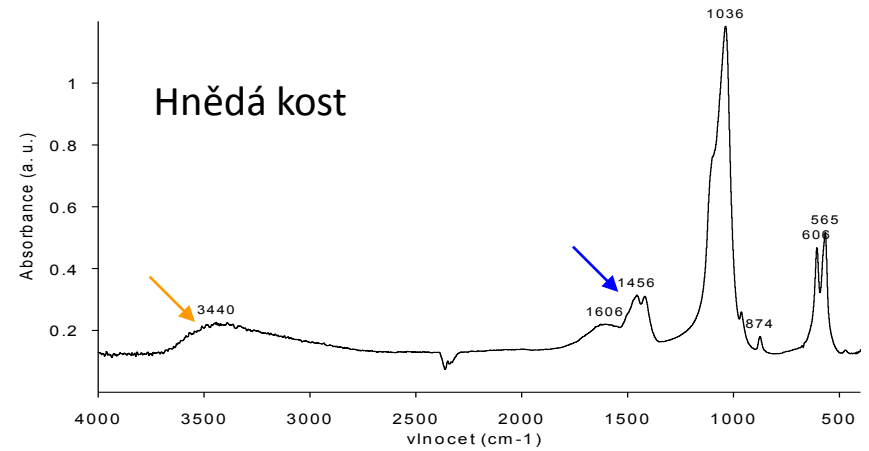
## Zbarvení

	<b>Munro et al. 2007</b>	<b>Walker et al. 2007</b>
<b>Kráva (hnědá kost)</b>	<b>250 – 300 °C</b>	<b>cca 250 °C</b>
<b>Kráva (černá kost)</b>	<b>cca 350 °C</b>	<b>350 – 400 °C</b>
<b>Kráva (bílá kost), prase, ovce/koza</b>	<b>&gt; 700°C</b>	<b>cca 900°C</b>

# Kráva

## Vliv vysoké teploty

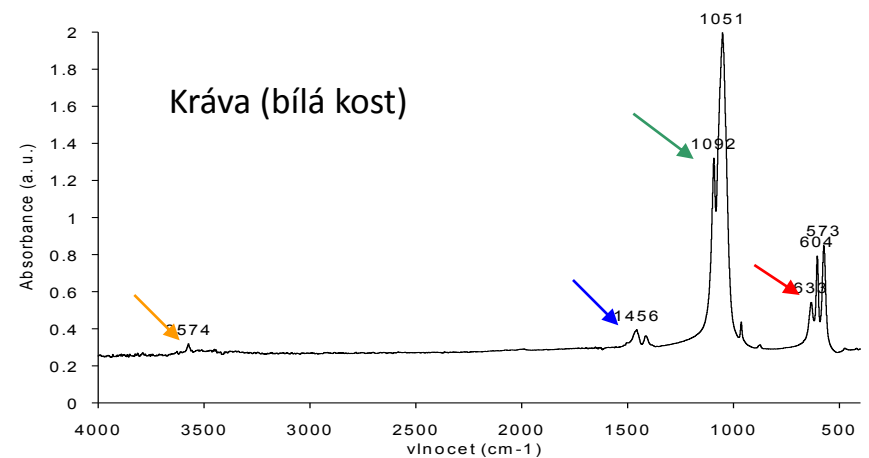
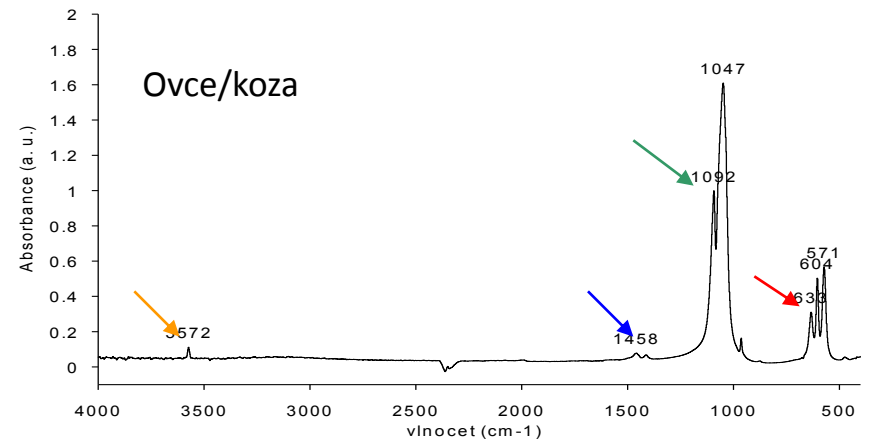
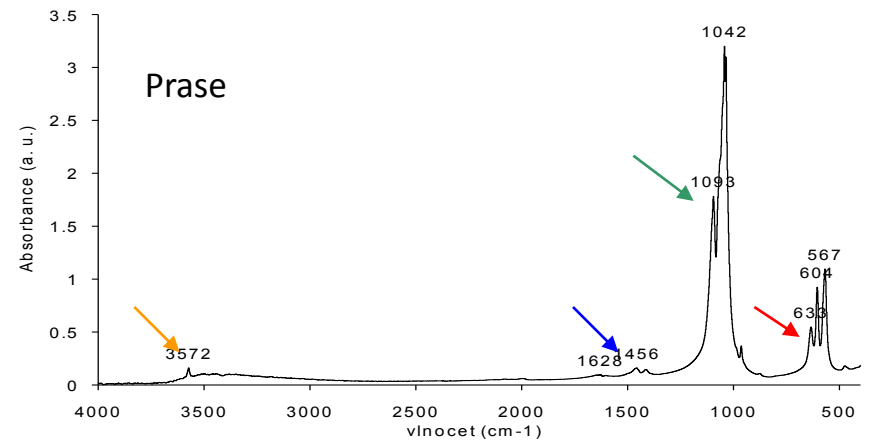
- ➔ Redukce OH pásu mezi 3600 -2600  $\text{cm}^{-1}$
- ➔ Redukce uhličitánového pásu (1459-1410  $\text{cm}^{-1}$ )
- ➔ Nový pás  $\beta$ -trikalcium fosfátu cca 1090  $\text{cm}^{-1}$
- ➔ Nový pás  $\beta$ -trikalcium fosfátu cca 655  $\text{cm}^{-1}$
- ➔ Pásky odpovídající organické složce kosti: C-H (2920-2950  $\text{cm}^{-1}$ ) a C=O (1700  $\text{cm}^{-1}$ ), resp. pásky N-H a O-H (3600 -2600  $\text{cm}^{-1}$ ) a C-O (1459-1410  $\text{cm}^{-1}$ ; superpozice s pásky uhličitánu).





Teploty odhadnuté z infračervené spektrometrie odpovídají teplotám odhadnutým ze zbarvení a stupně spálení.

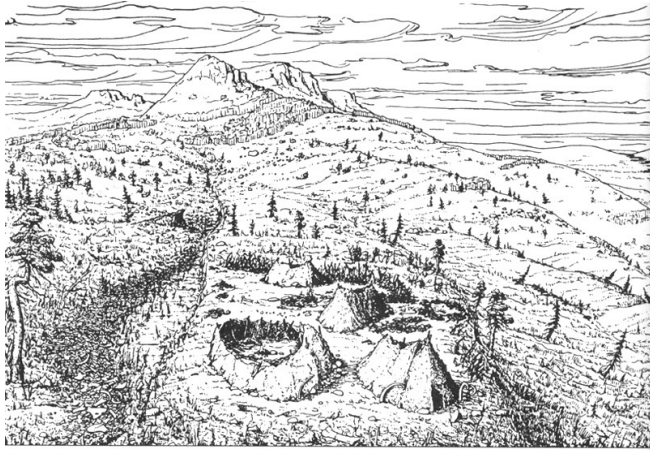
Kráva: **800 - 900 C**  
 Prase a ovce/koza: **900 – 1000 C.**



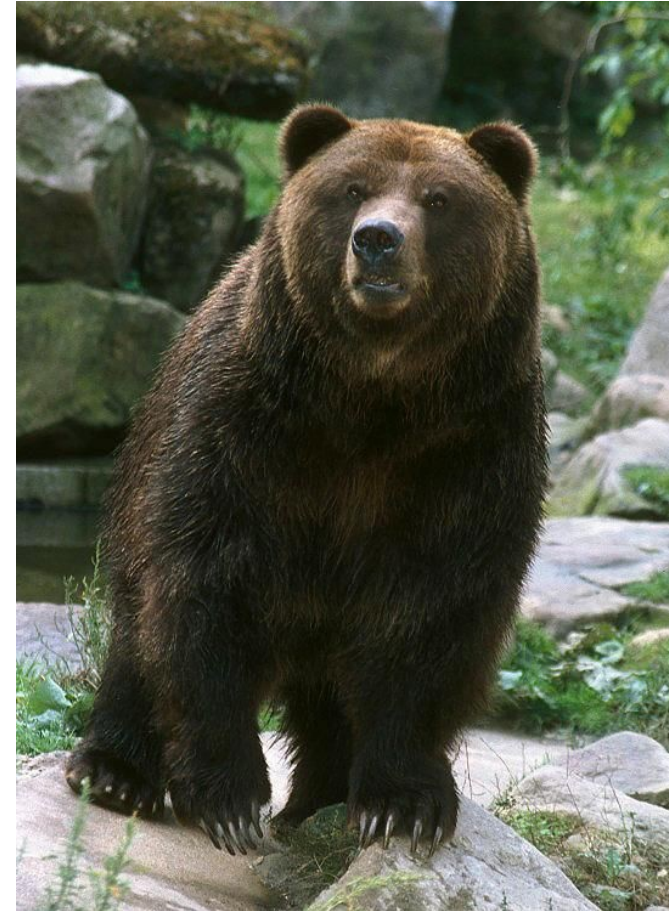
# Prvková analýza kosterních pozůstatků



# Dolní Věstonice II



Dolní Věstonice: pokus B. Klímy o rekonstrukci vzhledu sídliště „lovců mamutů“ pod Pavlovskými vrchy



Špičák (C<sub>1</sub>) fosilního medvěda hnědého (*Ursus arctos*), gravettien, 26 640 ± 110 BP (nekalibovaná <sup>14</sup>C data).

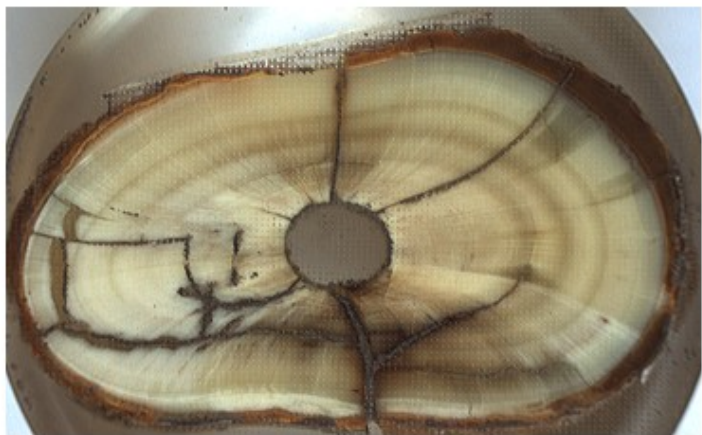


Prvek	obsah prvku ( $\mu\text{g/g}$ )	RSD
Ba	101	12
Zn	184	14
Sr	374	6

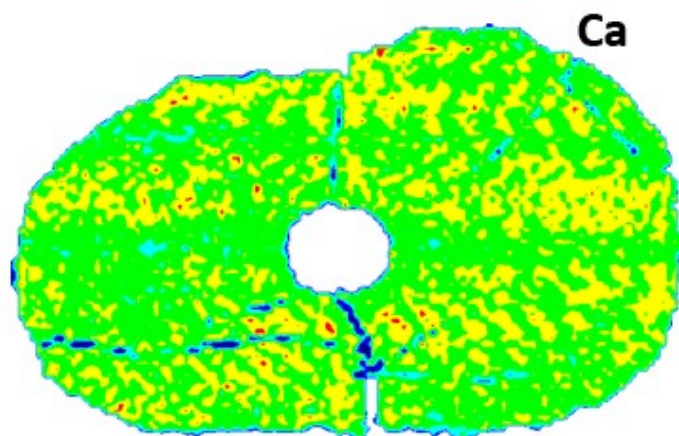
obsah Zn [mg/kg] :      býložravci → **všežravci** → **masožravci**  
   90-150 → **120-220** → **175-250**

Content Sr[mg/kg]:      **masožravci** → **všežravci** → býložravci  
   **100-300** → **150-400** → 400-500

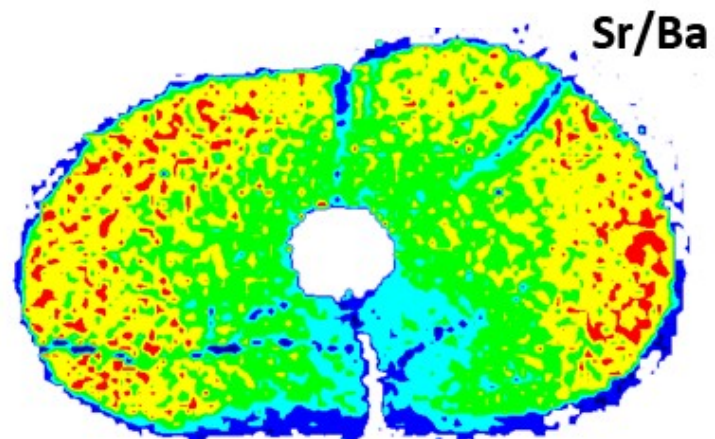
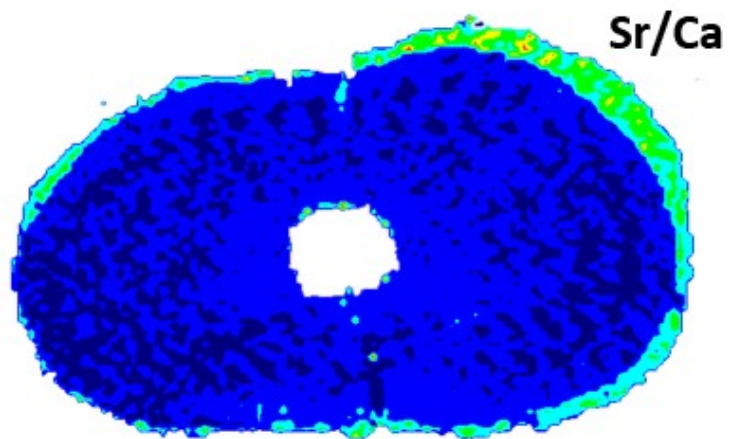


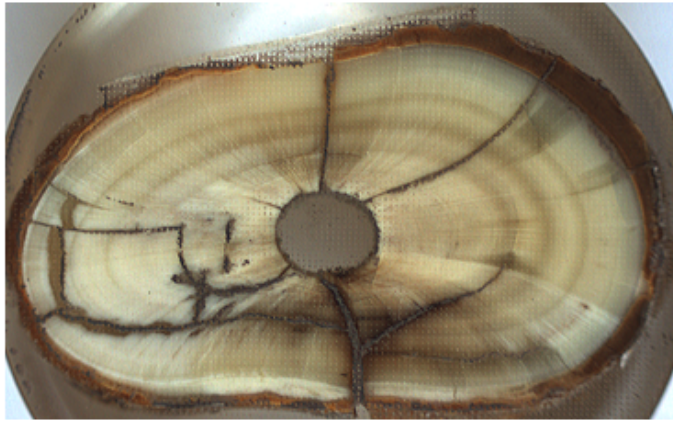


5 mm

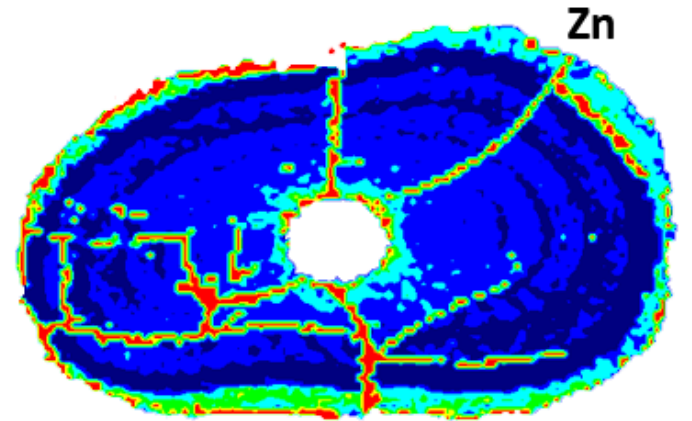


→  
Relative abun.

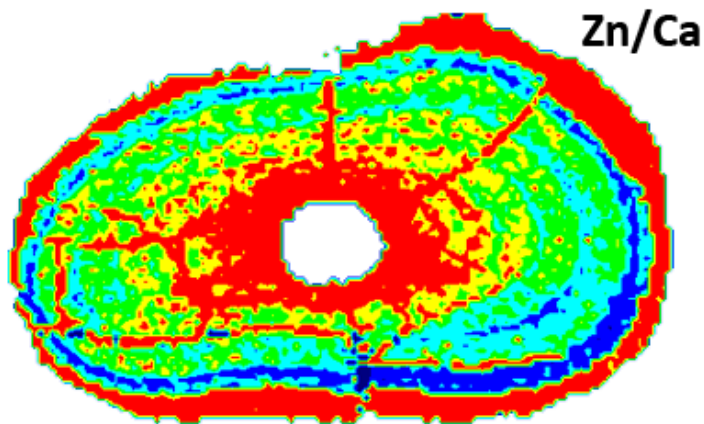
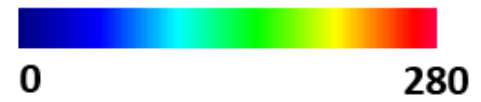




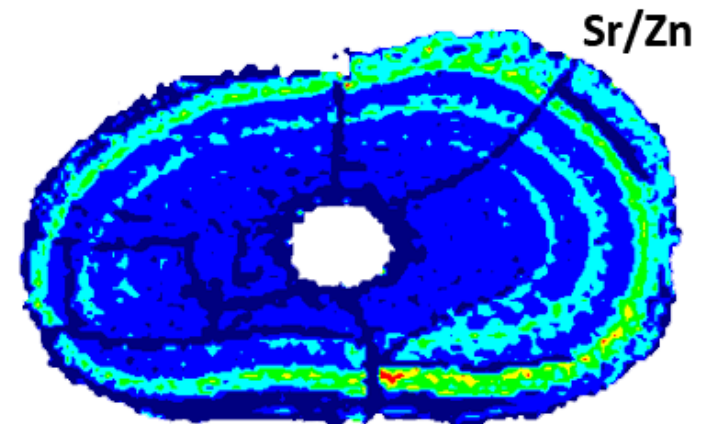
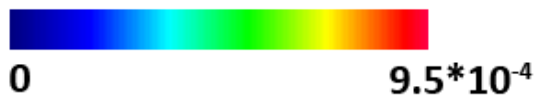
a)



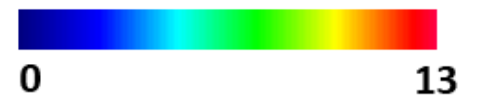
b)



c)



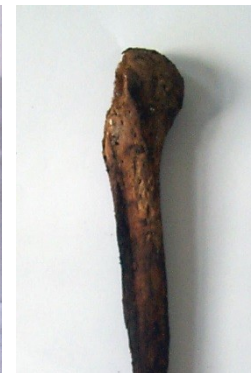
d)



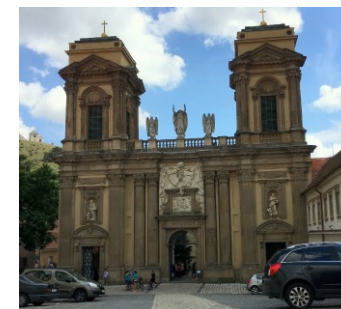
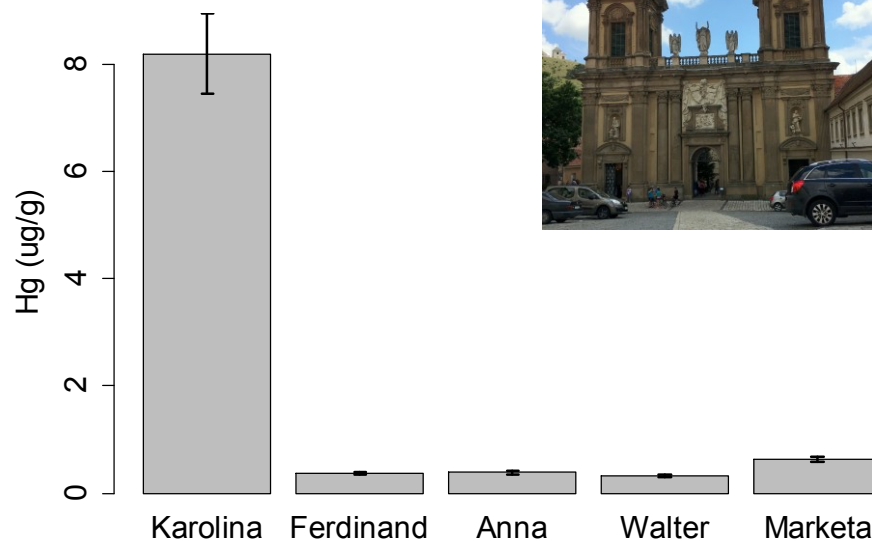
# Mikulov

Výzkum rodinné hrobky Dietrichsteinů.

Kněžna Karolina Maxmiliána (†1734) trpěla nějakou blíže neurčenou, a na kosterních pozůstatcích nezjistitelnou, chorobou (uvažuje se o tzv. „rychlých souchotinách“).



Jméno	Rok úmrtí	Hg ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Karolina Maxmiliána Dietrichsteinová	1734	$8,20 \pm 0,23$
Robert Burns	1844	8,02
Andrew Jackson	1845	6,0 5,6
Napoleon Bonaparte	1821	$3,98 \pm 0,29$ 3,3 4,7



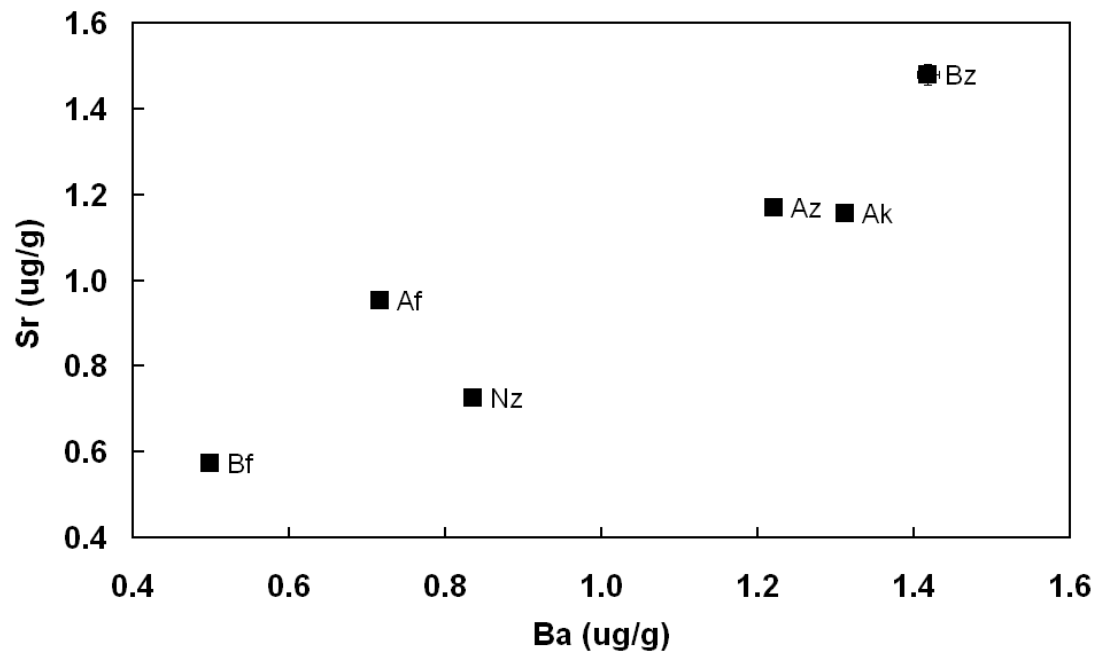
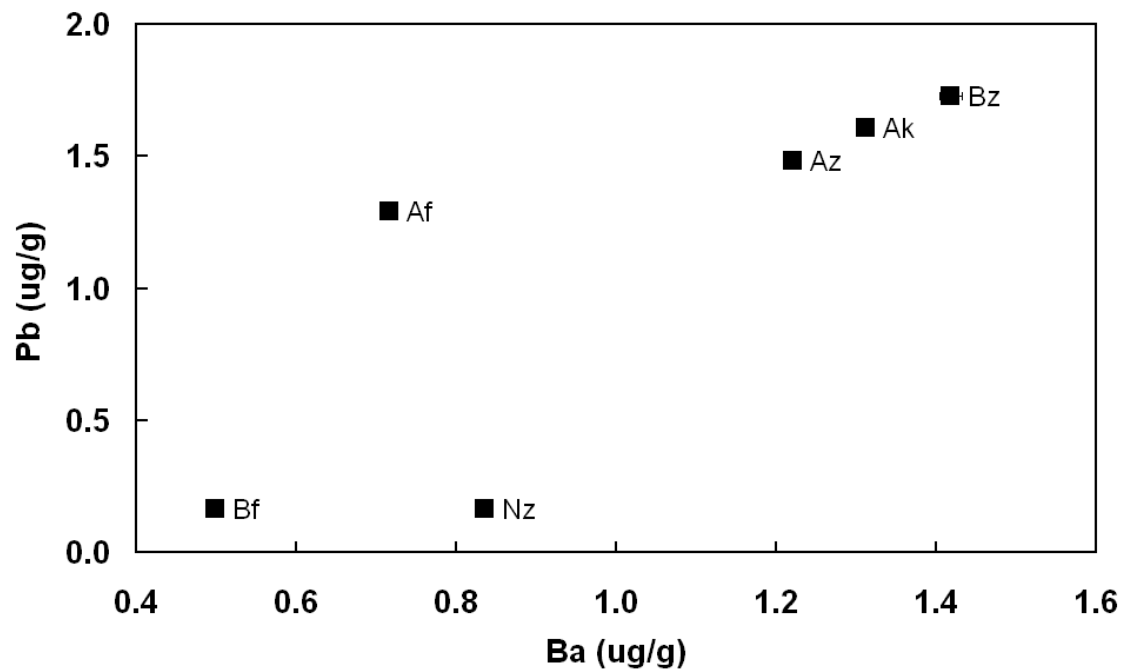
# Uherské Hradiště

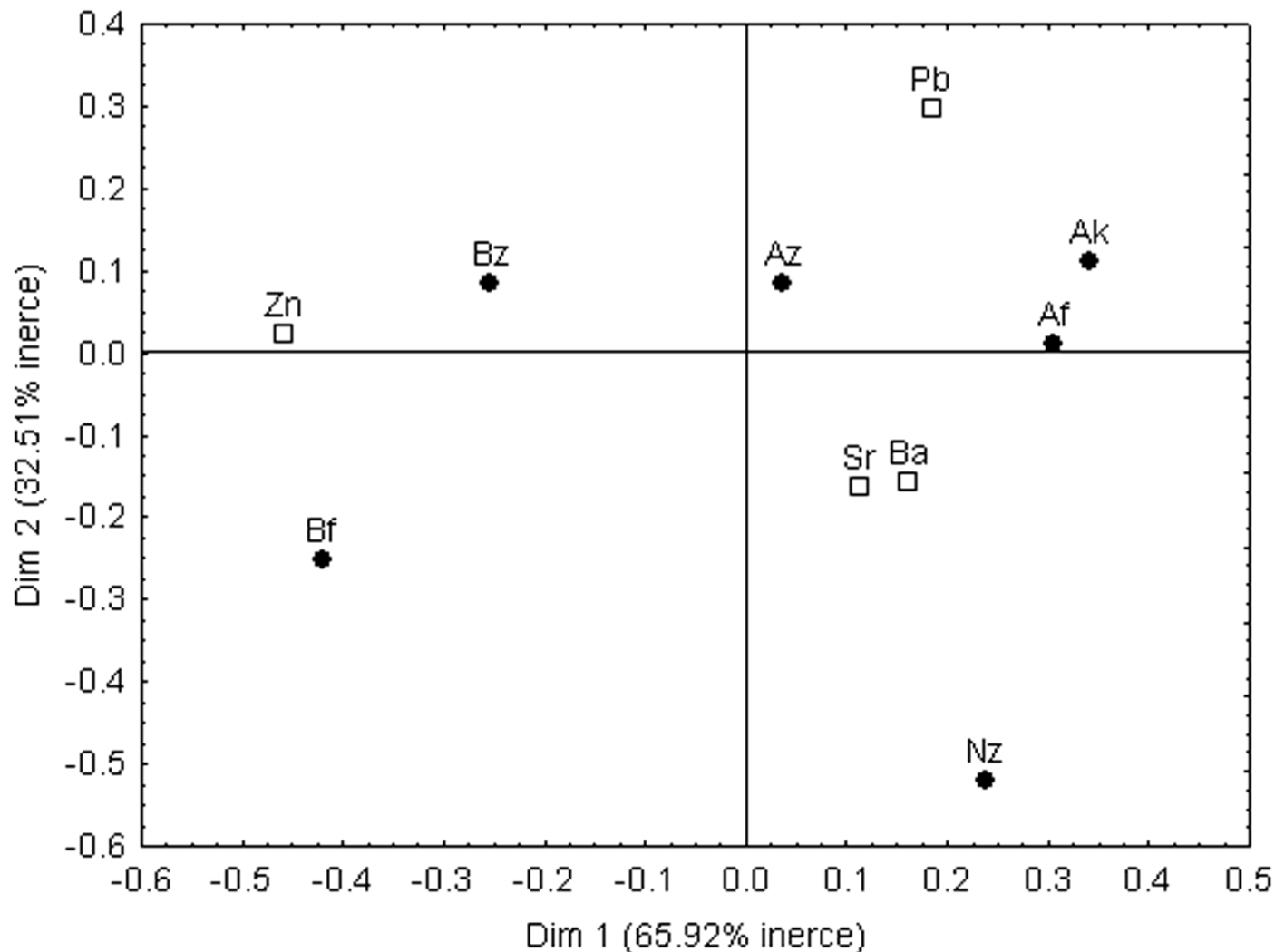
při záchranném archeologickém výzkumu klášterního kostela vyzvednuty na Rajském dvoře kláštera kosterní pozůstatky. Podle názoru autora výzkumu, archeologa R. Snášila, mohly pozůstatky patřit zakladateli kláštera biskupu Janu Filipcovi. Ten měl být původně pohřben před hlavním oltářem, jeho pozůstatky se zde však nenašly (biskupův náhrobek je vsazen do severní stěny presbyteria).

**Jan Filipec** (†1509) biskup velkvaradínský a správce olomouckého biskupství, diplomat ve službách uherského krále Matyáše Korvína a poté českého a uherského krále Vladislava Jagellonského.

Mauzoleum, kde byl biskup původně pohřben, bylo patrně vykradeno a jeho hrob vypleněn. Pokud se tedy jedná o pozůstatky biskupa, musel být na Rajském dvoře pohřben sekundárně. V hrobě byly nalezeny fragmenty dřevěné rakve s hřebíky, nedovřený zlatý kroužek (snad součást biskupského řetězu) a zvířecí kosti.





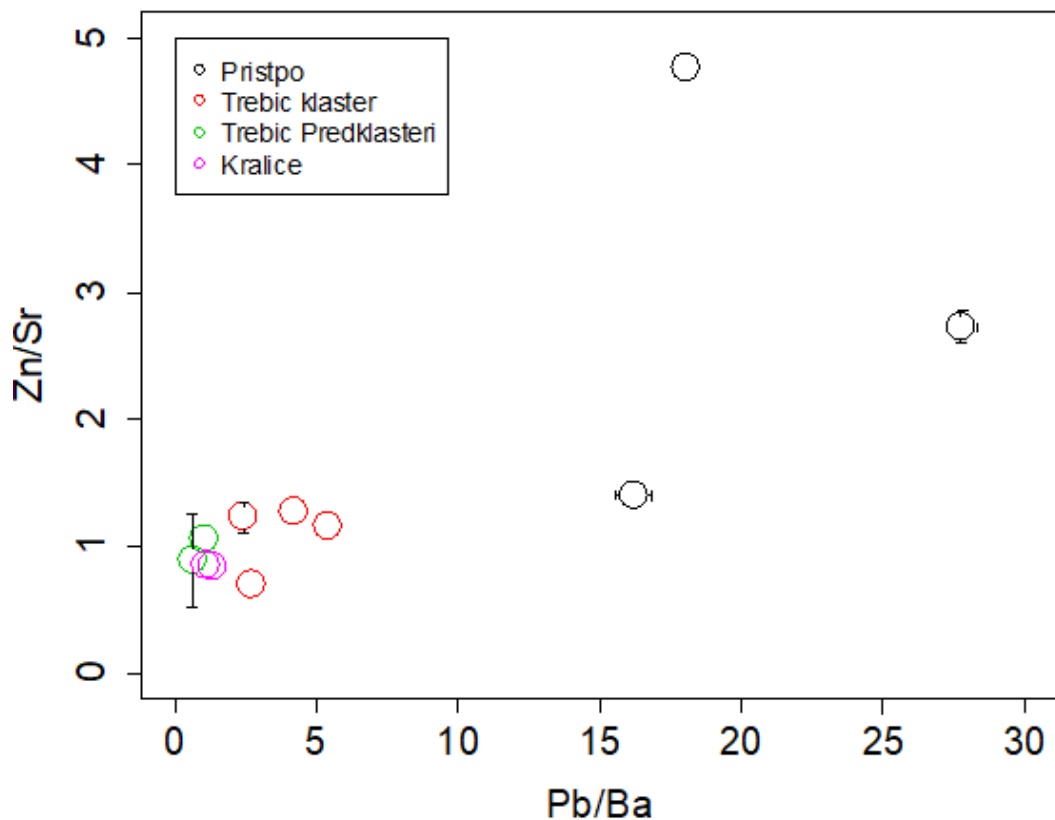


Vysoký obsah Pb v kostech jedince A může být jedním z podpůrných argumentů pro jeho ztotožnění s biskupem Janem Filipcem, který byl velkým milovníkem vína. Z tohoto hlediska je zajímavá historická zpráva o onemocnění biskupa Jana Filipce dnou: toto onemocnění, pokud ovšem nešlo o jinou chorobu, bývá totiž častým symptomem subchronické otravy olovem.

# Příštpo

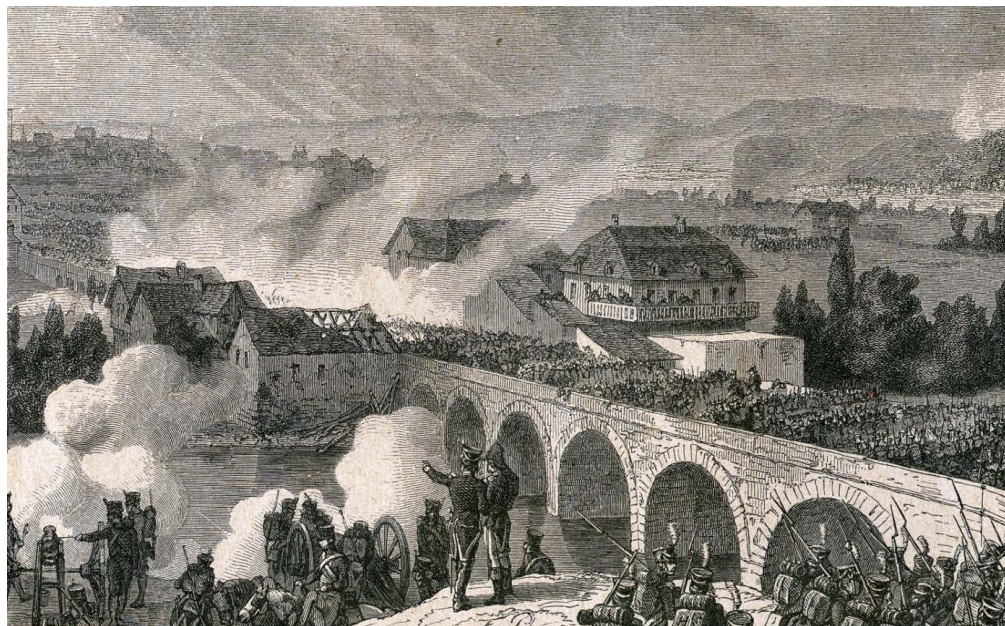
Příštpo je obec ležící cca 3 km jihovýchodně od Jaroměřic nad Rokytnou.

Při kopání sklepa domu č.p. 54 byly nalezeny neúplné kosterní pozůstatky minimálně pěti jedinců mužského pohlaví. Až na jednoho dospělého jedince byli ostatní staří cca 18–20 let.



Vzorek	Kost	Pb ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ )
Třebíč - klášter	žebro	$9.83 \pm 1.56$
Třebíč - klášter	žebro	$22.90 \pm 0.88$
Třebíč - klášter	žebro	$16.32 \pm 1.02$
Třebíč - klášter	lebka	$17.43 \pm 0.22$
Třebíč - Podklášteri	žebro	$7.03 \pm 2.74$
Třebíč - Podklášteri	lebka	$6.96 \pm 1.56$
Příštpo	žebro	$43.79 \pm 3.12$
Příštpo	žebro	$67.39 \pm 1.88$
Příštpo	žebro	$50.07 \pm 6.88$
Kralice nad Oslavou	žebro	$5.00 \pm 3.94$

Průzkumem kosterních pozůstatků z hromadného hrobu napoleonských vojáků nalezeného ve Znojmě byl zjištěn nízký věk pohřbených jedinců.



Nález z Příštpa je hromadný hrob francouzských (?) vojáků po bitvě u Znojma roku 1809, kteří zemřeli cestou do lazaretu v Jaroměřicích nad Rokytnou.



Hrob obětí napoleonských válek.  
Jaroměřice nad Rokytnou.

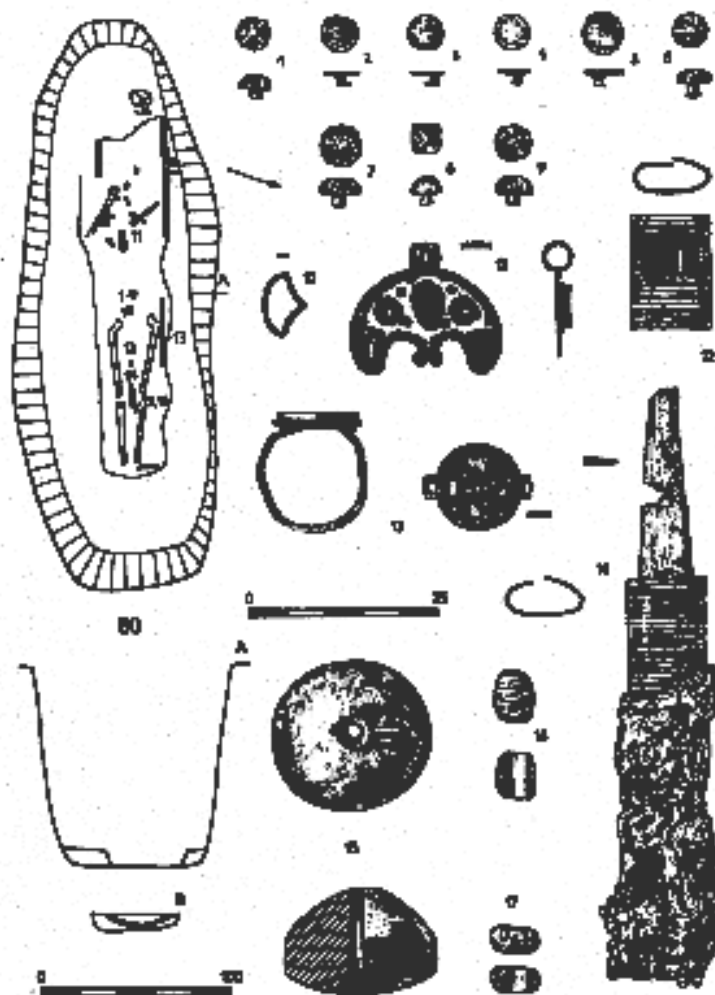




# Strachotín

výzkum pohřebiště z doby stěhování národů (kmen Langobardů)

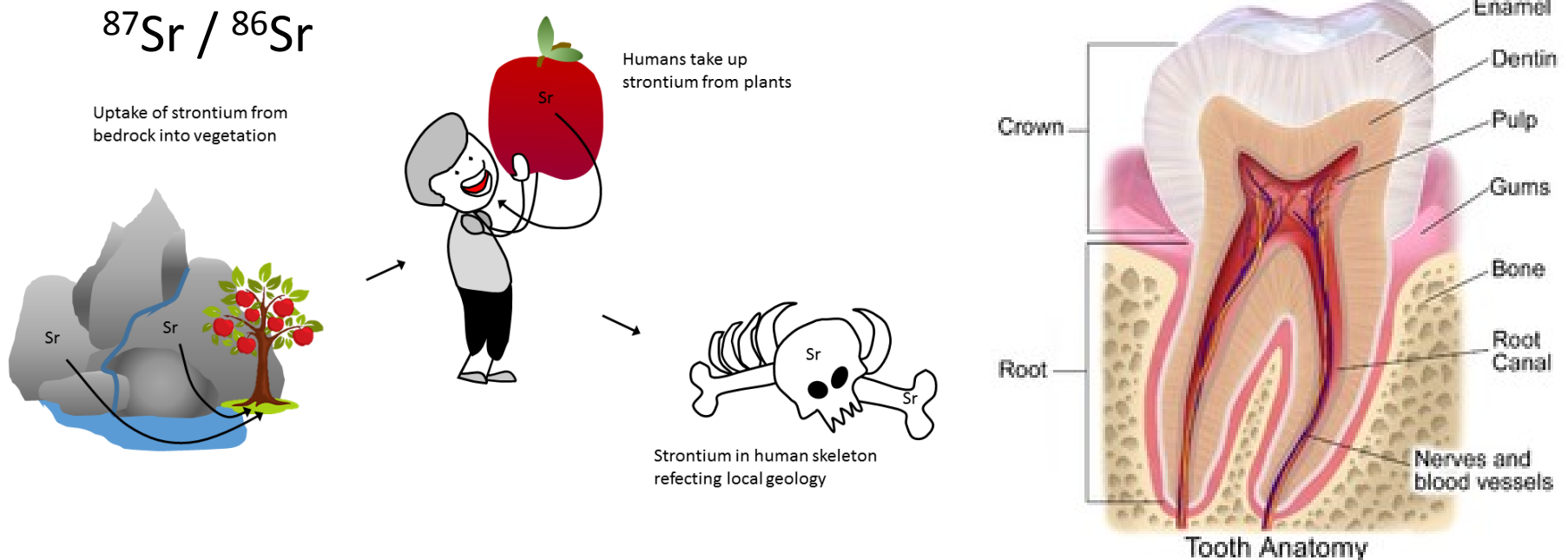
Vyloupený hrob č. 80



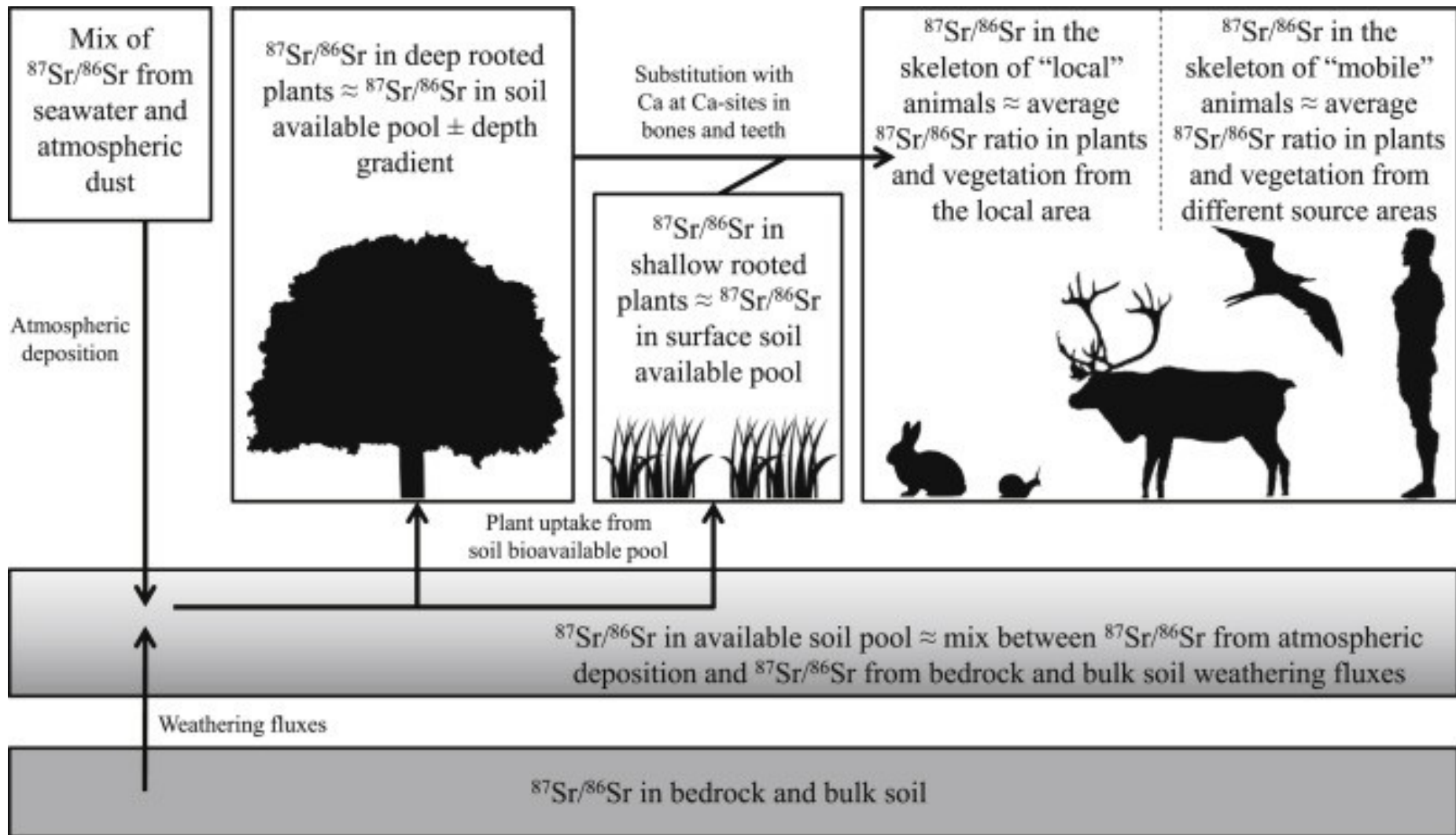
Str. 1. 188. 8. Strachotín (Str. 188. 8. Strachotín) — Graf 80.

# Poměr izotopů stroncia ( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ )

Poměr stabilních izotopů stroncia ( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ ) primárně závisí na geologickém stáří a následných geochemických procesech (např. přeměna hornin, smísení hornin různého stáří, apod.). To vede ke vzniku lokálních rozdílů v poměru  $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ .



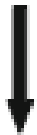
# Poměr izotopů stroncia ( $^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$ )



# Interpretace

## Outcome A:

Enamel  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = \text{Bone } ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$



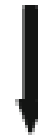
Option 1: Individual was born and lived locally during entire lifetime.

Option 2: Individual moved from one locale to another with identical  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios.

Option 3: Individual moved from one locale to another but continued to eat foods from former place of residence.

## Outcome B:

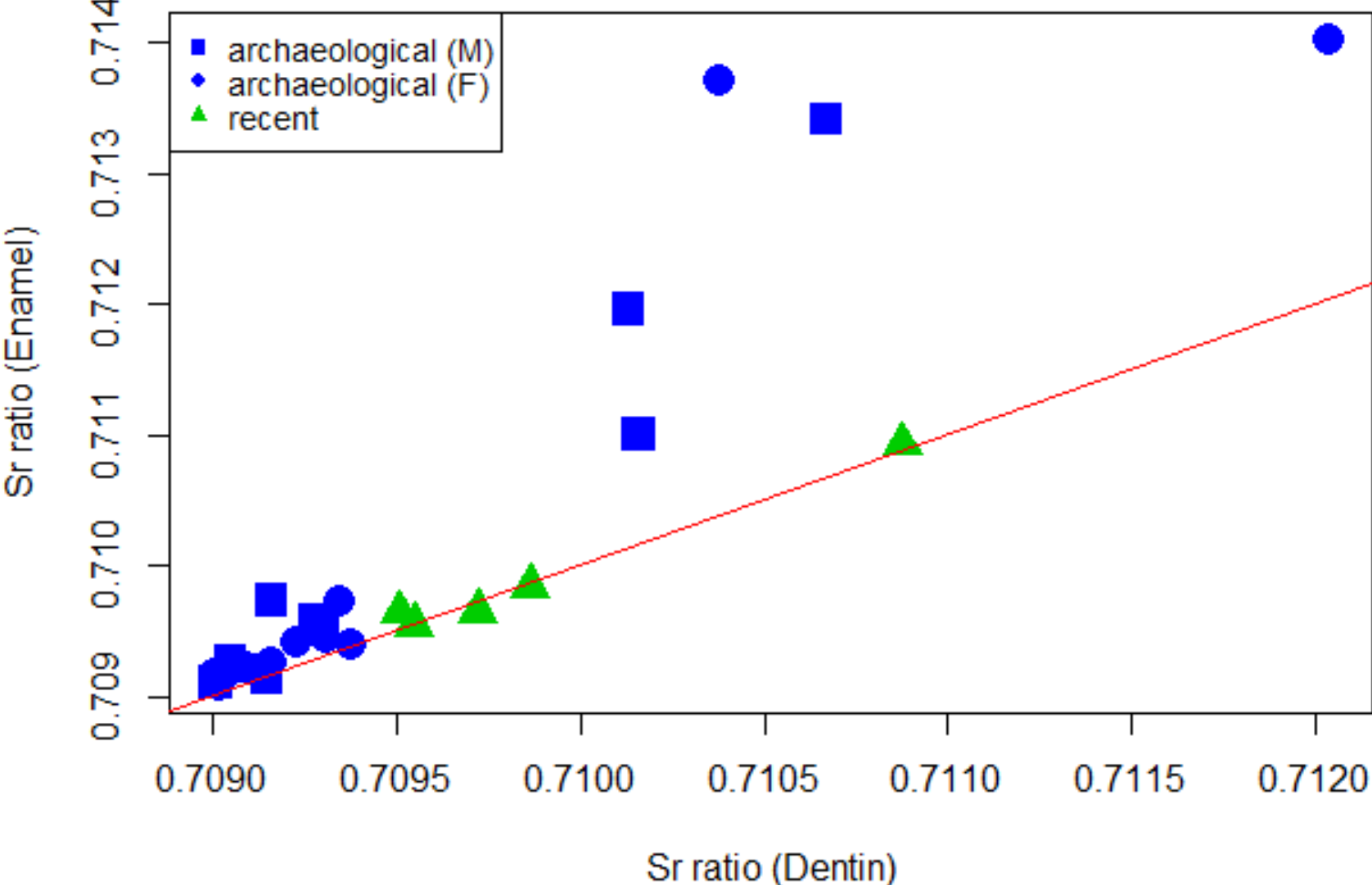
Enamel  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \neq \text{Bone } ^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$



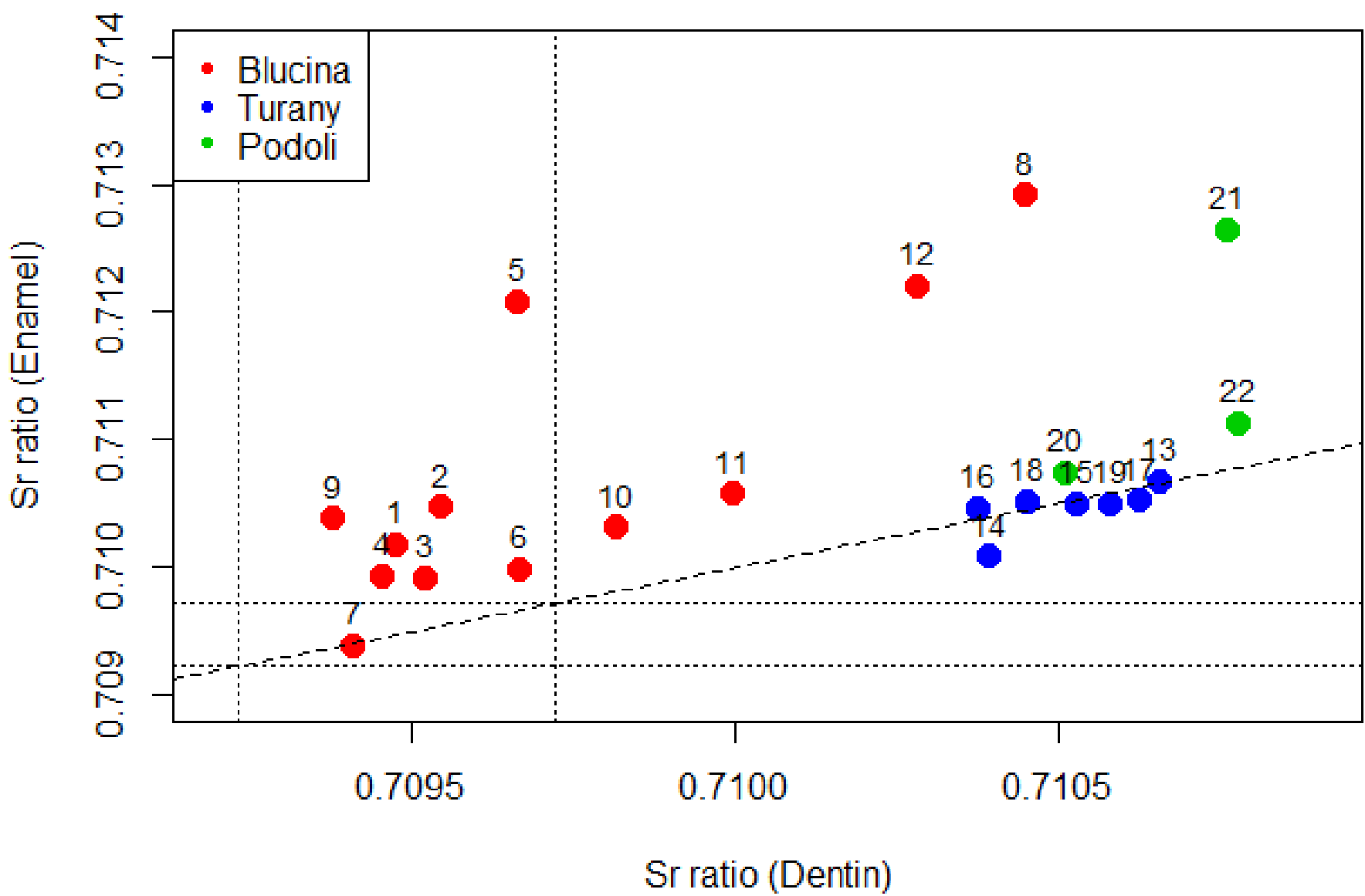
Option 1: Individual spent childhood in one locale and adulthood in another locale.

Option 2: Individual lived locally during entire lifetime but consumed imported foods during childhood or adulthood

# De Heul (Wijk bij Duurstede), raný středověk



# Blučina, Tuřany a Podolí (mladší doba bronzová)



Výrazný rozdíl v izotopových poměrech ve sklovině a dentinu jedince 12 z Blučiny a jedince 14 z Tuřan může souviset s jejich **ženským pohlavím** (u juvenilních jedinců 8 a 21 nebylo pohlaví možno určit).

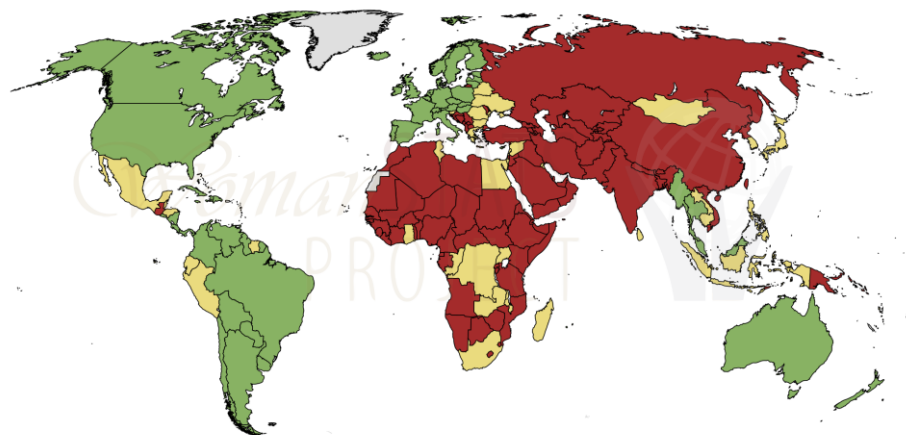


## patrilokální exogamie

(nevěsta přichází do rodiny manžela, pro středoevropskou dobu bronzovou byla patrilokalita typická)

### Prevalence of Patrilocal Marriage

Scaled 2016



MARR-SCALE-1  
Data The WomanStats Project  
<http://womanstats.org>

- No expectation of living with either his or her family (no evidence that more than 5% of marriages are patrilocal)
- Softening patrilocality, a young couple may be expected in exigency to live with his family. More than 5%, but less than or equal to 20% of marriages
- Strong presence of patrilocality; young couples are expected to live with the husband's family, greater than 20% of marriage
- No Data

# Rozklad kosterních pozůstatků





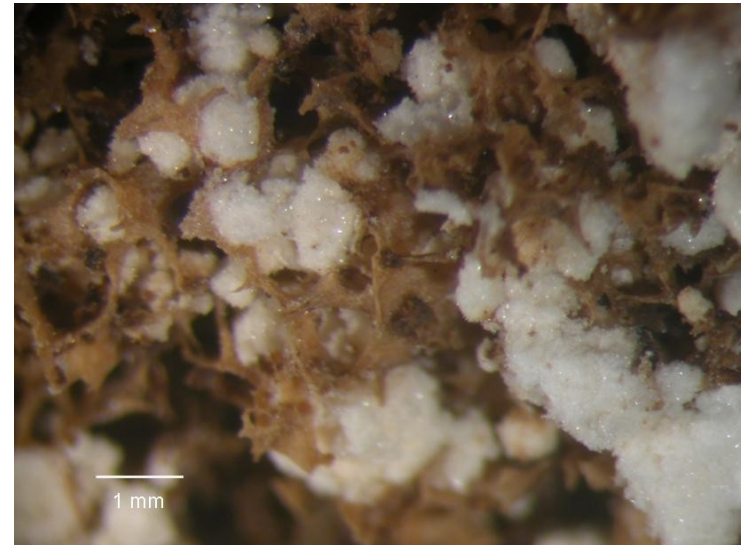
# Transformace kostního minerálu

V kyselém prostředí:

*hydroxyapatit* ( $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ )  $\rightarrow$  *brushit* ( $\text{CaHPO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ )

pH: 7,0 – 7,5 (fyziologické)

pH: 4,5 – 6,0



Kníže Walter Xaver Dietrichstein, 18. stol., Mikulov)

# Kosterní pozůstatky příslušníků rodu Dietrichsteinů

Mikulov



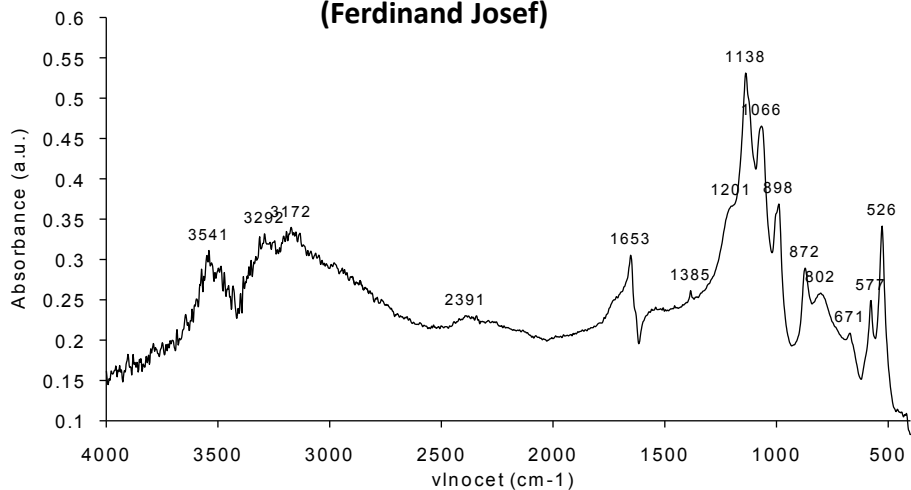


**Vzorek 1. Fragment dlouhé kosti (kníže Ferdinand Josef)**

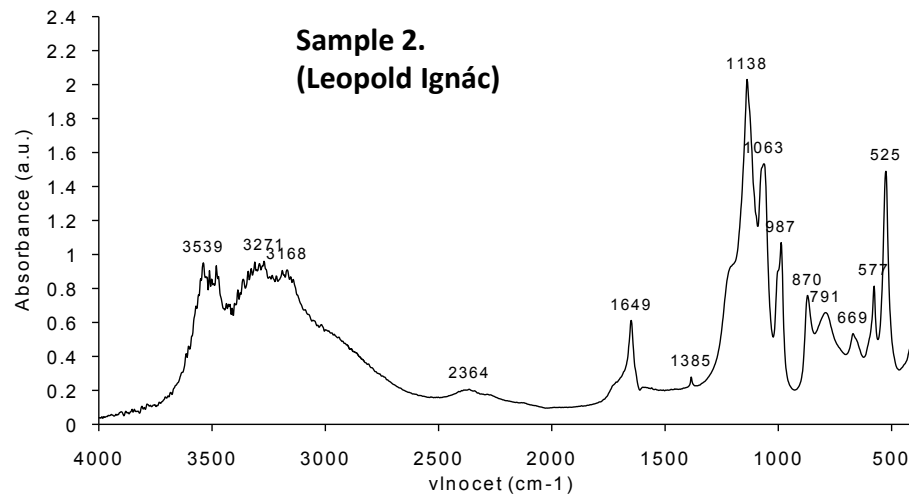
**Vzorek 2. Fragment lebky (kníže Leopold Ignác)**

**Vzorek 3. Fragment obratle (kníže Walter Xaver)**

**Sample 1.**  
**(Ferdinand Josef)**

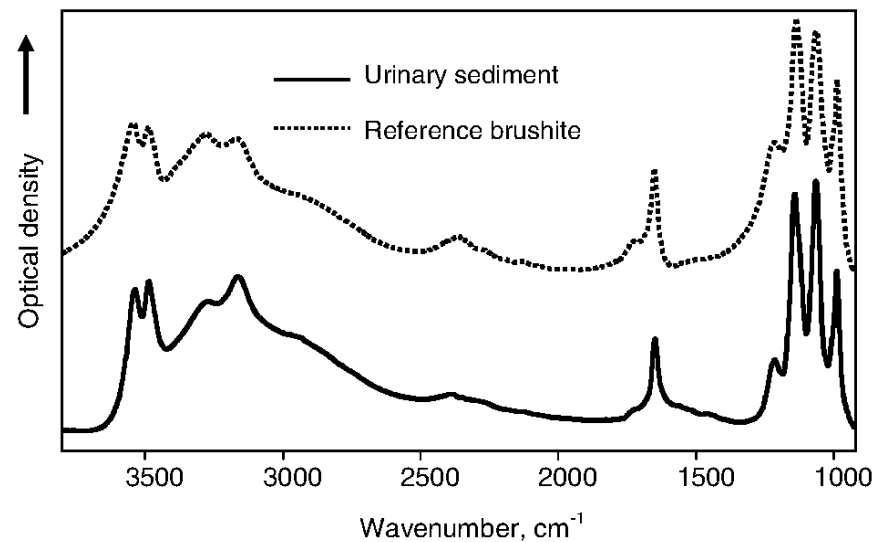
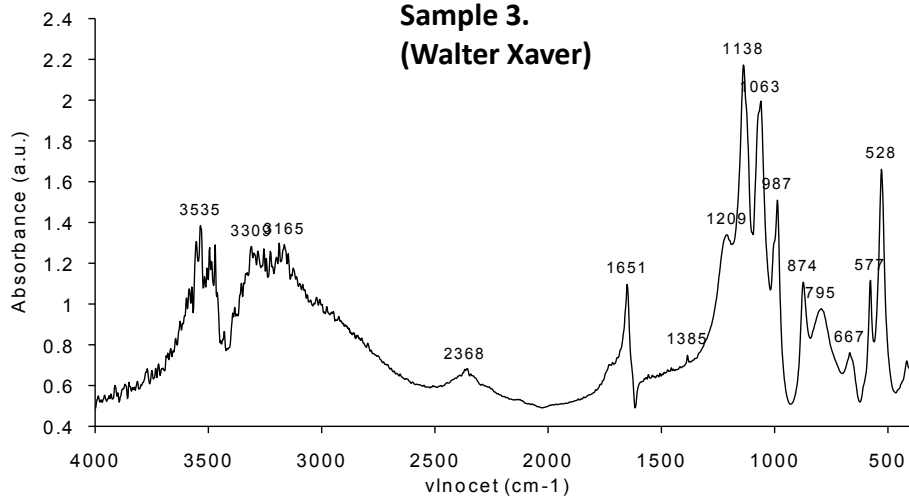


**Sample 2.**  
**(Leopold Ignác)**



brushite

**Sample 3.**  
**(Walter Xaver)**

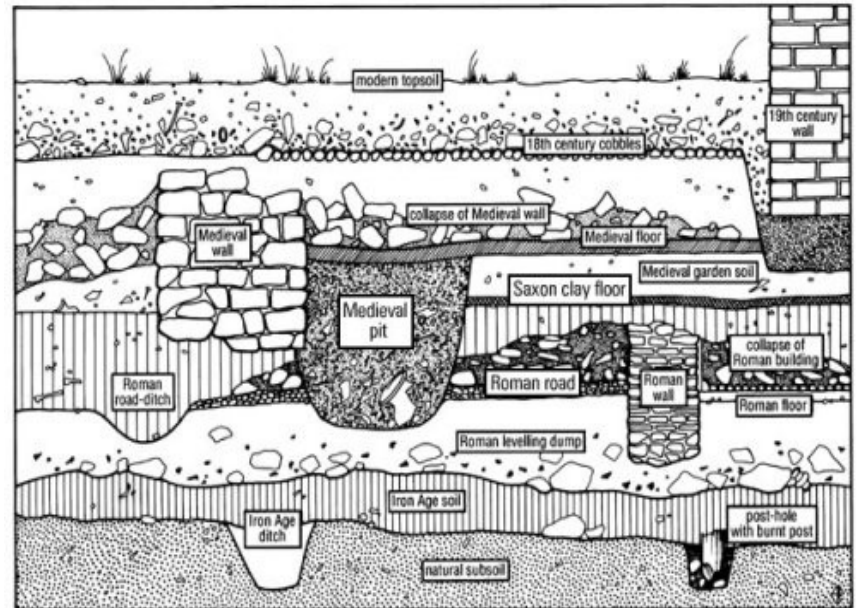
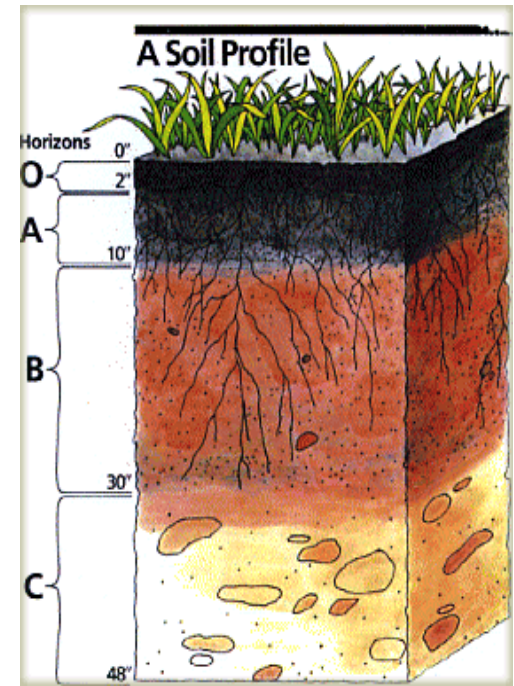


# Analýza půdních vzorků v archeologii

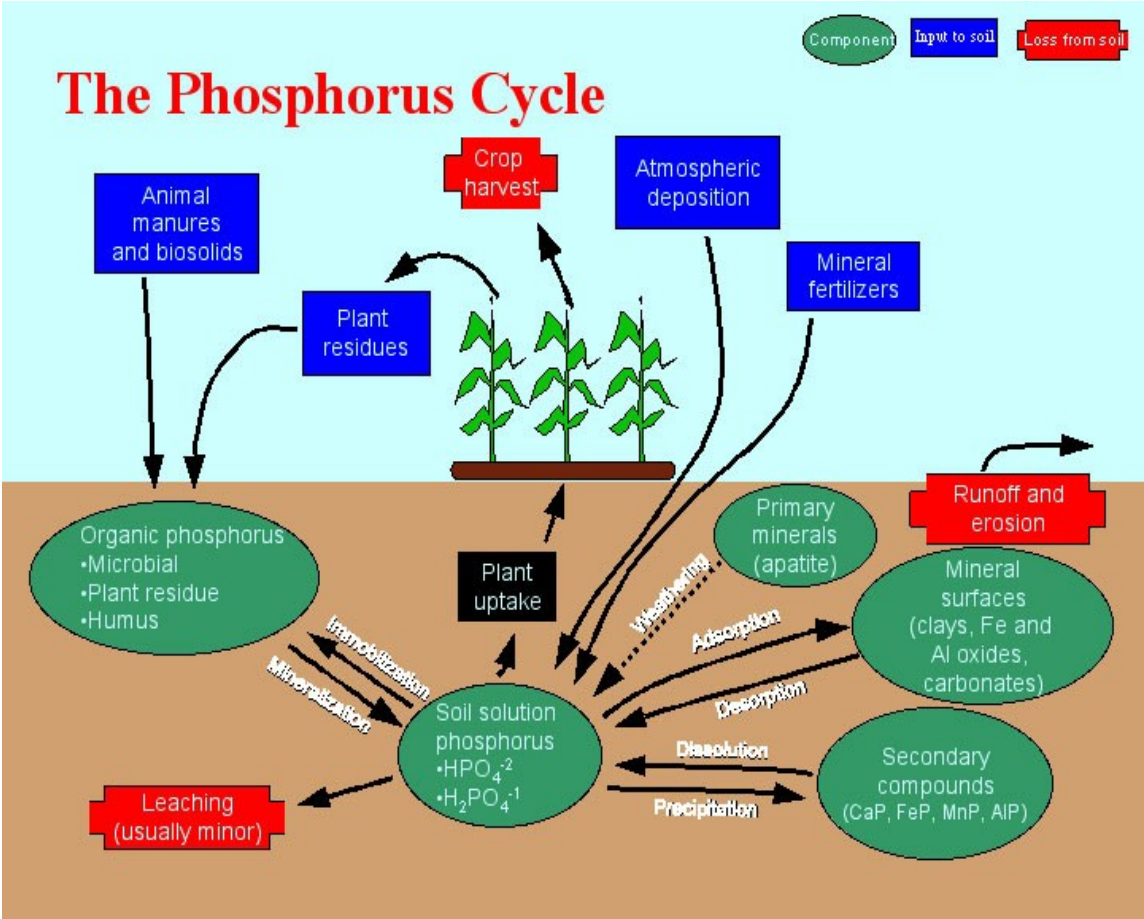
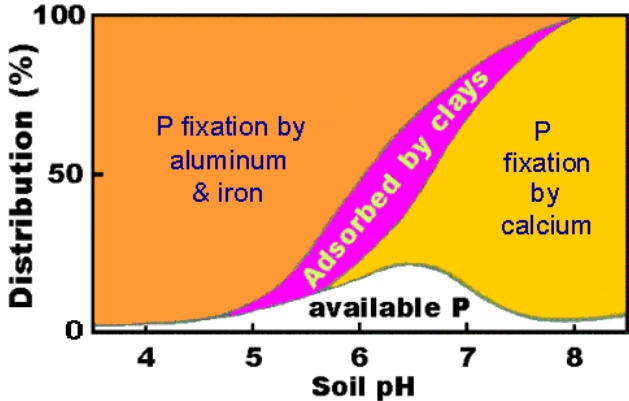


# Půda a její vlastnosti

- zrnitost
- kyselost (pH)
- hustota
- zbarvení
- obsah organické složky
- obsah fosforu
- obsah uhličitanu

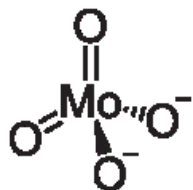
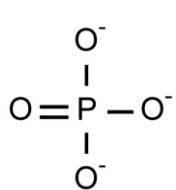


# Fosfor

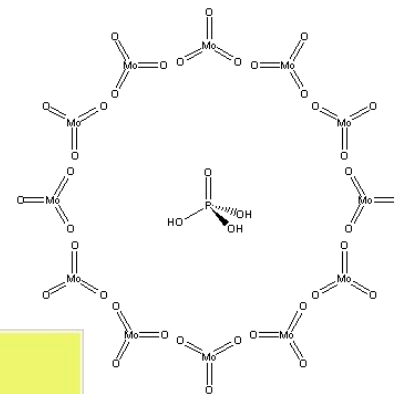


# Molybdenová reakce

Fosfát + molybdenan  $\rightarrow$  fosfomolybdenová žluť



+



kys. askorbová

↓

Vzorek

+

HCl

fosfomolybdenová modř





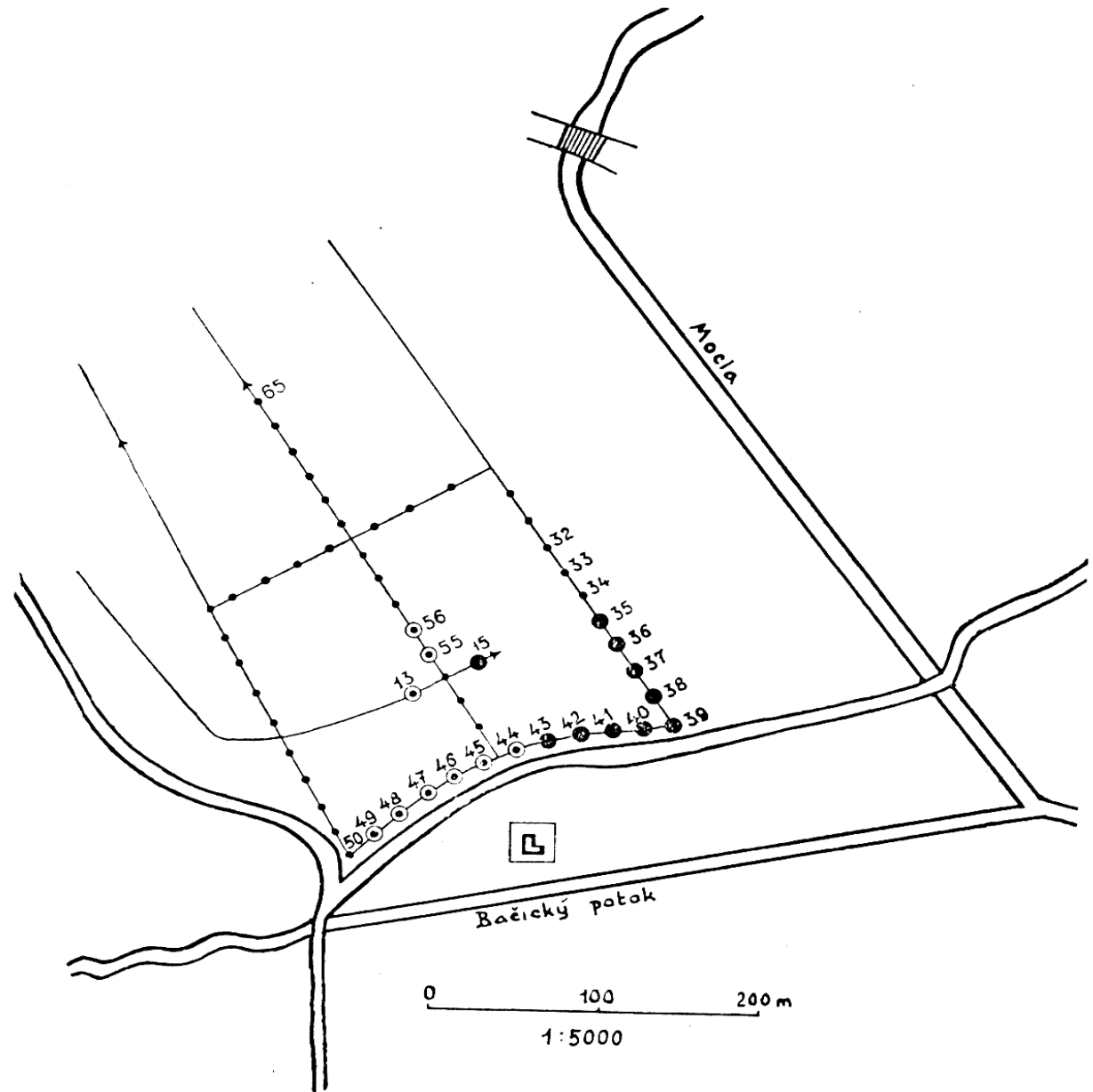
# Polní test na fosfor

- Test na filtračním papíru podle Gundlacha



# Fosfátová prospekce

ZSO Mstěnice  
(Hrotovice, okr. Třebíč)



Plán sond k fosfátové půdní analýze.

● Vyznačena místa s obsahem fosforu podstatně zvýšeným.

# Suchohrdly-Deblínek



Legenda  
DEM  
Vrstevnice  
Vrty  
Fosfáty mg/g

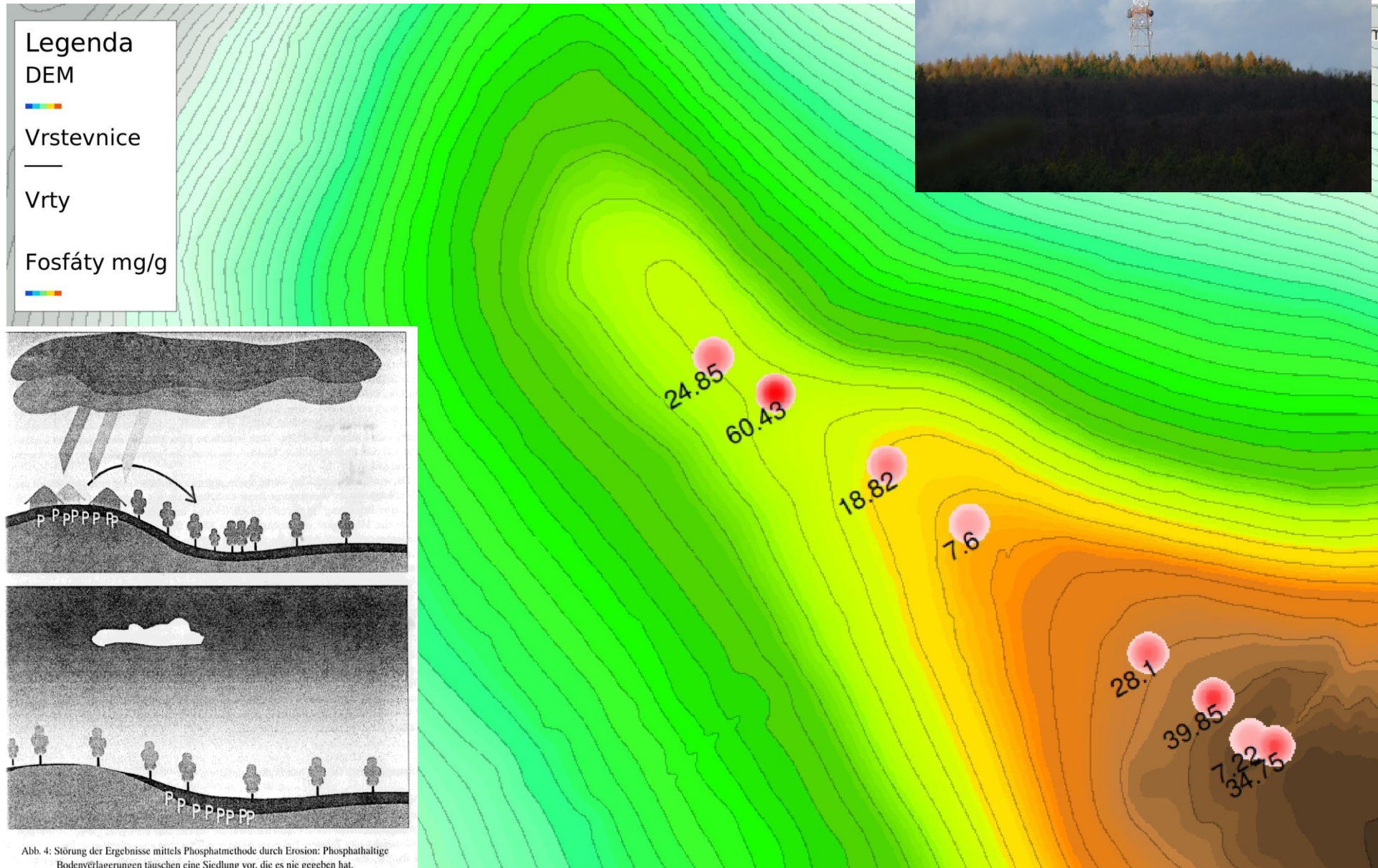


Abb. 4: Störung der Ergebnisse mittels Phosphatmethode durch Erosion: Phosphathaltige Bodenverlagerungen täuschen eine Siedlung vor, die es nie gegeben hat.

# Kyjov

- pohřebiště z doby stěhování národů

## Hrob H 1034

pohřeb je narušen v místech, kde se nacházely hlavy a trupy pohřbených jedinců

dolní končetiny jsou v obou případech sekundárním zásahem prakticky neporušené








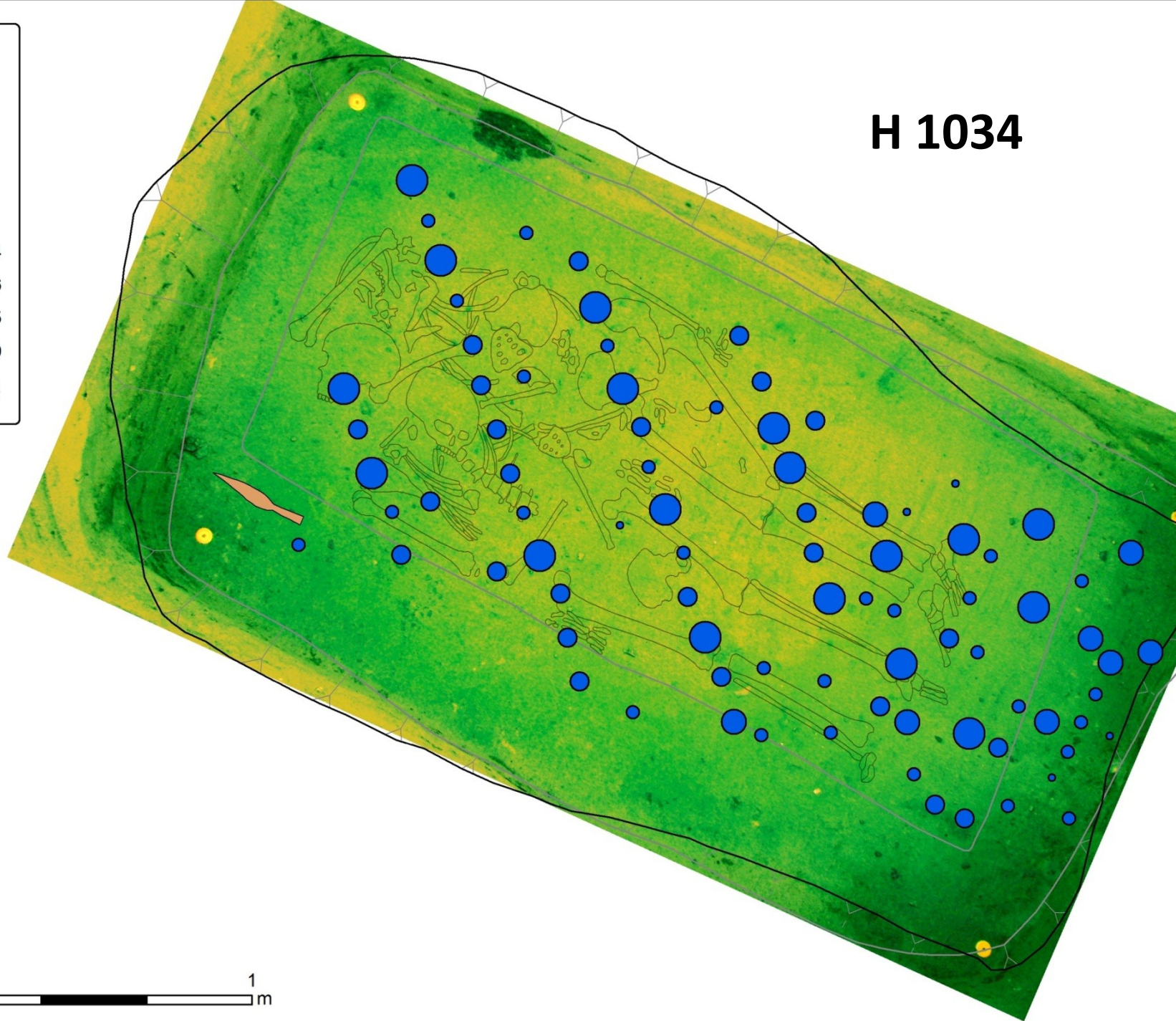
# H 1034

-  Horní hrana
-  Dolní hrana
-  Hrot kopí
-  Kost

## Fosfát

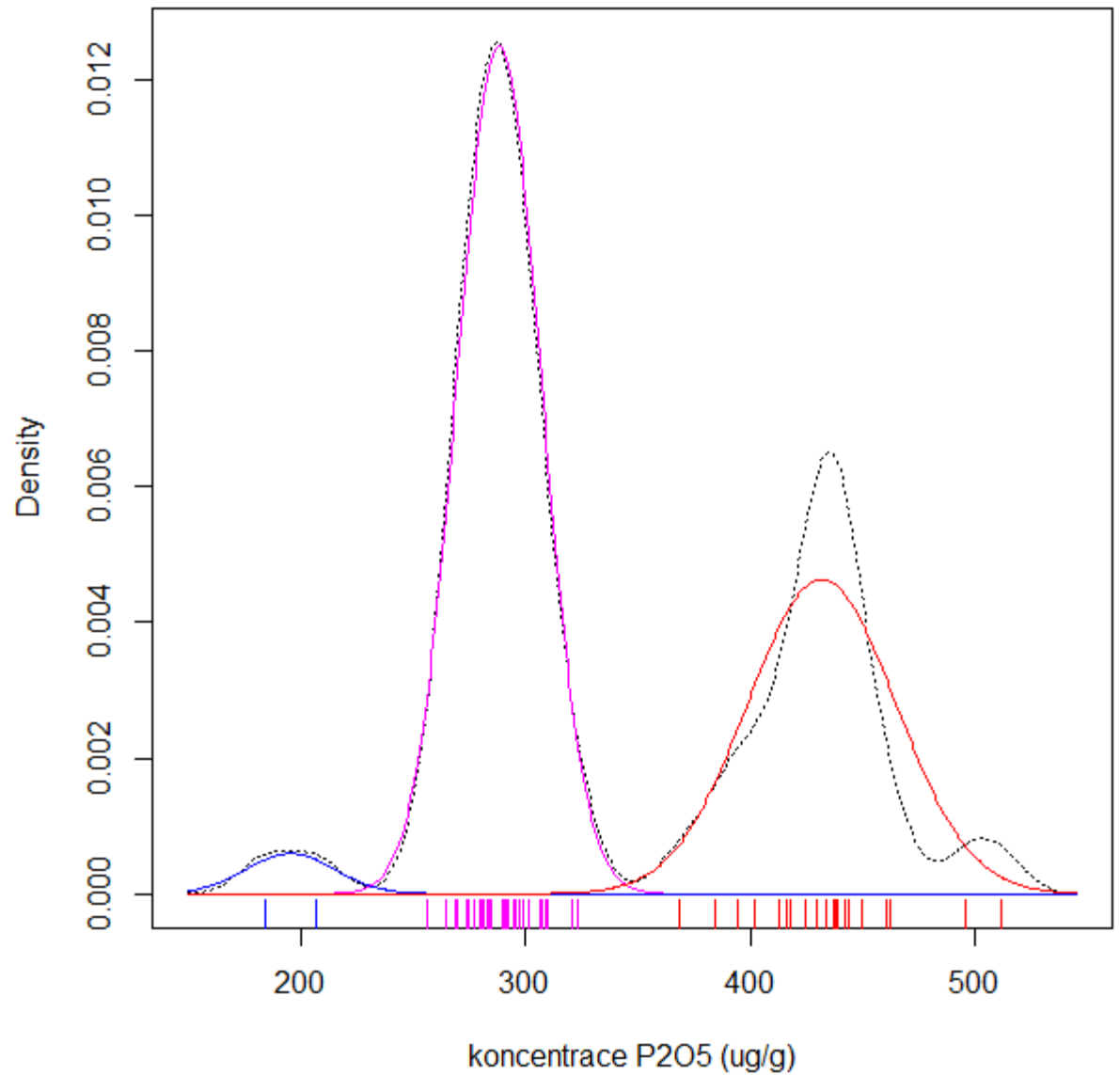
ppm X 100

-  1,837 - 2,304
-  2,305 - 2,846
-  2,847 - 3,235
-  3,236 - 4,179
-  4,180 - 5,114

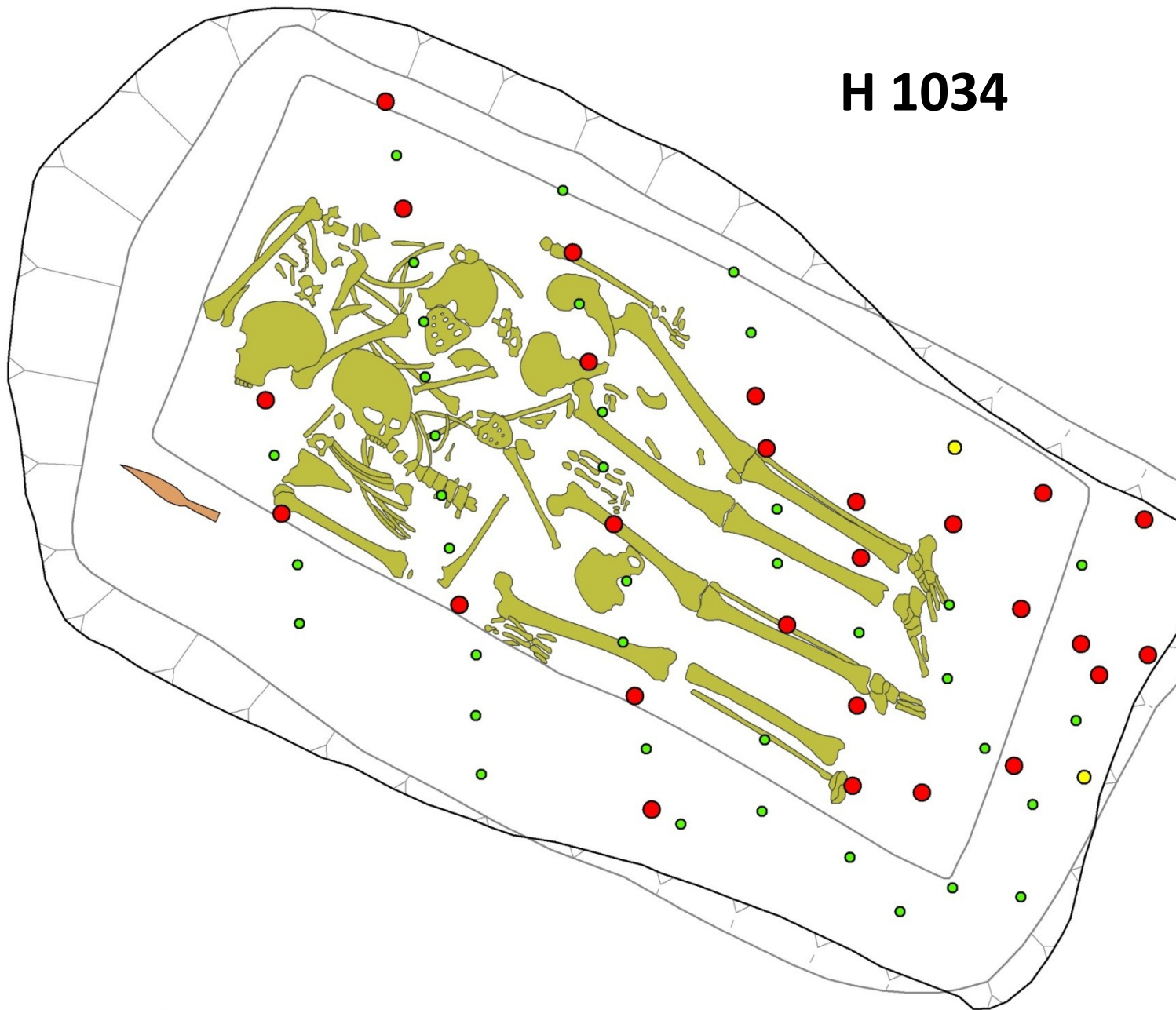


# Kyjov, H 1034

Rozklad distribuce na  
gaussovské složky  
metodou maximální  
věrohodnosti



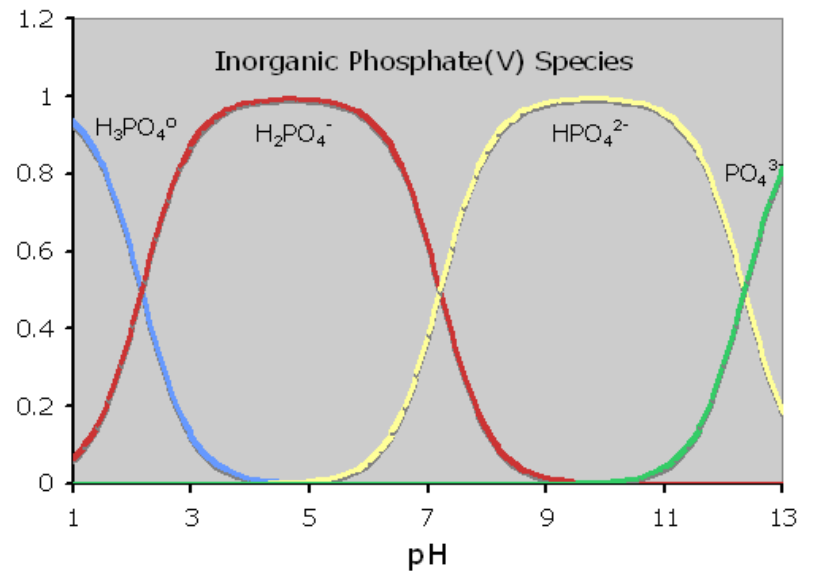
# H 1034



	Horní hrana
	Dolní hrana
	Hrot kopí
	Kost
<b>Fosfát</b>	
<b>shluk</b>	
	1
	2
	3



# Rozklad kosterních pozůstatků



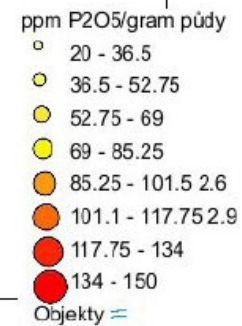
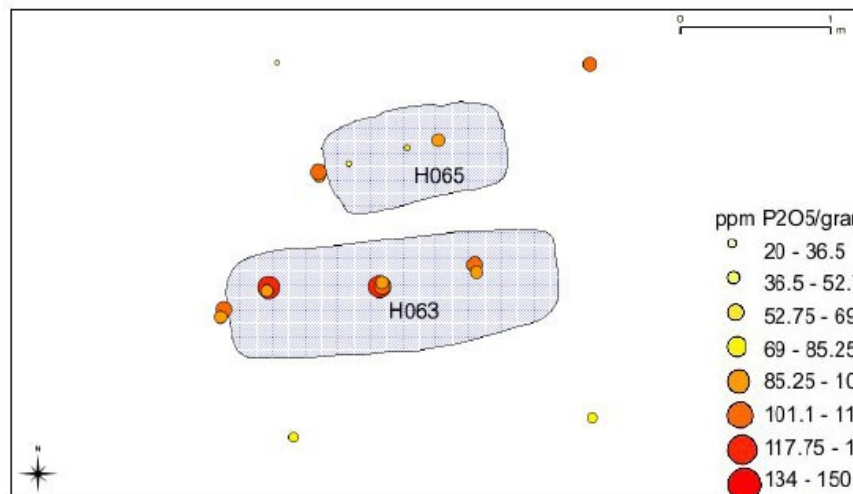
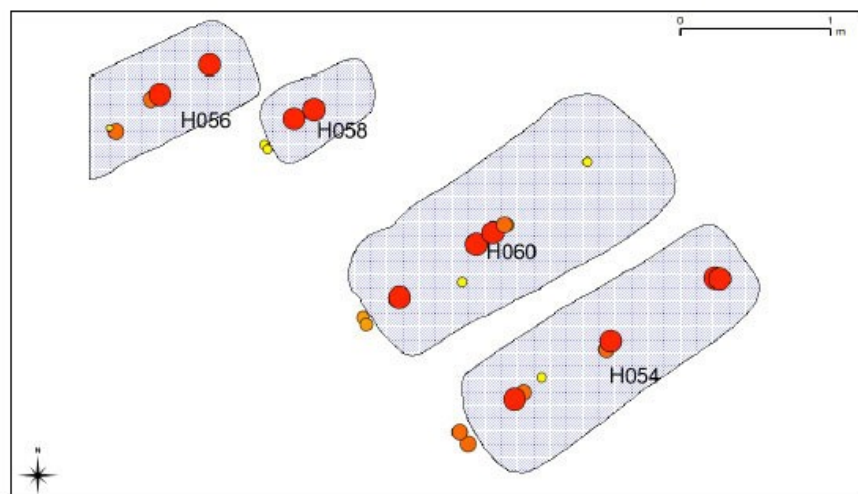
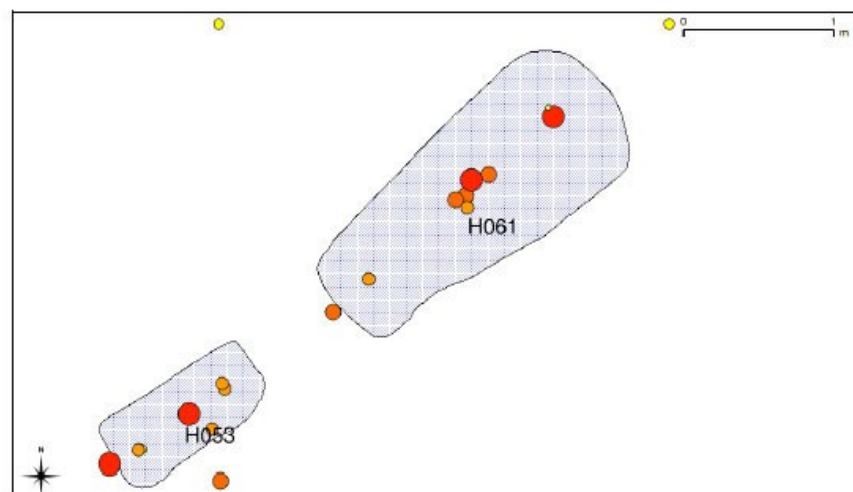
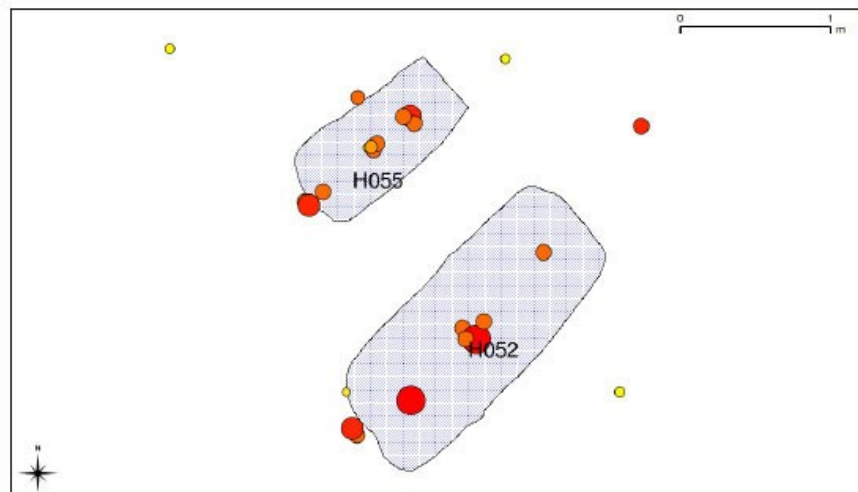


# Totální rozklad skeletu

Mechanismem rozkladu je přeměna hydroxyapatit → brushit, rekystalizace vede k mechanickému rozrušení kostního minerálu a následnému vzniku „siluety“, či totálnímu rozkladu skeletu (k dokumentaci silně nebo zcela rozložených skeletů je vhodné využít fotografii v UV oblasti). Přeměna může být indukována:

1. **nízkým pH půdy** (< 7; kyselé půdy, vysoký obsah huminových kyselin)
2. **kyselými metabolity saprofytních mikroorganismů** (např. kys. citronová, šťavelová, aj.), napadajících buď tělo (zejm. plísně, v menší míře bakterie), nebo materiál rakve (dřevokazné houby). Uplatňuje se např. v hrobech v alkalických půdách a v kryptách. Charakteristickým projevem biogenního rozkladu je významný rozdíl v zachovalosti jednotlivých částí skeletu.

# Pohansko u Břeclavi



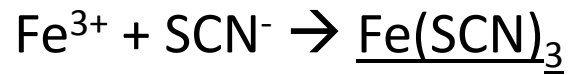
## Doklad přítomnosti dřevěné konstrukce (zbarvení půdy)



Výplně nor hlodavců zpravidla obsahují méně fosforu než kůlové jamky.

# Brongersův test

Slouží k **detekci zetlelého dřeva**. Huminové kyseliny z rozkladu dřeva na sebe postupně vážou ionty  $\text{Fe}^{3+}$  a dochází k jejich lokální akumulaci. Přítomnost iontů  $\text{Fe}^{3+}$  se prokazuje reakcí s thiokyanatanem.



Kyjov (pohřebiště DSN)

Květná zahrada, Kroměříž

# Těšetice-Kyjovice

Hrob H 27, kultura zvoncovitých pohárů



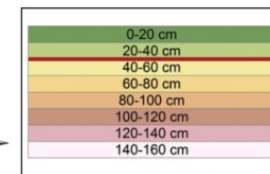
# Těšetice - Kyjovice

Hrob H 27, kultura zvoncovitých pohárů

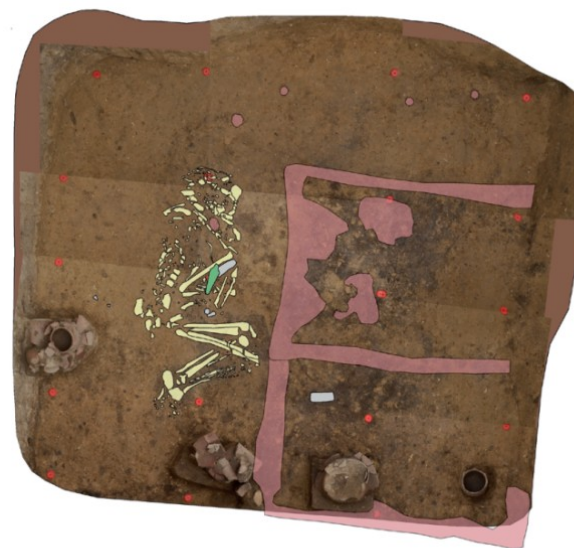
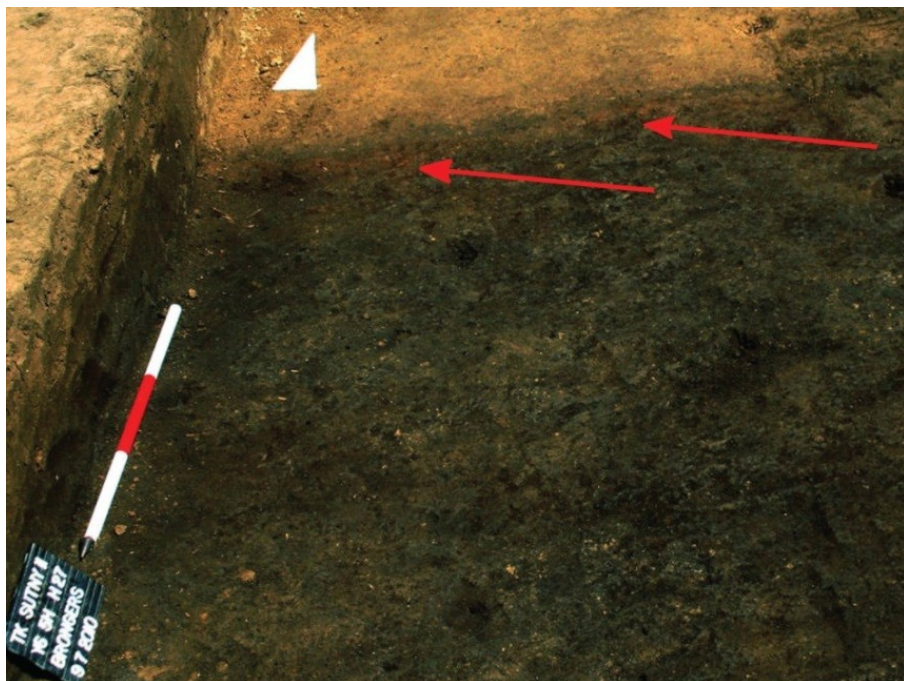


40 cm

Brongers  
Grave Pit

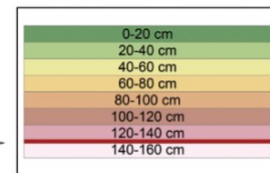


0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6 2 m



140 cm

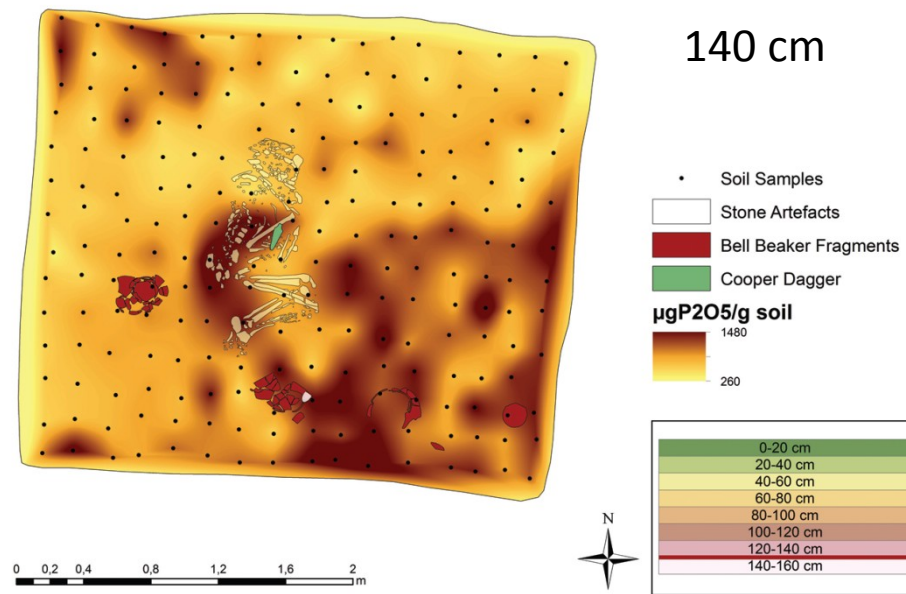
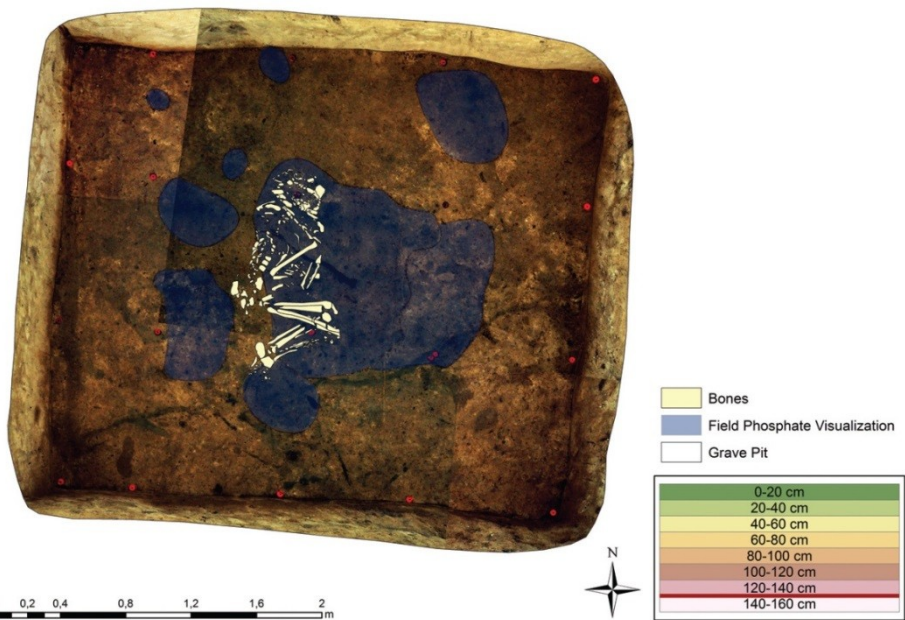
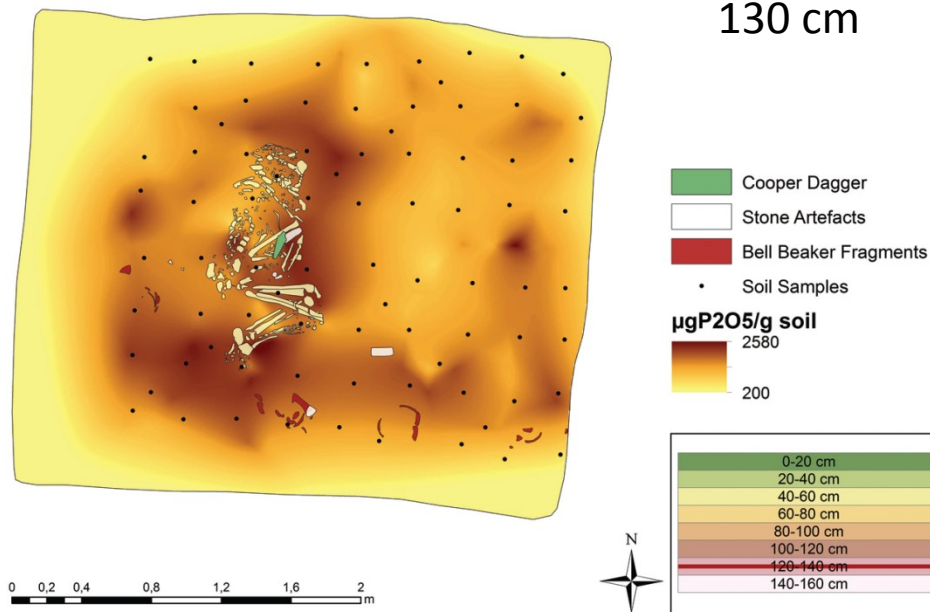
Stone Artefacts  
Bell Beaker Fragments  
Cooper Dagger  
Reddish Soil Indication



0 0,2 0,4 0,8 1,2 1,6 2 m

# Těšetice - Kyjovice

Hrob H 27, kultura zvoncovitých pohárů



# Sledování provenience



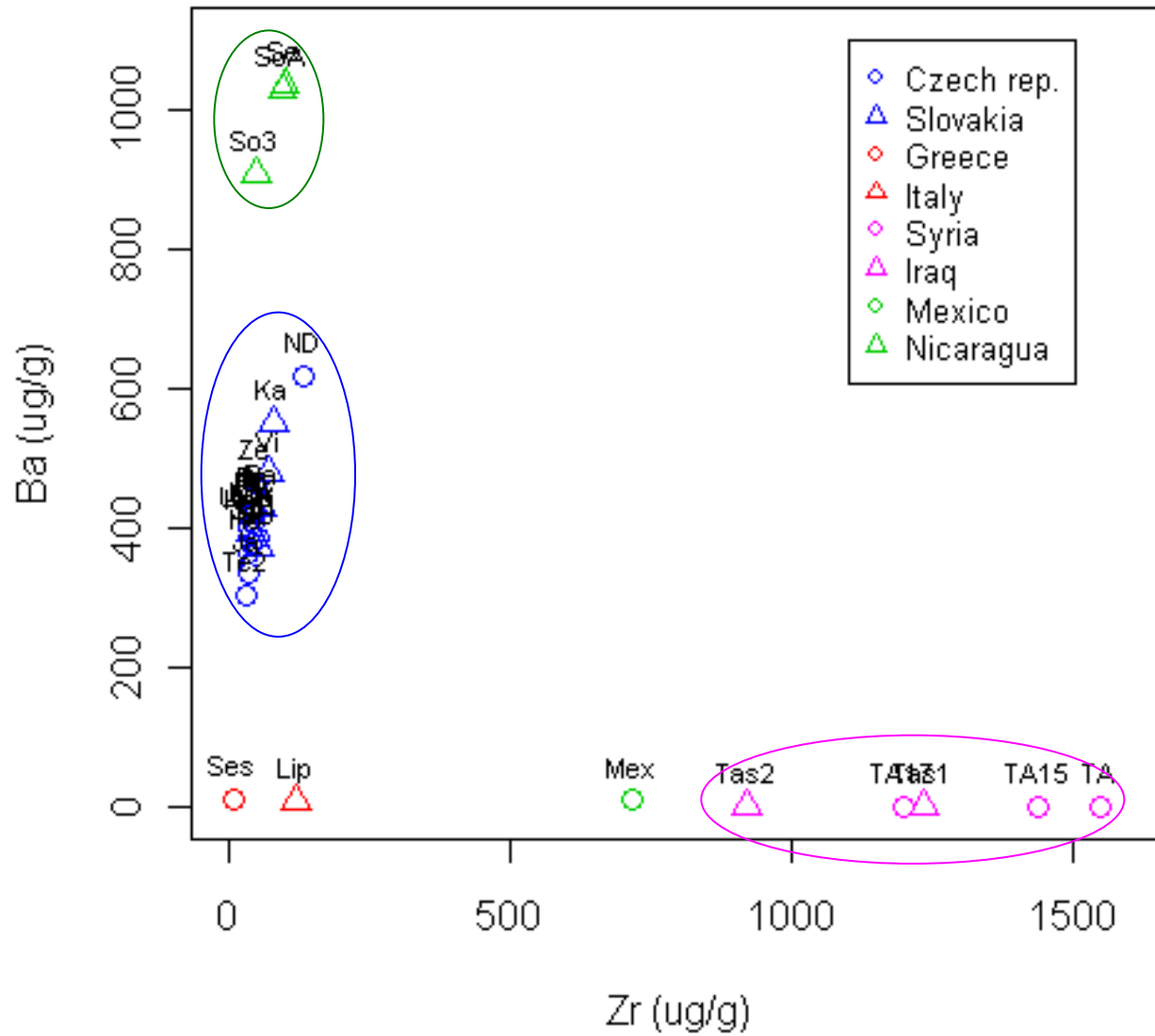




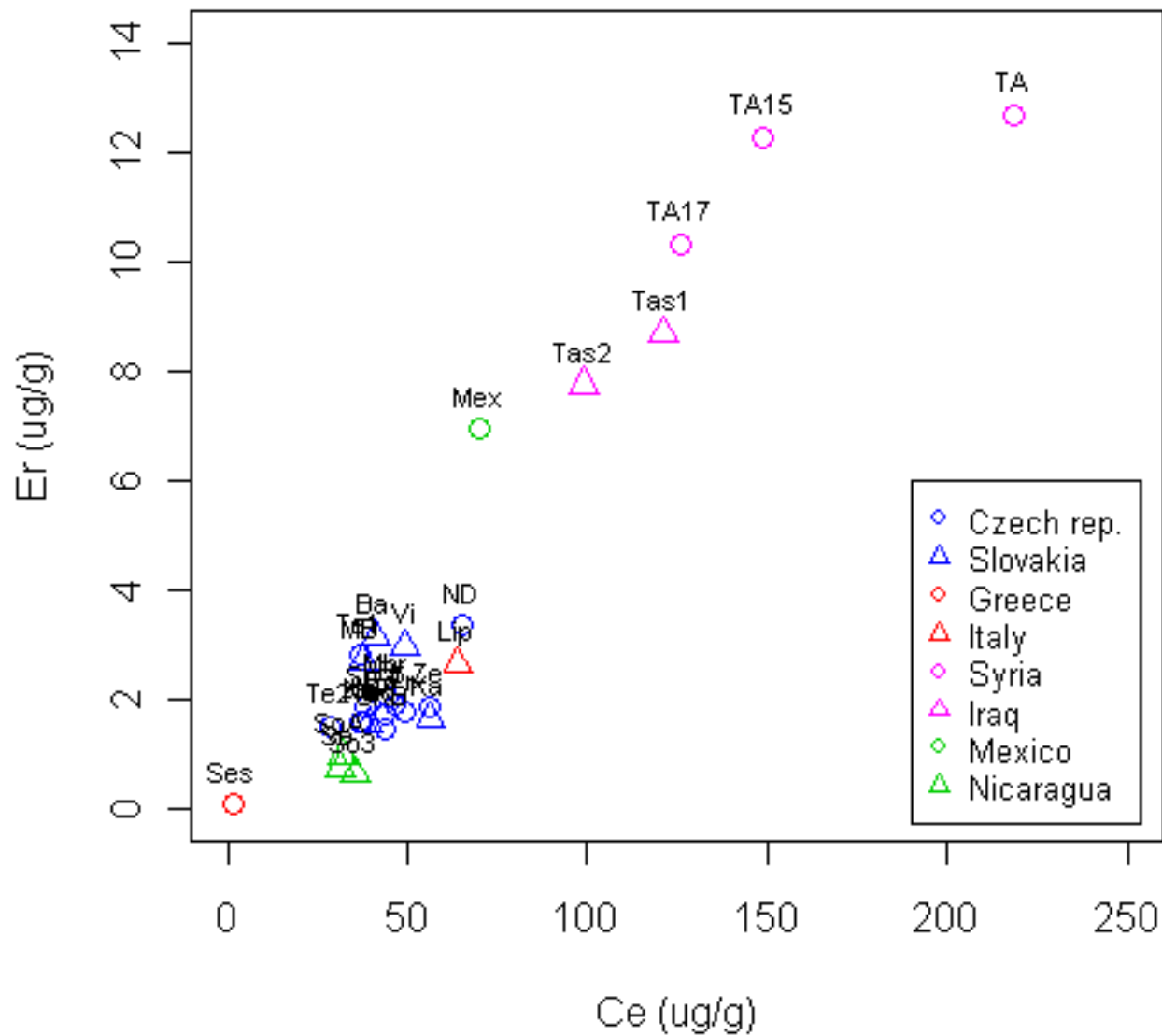
# Analyzované vzorky



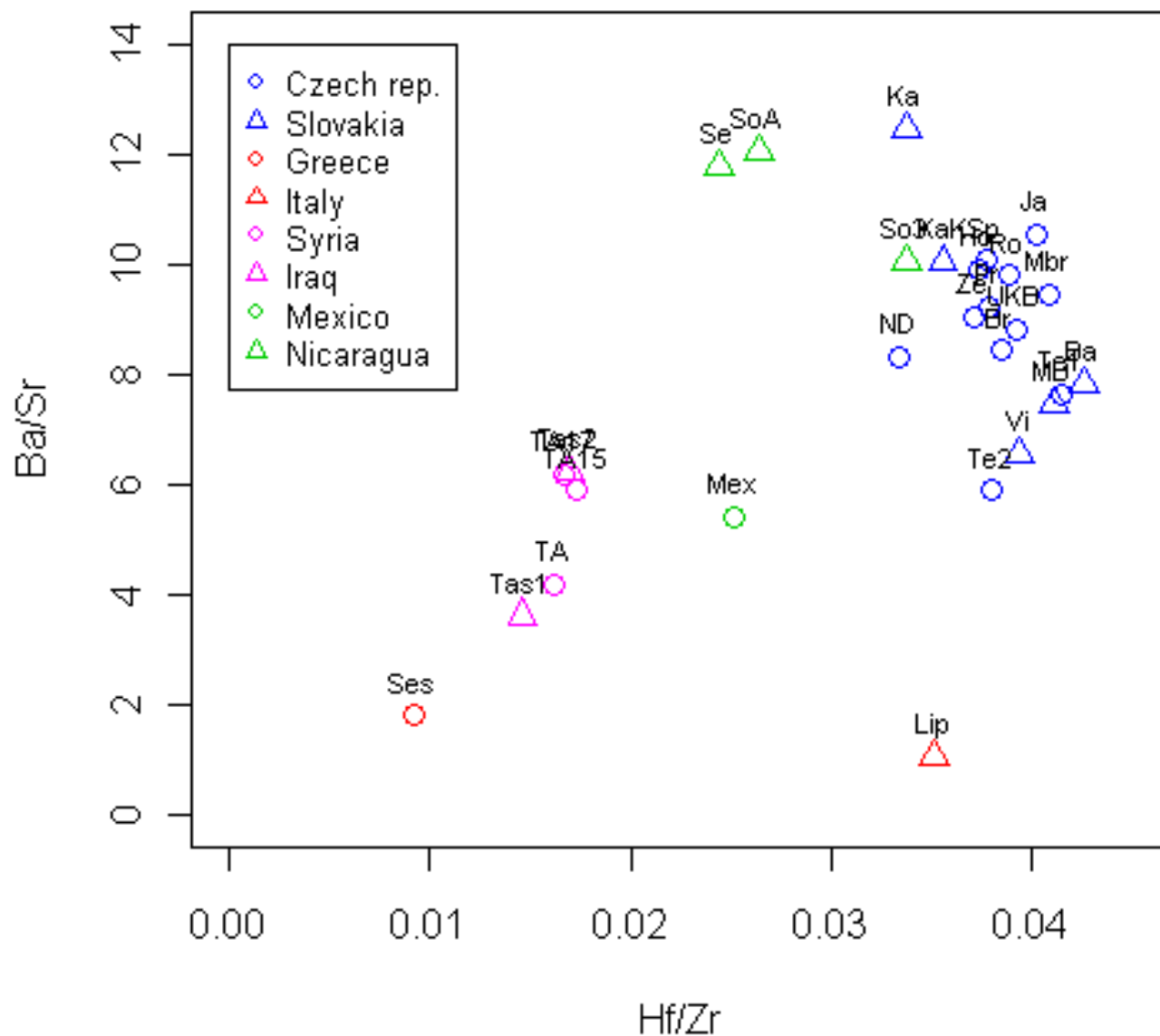
# Scatterplot (Zr vs. Ba)



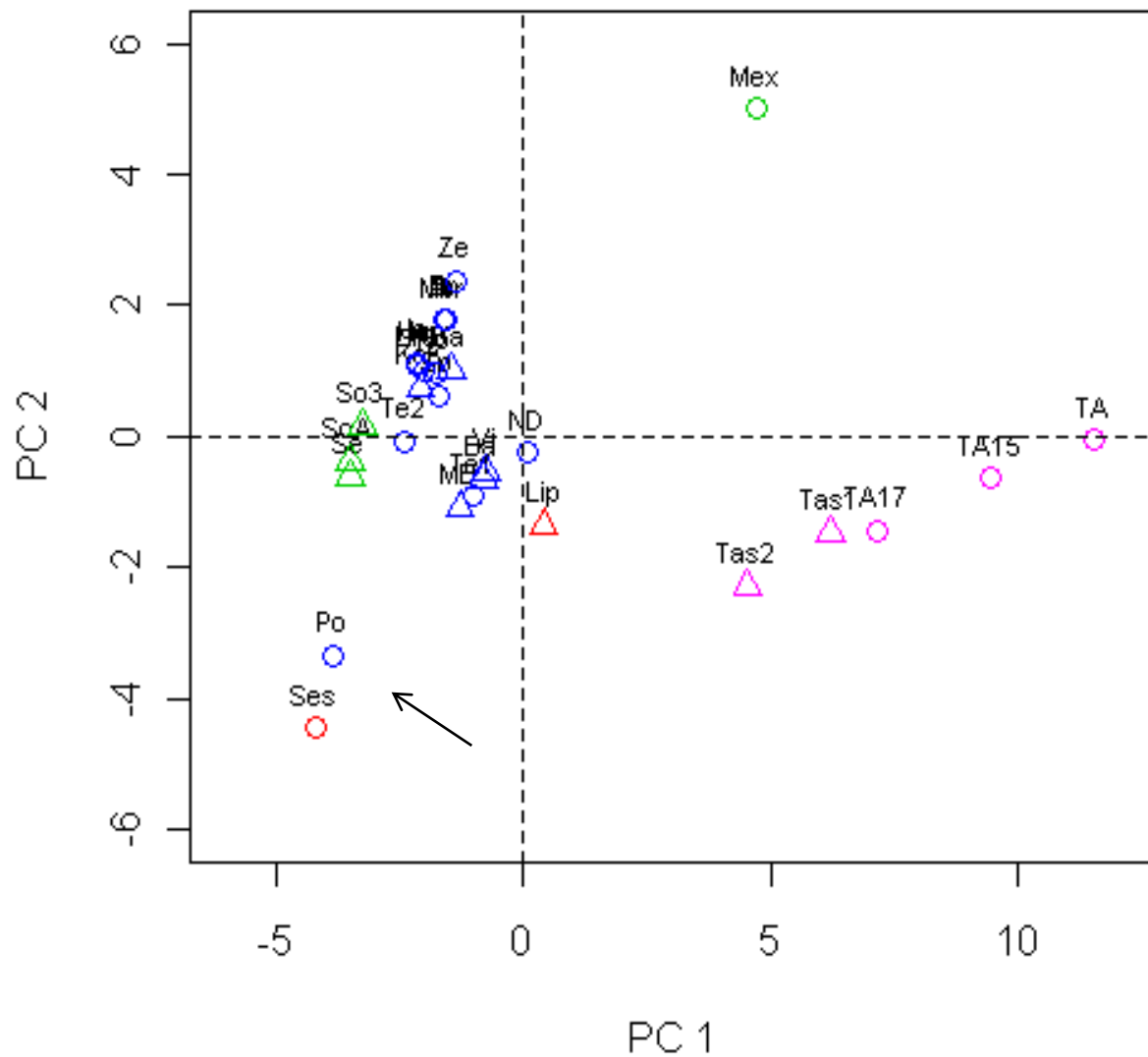
### Scatterplot (Ce vs. Er)



### Scatterplot (Hf/Zr vs. Ba/Sr)



## PCA classical (scores)

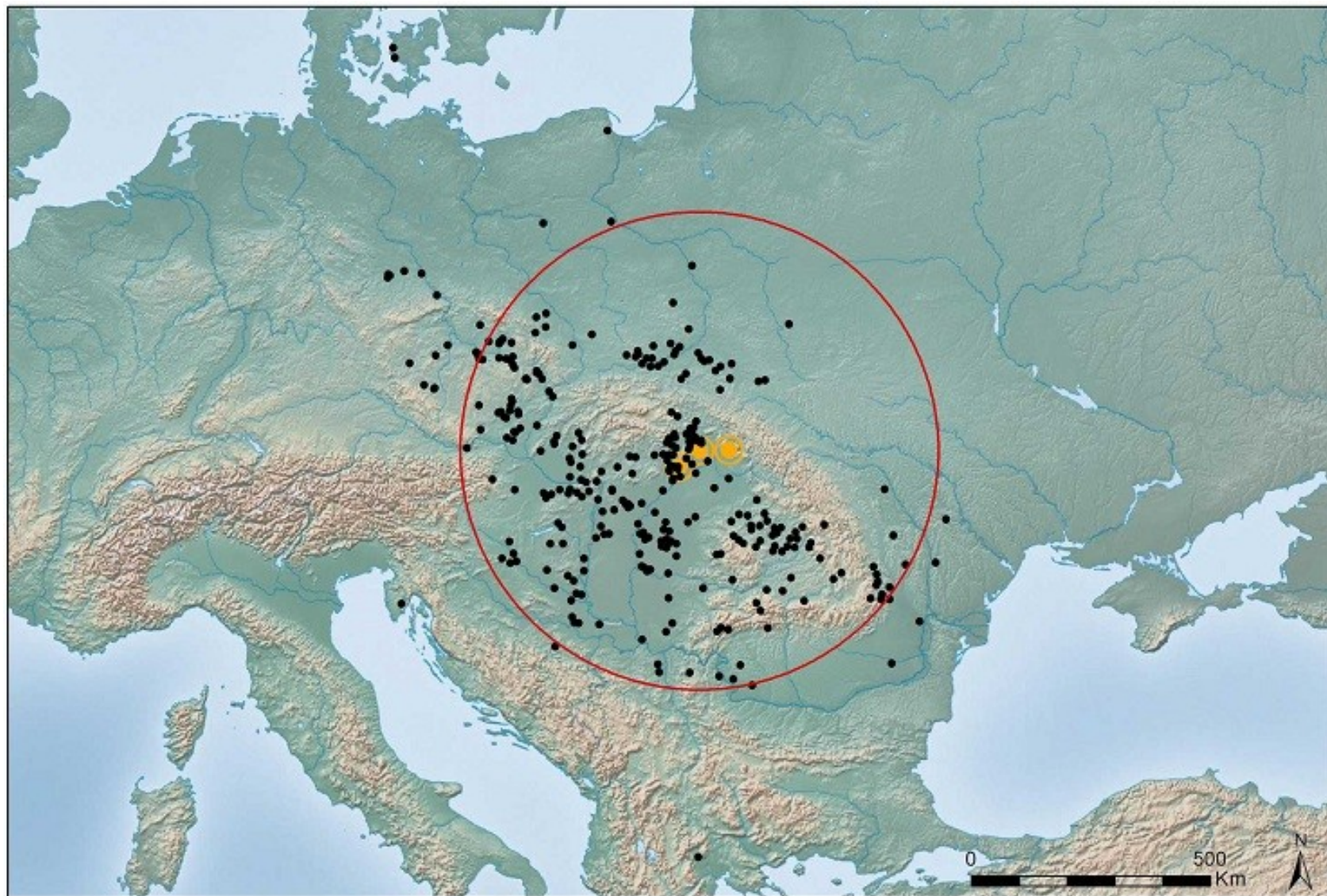


## Popůvky

Element	Content [mg kg <sup>-1</sup> ]
Na	7545.511
Mg	87.26532
Al	15103.68
<b>Si</b>	<b>91507.3</b>
P	20.45951
<b>K</b>	<b>618666.5</b>
Ca	1624.135



# Provenience obsidiánu

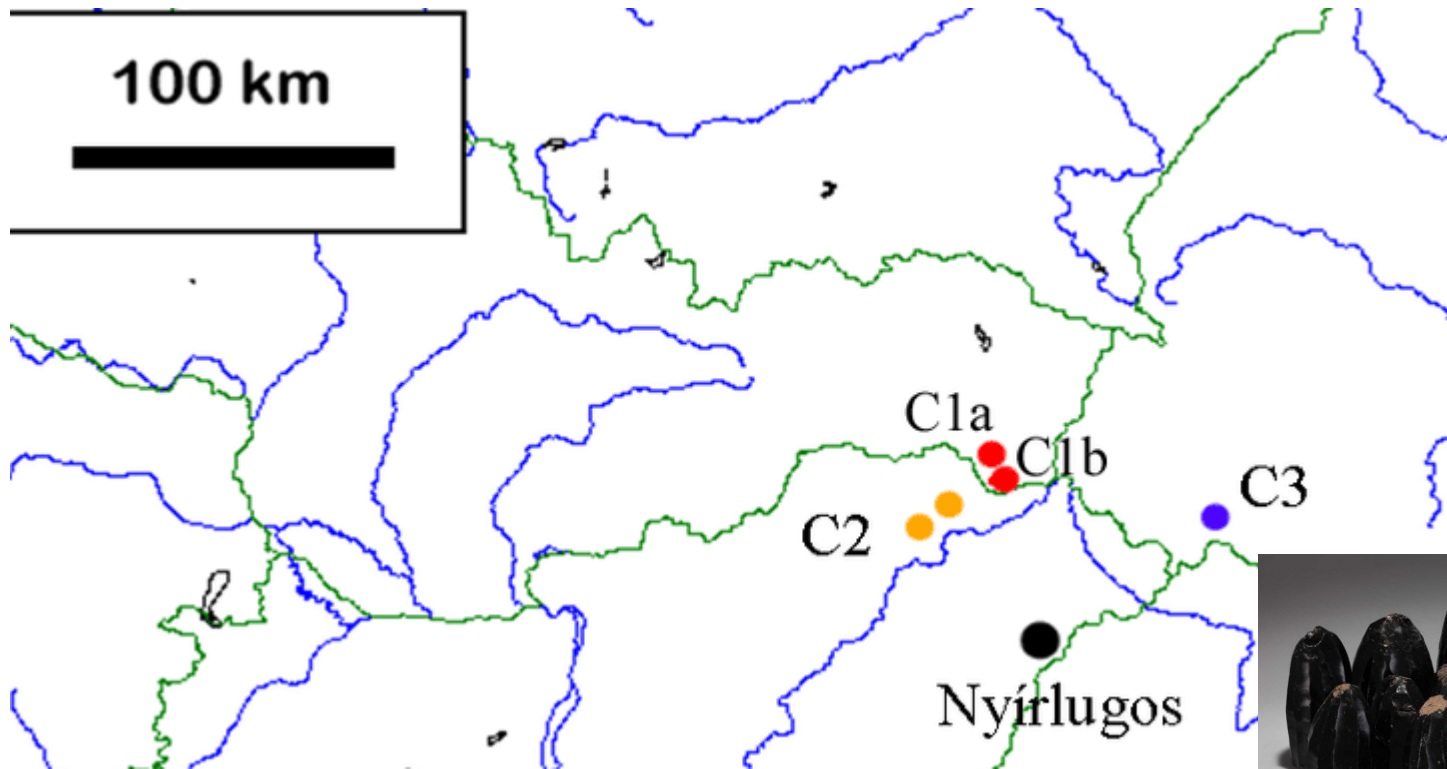




Viničky  
Slovakia



Kašov  
Slovakia



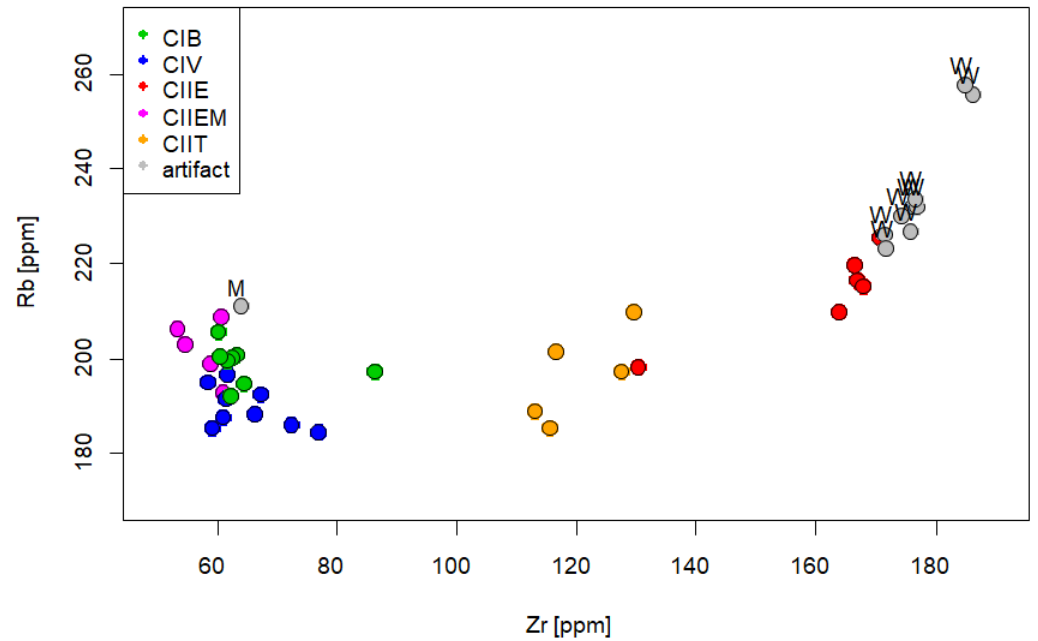
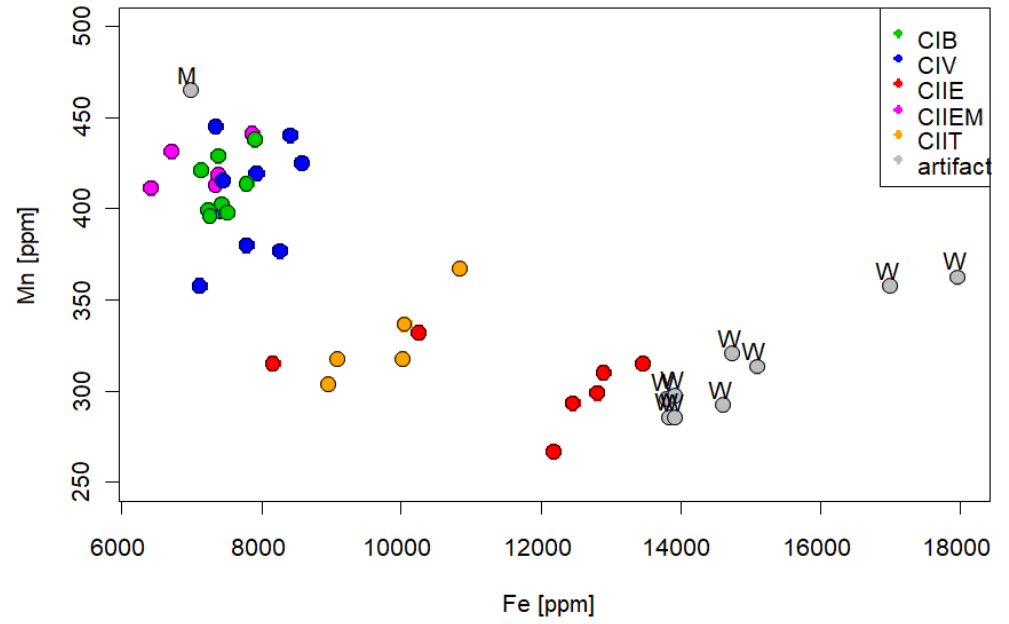
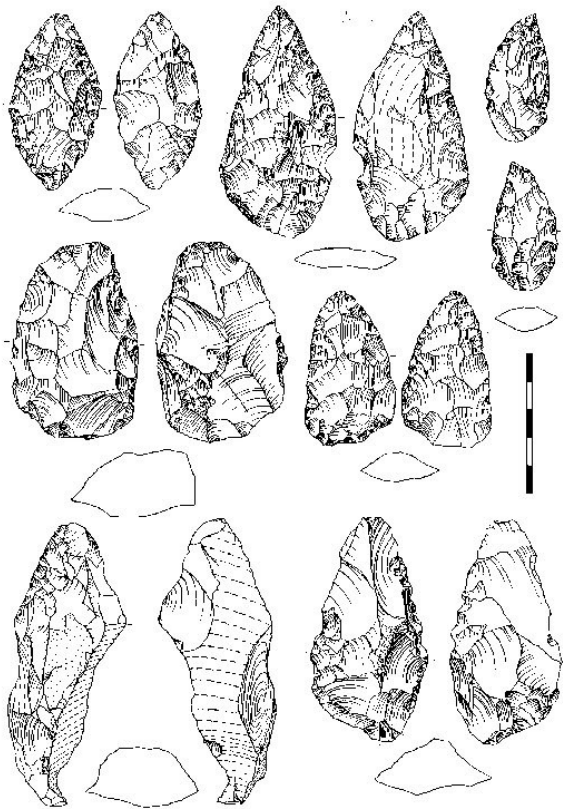
# Chronologie paleolitu

stáří (ka BP; nekalibrováno)	fáze	kultura
43-33	nejstarší („tranzitní“) (IUP)	szeletien bohunicien
38-27	starší (EUP)	aurignacien  <i>prvky streleckienu, aj.</i>
30-20	střední (MUP)	gravettien
18-11	pozdní (LUP)	<i>epiaurignacien</i> <i>epigravettien</i> magdalénien

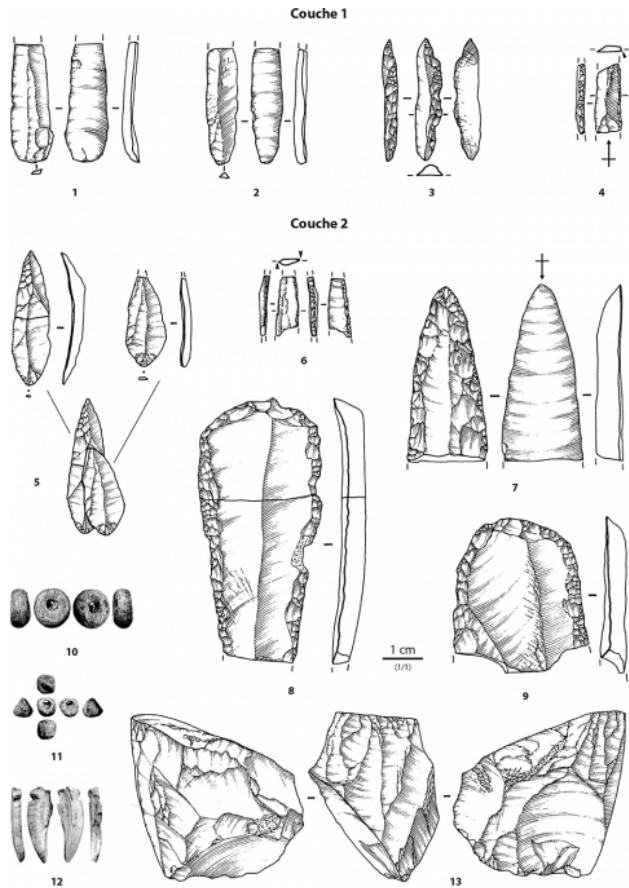
---

# Szeletien

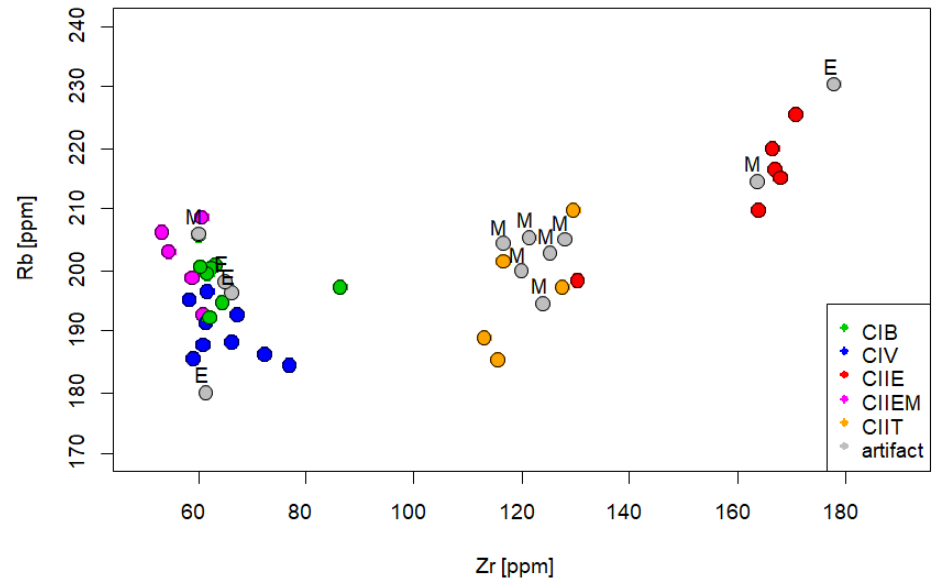
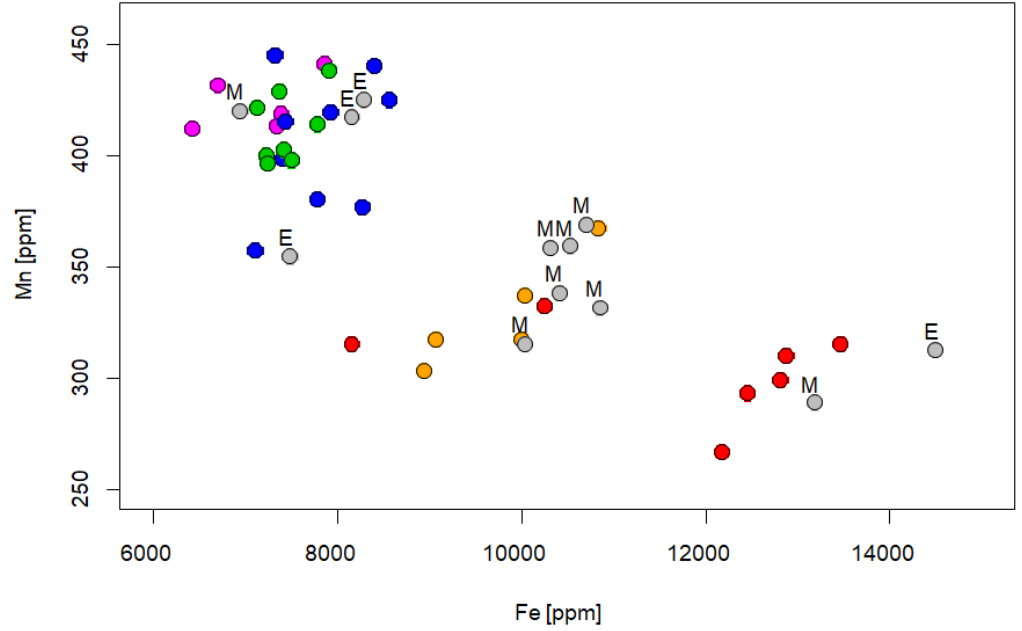
## Szeletian



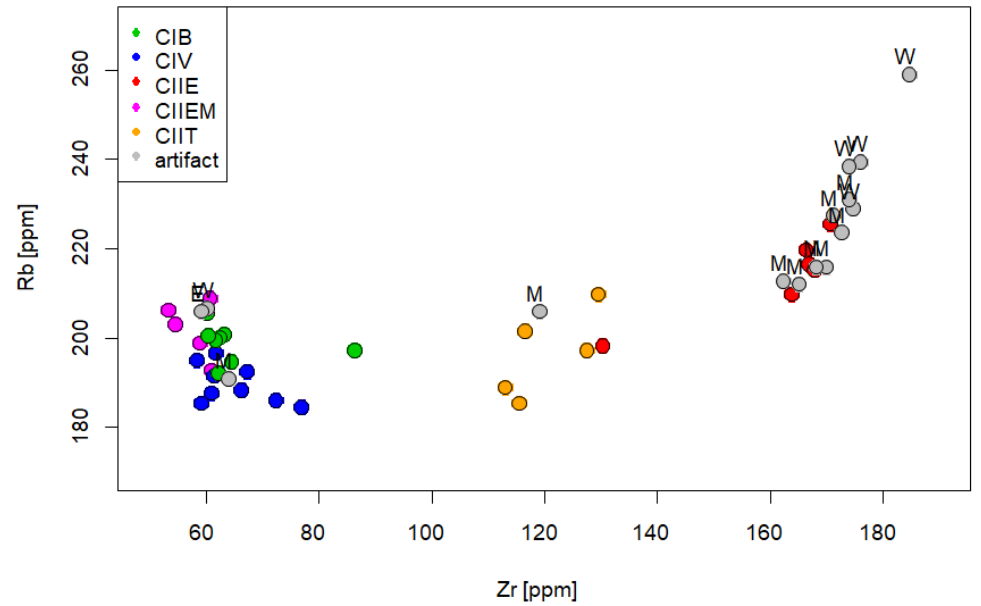
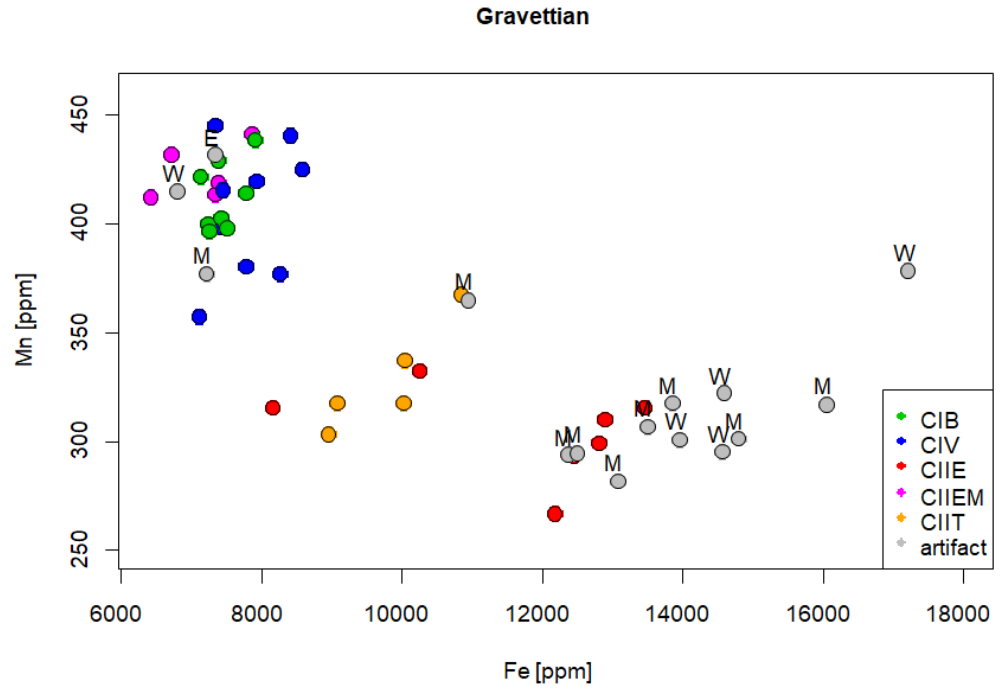
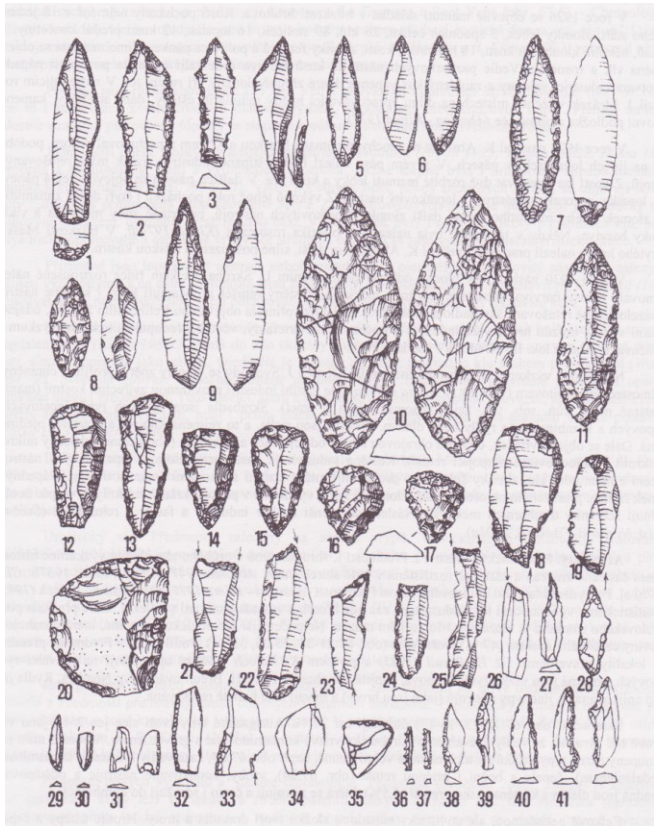
# Aurignacien



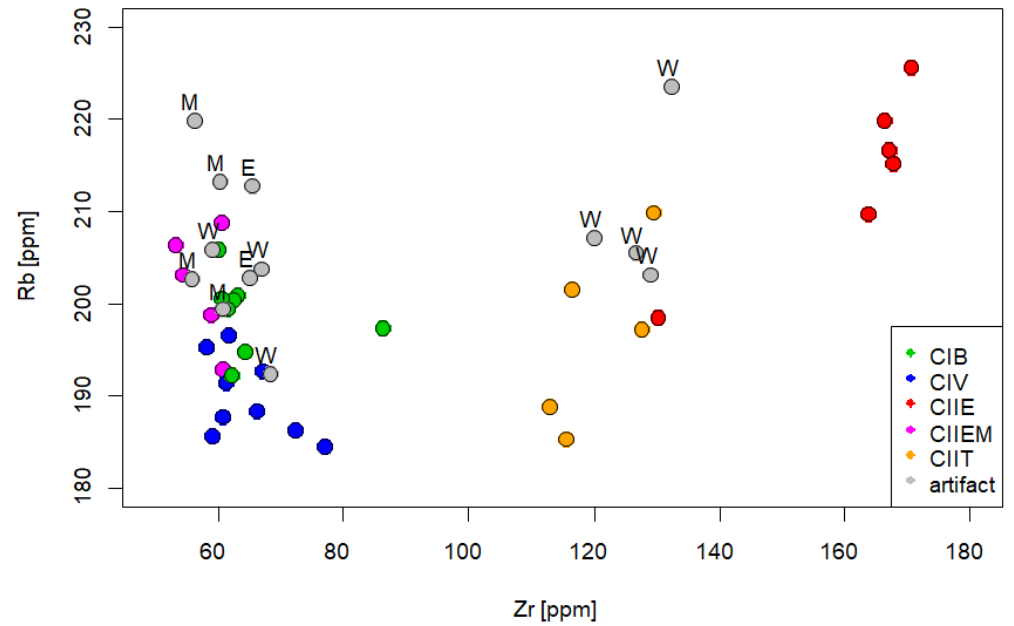
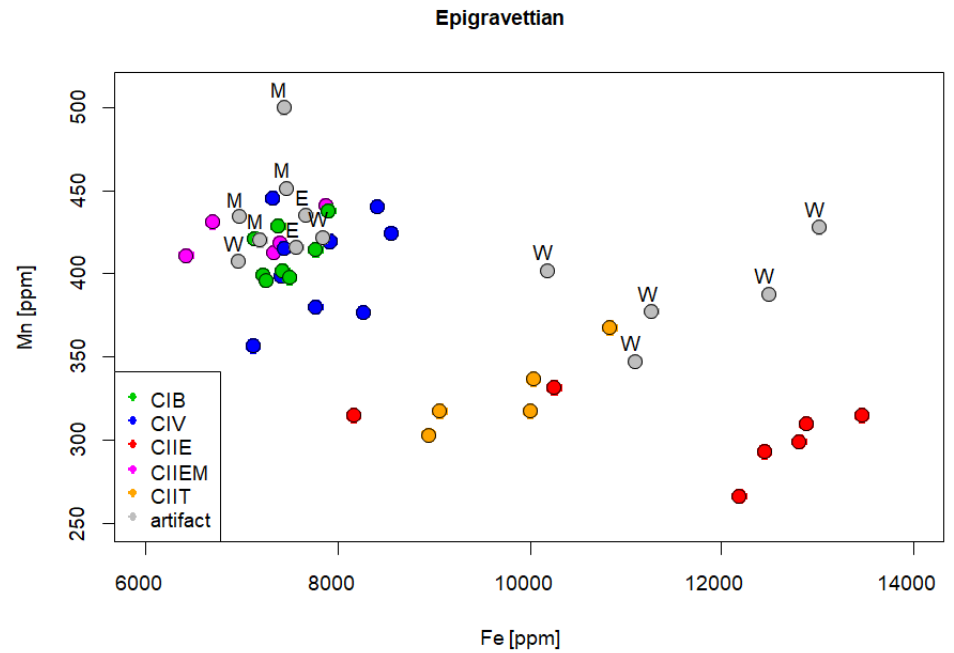
## Aurignacien



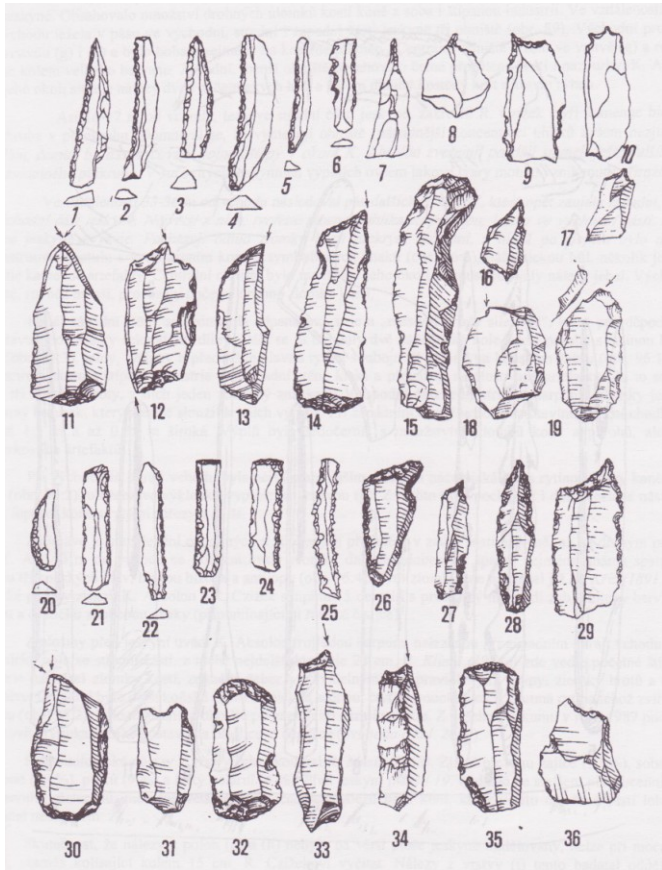
# Gravettian



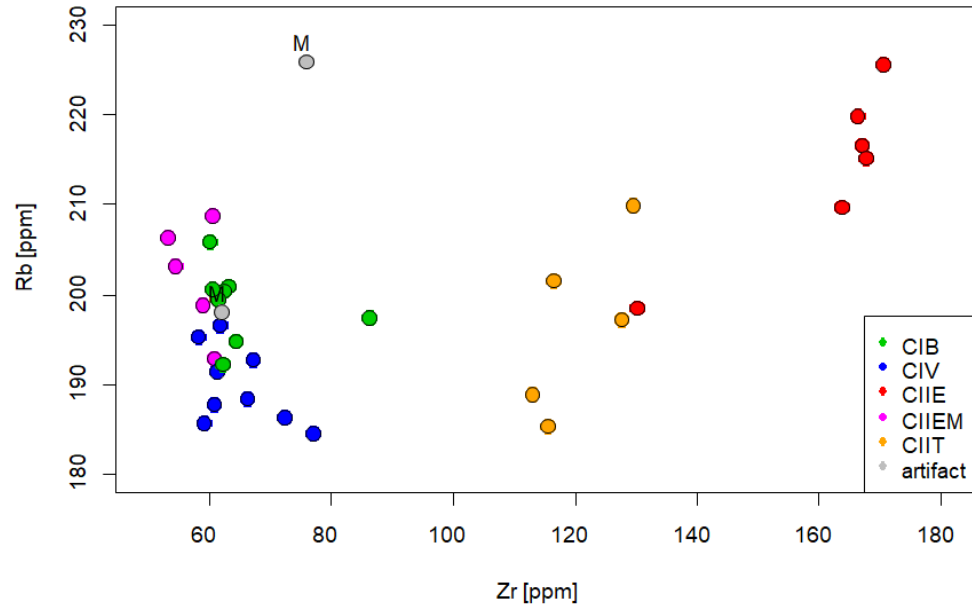
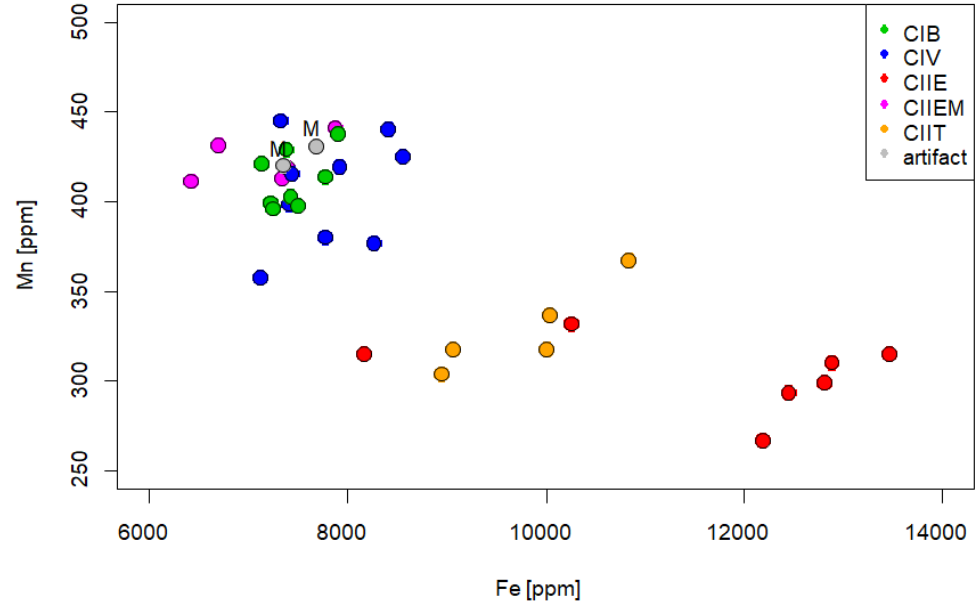
# Epigravettien



# Epimagdalenien



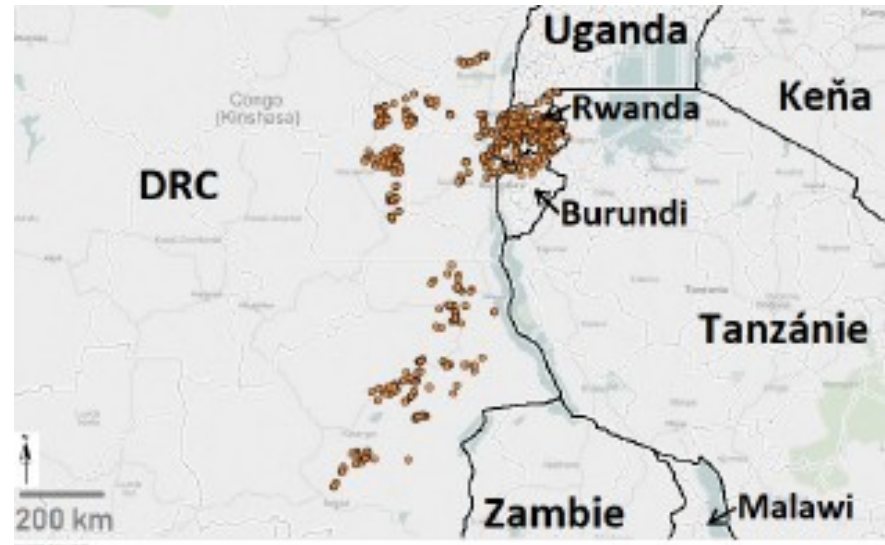
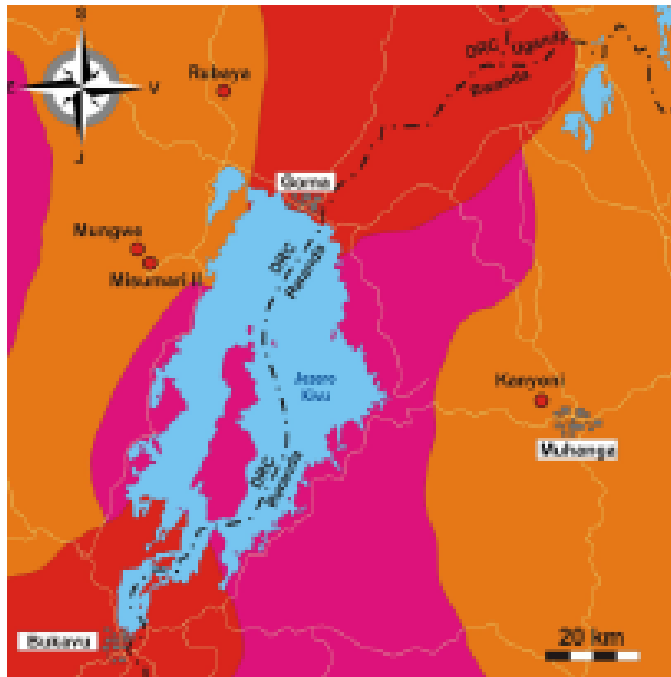
(Epi)Magdalenian







# Coltan





Mvamba Phezo Dizolele - [www.dizolele.com](http://www.dizolele.com)



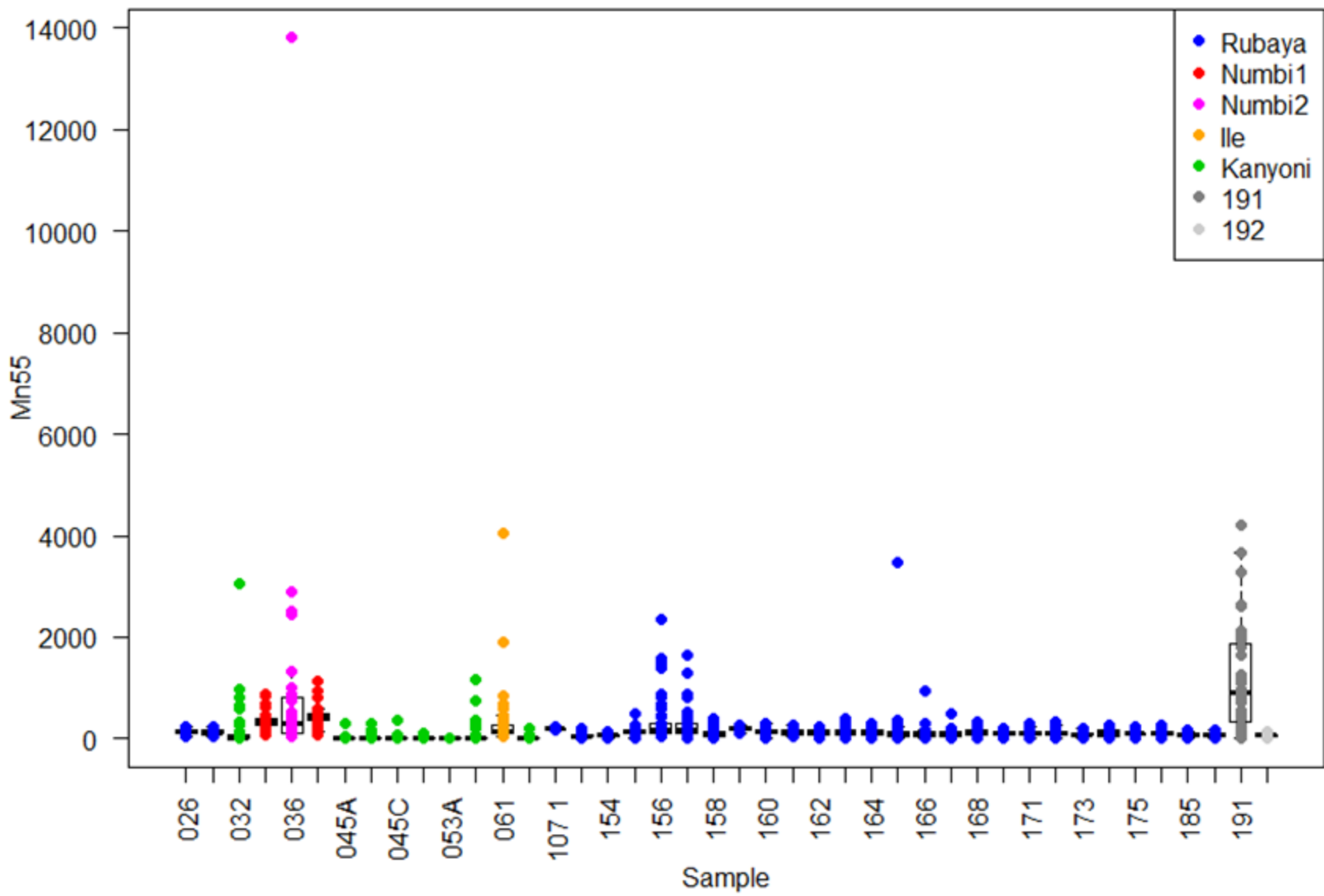
Mvamba Phezo Dizolele - [www.dizolele.com](http://www.dizolele.com)

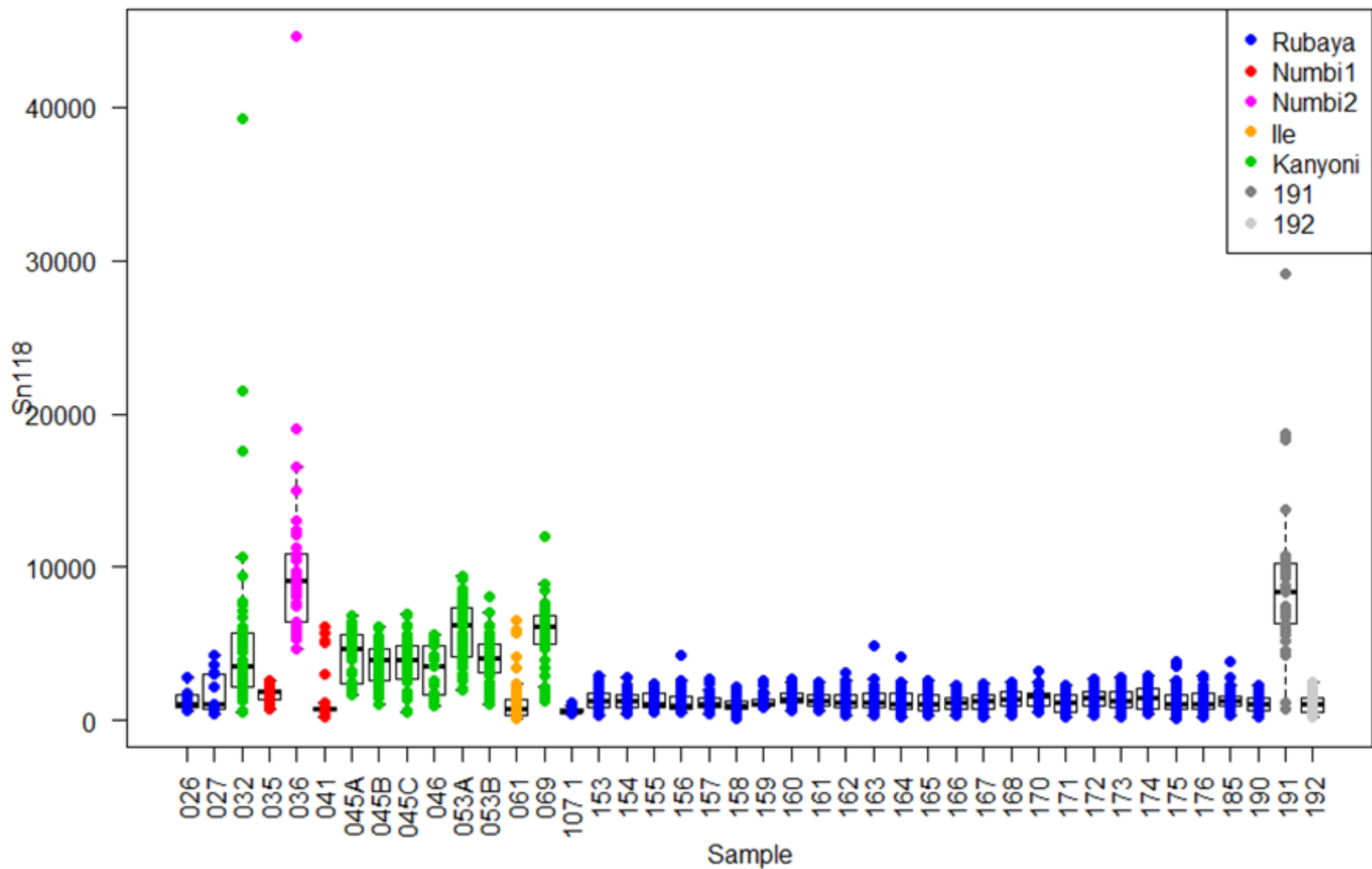


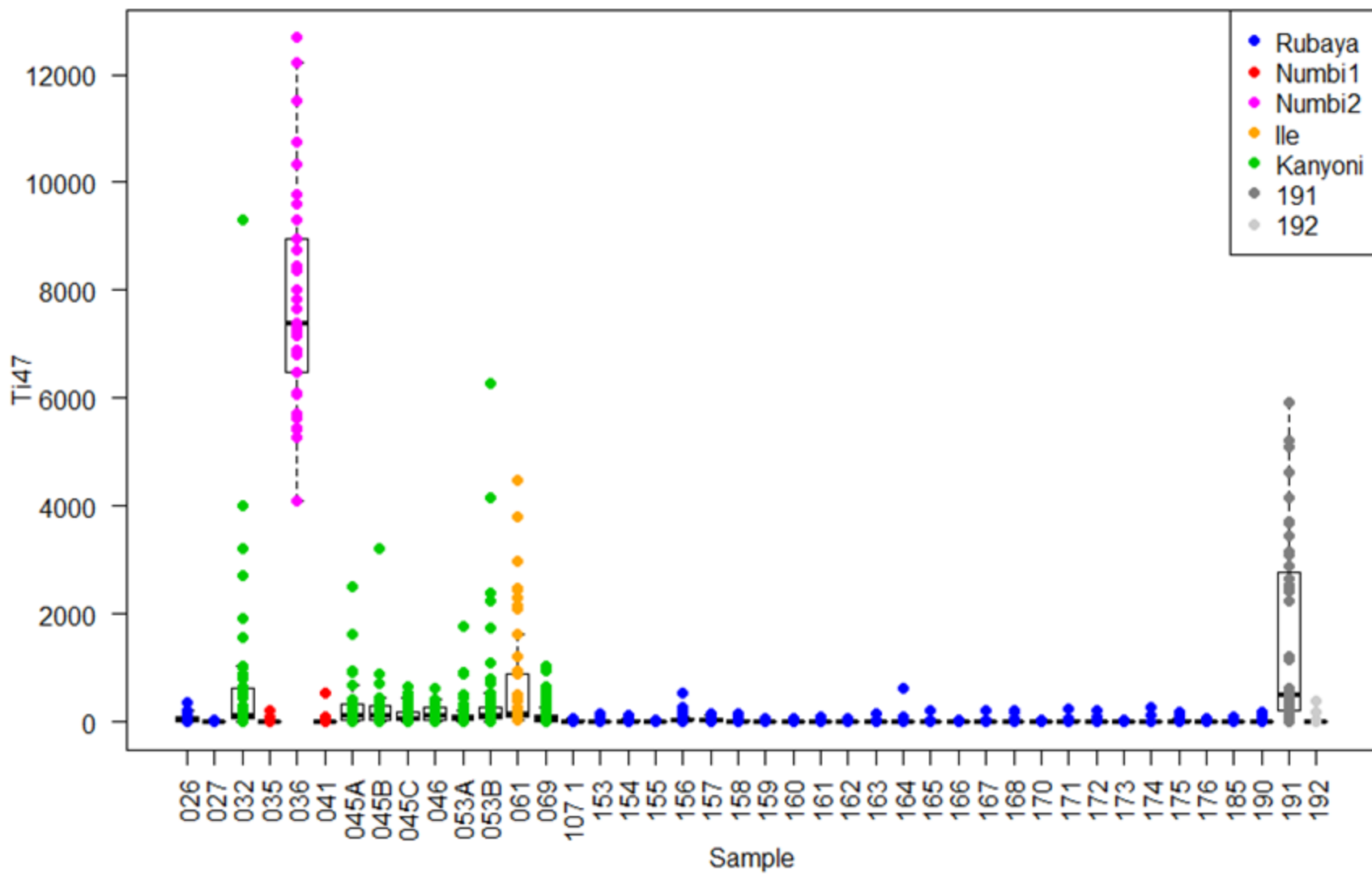
[www.dizolele.com](http://www.dizolele.com)

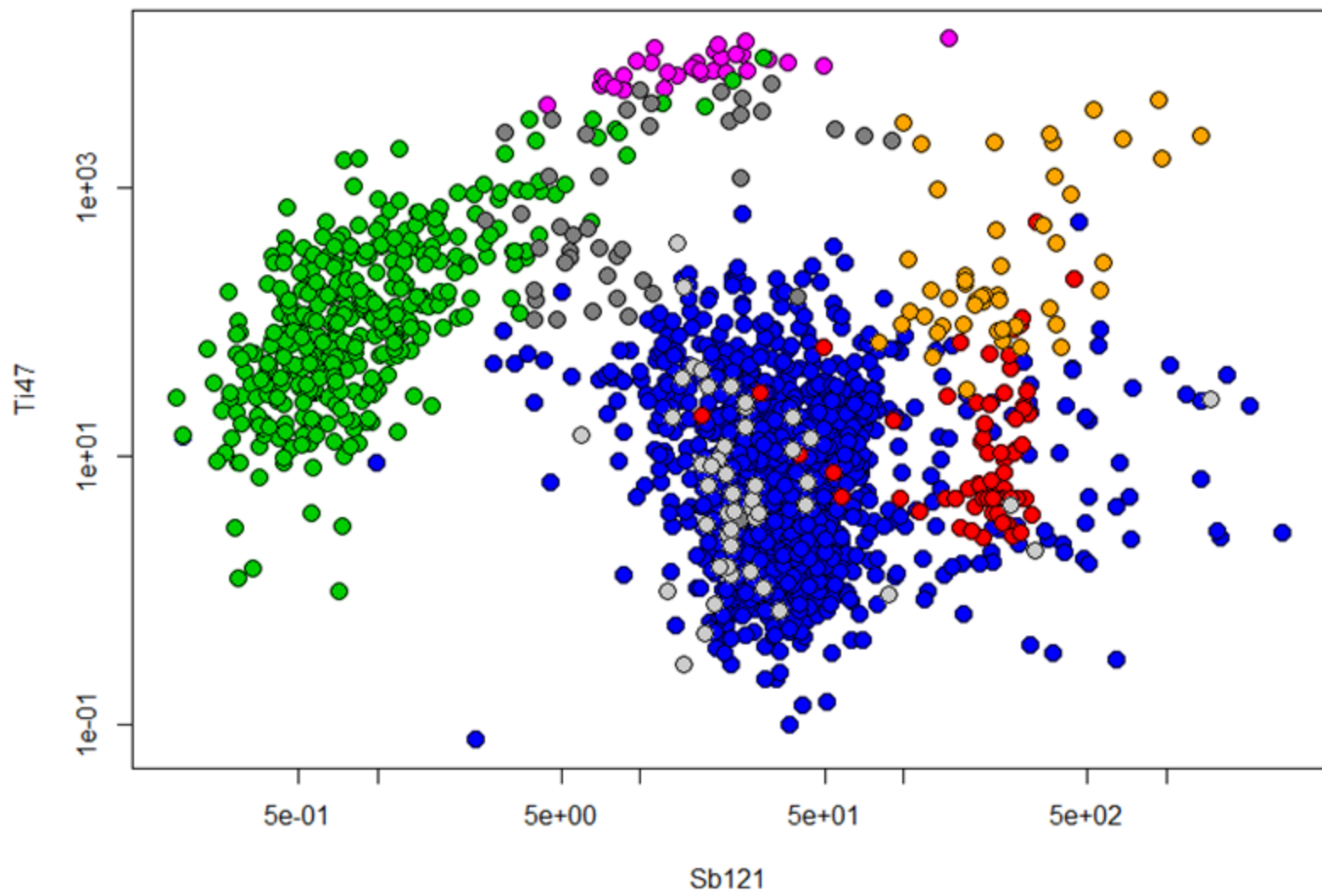


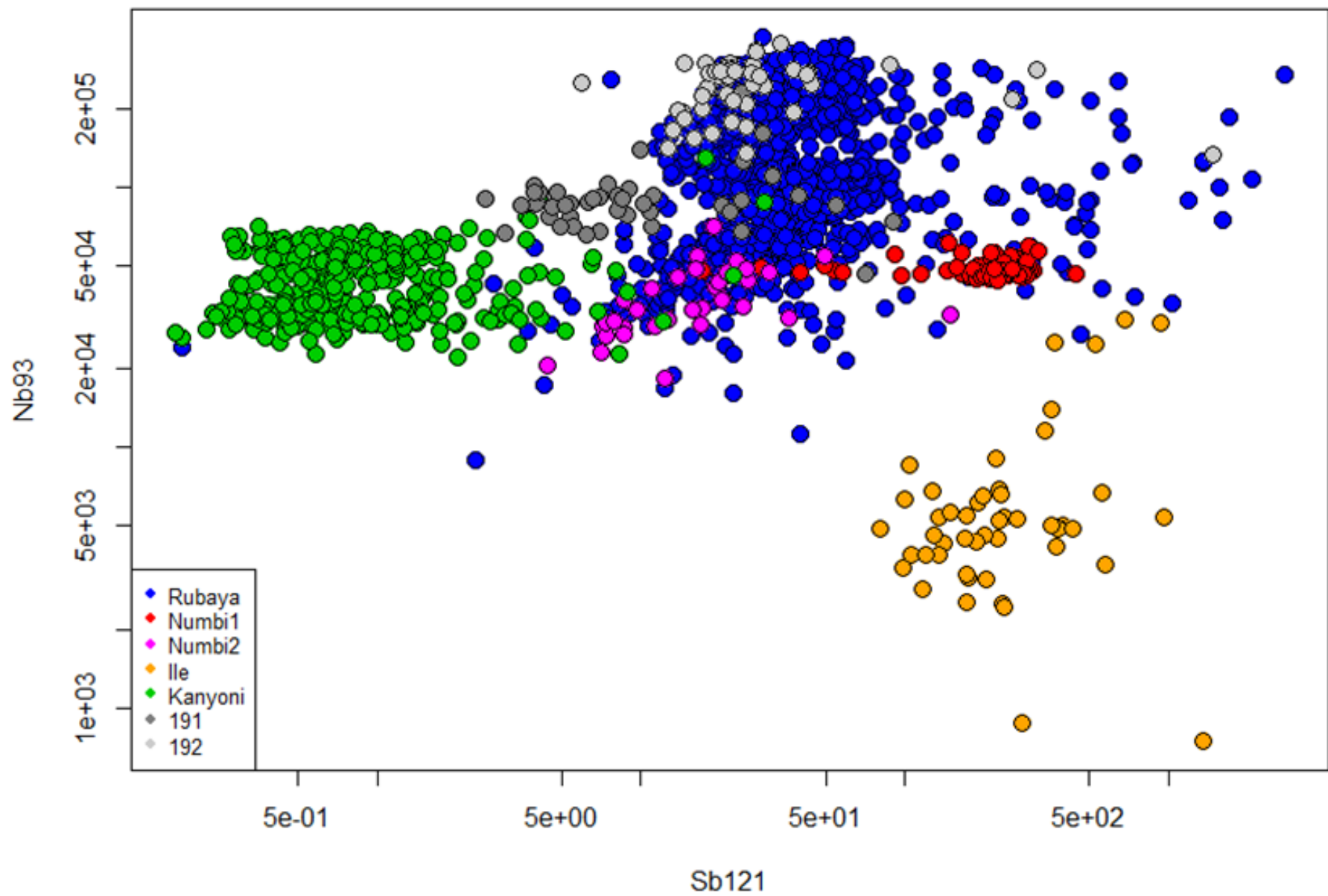
Mvamba Phezo Dizolele - [www.dizolele.com](http://www.dizolele.com)

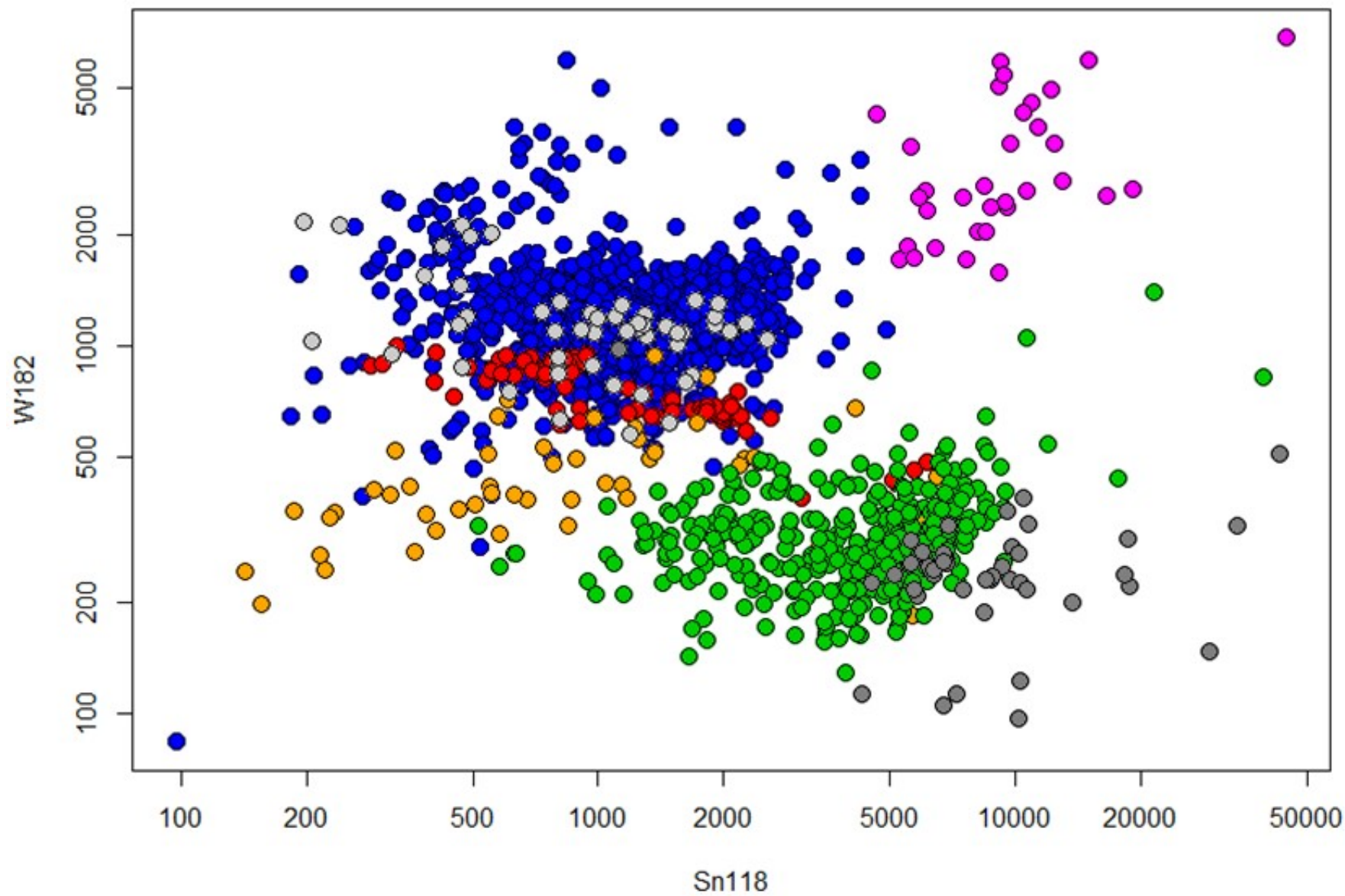














# Chemie + Archeologie



# Poděkování

Doc. RNDr. E. Drozdová, Ph. D.

Doc. PhDr. Ľ. Kaminská, CSc.

Doc. PhDr. E. Kazdová, CSc.

RNDr. M. Nývltová Fišáková, Ph.D.

Mgr. R. Přichystalová, Ph.D.

RNDr. M. Račanská, Ph.D.

Mgr. K. Šabatová, Ph.D.

Mgr. D. Vachůtová, Ph.D.

Mgr. M. Vašinová Galiová, Ph.D.

Mgr. P. Fojtík

Mgr. M. Hložek, Ph.D.

Prof. RNDr. V. Kanický, DrSc.

Doc. PhDr. B. Klíma, CSc.

Mgr. M. Kuča

Doc. PhDr. P. Kouřil, CSc.

Mgr. J. Loun, Ph.D.

Prof. Mgr. J. Macháček, Ph.D.

Mgr. A. Nemergut, Ph.D.

Doc. PhDr. M. Oliva, Ph.D.

Mgr. J. Petřík, Ph.D.

Prof. RNDr. A. Přichystal, CSc.

PhDr. M. Salaš, CSc. D.Sc.

Mgr. P. Stabrava

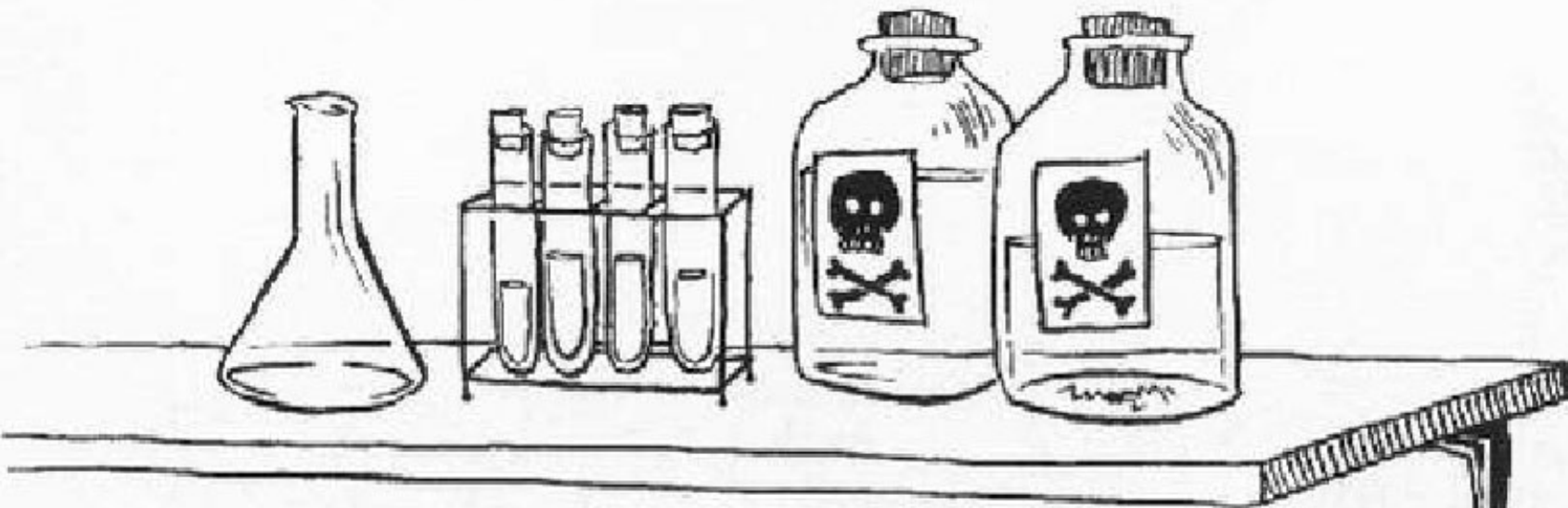
Prof. PhDr. J. Svoboda, DrSc.

Dr. hab. PhDr. L. Šebela, CSc.

Ing. P. Škrdla, Ph.D.

Mgr. J. Šmerda

a mnoho dalších ...



Děkuji za  
pozornost

