



národní
úložiště
šedé
literatury

Ke kvantifikaci pravěké keramiky

Neruda, Roman
1998

Dostupný z <http://www.nusl.cz/ntk/nusl-33835>

Dílo je chráněno podle autorského zákona č. 121/2000 Sb.

Tento dokument byl stažen z Národního úložiště šedé literatury (NUŠL).

Datum stažení: 28.04.2024

Další dokumenty můžete najít prostřednictvím vyhledávacího rozhraní [nusl.cz](http://www.nusl.cz) .

Ke kvantifikaci pravěké keramiky*

Roman Neruda
Ústav informatiky AV ČR
Pod vodárenskou věží 2, 182 07 Praha 8
roman@uivt.cas.cz

Vladimír Salač
Archeologický ústav AV ČR
Letenská 4, 118 01 Praha 1
salac@arup.cas.cz

prosinec 1998
Výzkumná zpráva ICS-98-768

Abstrakt

V této práci se snažíme za pomoci jednoduchých statistických metod vytvořit model popisující závislost plochy na naměřené délce. Porovnáme chování tohoto regresního modelu se závislostmi, které jsou předepsány vztahy pro ideální geometrické tvary (např. čtverec, kruh, obdélník, apod.). Ukážeme, že vztah mezi délkou a plochou je relativně stálý a nemění se výrazně pro střepy z různých období.

1 Úvod

V živé pravěké kultuře byla základní jednotkou množství keramiky nepochybně nádoba. Nejspíše právě počet nádob vypovídal o množství keramiky, které měla k dispozici rodina, komunita jedné osady apod. Pravěká keramika, kterou dnes archeologové získávají při terénních výzkumech dávných sídlišť však zpravidla prošla neznámým množstvím transformačních procesů (destrukce, akumulace, atd. cf. [2]), takže v naprosté většině případů nelze rozpoznat původní množství nádob v domě, na sídlišti apod. Základní archeologickou jednotkou při kvantifikaci keramických nálezů se tedy stal keramický zlomek — střep. Dlouhá desetiletí se archeologové věnovali především otázce stáří sídlišť. Užívali k tomu klasických archeologických metod — stratigrafických pozorování a typologie. Tyto metody však narazily na hranice svých možností v okamžiku, kdy se pozornost archeologů zaměřila na datování jednotlivých staveb na sídlišti, na rekonstruování velikosti osady v jednom časovém okamžiku apod. Jestliže datování vybraných zpravidla okrajových či zdobených střepeů umožňuje hrubé datování přisouzením některé archeologické kultuře, případně v hrubých rysech na její počátek či konec, pak při jemnějším datování tato metoda selhává. Ukazuje se, že je nutné pracovat se všemi zlomky, ne jen s více či méně subjektivními výběry. Také pro rekonstrukci původní živé skutečnosti je nutné pracovat s každým zlomkem.

Základní snahou archeologů je dnes evidence a vyhodnocení charakteristik všech keramických zlomků, přičemž se užívají různé matematické a statistické metody — např. shluková, korespondenční či faktorová analýza (např. [3], [6]). Výsledky těchto analýz však ukazují, že pramenná základna vstupující do analýzy je zpravidla nedostatečně popsána. Odhlédneme-li od nezřídka subjektivních a tudíž nejednotných typologických schémat, pak stále zřetelněji vystupují nároky na popis kvantity nalezené keramiky.

*Tento text vznikl za podpory Grantové agentury České Republiky při plnění grantového projektu č. 404/98/1565

Stává se zřejmým, že někdejší základní jednotka množství, tj. střep jako kus, je nedostatečná. Vždyť v krajních případech je celá nerozbitá nádoba jedním kusem, stejně jako sotva centimetrový střep, o široké škále možností mezi oběma extrémy ani nemluvě. Přitom právě ve velikostním složení nalezené kolekce je ukryto množství informací nejen o kvantitě keramického souboru, ale i o jeho kvalitě, tj. např. o množství transformačních procesů, kterými prošel. Celé nádoby, či jejich podstatné části svědčí zpravidla o úmyslném ukládání keramiky do objektu, naopak drobné keramické zlomky naznačují pokročilý stupeň fragmentarizace. Je nasnadě, že soubory vzniklé úmyslným ukládáním nádob, či odpadu vůbec, mají pro archeology jinou hodnotu, než soubory vzniklé víceméně náhodně značným množstvím transformačních procesů. Rekonstruovat proces vzniku keramických souborů je značně obtížné a často k jeho objasnění nestačí pozorování přímo v terénu. Pak zbývá pouze detailní popis kvantitativních vlastností jednotlivých zlomků, kterými jsou — délka, tloušťka a hmotnost. Registrace a vyhodnocování těchto údajů přináší cenné informace o velikostní či hmotnostní skladbě jednotlivých kolekcí střepů, což pomáhá zjistit vypovídací hodnotu souboru např. pro datování.

Velikost ani váha střepů však příliš nevypovídají o původním množství nádob na sídlišti, resp. málo vypovídají o vztahu střep - nádoba. Množství, byť detailně popsanych střepů nic nevypovídá o původním množství nádob. Abychom mohli blíže tento vztah poznávat, je nutné registrovat i údaje o celých nádobách. Vztah mezi základními rozměry střepů a nádob je však nejasný. Nelze jednoznačně určit, jak spolu souvisejí např. výška nádoby či její průměr a délka střepu, zvláště uvědomíme-li si celou tvarovou škálu keramiky počínaje plochým talířem a konče štíhlou lahví.

Jednou z možností, jak dát do souvislosti kvantitativní charakteristiky střepů a nádob je počítání ploch střepů a ploch rozvinutých povrchů nádob. Za tímto účelem byl proveden experiment, při němž byly spočítány pomocí programu Microstation plochy několika set nádob a pokusně i několika tisíc střepů. Ukázalo se však, že počítání ploch střepů je poměrně časově náročné, zvláště uvážíme-li, že např. ze sídliště z doby laténské pocházejí desetitisíce až statisíce střepů. Před dalším pokračováním experimentu bylo tedy nutné zodpovědět otázku, zda je nutné nadále počítat plochy střepů, či zda nelze vystačit pouze s jednodušším měřením maximální délky střepu. Otázka, kterou bylo nutné řešit tedy zní, jaký je vztah mezi maximálním rozměrem střepu a jeho plochou?

Struktura práce je následující: druhá část je věnována popisu datových souborů s kvantitativními charakteristikami střepů a jejich archeologickému kontextu. Ve třetí části stručně shrnujeme matematický aparát použitý v dalších analýzách. Hlavní výsledky, jimiž se snažíme odpovědět na otázky zmíněné výše, jsou obsahem čtvrté části. Poslední část se zabývá diskusí výsledků a naznačuje možné směry další práce.

2 Pramenná základna

Pro experiment sledování kvantitativních vlastností střepů byly vybrány dvě sondy z archeologického výzkumu v Lovosicích na Resslově ulici, který zde probíhal v l. 1980-87 ([5]). Vybrány byly sondy 1/86 a 2A/87, protože v obou byly zjištěny jak objekty, tak i kulturní vrstvy z doby laténské, římské a z raného středověku, v absolutních datech ca od 3. stol. př. Kr. až po 12. stol. po Kr. Nálezy z těchto sond tedy umožňují porovnávat rozměry střepů jednotlivých archeologických kultur a současně rozměry střepů ve vrstvách a zahloubených objektech.

Pro experiment poskytly sondy celkem 9 110 střepů, z tohoto počtu jich bylo 4885 z doby laténské (3.–1. stol. př. Kr.), 619 z doby římské (1.–4. stol. po Kr.) a 696 z raného středověku (7.–12. stol. po Kr.). Toto datování jsme použili pro rozdělení dat na tři soubory střepů z pocházejících prokazatelně z doby laténské (L), římské (R) a hradištní, resp. raného středověku (H). Celkem 2910 střepů, u nichž je datování nejasné, se nevyskytuje v žádném z těchto tří sou-

	delky	plochy
size	9110	9110
mean	40.9611416026345	9.06059275521403
stderr	0.179763441505818	0.0983110979783798
stdev	17.1568172357946	9.38291749499452
max	190	162.0
min	11	0.5
correl	0.915563954834997	

Tabulka 1: Statistiky pro celkový soubor délek a ploch

	delky	plochy
size	4885	4885
mean	40.0902763561924	8.59371545547595
stderr	0.242798106443361	0.126879206198023
stdev	16.9680964072368	8.86703209666071
max	170	115.2
min	1	0.5
correl	0.923504197650042	

Tabulka 2: Statistiky pro soubor délek a ploch z doby laténské (L)

borů, pouze v celkovém souboru 9110 dat. Základní statistiky čtyř uvedených souborů shrnují tabulky 1, 2, 3 a 4.

3 Matematický aparát

Připomeňme stručně základní statistické pojmy, se kterými budeme dále pracovat. Při zkoumání charakteristik veličiny X máme k dispozici naměřený soubor dat $\{x_1, \dots, x_n\}$, kde n je velikost souboru. Budeme používat následující výběrové charakteristiky. Průměrem \bar{x} hodnot x_1, \dots, x_n rozumíme veličinu

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Nejběžnější mírou rozložení hodnot kolem průměru je směrodatná odchylka s_x , která se definuje jako druhá odmocnina z rozptylu. Rozptyl σ_x^2 je zaveden jako suma druhých mocnin

	delky	plochy
size	619	619
mean	44.2714054927302	10.6505654281099
stderr	0.722897963856792	0.449494313694215
stdev	17.9709584073762	11.1742514429756
max	150	130.2
min	1	1
correl	0.906501646791343	

Tabulka 3: Statistiky pro soubor délek a ploch z doby římské (R)

	delky	plochy
size	696	696
mean	48.1810344827586	12.9245689655172
stderr	0.823166448053565	0.558587707015318
stdev	21.7010157788704	14.7259654137818
max	190	162.0
min	1	1
correl	0.922349231241444	

Tabulka 4: Statistiky pro soubor délek a ploch z raného středověku (H)

rozdílů dat od průměru

$$s_x = \sqrt{\sigma_x} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

Interval spolehlivosti průměru je okolí $(\bar{x} - \Delta, \bar{x} + \Delta)$, kde $\Delta = z_{1-\frac{\alpha}{2}} \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}$. Číslo α určuje spolehlivost odhadu a $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ je příslušný kvantil normovaného normálního rozdělení. V našem případě uvažujeme obvyklou 95% spolehlivost odhadu, kdy $1 - \alpha = 0.95$ a $z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1.96$.

Kovarianci dvou veličin X a Y značíme c_{xy} a počítáme jako

$$c_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})$$

Mírou lineární závislosti dvou veličin je jednoduchý korelační koeficient $r_{xy} = \frac{c_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$ nabývající hodnot od -1 do 1, přičemž velká absolutní hodnota znamená velký stupeň lineární závislosti. Říkáme, že veličina Y závisí na veličině X lineárně, platí-li:

$$y = ax + b + \varepsilon,$$

kde a, b jsou reálné koeficienty a ε je náhodná veličina. Hledáme-li a, b na základě dat $\{x_1, \dots, x_n\}$ a $\{y_1, \dots, y_n\}$ metodou nejmenších čtverců, minimalizujeme chybu

$$E(a, b) = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i - b)^2.$$

Dosazením konkrétních dat a vyřešením získáme následující vztahy: $a = c_{xy}/\sigma_x$; $b = \bar{y} - a\bar{x}$, neboli

$$a = \frac{n \sum yx - \sum x \sum y}{n \sum x^2 - \sum x \sum x},$$

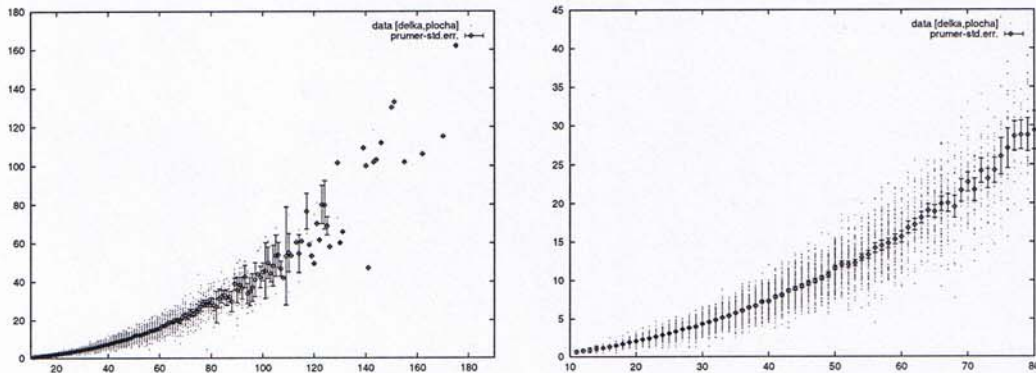
$$b = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum yx}{n \sum x^2 - \sum x \sum x}.$$

V našem případě budeme uvažovat i nejjednodušší formu nelineární závislosti dvou veličin — závislost kvadratickou. V takovém případě předpokládáme, že

$$y = ax^2 + bx + c + \varepsilon,$$

kde a, b, c jsou reálné koeficienty a ε je náhodná veličina. Minimalizací

$$E(a, b, c) = \sum_{i=1}^n (y_i - ax_i^2 - bx_i - c)^2$$



Obrázek 1: Závislost plochy střepu na maximální délce střepu. V každé skupině střepů se stejnou délkou je zobrazena průměrná hodnota plochy a interval spolehlivosti pro $1 - \alpha = 95\%$.

dostáváme následující vztahy pro výpočet regresních koeficientů:

$$a = \frac{(n \sum x^2 - \sum x \sum x)(n \sum yx^2 - \sum x^2 \sum y) - (n \sum x^3 - \sum x^2 \sum x)(n \sum yx - \sum x \sum y)}{(n \sum x^2 - \sum x \sum x)(n \sum x^4 - \sum x^2 \sum x^2) - (n \sum x^3 - \sum x \sum x^2)(n \sum x^3 - \sum x^2 \sum x)},$$

$$b = \frac{(n \sum x^4 - \sum x^2 \sum x^2)(n \sum yx - \sum x \sum y) - (n \sum yx^2 - \sum x^2 \sum y)(n \sum x^3 - \sum x \sum x^2)}{(n \sum x^2 - \sum x \sum x)(n \sum x^4 - \sum x^2 \sum x^2) - (n \sum x^3 - \sum x \sum x^2)(n \sum x^3 - \sum x^2 \sum x)},$$

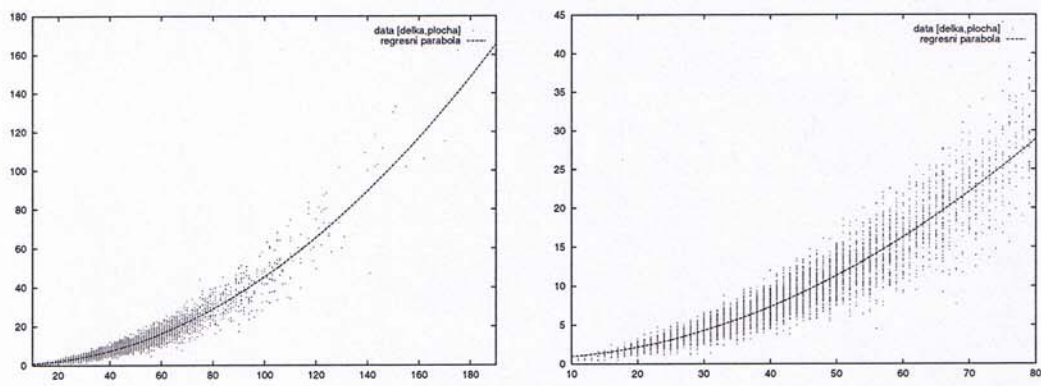
$$c = \frac{\sum y - b \sum x - a \sum x^2}{n}.$$

4 Vztah plochy a maximální délky

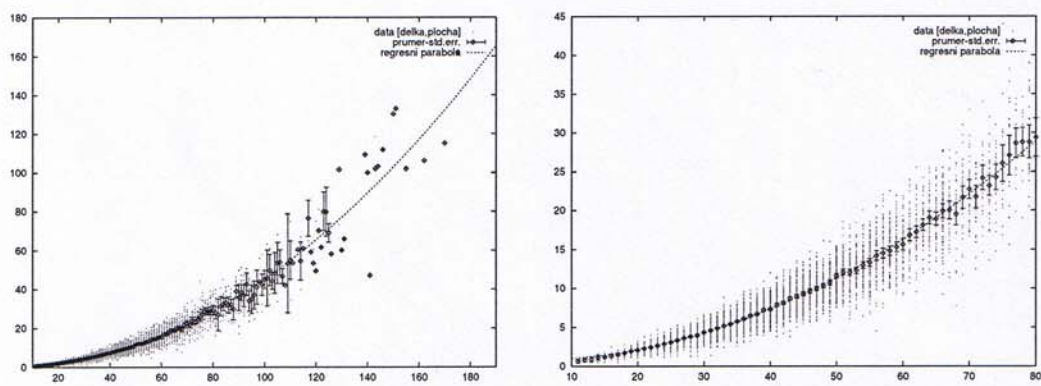
4.1 Závislost plochy na délce

Intuitivně lze předpokládat, že mezi plochou a délkou střepu existuje závislost. Z fyzikální podstaty vyplývá, že by mělo jít o závislost kvadratickou. Forma funkční závislosti však v tomto případě není ovlivněna jen náhodnými chybami ale i různými tvary střepů. Napovídá tomu i obrázek 1, na němž jsou znázorněna naměřená data spolu s průměrnými hodnotami ploch vždy pro jednu hodnotu délky. Délky střepů měřené v milimetrech vynásíme na osu x , plochy v centimetrech čtverečních jsou na ose y . Součástí grafu jsou i 95% hranice intervalu spolehlivosti pro soubor střepů o dané délce. Vidíme, že pro střepy s délkou do 80 mm jsou hodnoty průměrů i chyb poměrně málo rozkolísané. Hodnota korelačního koeficientu mezi délkou a plochou spočtená pro celý soubor dat činí 0.91555, což napovídá, že existuje relevantní vztah mezi těmito dvěma veličinami.

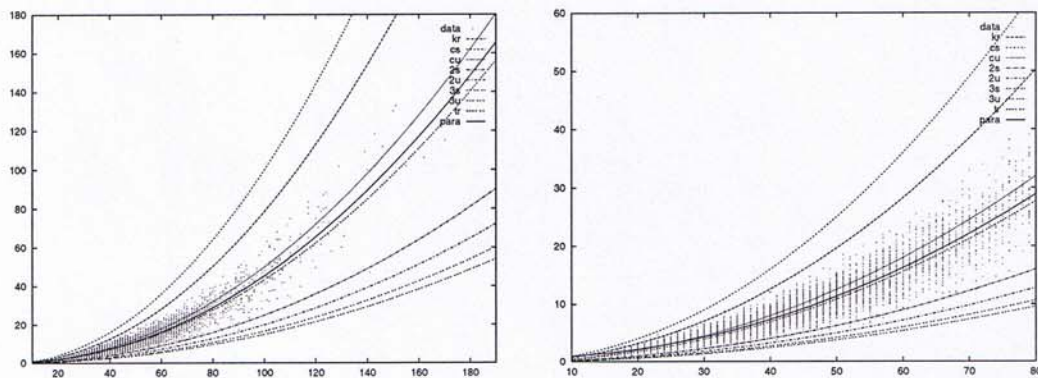
Ke zjišťování konkrétní závislosti jsme použili standardní regresní metodu nejmenších čtverců. Pro větší přehlednost netransformujeme nijak hodnoty délek či ploch, ale pomocí nejmenších čtverců přímo hledáme koeficienty paraboly $y = ax^2 + bx + c$ dle předchozí kapitoly, kde x je délka a y značí plochu. Obrázek 2 ukazuje výsledek regrese: parabolu $y = 0.00468 \cdot x^2 - 0.02221 \cdot x + 0.73605$.



Obrázek 2: Regrese délky a plochy parabolou.



Obrázek 3: Kombinace regresní paraboly a odhadů průměru s intervaly spolehlivosti.



Obrázek 4: Ideální tvary střepů, regresní parabola a naměřené hodnoty (kr: kruh, cs: čtverec (měří se strana), cu: čtverec (měří se úhlopříčka), 2s,2u: obdélník s poměrem stran 2:1, 3s,3u: obdélník s poměrem stran 3:1, tr: rovnostranný trojúhelník, para: regresní parabola)

4.2 Ideální geometrické tvary střepů

Rozdílné hodnoty ploch pro jednotlivé délky nejsou rozhodně způsobeny jen chybami měření. Přiřazení plochy ke konkrétní maximální délce střepu není totiž jednoznačné ale závisí na tvaru střepu. Regresní parabola, kterou jsme popsali výše, vyjadřuje tedy jakýsi průměrný vztah mezi délkou a plochou. Naším cílem je zjistit, zda je nutné provádět časově náročné zjišťování ploch střepů či zda je možné nahradit je odhadem plochy na základě maximální délky. Vezmeme-li kromě délky v úvahu i tvar střepu, můžeme odhad plochy dále zpřesnit. Na obrázku 4.2 vidíme přehled parabol, které odpovídají závislosti délka-plocha u ideálních geometrických tvarů střepu jako je čtverec (u kterého měříme úhlopříčku), kruh (s měřeným průměrem), obdélník s poměrem stran 1:2 a 1:3 a rovnostranný trojúhelník. Koeficienty parabol pro tyto ideální případy shrnuje i tabulka 6.

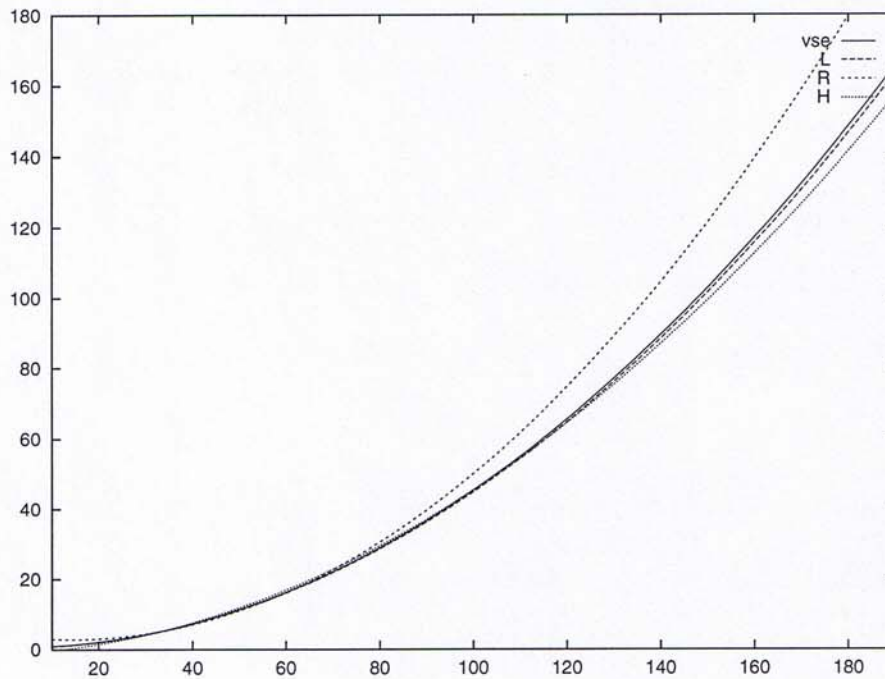
4.3 Datování zlomků a vztah plocha - délka

Další otázkou bylo, zda se délky, plochy nebo vztah mezi nimi liší v závislosti na datování střepů. Rozdělili jsme tedy náš soubor 9110 střepů na tři skupiny, u nichž je datování známo. Střepy laténské obsahovaly 4885 vzorků, dále jsme měli k dispozici 696 střepů z období hradištního a 619 římských. V rámci těchto skupin jsme opět provedli regresní analýzu. Korelační koeficienty mezi délkou a plochou dosahovaly v těchto případech hodnoty kolem 0.92.

Výsledné paraboly pro jednotlivá období i parabola vzniklá z kompletního souboru jsou znázorněny na obrázku 5 a tabulce 5. Rozdíly mezi jednotlivými kategoriemi střepů i odlišnosti od celku nejsou významné. Lze tedy shrnout, že vztah délky a plochy nezávisí na datování střepu. Což také říká, že způsob vzniku střepů je zhruba stejný, nenastává tedy například to, že by v nějakém období vznikaly střepy spíše podlouhlé nebo naopak kruhové.

5 Závěr

Na základě velkého množství popsaných zlomků keramiky pocházejících převážně z laténského období jsme vytvořili model závislosti dvou kvantitativních charakteristik střepu — jeho plochy na maximální délce. Výsledná kvadratická regresní křivka věrně popisuje tento funkční vztah, což nám dovoluje upustit při dalším zpracování střepů od pracného výpočtu plochy a v případě



Obrázek 5: Regresní paraboly pro střepty z jednotlivých období.

soubor střeptů	a	b	c
kompletní	0.004682	-0.022161	-0.022161
L	0.004605	-0.018223	0.595878
R	0.006454	-0.187792	4.239760
H	0.004077	0.058820	-1.293251

Tabulka 5: Koeficienty regresních parabol pro soubor všech střeptů, střepty z období laténského (L), románského (R) a raného středověku (H).

tvar	zkratka	parabola
kruh	kr	$\pi \frac{x^2}{4 \cdot 100}$
čtverec (strana)	cs	$\frac{x^2}{100}$
čtverec (úhlopříčka)	cu	$\frac{x^2}{2 \cdot 100}$
obdélník 2:1 (strana)	2s	$\frac{x^2}{4 \cdot 100}$
obdélník 2:1 (úhlopříčka)	2u	$\frac{x^2}{5 \cdot 100}$
obdélník 3:1 (strana)	3s	$\frac{x^2}{6 \cdot 100}$
obdélník 3:1 (úhlopříčka)	3u	$\frac{x^2}{\frac{3}{2} \cdot 100}$
rovnostanný trojúhelník	tr	$\frac{x^2 \cdot \sqrt{3}}{4 \cdot 100}$
regrese	para	$0.734533 - 0.022161x + 0.004682x^2$

Tabulka 6: Koeficienty parabol pro ideální geometrické tvary.

potřeby použít její odhad. Ukázali jsme také, že závislost plochy na délce je relativně stálá a nemění se u střepů pocházejících z různých období. To napovídá, že způsob, jakým se keramika rozpadá, je závislý spíše na obecnějších fyzikálních vlastnostech materiálu než na odlišnostech daných různými materiály a technologiemi.

Dalším výsledkem sledování vztahu délka - plocha u archeologických střepů je poměrně překvapivé zjištění, že tento vztah se nemění v závislosti na datování zlomků. To znamená, že se nádoby rozpadly na střepy přibližně stejné tvarové škály bez ohledu na to z jaké části námi sledovaného časového spektra pocházejí (3. stol. př. Kr. - 12. stol. po Kr.) Tento závěr je zatím obtížné interpretovat. Vzhledem k tomu, že v průběhu bezmála 1500 let se několikrát zásadně proměnila technologie výroby keramiky, stejně jako její tvarová skladba, předpokládali jsme, že se bude lišit i výsledný produkt transformačních procesů - střep. Ukazuje se však, že skladba střepů se ve sledovaném období nemění ani tvarově ani rozměrově, což dokládají histogramy délek i ploch střepů na obr.6 a 7. Předběžně lze vyslovit hypotézu, že transformační procesy, kterými prochází rozpad nádob a jejichž výsledkem je soubor střepů, do značné míry eliminují technologické i tvarové rozdíly mezi nádobami, které stály na počátku těchto procesů.

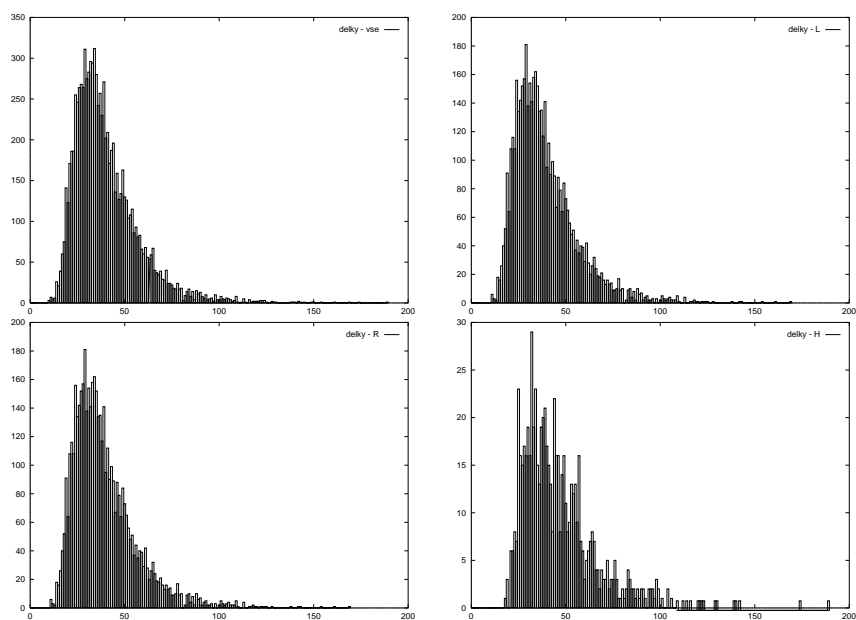
Vzhledem k tomu, že část střepů pochází z archeologických objektů (zahloubené stavby) a část z vrstev, lze očekávat, že by mezi oběma skupinami střepů mohly existovat odlišnosti ve velikostech a patrně i ve tvarech, tj. následně i ve vztahu délka - plocha. Tento předpoklad bude nutné ověřit zhodnocením střepů dle místa jejich původu. Následným krokem poté bude pozorování střepů dle jejich stáří a místa původu současně, neboť dnes nelze vyloučit, že dosavadní shoda tvarové i velikostní skladby různě starých střepů zčásti náhodným odrazem kombinace datování a místa původu, tj. že mezi různě starými kolekcemi střepů přeci jen mohou existovat určité odlišnosti, byť jsme je zatím neodhalili.

V další práci počítáme se zahrnutím dalších kvantitativních charakteristik střepu (tloušťka, váha, ...) a vytvořením věrnějších modelů. V plánu jsou i techniky trojrozměrného modelování a diskrétní počítačové simulace rozpadu keramiky. Chystáme se porovnat modely vzniklé pro další důležité skupiny střepů (vrstvy vs. objekty, okraje, dna, ...). V neposlední řadě by pro ověření našich teorií bylo dobré provést srovnání se vzorkem keramiky pocházejícím z jiného období, např. ze středověku.

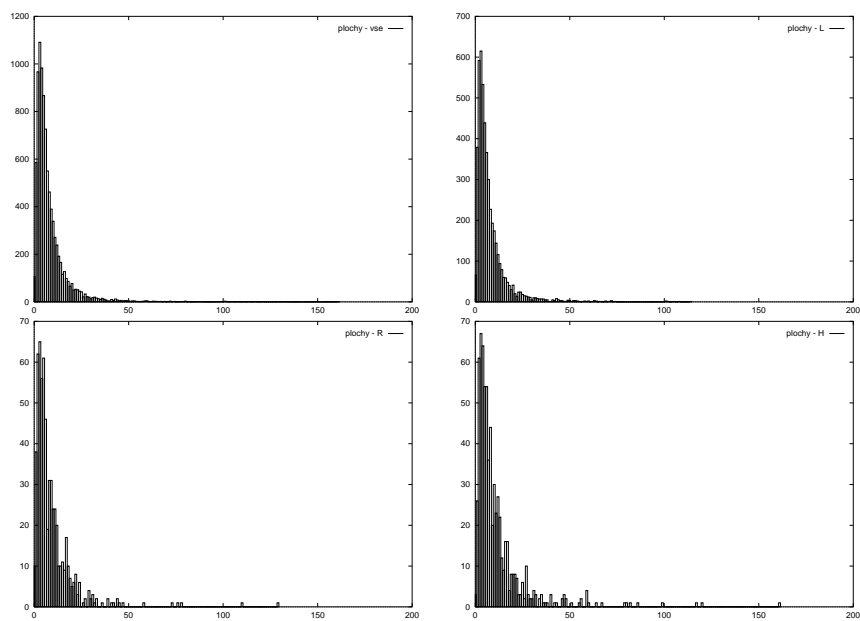
Dosavadní experimenty tedy přinesly nejen praktické výsledky usnadňující zpracování keramických kolekcí, ale významný impuls k teoretickému bádání. Potvrzení hypotézy, že transformační procesy na jejichž konci se nacházejí kolekce střepů stírají počáteční rozdíly mezi celými nádobami by mělo pro sídlištní archeologii zásadní význam.

Reference

- [1] P. Cohen. *Empirical methods for artificial intelligence*. MIT Press, Cambridge, MI, 1995.
- [2] E. Neustupný. *Archaeological Method*. Cambridge University Press, 1993.
- [3] E. Neustupný. Syntéza struktur formalizovanými metodami — vektorová syntéza. *Archeologické rozhledy*, IL(1):237–258, 1997.
- [4] E. Neustupný. K variabilitě laténské keramiky. *Archeologické rozhledy*, L(1), 1998.
- [5] V. Salač. K poznání laténského (lt c2-d1) výrobního a distribučního centra v lovosicích — zu untersuchungen über ein latnezeitliches (lt c2-d1) produktions und distributionszentrum in losovice. *Archeologické rozhledy*, XLII:609–639, 1990.
- [6] V. Salač. K využití seriace při datování sídlištní keramiky. In J. Macháček, editor, *Počítačová podpora v archeologii*, pages 215–235. MU, Brno, 1997.



Obrázek 6: Histogramy délek pro soubor všech střepů, a soubory střepů datovaných jako laténské, románské a hradištní.



Obrázek 7: Histogramy ploch pro soubor všech střepů, a soubory střepů datovaných jako laténské, románské a hradištní.

[7] V. Salač. Standardní soubor laténské sídlištní keramiky. *Archeologické rozhledy*, L(1), 1998.