

DARIUSZ BOBAK, BERNADETA KUFEL, EWA LISOWSKA, ANNA MIKOŁAJCZYK

BADANIA EKSPERYMENTALNE WPŁYWU WYSOKIEJ TEMPERATURY NA STAN ZACHOWANIA SUROWCÓW KRZEMIENNYCH

Abstract: Flint artifacts are the most common finds on the archaeological sites from Early and Middle Stone Age. Considerable part of assemblages often bear traces resulted from high temperature influence. These traces are usually cursorily described, because in the literature there are no complex studies concerning heated flint material. The aim of our experimental studies, carried out in the natural as well as in the controlled conditions, was to distinguish the features of heated flint, that are characteristic for four kinds of Polish flint: cretaceous, Jurassic, chocolate and Świeciechów flint and to find the relationships between an appearance of those features, a height of a temperature and time of heating. We believe that the results of our research can be used in the spatial analysis of archaeological sites.

Key words: flint raw material heating, archaeological experiment.

WSTĘP

Podstawowym źródłem wiedzy o starszej i środkowej epoce kamienia są zabytki kamienne. W literaturze przedmiotu wiele miejsca poświęcono zarówno analizom technologicznym i typologicznym, jak również zagadnieniom z dziedziny procesów formowania skupień artefaktów krzemienych (Sergant et al. 2006 i in.). Wpływ wysokich temperatur na surowce krzemienne dyskutowany był przeważnie w kontekście ich podgrzewania w celu polepszenia łupliwości (Greg, Grybush 1976; Pavlish, Sheppard 1983; Schindler et al. 1983; 1984; Waldorf 1993, s. 9–12; Whittaker 1995, s. 72–74). Natomiast brakuje ujęć, które w większym stopniu kładą nacisk na rozpoznanie surowca krzemienego ulegającego przepaleniu. Rzadko podejmowane były próby uchwycenia związków między cechami skały, a czasem i wysokością działającej na nią temperatury (Masson 1981; Rowney, White 1997; Mercieca, Hiscock 2008).

Z analitycznego punktu widzenia kwestie te, wraz z analizą przestrzenną, mogą mieć istotne znaczenie przy interpretacjach procesów formowania się stanowisk. Mogą one też pomóc w wyjaśnieniu, czy ślady palenia na zabytkach krzemienych spowodowane były krótkotrwałym, kontrolowanym działaniem ognia (np. ognisko), czy też są efektem niekontrolowanych procesów na większą skalę (np. pożar). Za-

myślem autorów eksperymentu było określenie możliwości identyfikacji surowców krzemiennych poddanych wcześniej działaniu wysokiej temperatury. Ponadto starano się określić zależności między wysokością temperatury a czasem jej oddziaływania na różne surowce krzemienne.

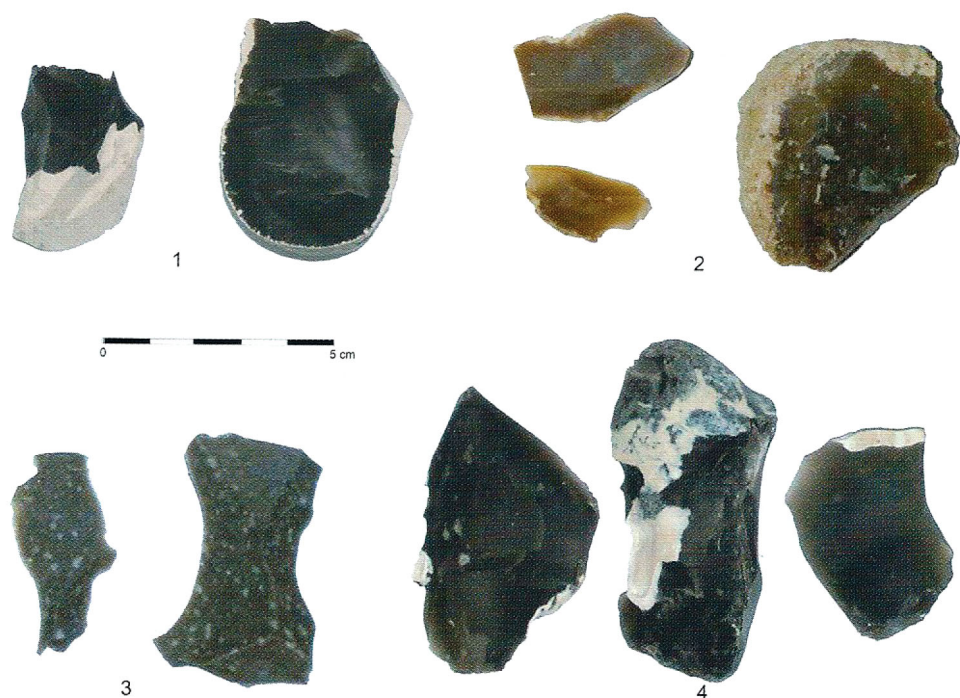
METODY I PROCEDURY EKSPERYMENTALNE

Eksperyment zrealizowano w dwóch etapach. Pierwszy obejmował przepalenie bezpośrednio w ognisku 12 zestawów zawierających średnio po 8 fragmentów krzemienia narzutowego oraz 5 fragmentów krzemienia czekoladowego i 5 krzemienia pasiastego.

Na tym poziomie wstępne obserwacje umożliwiły sformułowanie kilku postulatów, które w dalszej części eksperymentu zostały rozwinięte i zweryfikowane. Stwierdzono, że różne rodzaje krzemieni zachowują się odmiennie pod wpływem podwyższonej temperatury. Silnie przepalają się tylko te krzemienie, które znajdują się bezpośrednio w żarze, natomiast w strefach graniczących z ogniskiem zmiana cech makroskopowych krzemieni jest minimalna lub w ogóle nie następuje. Po umieszczeniu większych wyrobów, tj. rdzeni i okruchów w ognisku, część z nich uległa całkowitemu rozpadowi w czasie mniejszym niż jedna minuta. Na krzemieniach umieszczonych bezpośrednio w ogniu obserwowalne makroskopowo zmiany w strukturze surowca zachodzą w ciągu kilku minut.

Ze względu na potrzebę kontrolowania warunków, drugi etap eksperymentu przeprowadzono w laboratorium Pracowni Archeometrii i Konserwacji Zabytków Archeologicznych, Instytutu Archeologii Uniwersytetu Wrocławskiego. Do przepalania krzemieni użyto pieca Nabertherm 3000 o zakresie temperatur od 0°C do 1300°C. Posłużono się 33 próbkami krzemieni: 9 – krzemień czekoladowy (ryc. 1: 1), 9 – jurajski podkrakowski (ryc. 1: 2), 5 – świeciechowski (ryc. 1: 3) oraz 10 – krzemień z Rugii (ryc. 1: 4).

Próbki reprezentowały różne wyroby krzemienne, jak rdzenie, różnych rozmiarów odłupki (2–7 cm długości) oraz łuski (tab. 1). Każdą z próbek, licząc od 2 do 23 wyrobów, opisano i sfotografowano zarówno w stanie wyjściowym, jak i po przepaleniu. Dokumentacja zawierała informacje o liczbie krzemieni w danej próbce z uwzględnieniem ich cech morfometrycznych oraz rodzaju surowca. Próbki były przepalane w następujących temperaturach: 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 500°C, 650°C, 700°C i 850°C. Czas oddziaływania temperatury na próbki wynosił odpowiednio 10, 15, 30 i 40 minut. W analizie uwzględniono również warunki stygnięcia próbek. Proces ten odbywał się w warunkach powolnego wychładzania pieca (powolnego spadku temperatury w piecu), bez ingerencji czynników zewnętrznych, na przykład wody. Uzyskane wyniki eksperymentu zostały zgromadzone w komputerowej bazie danych.



Ryc. 1. Próbkki krzemieni przed przepaleniem z numerem zestawu: 1 – krzemień czekoladowy (zestaw 14); 2 – krzemień jurajski podkrakowski (zestaw 12); 3 – krzemień świciechowski (zestaw 16); 4 – krzemień z Rugii (zestaw 51)

Fig. 1. Flint samples with a set number: 1 – chocolate flint (set 14); 2 – Jurassic flint (set 12); 3 – Świeciechów flint (set 16); 4 – cretaceous flint (set 51)

Na podstawie dokonanych obserwacji przepalonych próbek wyróżniono następujące cechy makroskopowe, które pojawiły się w różnych warunkach, zależnych od temperatury i czasu wygrzewania:

- a – fragmentacja, czyli rozpad bryły surowca na fragmenty (ryc. 2: 1);
- b – częściowa zmiana barwy krzemienia, która charakteryzuje się zróżnicowaną kolorystyką w obrębie jednego fragmentu (np. krzemień świciechowski);
- c – całościowa zmiana barwy. Bryłki krzemienne całkowicie zmieniają kolor, przyjmując najczęściej barwę od białawej do szarej o różnych odcieniach (ryc. 2: 2);
- d – odpryski i negatywy miseczkowate powstają w procesie rozpadu surowca pod wpływem wysokiej temperatury. Strony dolne odprysków mają kształt nieckowaty, często o chropowatej, „pofałdowanej” powierzchni. Negatywy miseczkowate stanowią ślady, które powstają po oddzieleniu się odprysków. Ich kształty odpowiadają stronom „dolnym” odprysków (ryc. 2: 3);
- e – spękania miseczkowate mające wygląd drobnych, półkolistych spękań na powierzchni oraz w głębi okazu (ryc. 2: 4);

Tab. 1. Zestawienie ilościowe i jakościowe próbek
Table 1. Quantitative and qualitative characteristics of the samples

Lp.	Zestaw	Rdzenie	Odtłupki	Łuski	Włożone [n]	Wyjęte [n]
1	1	1	9	11	21	19
2	11-13	-	14	-	14	?
3	14	-	11	-	11	54+
4	16	-	3	4	7	0
5	17	-	7	-	7	33+
6	20	-	13	-	13	35
7	21	-	5	2	7	14
8	22	-	5	-	5	5
9	23	-	7	-	7	9
10	24	-	7	-	7	14
11	25	-	4	-	4	11
12	26	-	4	-	4	4
13	27	-	5	-	5	13+
14	28	-	2	-	2	2
15	29	-	2	-	2	2
16	3	-	10	13	23	27
17	30	-	2	-	2	2
18	31	1	3	-	4	16
19	32a	1	8	-	9	66+
20	32b	1	7	-	8	65+
21	33	1	5	-	6	69+
22	33a	-	10	-	10	34+
23	3a	-	7	-	7	8
24	4c	-	3	-	3	0
25	4r	1	3	-	4	10
26	4s	-	3	-	3	+
27	5	-	15	-	15	32
28	50	1	9	-	10	10
29	51	1	7	-	8	20
30	52	-	12	-	12	19
31	53	-	11	-	11	0
32	6	-	5	6	11	47
33	7	-	5	-	5	25+



Ryc. 2. Cechy przepalenia zabytków krzemianych: 1 – proces fragmentacji; 2 – całościowa zmiana barwy; 3 – odpryski i negatywy miseczkowate; 4 – spękania miseczkowate

Fig. 2. Macroscopic features of flint heating: 1 – fragmentation; 2 – complete change of colour; 3 – pot-lid chips and negatives of pot-lid chips; 4 – pot-lid fractures



Ryc. 3. Cechy przepalenia zabytków krzemiennych: 1 – siateczka spękań poligonalnych; 2 – siateczka spękań koncentrycznych; 3 – spękania poprzeczne; 4 – spękania warstwowe

Fig. 3. Macroscopic features of flint heating: 1 – net of polygonal fractures; 2 – net of concentric fractures; 3 – lateral fractures; 4 – laminated fractures

f – siateczki spękań poligonalnych, to systemy wyraźnych spękań w obrębie struktury skały, tworzące siateczki o dość przypadkowym charakterze i intensywności spękań (ryc. 3: 1);

g – siateczki spękań koncentrycznych tworzą wyraźne okręgi spękań, o układzie przypominającym pajęczynę. Niekiedy siateczki ujawniają się w postaci pojedynczych półokręgów, zlokalizowanych w przykrawędziowych partiach krzemieni (ryc. 3: 2);

h – spękania poprzeczne to głębokie, wchodzące mocno w strukturę bryłek spękania, które są widoczne na okazach w formie wyraźnych rys, wzdłuż których pęka skała (ryc. 3: 3);

i – spękania warstwowe mają podobny wygląd do spękań poprzecznych. Występują w przypowierzchniowych partiach brył, równoległe do powierzchni skały, ulegając procesowi eksfoliacji (ryc. 3: 4).

PROCEDURY ANALITYCZNE EKSPERYMENTU

W celu przeprowadzenia analizy danych, uzyskanych podczas eksperymentu, wyznaczono kilka parametrów, które opisują poszczególne próbki. Współczynnik fragmentacji opisujący stopień rozpadu próbki na mniejsze elementy obliczono wg wzoru:

$$xI = \frac{OC}{OWy}$$

gdzie:

OWr – liczba obiektów umieszczonych w piecu,

OWy – liczba obiektów wyjętych z pieca.

Współczynnik przyjmujący wartości od 0 (włącznie) do 1 opisuje, jaką część wszystkich wyjętych z pieca obiektów stanowią obiekty powstałe w wyniku fragmentacji. Pozostałe współczynniki obliczono dzieląc liczbę obiektów, na których zaobserwowano daną cechę przez liczbę wszystkich elementów wchodzących w skład próby po wyjęciu z pieca:

$$xI = \frac{OC}{OWy}$$

gdzie:

OC – liczba obiektów, na których zaobserwowano analizowaną cechę,

OWy – liczba obiektów wyjętych z pieca.

Współczynniki te stanowią: współczynnik całościowej zmiany barwy (zbc_{caI}), częściowej zmiany barwy (zbc_{czI}), spękań miseczkowatych (smI), negatywów miseczkowatych (nmI), odprysków miseczkowatych (omI), spękań poprzecznych (spI), spękań warstwowych (swI), siateczki spękań poligonalnych ($sspgI$), siateczki spękań koncentrycznych ($sskI$). Wszystkie te współczynniki mogą przyjmować wartości od 0 (włącznie) do 1 (włącznie) (tab. 2).

Kolejny etap analizy obejmował przesłedzenie związków, jakie zachodzą między poszczególnymi cechami makroskopowymi, wysokością temperatury oraz czasem przepalania, przy czym zaznaczyć należy, że współczynniki te nic nie mówią o natężeniu danej cechy (tab. 2). Wskazują jedynie na istnienie współzależności lub jej braku między dwiema zmiennymi. Na tym etapie każdy rodzaj surowca analizowano oddzielnie. Dla wszystkich badanych współczynników sprawdzono rodzaj rozkładu (ryc. 4–8). Zastosowano test Kołmogorowa-Smirnowa oraz wizualną ocenę histogramów. Ponieważ żaden z wyników nie wykazywał cech rozkładu normalnego (na poziomie istotności $p=0,05$), w celu określenia współzależności pomiędzy analizowanymi zmiennymi wybrano test korelacji Spearmana (tab. 3). Dla oceny siły związku przyjęto, następującą skalę (Staniszek 1998):

Tab. 2. Wartości współczynników opisujących cechy zestawów. Objasnienia w tekście

Table 2. Coefficient values describing features of analysed sets

Zestaw	Rodzaj krzemiemia	G_czas [min]	G_temp [°C]	fgl	zbcac	zbczl	smI	nml	omI	spl	swI	sspgI	sskl
22	KRug	10	250	0	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0
26	KCz	10	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	KJur	10	250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	KRug	10	300	0	0	0	0,68	0	0	0	0	0,21	0
23	KRug	10	300	0,22	0	0	0,11	0,44	0,11	0	0	0	0
25	KCz	10	300	0,64	0	0	0,18	0,55	0,36	0	0	0	0
29	KJur	10	300	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	KCz	10	300	0,15	0	0	0,22	0,15	0,37	0	0,04	0	0
3a	KSw	10	300	0,12	1	0	0	0	0	0	0	0	0
50	KJur	15	300	0	0,7	0,3	1	0	0	0	0	0	0
51	KJur	30	300	0,6	0,95	0,05	0,25	0,3	0,5	0	0,05	0	0
24	KRug	10	350	0,5	0	0	0,21	0,5	0,21	0,14	0	0	0
27	KCz	10	350	0,62	0	0	0,23	0,54	0,31	0	0	0	0
30	KJur	10	350	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
52	KJur	15	400	0,37	0,89	0	0,63	0,47	0,26	0,05	0	0	0
4c	KCz	40	500	0,75	0	0	0,08	0,83	0,5	0	0	0	0
4r	KRug	40	500	0,6	1	0	0,5	0,6	0,6	0	0	0,9	0
4s	KSw	40	500	0,83	0	1	0	0,61	0,89	0	0	0	0
5	KRug	10	500	0,53	0	0	0,75	0,41	0,41	0	0,03	0	0
53	KJur	15	500	0,79	0,26	0	0,26	0,15	0,02	0	0	0,17	0
6	KCz	10	500	0,77	0,98	0	0,17	0,62	0,6	0	0	0	0
7	KSw	10	500	0,8	0	1	0	0,56	0,8	0	0	0	0
16	KSw	10	650	0,53	0	0,47	0,13	0,2	0,07	0,27	0,13	0,2	0
20	KRug	10	650	0,63	1	0	0,03	0,57	0,17	0,11	0,09	0,86	0
21	KJur	10	650	0,56	0,88	0	0	0,19	0,25	0,06	0,06	0,75	0
11-13	KRug	15	700	0,69	1	0	0,26	0,59	0,32	0,21	0,17	0,6	0,01
14	KCz	15	700	0,8	1	0	0,04	0,81	0,69	0,22	0,13	0,2	0,09
17	KSw	10	700	0,79	0,03	0,97	0,42	0,52	0,42	0,12	0,24	0,18	0
31	KJur	10	700	0,75	1	0	0,12	0	0,31	0,19	0	0,44	0
32b	KRug	10	700	0,88	1	0	0,05	0,74	0,17	0,14	0,12	0,69	0,23
33a	KCz	10	700	0,71	1	0	0,03	0,91	0,12	0,18	0,24	0,59	0,29
32a	KRug	10	850	0,86	1	0	0,03	0,85	0,29	0,24	0,02	0,23	0,27
33	KCz	10	850	0,91	0,99	0	0	0,81	0,16	0,26	0,42	0,71	0,22

Tab. 3. Współczynniki korelacji Spearmana między zaobserwowaną częstością wyróżnionych cech dla a czasem oraz temperaturą**Table 3.** Spearman's rank correlation coefficient between observed features frequencies, time and temperature

Surowiec		fgI	zbcal	zbczI	smI	nmI	omI	spI	swI	sspgI	sskl
Krzemień z Rugii	Czas	0,24	0,50	-	0,18	0,36	0,63	0,04	0,12	0,56	0,06
	Temp.	0,97	0,84	-	-0,57	0,87	0,57	0,80	0,78	0,61	0,81
Krzemień czekoladowy	Czas	0,39	0,10	-	-0,09	0,48	0,59	0,12	-0,05	0,01	0,01
	Temp.	0,89	0,84	-	-0,40	0,83	0,19	0,84	0,72	0,84	0,81
Krzemień jurajski	Czas	0,35	0,42	-0,04	0,82	0,61	0,43	-0,29	0,15	-0,29	-
	Temp.	0,69	0,53	-0,47	0,08	0,26	0,51	0,79	0,16	0,84	-
Krzemień świciechowski	Czas	0,71	-0,40	0,54	-0,40	0,71	0,71	-0,40	-0,40	-0,40	-
	Temp.	0,15	-0,23	0,16	0,92	0,15	0,15	0,80	0,92	0,80	-

$R = 0$ – brak korelacji.

$0 < |R| \leq 0,1$ – korelacja nikła.

$0,1 < |R| \leq 0,3$ – korelacja słaba.

$0,3 < |R| \leq 0,5$ – korelacja przeciętna.

$0,5 < |R| \leq 0,7$ – korelacja wysoka.

$0,7 < |R| \leq 0,9$ – korelacja bardzo wysoka.

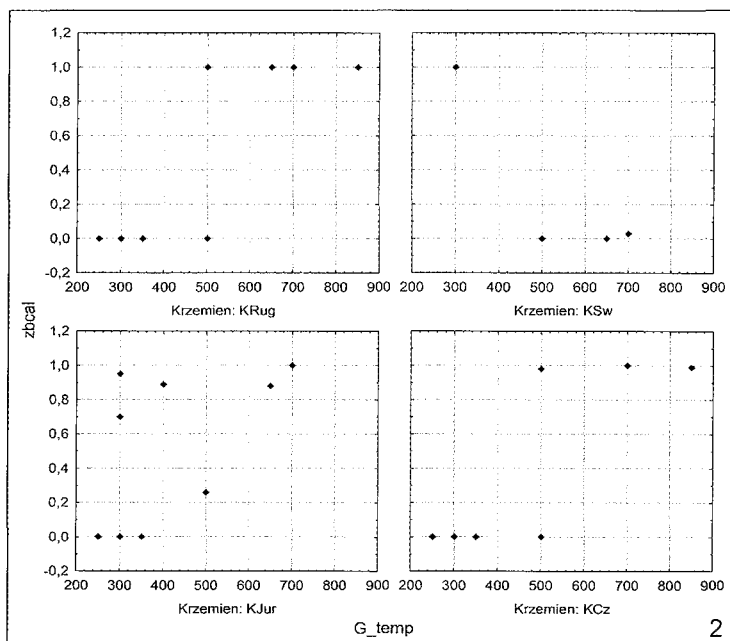
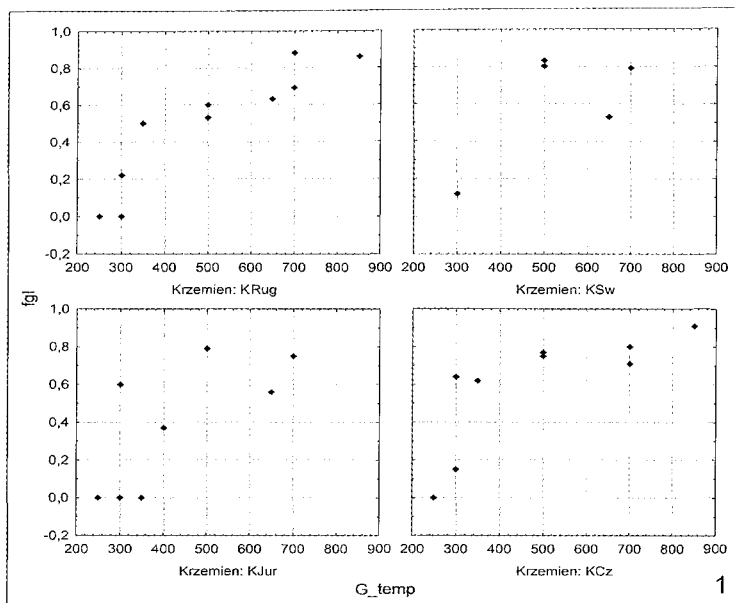
$0,9 < |R| \leq 1,0$ – korelacja prawie pełna.

$|R| = 1,0$ – korelacja pełna.

Dla krzemienia z Rugii nie stwierdzono istotnej statystycznie korelacji między pojawianiem się poszczególnych cech makroskopowych a czasem przepalania, natomiast bardzo wysoką korelację zaobserwowano między temperaturą a wskaźnikami całościowej zmiany barwy, pojawianiem się negatywów miseczkowatych, spękań poprzecznych i warstwowych oraz siateczką spękań koncentrycznych. Proces fragmentacji był w pełni skorelowany z temperaturą. Wszystkie istotne wskaźniki korelacji były pozytywne (dodatnie), co oznacza, iż natężenie cech wzrastało wraz z temperaturą. Częściowa zmiana barwy w tym przypadku nie miała miejsca.

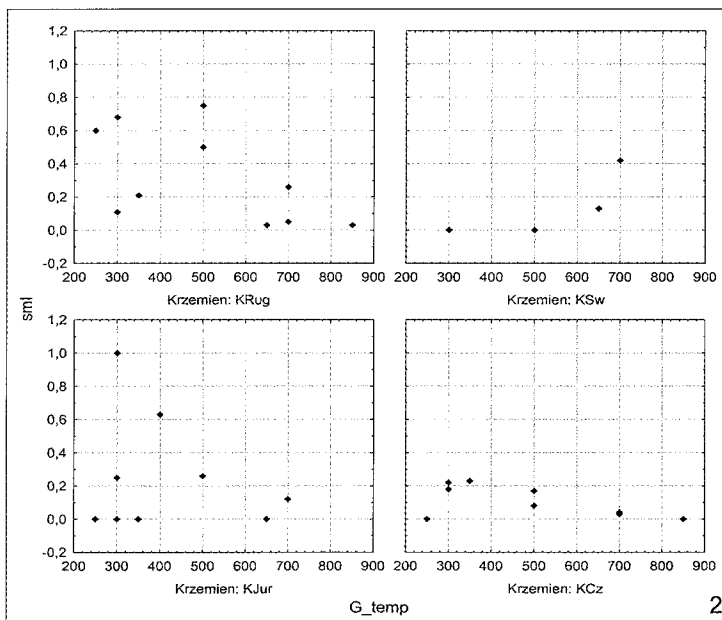
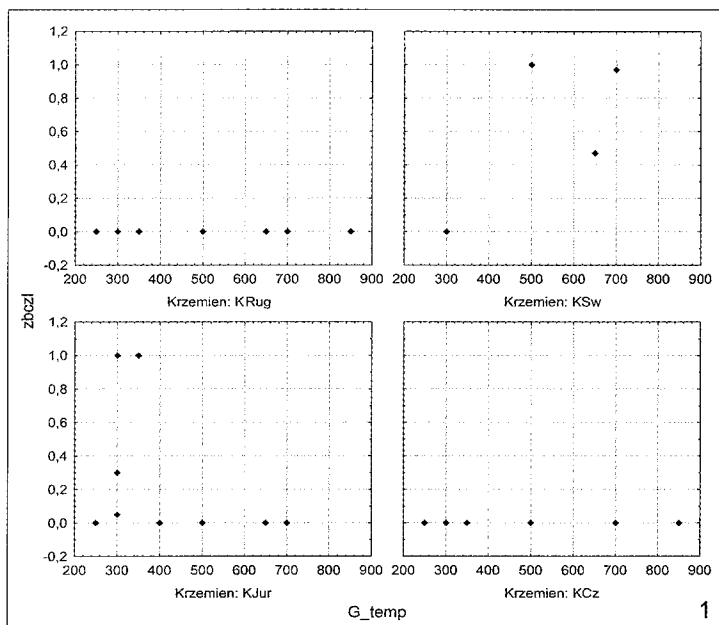
Zbliżone właściwości do opisanego wyżej surowca wykazuje krzemień czekoladowy. Podobnie jak poprzednio, nie zaobserwowano współzależności między żadną z cech makroskopowych a czasem przepalania. Bardzo wysoką, dodatnią korelację zaobserwowano między wysokością temperatury a wskaźnikami fragmentacji krzemienia czekoladowego, całościowej zmiany barwy, pojawienia się negatywów miseczkowatych, spękań poprzecznych i warstwowych czy siateczki spękań koncentrycznych, a także siateczki spękań poligonalnych.

Dla pozostałych dwóch rodzajów krzemienia, czyli jurajskiego podkrakowskiego oraz świciechowskiego, korelacje nie są aż tak wyraźne. W przypadku surowca podkrakowskiego zaobserwowano duży związek między czasem przepalania a współczynnikiem występowania spękań miseczkowatych. Ponadto wysoka korelacja wystąpiła



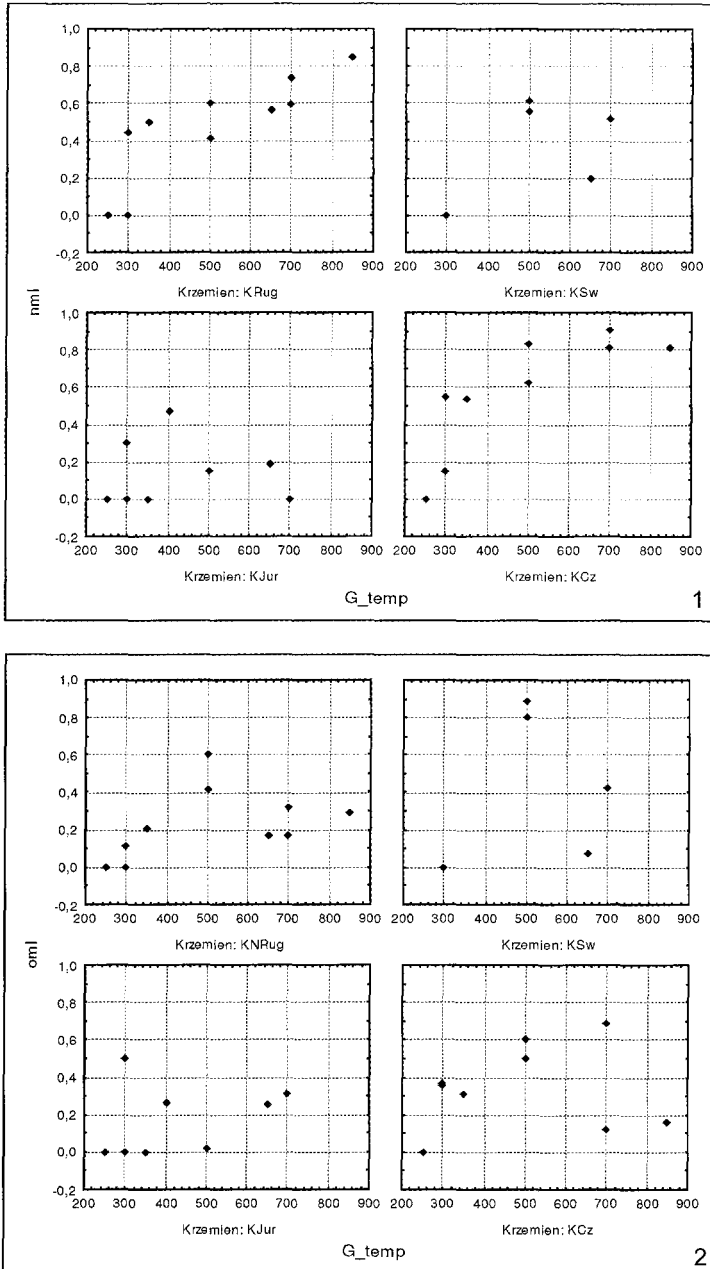
Ryc. 4. Wartości wyznaczonych współczynników dla badanych surowców: 1 – fragmentacji; 2 – całościowej zmiany barwy

Fig. 4. Estimated coefficients for analysed raw materials: 1 – fragmentation; 2 – complete change of colour;



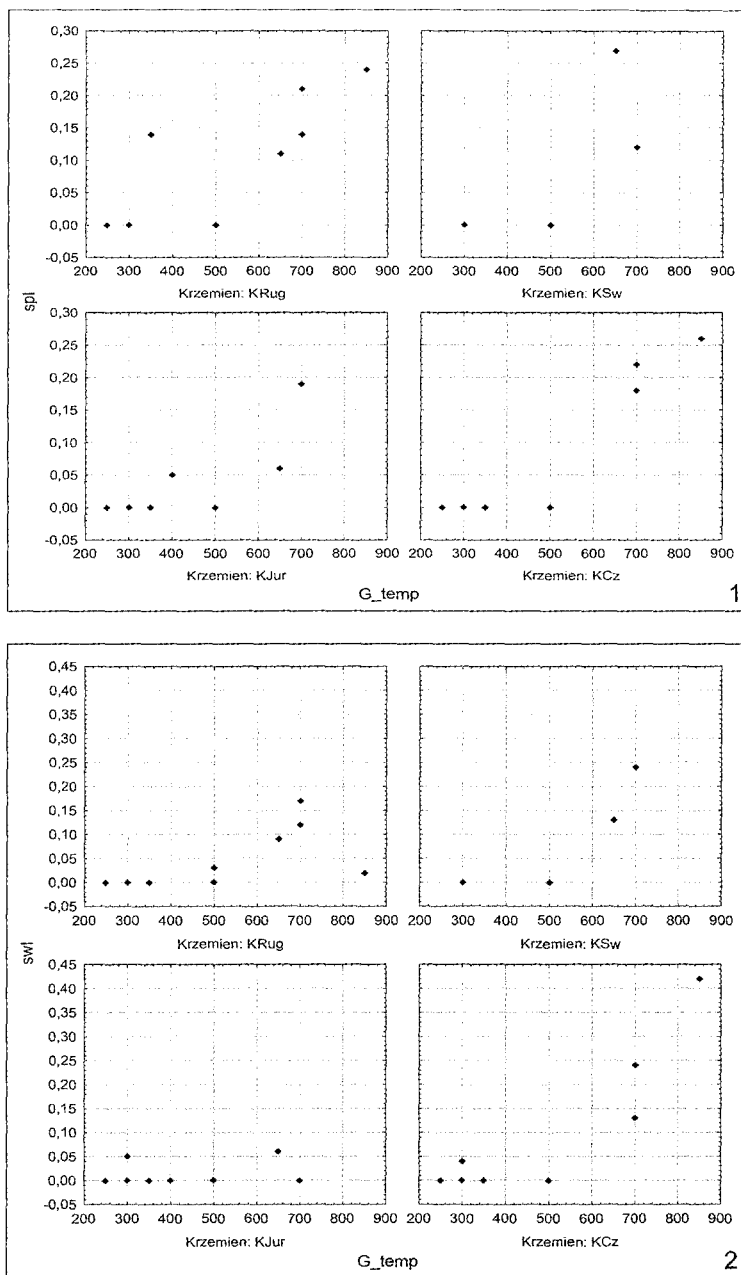
Ryc. 5. Wartości wyznaczonych współczynników dla badanych surowców: 1 – częściowej zmiany barwy; 2 – spękań miseczkowatych

Fig. 5. Estimated coefficients for analysed raw materials: 1 – partial change of colour; 2 – pot-lid fractures



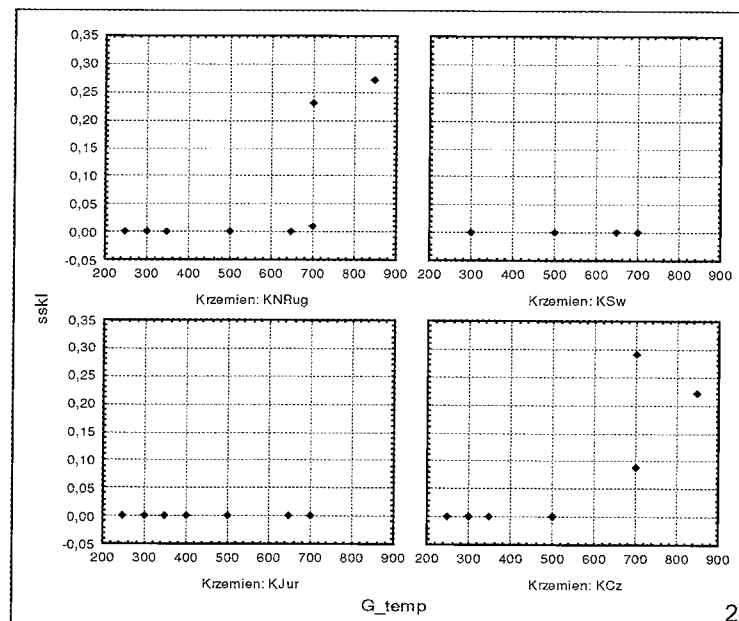
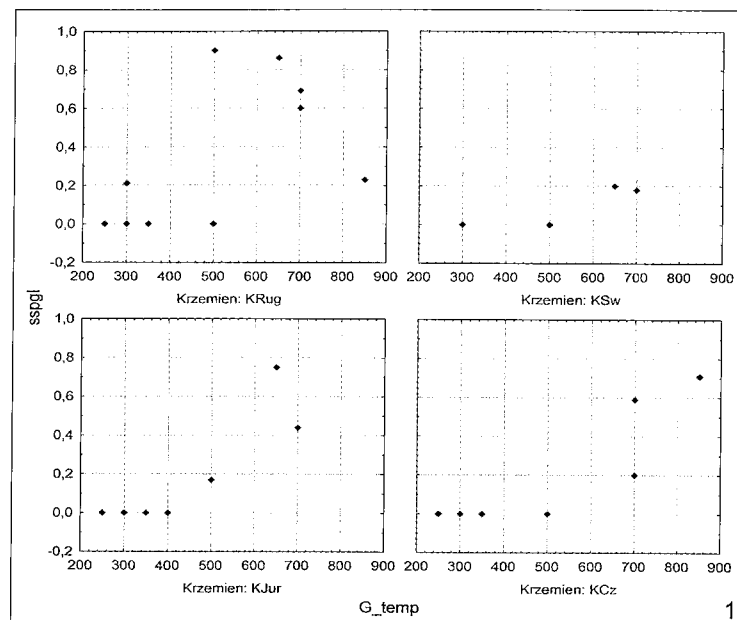
Ryc. 6. Wartości wyznaczonych współczynników dla badanych surowców: 1 – negatywów miseczkowatych; 2 – odprysków miseczkowatych

Fig. 6. Estimated coefficients for analysed raw materials: 1 – negatives of pot-lid chips; 2 – pot-lid chips



Ryc. 7. Wartości wyznaczonych współczynników dla badanych surowców: 1 – spękań poprzecznych; 2 – spękań warstwowych

Fig. 7. Estimated coefficients for analysed raw materials: 1 – lateral fractures; 2 – laminated fractures



Ryc. 8. Wartości wyznaczonych współczynników dla badanych surowców: 1 – siateczki spękań poligonalnych; 2 – siateczki spękań koncentrycznych
 Fig. 8. Estimated coefficients for analysed raw materials: 1 – net of polygonal fractures; 2 – net of concentric fractures

Objaśnienia do rycin 4–8: KRug – krzemień z Rugii, KSw – krzemień świciechowski, KJur – krzemień jurajski podkrakowski, KCz – krzemień czekoladowy. Opis współczynników w tekście. Na osi X umieszczono główną temperaturę wygrzewania, na osi Y – wartość współczynników

Description for fig. 4–8 KRug – cretaceous flint, KSw – Świciechów flint, KJur – Jurassic flint, KCz – chocolate flint. The description for coefficients – in text. X-axis refers to temperature of heating; Y-axis refers to coefficients value

między temperaturą a spękaniami poprzecznymi oraz siateczką spękań poligonalnych. Nieco słabszą korelację o wartości $r=0,69$ zaobserwowano między temperaturą a wskaźnikiem fragmentacji. Dla surowca świciechowskiego istotne statystycznie korelacje, na bardzo wysokim poziomie ($r=0,92$), zachodzą jedynie między temperaturą a wskaźnikami spękań miseczkowatych oraz warstwowych.

WYNIKI

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu udało się ustalić kilka zależności między cechami przepalenia a badanymi zmiennymi. Przede wszystkim zaobserwowaliśmy, że czas oddziaływania wysokiej temperatury na surowiec nie jest istotny. Poszczególne cechy przepalenia, dające się zaobserwować na wyrobach krzemiennych, zależne są przede wszystkim od wysokości temperatury i rodzaju surowca krzemienego.

W przypadku krzemienia narzutowego stwierdzono, że pewne cechy pojawiają się różnie, w zależności od wysokości temperatury. W temperaturze 300°C pojawiają się spękania, negatywy oraz odpryski miseczkowate. Temperaturze 500°C towarzyszy całkowita zmiana barwy surowca. Krzemień przyjmuje charakterystyczny białawy lub szarawy kolor. Powyżej 650°C pojawiają się głębokie spękania poprzeczne i warstwowe, prowadzące ostatecznie do silnej fragmentacji bryłek surowca.

Nieco odmiennie na wysoką temperaturę reaguje krzemień czekoladowy. Pierwszą wartością graniczną, po której zaobserwowano pojawiające się spękania na powierzchni oraz obecność negatywów i odprysków miseczkowatych, jest temperatura 300°C. W temperaturze tej współczynnik procesu fragmentacji osiąga wartość 0,6, co oznacza, że ponad połowa wyrobów uległa częściowemu rozpadowi. W wyższych temperaturach współczynnik ten rośnie. Już w temperaturze 350°C siateczka spękań poligonalnych i koncentrycznych powiększa się, prowadząc niekiedy do rozpadu próbki.

W temperaturze ok. 500°C następuje całkowita zmiana barwy na intensywnie czarną, a w temperaturze 700°C zaobserwowano spękania warstwowe oraz poprzeczne. Niestety, próbki tego surowca nie były przepalane w zakresie temperatur między 500°C a 700°C, jest więc możliwe, iż cechy te pojawiają się w temperaturach niższych od 700°C, w przedziale 500–700°C.

Równie silnie na wysoką temperaturę reaguje krzemień jurajski. Już w temperaturze 300°C zaobserwowano początki procesu fragmentacji (fgl 0,4–0,6). W niektórych

Objaśnienia do rycin 4–8: KRug – krzemień z Rugii, KSw – krzemień świeciechowski, KJur – krzemień jurajski podkrakowski, KCz – krzemień czekoladowy. Opis współczynników w tekście. Na osi X umieszczono główną temperaturę wygrzewania, na osi Y – wartość współczynników

Description for fig. 4–8 KRug – cretaceous flint, KSw – Świeciechów flint, KJur – Jurassic flint, KCz – chocolate flint. The description for coefficients – in text. X-axis refers to temperature of heating; Y-axis refers to coefficients value

między temperaturą a spękaniami poprzecznymi oraz siateczką spękań poligonalnych. Nieco słabszą korelację o wartości $r=0,69$ zaobserwowano między temperaturą a wskaźnikiem fragmentacji. Dla surowca świeciechowskiego istotne statystycznie korelacje, na bardzo wysokim poziomie ($r=0,92$), zachodzą jedynie między temperaturą a wskaźnikami spękań miseczkowatych oraz warstwowych.

WYNIKI

Na podstawie przeprowadzonego eksperymentu udało się ustalić kilka zależności między cechami przepalenia a badanymi zmiennymi. Przede wszystkim zaobserwowaliśmy, że czas oddziaływania wysokiej temperatury na surowiec nie jest istotny. Poszczególne cechy przepalenia, dające się zaobserwować na wyrobach krzemiennych, zależne są przede wszystkim od wysokości temperatury i rodzaju surowca krzemienego.

W przypadku krzemienia narzutowego stwierdzono, że pewne cechy pojawiają się różnie, w zależności od wysokości temperatury. W temperaturze 300°C pojawiają się spękania, negatywy oraz odpryski miseczkowate. Temperaturze 500°C towarzyszy całkowita zmiana barwy surowca. Krzemień przyjmuje charakterystyczny białawy lub szarawy kolor. Powyżej 650°C pojawiają się głębokie spękania poprzeczne i warstwowe, prowadzące ostatecznie do silnej fragmentacji bryłek surowca.

Nieco odmiennie na wysoką temperaturę reaguje krzemień czekoladowy. Pierwszą wartością graniczną, po której zaobserwowano pojawiające się spękania na powierzchni oraz obecność negatywów i odprysków miseczkowatych, jest temperatura 300°C. W temperaturze tej współczynnik procesu fragmentacji osiąga wartość 0,6, co oznacza, że ponad połowa wyrobów uległa częściowemu rozpadowi. W wyższych temperaturach współczynnik ten rośnie. Już w temperaturze 350°C siateczka spękań poligonalnych i koncentrycznych powiększa się, prowadząc niekiedy do rozpadu próbki.

W temperaturze ok. 500°C następuje całkowita zmiana barwy na intensywnie czarną, a w temperaturze 700°C zaobserwowano spękania warstwowe oraz poprzeczne. Niestety, próbki tego surowca nie były przepalane w zakresie temperatur między 500°C a 700°C, jest więc możliwe, iż cechy te pojawiają się w temperaturach niższych od 700°C, w przedziale 500–700°C.

Równie silnie na wysoką temperaturę reaguje krzemień jurajski. Już w temperaturze 300°C zaobserwowano początki procesu fragmentacji (fgI 0,4–0,6). W niektórych

próbkach nastąpiła ponadto częściowa lub też całościowa zmiana barwy. Surowiec ten, podobnie jak krzemień rugijski, przepala się na biały kolor. Niektórym próbkom towarzyszyły odpryski i negatywy miseczkowate. Cechę diagnostyczną pojawiającą się od 500°C są siateczki spękań poligonalnych.

Zbadano stosunkowo niewiele próbek krzemienia świciechowskiego (5 zestawów liczących łącznie 29 sztuk). W temperaturze 300°C zaobserwowano jedynie całościową zmianę barwy w postaci przejścia szarego zabarwienia w odcień różowawy. Zanika ono w wyższych temperaturach (około 500°C), wraz z początkiem procesu fragmentacji, który jest następstwem powstałych uprzednio odprysków oraz negatywów miseczkowatych. Spękania poprzeczne, warstwowe oraz siateczka spękań poligonalnych pojawiały się dopiero w temperaturze 650°C.

PODSUMOWANIE

Chociaż przeprowadzone analizy wymagają jeszcze badań uzupełniających, jak ujednoczenie liczebności poszczególnych zestawów surowców, uwzględnienie surowców pochodzących z różnych złóż czy weryfikacja wpływu rodzajów drewna wykorzystywanego w procesie palenia ognisk, to możliwe jest wysunięcie kilku wniosków.

Dzięki podjętemu eksperymentowi wyróżniono pewne cechy makroskopowe powstałe na skutek przepalania, których część, jak dotychczas, nie była szerzej omawiana (Masson 1981). Zaobserwowano, że na badanych surowcach spękania miseczkowate pojawiają się jako pierwsze, świadcząc o styczności krzemieni z ogniem. W drugiej kolejności pojawiają się odpryski i negatywy miseczkowate lub spękania poprzeczne i warstwowe. Kolejny etap obejmuje wytworzenie się w strukturze surowca siateczki spękań poligonalnych lub koncentrycznych, przy równoczesnym występowaniu wcześniej wymienionych cech. Efektem finalnym działania wysokiej temperatury jest całkowity rozpad surowca.

Wyniki tego eksperymentu w dużej części pokrywają się z obserwacjami A. Masson (1981) dokonanymi w oparciu o eksperymentalne badania wpływu wysokich temperatur na lokalnie występujące krzemienie francuskie. Różnica, jaka wystąpiła, dotyczy efektu wyświecenia (pojawiającego się najczęściej w temperaturze od 200 do 300°C), który zaobserwował A. Masson na niektórych rodzajach krzemieni. W kontekście testowanych przez nas skał efekt ten nie miał miejsca. Pozostałe cechy przepalania w ogólnym ujęciu są podobne, ale różnią się szczegółami, związanymi ze specyfiką poszczególnych rodzajów surowców. Większość krzemieni francuskich w wyniku oddziaływania wysokiej temperatury zmienia barwę na czerwoną lub różową, co jest uwarunkowane innym składem chemicznym tych skał.

Ponadto analizy te umożliwiły uchwycenie cech diagnostycznych badanych surowców krzemiennych w zależności od temperatury oraz rodzaju krzemienia. Spośród analizowanych prób tylko krzemień czekoladowy pod wpływem wysokiej temperatury

(500°C) przyjmuje intensywnie czarne zabarwienie, natomiast krzemień z Rugii, a niekiedy też jurajski, przepalają się na barwę białą. Krzemień jurajski osiąga zazwyczaj barwę szarobeżowordzawą, a świeciechowski przepala się na szaroróżowy kolor.

Podsumowując, stwierdzić można, że wyróżnione cechy wskazują na odmienną wśród badanych surowców odporność na działanie wysokich temperatur. W efekcie daje to możliwość rozróżnienia poszczególnych rodzajów krzemienia ze stanowisk archeologicznych pomimo, że uległy one widocznym makroskopowo zmianom termicznym.

Na podstawie rozkładu cech przepalenia zabytków krzemienych i analizy przestrzennej, można podjąć próbę identyfikacji miejsc, w których znajdowały się ogniska oraz próbować stwierdzić, w jakim stopniu były to procesy zachodzące podczas użytkowania stanowiska, a w jakim przepalenie było wynikiem zjawisk postdepozycyjnych. Identyfikacja takich miejsc może mieć spore znaczenie dla badań nad strukturą przestrzenną obozowisk.

LITERATURA

- Bleed P., Meier M. 1980. An Objective Test of the Effects of Heat Treatment of Flakeable Stone, *American Antiquity*, 45, s. 502–507.
- Enniful E.K. 2006. *Predicting Temperature Profiles in Soil During Simulated Forest Fires*, praca magisterska, Saskatoon: University Saskatchewan.
- Greg M. L., Grybush R. J. 1976. Thermally Altered Siliceous Stone From Prehistoric Contexts: Intentional Versus Unintentional Alteration, *American Antiquity*, 41, s. 189–192.
- Masson A. 1981. Le comportement thermique du silex: application, Third International Symposium on Flint, 24–27 Mei 1979, Maastricht. *Starina*, 6, s. 96–98.
- Mercieca A., Hiscock P. 2008. Experimental insights into alternative strategies of lithic heat treatment, *Journal of Archaeological Science*, 35, s. 2634–2639.
- Patterson L.W. 1984. Comments on Studies of Thermal Alteration of Central Pennsylvania Jasper, *American Antiquity*, 49, s. 168–173.
- Pavlish, L. A., Shepard P. J. 1983. Thermoluminescent determination of Paleoindian heat treatment in Ontario, Canada, *American Antiquity*, 48, s. 793–799.
- Rowney M., White J.P. 1997. Detecting Heat Treatment on Silcrete: Experiments with Methods, *Journal of Archaeological Science*, 24, s. 649–657.
- Schindler, D. L., Hatch J. W., Hay C. A., Bradt R. C. 1982. Aboriginal Thermal Alteration of a Central Pennsylvania Jasper: Analytical and Behavioral Implications, *American Antiquity*, 47, s. 526–544.
- Schindler, D. L., Hatch J. W., Hay C. A., Bradt R. C. 1984. Thermal Alteration of Bald Eagle Jasper: Authors' Reply to Patterson, *American Antiquity*, 49, s. 173–177.
- Sergant J., Crombé P., Pardaen Y. 2006. The “invisible” hearths: a contribution to the discernment of Mesolithic non-structured surface hearths, *Journal of Archaeological Science*, 33, s. 999–1007.
- Stanisz, A., 1998. *Przystępny kurs statystyki – w oparciu o program STATISTICA PL na przykładach z medycyny*, t. 1, Kraków: StatSoft.
- Waldorf D.C. 1993. Flint, Flint Sources and Heat Treating, (w:) D.C. Waldorf (red.), *The Art of Flint Knapping Fourth Edition*, Missouri: Mound Builder Books, s. 9–12.
- Whittaker J.C. 1995. *Flintknapping Making and Understanding Stone Tools*, Austin: University of Texas Press.

EXPERIMENTAL RESEARCH ON THE INFLUENCE OF A HIGH TEMPERATURE ON PRESERVATION OF FLINT RAW MATERIAL

Summary

Flint artifacts, which are the most common finds on the archaeological sites from Early and Middle Stone Age, often bear traces resulted from high temperature influence. Research on the influence of this phenomenon on flint raw material concerned mostly on heat-treating in order to improve the quality of flint for knapping. Our experimental research focused on the possibilities of distinguishing heated raw material and understanding the relationships between an appearance of the features of heated flint, a height of a temperature and the time of heating.

Experiment was divided into two stages, in the first one, flint material was heated directly in the bonfire, during the second, controlled stage – in the electric kiln. The preliminary observations recorded in the first stage of the experiment led us to some statements concerning preservation of particular kinds of flint material in the high temperature. Second stage was undertaken in the Laboratory of Archaeometry and Conservation of Archaeological Artifacts, Institute of Archaeology, University of Wrocław. Thirty three flint samples (10 – cretaceous flint, 9 – Jurassic flint, 9 – chocolate flint, 5 – Świeciechów flint) were heated in the electric kiln Nabertherm 3000, with the range of temperature between 0°C and 1300°C. The documentation included a description and photography of samples before and after heating. Samples were heated in the temperature: 250°C, 300°C, 350°C, 400°C, 500°C, 650°C, 700°C and 850°C, during 10, 15, 30 and 40 minutes.

On the base of the observation of heated samples we distinguished nine macroscopic features of heating: fragmentation, partial change of colour, complete change of colour, pot-lid fractures, pot-lid chips and negatives of pot-lid chips, net of polygonal fractures, net of concentric fractures, lateral fractures and laminated fractures. The analysis included defining the relationships between the features of heated flint, type of flint, a height of a temperature and time of heating. The appearance of those features depends mostly on a height of a temperature and the type of flint, whereas time of heating plays a minor role.

The experimental research led us to determine the features of heated flint that were not discussed earlier in a frame of a detailed study (pot-lid fractures, pot-lid chips and negatives of pot-lid chips). Moreover we are able to describe the sequence of appearance of those features. The analysis enabled us to find the diagnostic features of flint material depending on the height of a temperature and to distinguish the type of heated flint from archaeological sites.

We believe that the results of our research can be used in the spatial analysis of archaeological sites, in identification of hidden structure (bonfire, hearths) and interpretation of formation processes.

Adresy autorów:

Dariusz Bobak
Instytut Archeologii,
Uniwersytet Rzeszowski,
ul. Hoffmanowej 8, 35-016 Rzeszów

Bernadeta Kufel
Instytut Archeologii,
Uniwersytet Wrocławski,
ul. Szewska 48, 50-139 Wrocław

Ewa Lisowska, Anna Mikołajczyk
Studium Doktoranckie Nauk o Kulturze,
Uniwersytet Wrocławski,
ul. Szewska 48, 50-139 Wrocław