

Rekonstrukcja Świętokrzyskiego Procesu Hutniczego Kultury Przeworskiej.

Mgr. Lech Budaj
Marianna Fogtman-Budaj - ilustracje.
Poznań 2022

Abstrakt

Celem artykułu jest pokazanie sposobu dochodzenia do właściwych wyników w procesie odtwarzania dawnych technologii na przykładzie procesu dymarskiego. Zastosowana metoda jest adaptacją do procesu dymarskiego metody wypracowanej w latach 30 tych ubiegłego wieku przez braci Heck. Biolodzy ci pracowali nad odtworzeniem dawno wymarłego gatunku - tura. Wykorzystując tą metodę, przeprowadziłem wiele eksperymentów bazujących zarówno na dawnych jak i obecnie stosowanych technologiach metalurgii żelaza w różnych obszarach kulturowych. W rezultacie udało się uzyskać wyniki w pełni odpowiadające znaleziskom archeologicznym z kręgu kultury przeworskiej co do tej pory nie udało się innym badaczom. W niniejszym opracowaniu skupiam się wyłącznie na aspektach technologicznych procesu dymarskiego związanego z jednym rodzajem pieca, który moim zdaniem jest kluczowym osiągnięciem w tym zakresie. Jest to piec kotlinkowy z bocznym kanałem kotlinkowym.

Słowa kluczowe: Kultura przeworska, proces dymarski, piec kotlinkowy, łupka żelazna, dymarka

Wstęp

Próby odtworzenia procesu dymarskiego podejmowało wielu badaczy począwszy od prac prof. M. Radwana w roku 1958 a następnie prof. K. Bielenina, w latach 60 tych. Prace eksperymentalne prowadzone na terenie Nowej Słupi trwały do 1968r. W rezultacie tych badań 1974 prof. K. Bielenin opublikował opracowanie zawierające między innymi schemat pieca, który po nieznacznych zmianach jest obowiązującym w literaturze do dnia dzisiejszego. Wznowienie badań eksperymentalnych nastąpiło w latach 80tych z inicjatywy W. Różańskiego w ramach obozów studenckich. W efekcie tych prac sformułowano hipotezę o dwóch niezależnych etapach procesu. (Różański 1984, 65) Hipoteza ta zapewne wywodzi się z analizy procesu wielkopieczowego niestety została ona odrzucona, gdyż nie udało się jej udowodnić eksperymentalnie. W latach 2000 do 2005 zespół kierowany przez I. Suligę Prowadził badania podczas „Dymarek Świętokrzyskich” i „Żelaznych Korzeni”. W eksperymentach starano się dokonać jednorazowego spustu żużla oraz wykorzystać topniki (popiół paproci) do upłynniania żużla. (Suliga 2006 167-172). Duży wpływ na dalsze badania eksperymentalne miały laboratoryjne obserwacje, których konkluzją było twierdzenie, iż w ostatniej fazie powierzchnia żużla była całkowicie odseparowana od łupki żelaznej (Bielenin; 2005, 189-198) Koncepcja ta zakłada jednorazowy spływ żużla do kotlinki w końcowym etapie procesu jednak jej eksperymentalne udowodnienie jak do tej pory nie nastąpiło. W 2008 r Podczas „Żelaznych Korzeni” jak i podczas festynu archeologicznego w Biskupinie swoje doświadczenia przedstawił J. Jansen z Norwegii. Mogliśmy zobaczyć sposób nawęglania poprzez przetopienie żelaza w małym piecu. J. Jansen prowadził też proces dymarski z kotlinką wypełnioną pyłem węglowym. Z J. Jansenem miałem okazję spotykać się jeszcze kilkakrotnie podczas pokazów dymarskich co było znakomitą okazją do wymiany doświadczeń. W Polsce prace nad koncepcją J. Jansena prowadzi Adrian Wrona. W 2010 r swoją interpretację procesu dymarskiego ogłosił pod nazwą „Projekt Hutnia” M. Marciniewski (adres portalu). Koncepcja ta opierała się na znalezionych w pozostałościach starożytnych pieców odciskach słoików drewna od wewnętrznej strony wymurówki pieca. Na tej podstawie M. Marciniewski wysnuł wniosek o użyciu wydrążonych pni pokrytych glinianą polepą do prowadzenia procesu dymarskiego. Swoją koncepcję eksperymentalnie przedstawił w Biskupinie w 2012 r i w Nowej Słupi podczas Iron Smelting Days w 2014r. Koncepcja ta nie przyniosła spodziewanych efektów, jednak analiza problemu, której dokonał M. Marciniewski pozwoliła na wysnucie bardzo interesujących wniosków. Najważniejszy to konieczność użycia drewna jako paliwa zamiast węgla drzewnego. Taki wniosek według M. Marciniewskiego wynika ze zbyt małej ilości znalezionych mielerzy w stosunku do ilości pieców. Poza tym w mielerzach znaleziono resztki różnych gatunków drewna liściastego i iglastego a w kotlinkach pieców zawsze znajduje się gatunki iglaste głównie sosnę. Jednak nie mogę zgodzić się z jego interpretacją odcisków słoików drewna. Słoje drewna są widoczne na przekroju pnia a nie na jego obwodzie. Myślę, że raczej odciski słoików drewna pozostawił wewnętrzny drewniany szalunek używany do budowy szybu pieca. Wspomnieć należy też eksperymenty Macieja Tomaszczyka, które również miałem okazję obserwować w latach 2017 i 2018. Swoje doświadczenia w tej dziedzinie M. Tomaszczyk rozpoczął w 2008 roku podczas festiwalu Słowian i Wikingów na Wolinie. Widziałem przeprowadzone pomyślnie procesy uzyskania żelaza kowalnego, przy którym nie trzeba było przeprowadzać dodatkowych procesów obtapiania. M. Tomaszczyk stosował w tym czasie piec z bocznym spustem żużla bez kotlinki.

A. Wrona w swoich niewątpliwie ciekawych eksperymentach od 2013 roku skupił się jak się wydaje głównie, na wypełnieniu kotlinki żużlem. W tym celu starał się utrzymać tworzącą się łupkę żelaza powyżej otworów dmuchowych wraz z żużlem opartym od dołu na tzw. poduszce węglowej. Kiedy pod tworzącą się łupką żelaza powstała spora ilość żużla otwierał kanał kotlinkowy doprowadzając w ten sposób do spalania znajdującego się w kotlinie węgla drzewnego a przez to do upłynnienia żużla i jego spłynięcia w dół kotlinki. Taki zabieg powtarzał wielokrotnie aż do zalania żużlem światła kanału kotlinkowego. Proces ten wydaje się bardzo skomplikowany i dlatego zasadnym jest pytanie jaką korzyść takie skomplikowanie mogło przynieść starożytnym hutnikom? A. Wrona wskazuje, że taką korzyścią jest możliwość użycia słabej jakości rud powszechnie występujących w okolicach. (A. Wrona 2020, 11-14). Taki wniosek wynika też z faktu, że stosowanie rud o dużej zawartości żelaza dało w tych eksperymentach małą ilość żużla, ale za to sporo żelaza natomiast słabe rudy odwrotnie, dały mało żelaza, ale dużo żużla wypełniającego kotlinkę. Wydaje się, że za taką konkluzją stoi też przekonanie, że starożytni hutnicy nie potrafili przeprowadzić procesu wzbogacania rudy ani nie znali topników pozwalających upłynnić żużel z wysokogatunkowych rud. Trudno mi jednak zaakceptować takie rozumowanie, gdy jednocześnie panuje powszechne przekonanie o wysokich umiejętnościach starożytnych hutników. Proces dymarski prowadzony na sposób A. Wrony, wymaga jak się wydaje stosunkowo niskiej temperatury w samym piecu, aby łupka żelaza nie spłynęła do kotlinki wraz z żużlem. Dopiero rozpalenie kotlinki zwiększa temperaturę potrzebną do spłynięcia żużla. Przeczy temu jednak stan zachowanych fragmentów pieców starożytnych, które wskazują na temperaturę powyżej 1400 stopni w okolicach kanałów dmuchowych. Poza tym sam kłoc żużla uzyskiwany w eksperymentach A. Wrony (2020) nie wskazuje na to, że był on odseparowany od łupki żelaznej tak jak jest to widoczne w starożytnych żużlach.

Przedstawiłem w skróty sposób najciekawsze moim zdaniem osiągnięcia rekonstrukcji procesu dymarskiego, gdyż podsumowaniem osiągnięć w tym zakresie zajęli się w swoich publikacjach znacznie obszerniej inni badacze (Suliga; 2006, Orzechowski 2013; Przychodni, Suliga 2016).

Wydawać by się mogło, że ponad 60 lat badań prowadzonych przez znakomite ośrodki badawcze powinno zaowocować wszechstronnym opracowaniem problemu. Tak jednak się nie stało. Do dnia dzisiejszego mimo znacznego postępu nie udało się odtworzyć tego procesu ze wszystkimi jego elementami, co więcej nie opracowano metody badawczej, która pozwoliła by na uporządkowane prowadzenie procesu badawczego. Większość czasu poświęcono na uzyskanie żelaza, stosując metodę prób i błędów ogłaszając sukces za każdym razem, gdy w żużlu znalazło się nieco zredukowanego żelaza. Nie sięgnięto natomiast do analizy dostępnych materiałów, chociażby już ponad 100 współczesnych patentów bazujących na bezpośredniej redukcji żelaza w procesach niskotemperaturowych. Czy też do znanych metod z innych obszarów kulturowych - co stało się podstawą dociekań autora niniejszego opracowania. Niepowodzenia wynikały również z powodu trwającego do dziś stosowania niewłaściwego modelu pieca. Model ten zapewne jako hipoteza robocza został zaproponowany przez K. Bielenina (1974). Hipoteza ta nie została odrzucona w toku badań mimo jej oczywistych wad. Podczas procesu dymarskiego mieszanina paliwa i rudy w miarę wypalania się węgla osuwa się w dół zmniejszając jednocześnie swoją objętość, zatem i komora pieca powinna się zwężać, aby nastąpić mogła równomierna redukcja rudy i upłynnianie żużla. Kiedy jednak komora się rozszerza ku dołowi, to w miarę kurczenia się wsadu powstaje wolna przestrzeń pozwalająca na osypywanie się niezredukowanej rudy na dno komory pieca a to powoduje gęstopłynność żużla i w rezultacie niepowodzenie procesu. (rys wg K. Bielenina 2006)

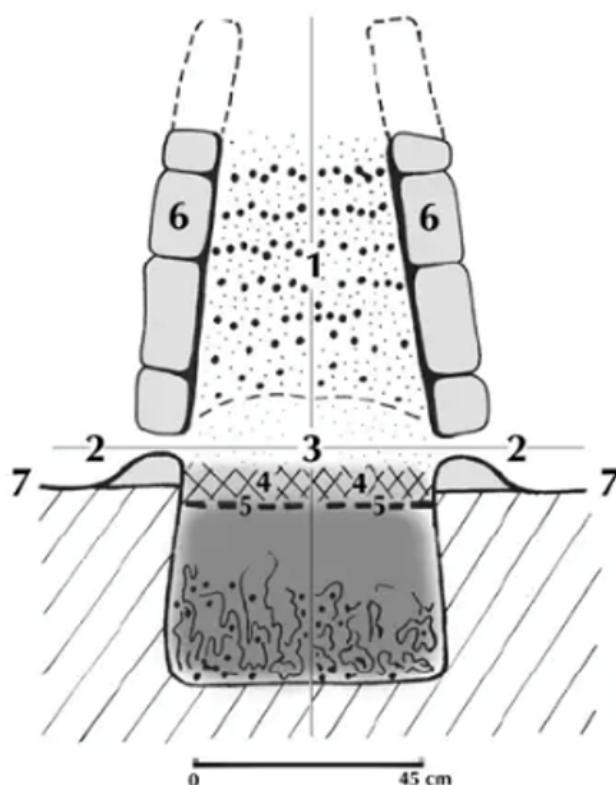


Fig. 1 Theoretical model of a slag-pit furnace from the Świętokrzyskie Mountains, after K.Bielenin 2006, 26; Fig. 10. 1 – Input: charcoal and iron ore, 2 – Ventilation aperture, 3 – Reduction zone, 4 – Bloom formation zone, 5. Top part of slag (free solidification Surface), 6 – Shaft, 7. Ground level, 8 – Bedrock (BRAK na rycinie)

Metoda badań

Odtwarzając wymarłe zwierzę jakim był Tur Bracia Heck, niemieccy biolodzy szukali ras bydła posiadających cechy swojego dzikiego przodka. W tym celu sprowadzali do berlińskiego ogrodu zoologicznego a następnie specjalnego ośrodka hodowlanego zwierzęta z różnych stron świata, aby móc wykorzystać ich rozproszone pierwotne cechy. Wykorzystano do krzyżowania byki hiszpańskie posiadające masywną budowę ciała, krowy szkockie i węgierskie z odpowiednimi rogami oraz bydło argentyńskie zakładając, że wszystkie te rasy pochodzą od wspólnego przodka. Tak i ja założyłem, że zarówno surowce jak i procesy fizykochemiczne wykorzystywane przy produkcji żelaza są wspólne niezależnie od tego, w jakiej kulturze się je stosuje. W związku z tym analiza metod produkcji żelaza w innych kręgach kulturowych może pomóc znaleźć brakujące elementy procesu dymarskiego stosowane na terenach Polski w okresie kultury przeworskiej. Ponadto założyłem, że obecnie stosowany proces wielkopiecowy wywodzi się od procesu dymarskiego, dlatego ważne jest poznanie jego ewolucji. Również wiele informacji dało zapoznanie się ze współcześnie stosowaną technologią niskotemperaturową szwedzkiej firmy Höganäs produkującej stale proszkowe.

Proces badawczy

Swoje badania nad procesem dymarskim rozpocząłem w 2008r w Biskupinie, gdzie zostałem zaproszony jako uczestnik festiwalu historycznego przybliżającego kulturę japońską. W ramach tego festiwalu moim zadaniem było pokazanie procesu wytwarzania stali tradycyjną metodą „Tatara Buki”. Do tego projektu zaprosiłem jeszcze trzech kolegów ze środowiska skupionego wokół forum internetowego „Rei Dojo”, zajmującego się propagowaniem kultury japońskiej. Byli to Wojciech Kuśnierz, Sebastian Olszak i Krzysztof Arendt. Ponieważ budowa tego pieca wymaga sporo czasu, więc podzieliliśmy ją na 2 etapy. Pierwszy- budowa części podziemnej przeprowadzona na miesiąc przed festiwalem i drugi- części nadziemnej w trakcie festiwalu. Na przeprowadzenie procesu „wytupu” przeznaczaliśmy tradycyjnie 3 doby.

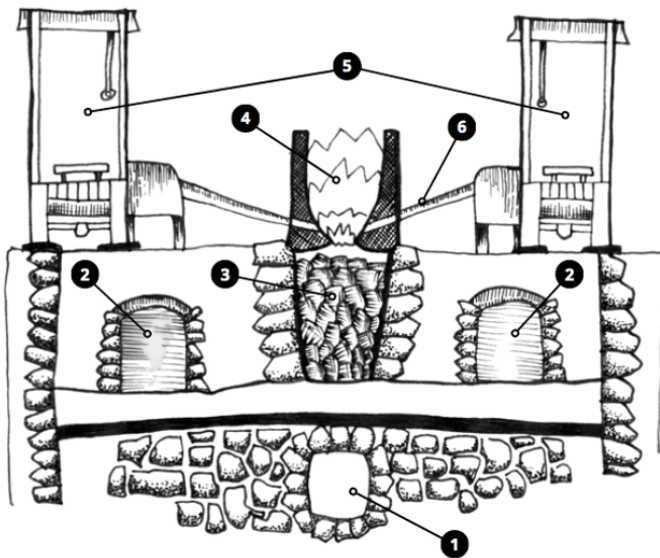


Fig. 2. Przekrój poprzeczny pieca Tatar. 1 - Kanał odwadniający, 2 - Kanały powietrzne wokół pieca 3 - Komora podpiecowa wypełniona wypalonym w niej węglem drzewnym, 4 - Szyb pieca, 5 - Miechy nożne, 6 - Dysze

Pełnowymiarowy piec miał zwykle ok 2 m szerokości i ok 4m długości. Nasz piec musieliśmy pomniejszyć odpowiednio 1m do 1,5m i wysokość 1,2 m. Podziemna część pieca może służyć do wielokrotnego użytku natomiast część nadziemna jest burzona i odbudowywana przed każdym wytopem. Wzdłuż pieca rozmieszczone są dysze wciągające powietrze do dolnej części komory a na jednym z krótszych boków u podstawy komory pieca znajdują się dwa otwory spustowe żużla. Otwory te zamknięte są drewnianymi czopami. Sam proces nie jest jedynie naprzemiennym sypaniem do pieca węgla i rudy ma on też swoją dynamikę. Na początku do pieca podawana jest ruda darniowa o niskiej zawartości żelaza w celu utworzenia „jeziorka żużla” a następnie sypie się rudę o właściwej zawartości żelaza. Nadmuchiwanie utrzymuje się na średnim poziomie, aby w piecu panowała atmosfera redukcyjna. Dopiero pod koniec procesu sypany jest sam węgiel drzewny przy maksymalnym nadmuchu w celu maksymalnego podniesienia temperatury. Tworzący się żużel przyczynia się do zgrzania drobin żelaza w większą bryłę zwaną „kera” i chroni ją przed odwęglaniem. Po ok 24 godzinach prowadzenia procesu usuwane są drewniane czopy zamykające kanały spustowe co daje możliwość pozbycia się nadmiaru nagromadzonego żużla. Od tej pory otwory spustowe są zasłonięte jedynie węglem drzewnym co chroni przed utratą ciepła a jednocześnie pozwala na swobodny spływ żużla w miarę prowadzenia procesu. W ostatnim etapie podnosi się temperaturę pozwalając na maksymalne oczyszczenie kery z żużla. W naszym piecu osiągnęliśmy temperaturę 1480 stopni Celsjusza pod koniec prowadzenia procesu, wcześniej temperatura oscylowała pomiędzy 1420 – 1450 stopni. Mimo przejściowych trudności z nadmuchiowaniem uzyskaliśmy ponad 120 kg stali o nawęgleniu od 0,9 do 1,1 % węgla.

W wyniku tego doświadczenia oprócz stali uzyskałem wiele ciekawych informacji, których wówczas w większości nie potrafiłem zinterpretować, a które w przyszłości pozwoliły mi uniknąć wielu błędów. Podczas pierwszej części budowy pieca w tym samym miejscu odbywały się warsztaty dymarskie „Iron Smelting Days”. Kilka ekip z różnych krajów próbowało uzyskać żelazo w piecach dymarskich, poza tym w ramach tej imprezy odbywały się wykłady i prezentacje, z których dowiedziałem się między innymi, że jeszcze nikomu w Polsce nie udało się uzyskać żelaza w piecu dymarskim. W czasie samego festiwalu miałem okazję poznać J. Jansena, który jak się okazało też wzorował się w swoich dociekaniach między innymi na tradycyjnej metalurgii japońskiej.

Od następnego roku zacząłem regularne prace nad procesem dymarskim głównie w Biskupinie, który stał się najważniejszym terenem moich doświadczeń. Prowadziłem też pokazy podczas innych imprez a od 2010 r do 2013 r skupiałem się głównie nad wzbogacaniem rudy darniowej potrzebnej do tzw. procesu pruszkowskiego. Jest to bardzo ciekawy temat, ale na tyle obszerny, że wymaga osobnego opracowania. Podczas doświadczeń jako podstawę procesu dymarskiego opracowałem własny schemat pieca. Na poniższym rysunku przedstawiony został jego przekrój w fazie spływu żużla do kotlinki, po przepaleniu drewnianego czopu (rys. 2).

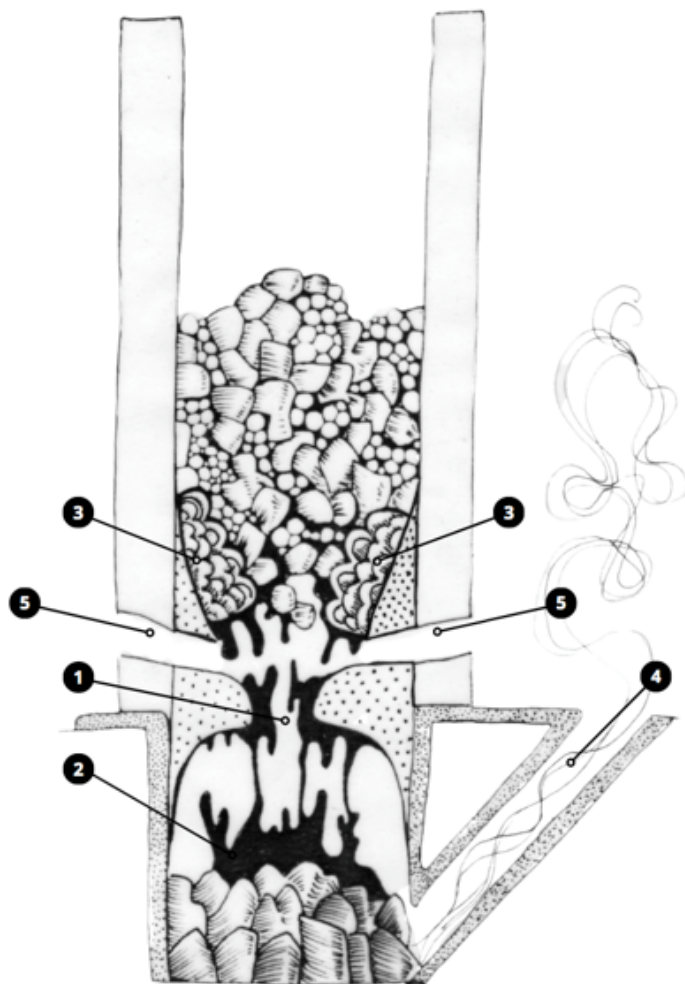


Fig. 3 Przekrój poprzeczny pieca. 1 - Spływ żużla po wypaleniu czopu drewnianego, 2 - Tworzący się kloc żużla, 3 - Łupka żelaza, 4 - Kanał kotlinkowy, 5 - otwory dmuchowe (jeden z nich w „ruchomej cegle” montowanej po wygrzaniu pieca)

Kotlinka obmurowana jest mieszaniną gliny i szezki. Po jej obmurowaniu rozpalam ogień na dnie doprowadzając do odparowania wody z okolic pieca oraz powstania warstwy żaru. Następnie do kotlinki wkładam połupane polana o średnicy ok 5 cm i nakładam na to masę żaroodporną sklepienia kotlinki tak jak na rysunku. Masa ta składa się z ok 90 procent piasku kwarcowego i ok 10 procent gliny lub iłu oraz niewielkiej ilości wody. Tą samą masą wykładam również dolną wewnętrzną część szybu pieca.

Przekrój tego pieca jest zbliżony do przekroju węższego boku pieca Tataru. W podobnym piecu tyle, że z bocznym spustem żużla i zamurowaną kotlinką bez kanału powietrznego wykonałem wiele udanych wytopów począwszy od 2009r. W 2013 roku do Polski przyjechała ekipa japońskich mistrzów wykonujących tradycyjną białą broń. Miałem wówczas okazję wzięcia udziału w warsztatach, pokazach i wykładach. Jednym z japońskich instruktorów był Takanori Mikami, mistrz stopnia Mukansa, który oprócz wytwarzania białej broni jest również uczestnikiem corocznych wytopów stali dla japońskich mieczników. Za Jego pośrednictwem i dzięki uprzejmości muzeum Bizen Osafune, mogłem zapoznać się z dokumentacją filmową różnych tradycyjnych technik metalurgicznych. Najbardziej przydatne dla moich eksperymentów okazało się zapoznanie z technologią wytopu żelaza stosowaną w Birmie (rys. 3).

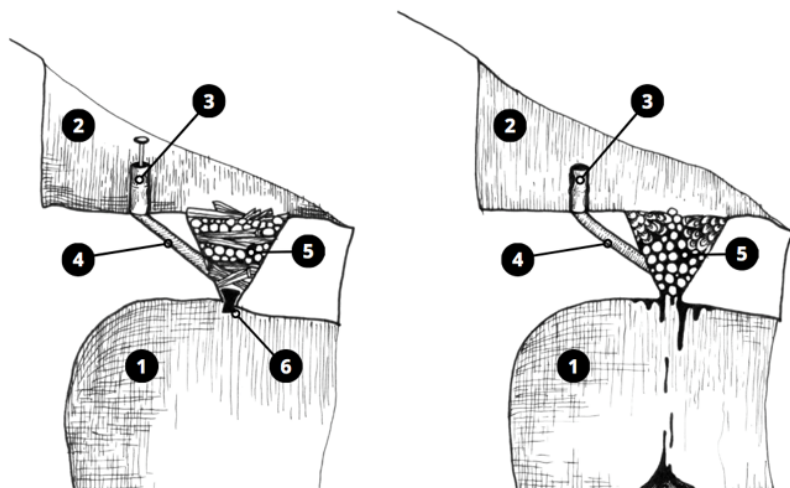


Fig. 4. Przekrój poprzeczny pieca z Birmy. 1 - jama podpiecowa, 2 - usunięty nadkład ziemi, 3 - zespół miechów tłokowych, 4 - kanały powietrzne, 5 - szyb pieca, 6 - czop drewniany

W zboczu góry wykopywana jest jama podpiecowa, nad jamą wykopywane jest stożkowe zgłębienie, które zostaje obmurowane warstwą gliny. Do zgłębienia doprowadza się kanały powietrzne łączące z miechami tłokowymi wykonanymi z bambusa. Dno zgłębienia stanowiącego szyb pieca przebija się do jamy pod piecowej tak aby powstał okrągły otwór o średnicy ok 10 cm, który zamyka się drewnianym czopem. Dalszy proces przebiega podobnie jak w piecach dymarskich. Po wygrzaniu pieca wysypuje się na przemian węgiel drzewny i rudę. Spust żużla do jamy pod piecowej następuje po samoistnym przepaleniu się drewnianego czopu. W ciągu dalszego procesu żużel spływa swobodnie do jamy pod piecowej. Technologię tą w następnym roku przetestowałem jak zwykle w Biskupinie. Zrobiłem otwór spustowy w dnie pieca dymarskiego i zamknąłem go czopem sosnowym. Niestety czop nie przepalił się i musiałem go wepchnąć do kotlinki za pomocą żelaznego pręta. Pozwoliło to na wypełnienie kotlinki żużlem. W następnych doświadczeniach robiłem specjalny otwór w ścianie pieca pod odpowiednim kątem, żeby wypychanie czopu było łatwiejsze jednak wiedziałem, że nie jest to dobre rozwiązanie. Sądziłem, że czop się nie przepala z powodu zbyt niskiej temperatury procesu i w związku z tym skupiłem się na tym problemie. W Japonii tradycyjnie używa się węgla drzewnego z sosny jako najbardziej energetycznego. W Polsce taki węgiel okazał się nie osiągalny, dlatego sam zająłem się jego wypaleniem. Wykorzystując to paliwo udało mi się uzyskać wyższą temperaturę, ale efekt końcowy nie był zadowalający. Czop nie został przepalony a do tego uzyskałem mniej żelaza niż zwykle, ponad to żużel był gęsty i byłem zmuszony go usuwać bocznym otworem spustowym. Okazało się, że zbyt szybko prowadzony proces nie pozwolił na właściwą redukcję rudy. Ponieważ w literaturze nie znalazłem modelu tworzenia się żużla w piecu dymarskim, dlatego postanowiłem to zbadać. Udało mi się to dopiero w 2017 r podczas majówki w Biskupinie. Było to dla mnie bardzo ważne, bo właśnie w tym roku otrzymałem propozycję poprowadzenia procesu dymarskiego podczas „Dymarek Świętokrzyskich w Nowej Słupi”. Zbudowałem piec nieco wyższy niż zwykle a w jego ścianie bocznej wykonałem szereg otworów do pobierania próbek (fot. 1).



Fot. 1. – Piec zbudowany w ramach prowadzonych doświadczeń, Biskupin 2017.

Nie zależało mi na uzyskaniu łupki żelaza więc mogłem mieć niższą temperaturę. Ważne też było spowolnienie procesu w celu rozpoznania poszczególnych faz tworzenia się żużla. Jako paliwa postanowiłem użyć drewna sosnowego a proces odbywał się bez użycia miechów. Zamiast nich pozostawiłem otwór wielkości cegły i szereg mniejszych otworów powietrznych u podstawy szybu.

Po wygrzaniu pieca zacząłem sypać na przemian rudę i drewno – były to połupane polana długości ok 20 cm. Proces przebiegał początkowo dość szybko a następnie znacznie zwolnił. Początkowo nie wygrzana ruda osypywała się na dno pieca, więc musiałem ją wsypywać ponownie, ale potem to ustało. Po pewnym czasie zacząłem pobierać próbki i opisywać z jakiej wysokości pieca pochodzą. Miał temu towarzyszyć również pomiar temperatur, jednak to się nie udało. Mierniki temperatury, którymi dysponowałem nie nadawały się do takich pomiarów. Produktami opadającym na dno pieca okazały się spieczone grudki zredukowanej rudy oraz węgiel drzewny. Drewno użyte do procesu nie ulegało całkowitemu spalaniu a jedynie zwęgleniu. Temperatura u dołu pieca nieznacznie przekraczała 900 stopni Celsjusza chociaż najwyższa temperatura panowała nieco powyżej otworów powietrznych. Efekt półspalania drewna poznałem już wcześniej, kiedy pracowałem nad wzbogacaniem rudy darniowej, ale teraz kontekst doświadczeń nasunął mi pomysł na zastosowanie tego zjawiska. Następnego dnia zbudowałem mały piec o wewnętrznej średnicy 15 cm i wysokości ok 40 cm a następnie wznowiłem proces w większym piecu. Gorący materiał przesypywałem do małego pieca, w którym powietrze było podawane za pomocą miecha. Wydobywające się iskry z otworu dmuchowego świadczyły o wysokiej temperaturze procesu. Drobiną rudy po przejściu przez piec doświadczalny tworzyły różnej wielkości konglomeraty spieczonych i otoczonych powłoką żużla grudek zredukowanego żelaza, które łatwo dawały się rozkruszyć. W małym piecu natomiast proces doprowadził do upłynnienia żużla i uzyskania niewielkiej łupki żelaza.

Opis procesu przeprowadzonego na podstawie powyższych doświadczeń w 2018 r podczas „Dymarek Świętokrzyskich” w Nowej Słupi.

Budowa pieca

Analizując dotychczasowe doświadczenia doszedłem do wniosku, że przepalenie drewnianego czopu wymaga dostępu powietrza od strony kotlinki podobnie jak to ma miejsce w piecu z Birmy, dlatego postanowiłem zastosować powietrzny kanał kotlinkowy znany z materiału archeologicznego. Wcześniej nie byłem przekonany co do potrzeby jego stosowania. (rys. 4)

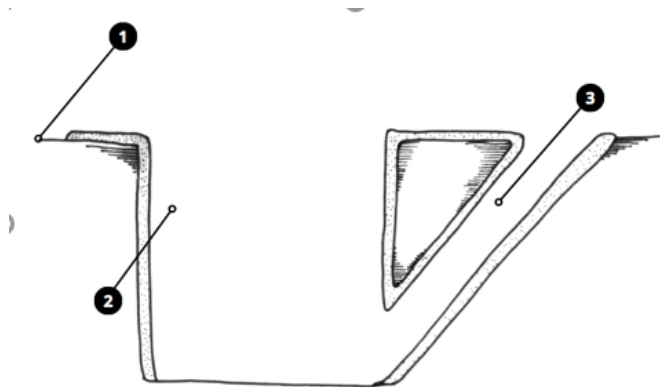


Fig. 5. Przekrój poprzeczny kotlinki. 1 - poziom gruntu, 2 – kotlinka, 3 - kanał powietrzny

Kotlinka tak jak poprzednio została obmurowana i dobrze wygrzana a na dnie powstała warstwa żaru, na którą nałożyłem drewno równoległe do ścian kotlinki. Następnie nałożone zostało sklepienie z masy żaroodpornej piaskowo glinianej. Masę nakładałem bezpośrednio na drewno, które było odpowiednio ułożone a środek sklepienia zamknąłem drewnianym czopem. Ważne jest, aby stosować minimalną ilość gliny lub iłu. Zbyt duża ilość tych materiałów oraz wody może spowodować pękanie sklepienia. (rys. 5)

Następnie budowany został szyb pieca. Do tego celu użyłem wewnętrznego szalunku zrobionego z drewnianych klepek. Jest on podobny do wiadra z tą różnicą, że klepki są prostopadłe do podstawy a ich łączenia są od wewnętrznej strony. Dolna część szybu pieca również wyłożona jest masą żaroodporną a jej ściany zwężają się ku dołowi (rys. 6a i 6b).

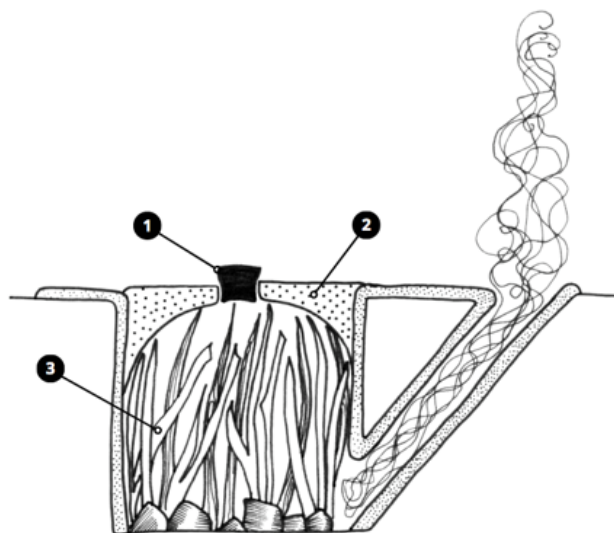


Fig. 6. Przekrój poprzeczny kotlinki podczas wypalania drewna. 1 - czop drewniany, 2 - sklepienie z masy żaroodpornej, 3 - wypalane drewno

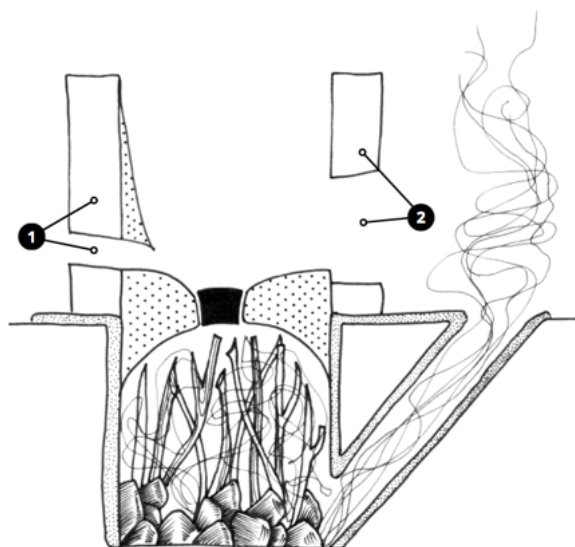


Fig. 7a. Przekrój poprzeczny pieca w pierwszej fazie budowy. 1 - ściana z wlotem powietrza, 2 - ściana, gdzie wlot powietrza jest w „ruchomej” cegle.

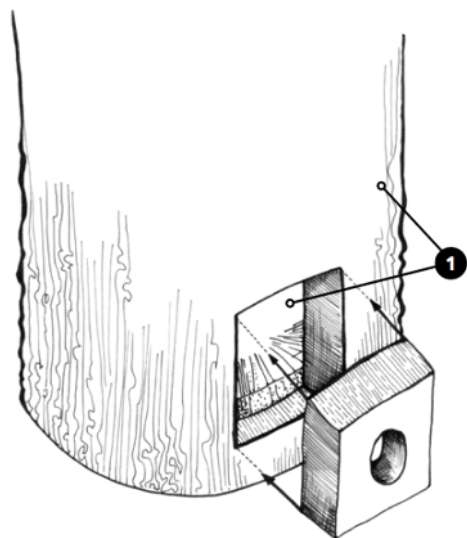


Fig. 7b. Piec z zewnątrz w pierwszej fazie budowy, widoczna „wysuwana” cegła z wlotem powietrza.

Po ułożeniu 2 warstw cegieł zaczynam wygrzewać szyb pieca. Kiedy pierwsza partia drewna się wypali obmurowuję dolną wewnętrzną część pieca masą żaroodporną a następnie dobudowuję pozostałe warstwy cegieł aż do wysokości ok 120 – 130 cm i wtedy wznawiam wygrzewanie pieca. (rys. 7).

W 2018 r Podczas „Dymarek Świętokrzyskich” w Nowej Słupi zbudowaliśmy 3 piece według opisanej wyżej konstrukcji i rozpaliliśmy je jednocześnie. Przy czym dwa piece miały wcześniej wypalone kotlinki, ale dopiero po ich wystudzeniu zostały wypełnione wiórami drzewnymi na dnie i drewnem powyżej. Pracowały na naturalnym dmuchu przy zamkniętym kanale kotlinkowym. Po ich wygrzaniu zaczęliśmy wsypywać na przemian drewno sosnowe i rudę. (rys. 8).

Trzeci piec przeznaczony był do pracy z miechami i na razie, dopóki z dwóch pieców nie zaczęliśmy wydobywać zredukowanej rudy wraz z węglem drzewnym ten piec spalał tylko drewno. Piec w przeciwieństwie do pozostałych miał otwarty kanał kotlinkowy, z którego wydobywał się dym. Pełna praca rozpoczęła się, gdy mogliśmy już przesypywać gorący wsad do jego wnętrza. (rys. 9a)

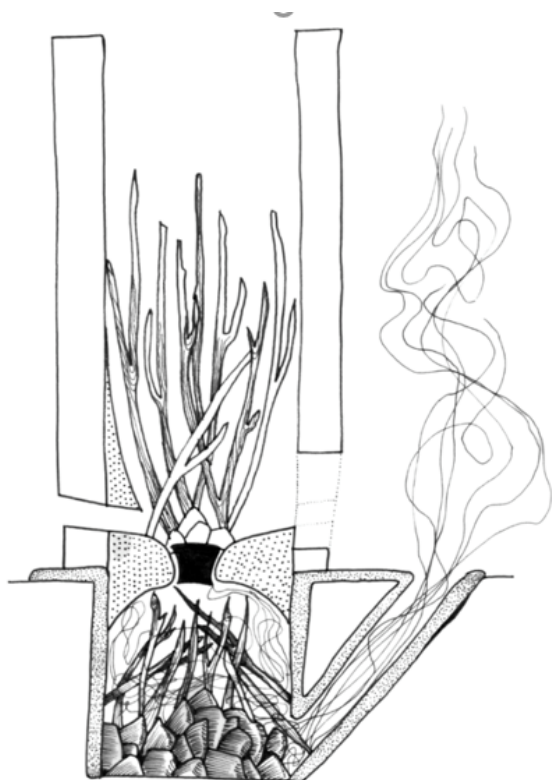


Fig. 8 Przekrój poprzeczny pieca podczas wypalania szybu pieca

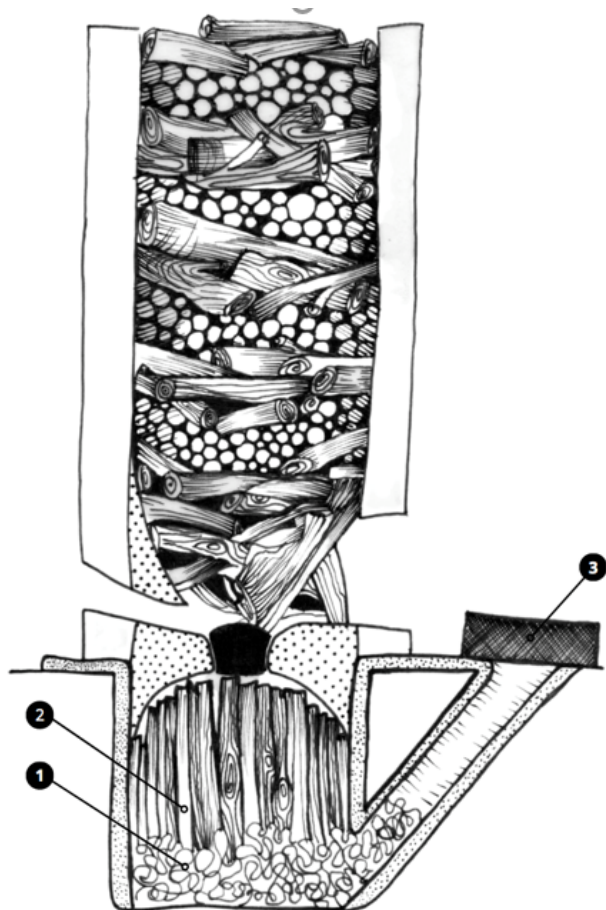


Fig. 9 Przekrój poprzeczny pieca redukcyjnego podczas pracy, 1 - wióry drzewne, 2 - Drewno, 3 - zamknięcie wylotu kanału kotłowego.

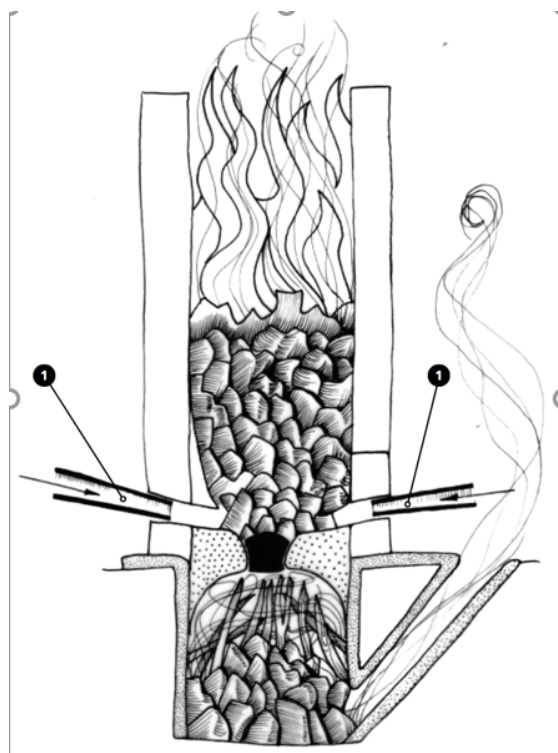


Fig. 10a. Przekrój poprzeczny pieca wytopowego podczas pracy, 1 - nadmuch powietrza

Temperatura wsadu na dnie pieców „redukcyjnych” wynosiła ok 950 stopni, ale przenoszenie i chłodzenie podajnika obniżało tą temperaturę do ok 700 stopni zanim wsad trafił do pieca wytopowego. Szybko okazało się, że nie należy wypełniać pieca do samej góry, bo wsad ulegał dalszemu chłodzeniu. Optymalną wysokością okazało się wypełnienie pieca nieco ponad połowę. Również praca 2 pieców redukcyjnych okazała się zbyt wolna, aby nadążyć za szybkim spalaniem w piecu wytopowym. Braki uzupełnialiśmy niestety zimnym węglem drzewnym. Po upływie nieco ponad 2 godzin czop drewniany zamykający kotlinkę przepalił się co można było wywnioskować po wydobywającym się płomieniu z kanału kotlinkowego w rytm pracy miechów. Wtedy zamknąłem kanał kotlinkowy (rys. 9b).

Piec pracował jeszcze kilka godzin i cały czas żużel spływał do kotlinki. Po rozbiciu dymarki wyjęliśmy łupkę żelaza a następnego dnia wykopałem kloc żużla, który pozostawiłem do dyspozycji Muzeum w Nowej Słupi. Zdjęcia poniżej (fot. 2-7).

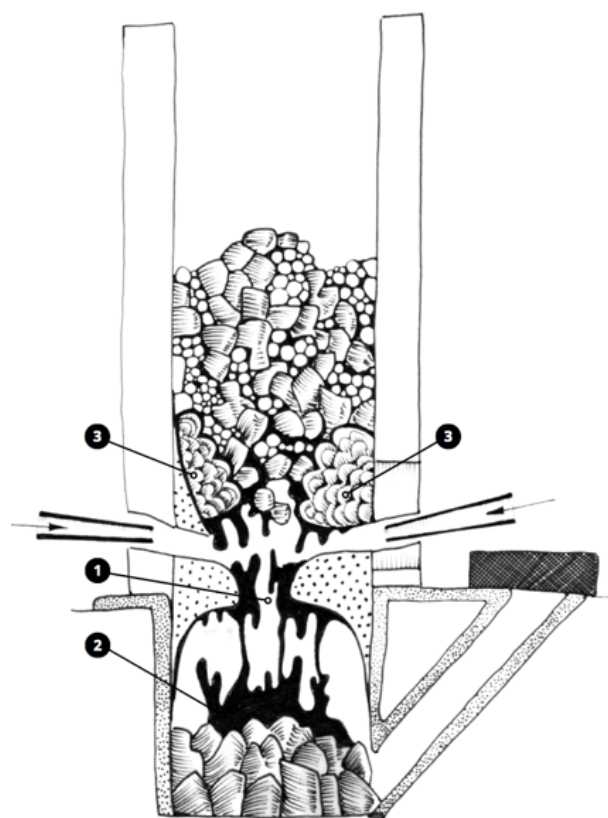


Fig. 10 b Przekrój poprzeczny pieca wytopowego po przepaleniu czopu, 1 - kanał ściekowy żużla, 2 - tworzący się kloc żużla, 3. wrastająca łupka żelaza



Fotografia nr 2.



Fotografia nr 3.



Fotografia nr 4.



Fotografia nr 5.



Fotografia nr 6.



Fotografia nr 7.

Brakuje opisu fotografii

Eksperyment wykazał niewątpliwie słuszność założeń tej technologii. Udało się wypełnić kotlinkę w sposób analogiczny do znalezisk, udało się wykorzystać drewno jako paliwo oraz przeprowadzić proces dwuetapowo. Dało to znacznie lepsze wykorzystanie paliwa niż przy korzystaniu z węgla drzewnego. Temperatura procesu bez większego problemu osiągnęła 1400 stopni (być może więcej, ale nie dysponuję miernikiem do wyższych pomiarów) co do tej pory było niemożliwe, gdyż dodawanie do pieca zimnych składników powodowało ciągłe chłodzenie pieca od góry, natomiast wstępne podgrzanie wsadu radykalnie zmieniło tę sytuację. Niestety konieczność użycia dodatkowo pewnej ilości węgla drzewnego nie pozwoliło na utrzymanie tej temperatury podczas całego procesu. Mimo to otrzymana łupka żelaza zawierała mniej żużla niż zazwyczaj co znacznie ułatwiło jej przekuwanie. Poza tym gorący żużel w kotlinie podniósł sprawność energetyczną całego układu, ale przede wszystkim sprawdziła się konstrukcja pieca zupełnie inna niż do tej pory stosowana. Cały proces uległ uproszczeniu, gdyż wyeliminowany został element pozyskiwania węgla drzewnego a tracona w tym procesie energia zasilila pierwszą fazę wytopu niejako za darmo. Nie wszystko jednak się udało, plan przewidywał użycie następnego pieca, w takiej samej konfiguracji. Wystarczyło zbudować jeszcze jeden piec w miejsce tego już użytego do wytopu i na to byliśmy przygotowani jednak na budowę 2 pieców nie mogliśmy sobie pozwolić z racji harmonogramu imprezy dymarkowej.

Na koniec chcę się podzielić swoimi refleksjami na temat tzw. struktury zwanej też żużlem spienionym. Czym jest owo zjawisko? Otusz w 2014 roku miałem okazję uczestniczyć w warsztatach dymarskich „Iron Smelting Days” W Nowej Słupi. Wtedy mogłem zobaczyć kłocę żużla wydobyte z ziemi posiadające ową strukturę. Jest to coś co znalazłem też na dnie pieca Tatara z 2008r w Biskupinie. Wówczas była to dla mnie tylko ciekawostka bez znaczenia. Ten „pumeks” powstał na dnie i bokach dolnej części komory pieca. Komora ta, gdzie jest najwyższa temperatura była wyłożona masą żaroodporną złożoną z mieszanki piasku kwarcowego i niewielkiej ilości gliny. Gлина z tej mieszanki uległa stopieniu i spłynęła wraz z żużlem a piasek skleiony szkłem powstałym na granicy jego ziaren stworzył ową ażurową strukturę. W przypadku śladów starożytnych struktura ta zapewne dodatkowo uległa mineralizacji. Podczas warsztatów w Nowej Słupi również robiliśmy wytop w Tatarze, ale z uwagi na brak czasu jej część podziemna została utworzona jedynie z warstwy węgla drzewnego, dlatego z trudem tatara rozgrzała się do temperatury 1380 stopni. Jak się okazało była to zbyt niska temperatura, aby powstała struktura „pumeksowa”.

W niniejszym opracowaniu bardziej niż sam proces uzyskania żelaza chciałem przedstawić w jaki sposób dochodziłem do rozwiązania problemu, którym było dla mnie znalezienie „istoty zagadnienia”. Czyli odpowiedzi na pytanie, dlaczego dawni hutnicy podejmowali starania, które w efekcie dały takie a nie inne rozwiązania

technologiczne. Po przeanalizowaniu tej technologii i w konfrontacji ze znalezionymi przez archeologów śladami dawnych piecowisk uważam, że tą istotą zagadnienia była zmiana procesu organizacyjnego w produkcji. Wyglądało to podobnie jak rewolucja w przemyśle samochodowym, której dokonał Henry Ford. Technologia oparta o użycie 4 pieców pozwalała na pracę w systemie ciągłym, gdyż po rozbiciu jednego pieca następny był już wygrzany i gotowy do pracy. Piecowisko wcześniejsze mogła zorganizować jedna grupa hutników, zaczynając od pozyskania rudy aż do przekucia gotowej łupki. W systemie czteropieczowym nie było już to możliwe, konieczna była specjalizacja. Oczywiście proces zmiany technologii nie nastąpił od razu. Zapewne wymagało to długiego okresu przejściowego, gdzie stosowano różne metody a i jak poradzić sobie z nową technologią to przecież i pojedyncze piece mogły być nadal przydatne. Jednak wydajność oraz jakość w systemie czteropieczowym z pewnością była większa przy mniejszych kosztach produkcji. Ta technologia po niewielkich zmianach zapewne dała początek naprawdę masowej produkcji żelaza na dużych piecowiskach.

W niniejszym opracowaniu skupiłem się na jednym szczególnym aspekcie metalurgii żelaza z tego kręgu kulturowego. Pozostaje jeszcze wiele problemów do opisania. Na przykład tzw. Żużle miseczkowe, czy sposoby przygotowania rud co również było przedmiotem moich badań.

Najpierw jednak muszę wykonać proces całkowicie zgodny z założonym projektem, czyli pracując jednocześnie 4 piece, jeden „wytopowy” oraz 3 „redukcyjne” a następnie użycie pieca „redukcyjnego” jako pieca „wytopowy”.

Bibliografia

Kapp Leon and Hiroko; Yoshihara Yoshindo 1987
The craft of the japanese sword

Bielenin K. 1974 Starożytne górnictwo i hutnictwo żelaza w Górach Świętokrzyskich, Warszawa – Kraków

Bielenin K. 2005. Kłoc żużla dymarskiego z Boleszyna: uwagi o znaczeniu badań powierzchni kłoców żużla Dymarskiego, MA 35, 189- 198

Różański W. 1984 Sprawozdanie z doświadczalnych wytopów żelaza przeprowadzonych podczas obozu naukowego w Nowej Słupi w czasie od 12 do 24 IX 1983 r. „informator Towarzystwa Przyjaciół Górnictwa, Hutnictwa i Przemysłu Staropolskiego” s. 58- 67

Przychodni A. Suliga I. 2016 Charakterystyka łupki żelaznej i kłoca żużlowego z doświadczalnego procesu dymarskiego, Wiadomości Archeologiczne 67, 2016, s.147-174

Orzechowski. S 2013 Region żelaza. Centra hutnicze kultury przeworskiej, Kielce 2013

Suliga I.; Orzechowski S. 2006 50 Lat badań nad starożytnym hutnictwem świętokrzyskim, Kielce

Wrona A. 2020 Nowe i najnowsze badania nad rekonstrukcją procesu dymarskiego w piecu kotlinkowym, A.E