

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Diplomová práce

**Výzkum spálených archeologických situací
laboratorními metodami**

Vladař Dominik

Plzeň 2020

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta filozofická

Katedra archeologie

Studijní program Archeologie

Studijní obor Archeologie

Diplomová práce

**Výzkum spálených archeologických situací
laboratorními metodami**

Dominik Vladař

Vedoucí práce:

Doc. PhDr. Ladislav Šmejda, Ph.D.

Katedra archeologie

Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni

Odborný konzultant:

Ing. Hana Grison, Ph.D.

Geofyzikální ústav AV ČR, v. v. i.

Plzeň 2020

Prohlašuji, že jsem práci zpracoval samostatně a použil jen uvedených pramenů a literatury.

Plzeň, květen 2020

Poděkování:

Děkuji doc. PhDr. Ladislavu Šmejdovi, Ph.D. za cenné připomínky a vlídné vedení mé diplomové práce, ale také za strávený čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat paní Ing. Haně Grison, Ph.D., která se mi i v nepříznivých podmínkách snažila v rámci možností být maximálně nápomocná při zpracování mé praktické části.

Obsah

1 Úvod	1
1.1. Cíle práce	1
2 Historie	3
3 Charakteristika metod	8
4 Teorie archeologie	14
5 Metoda termoluminiscence	16
5.1. Potenciál a aplikace	16
5.2. Problémové aspekty metody	18
6 Lokality	19
6.1. Plzeň- Hradiště	19
6.2. Deardail, Švédsko	25
6.3. Broborg, Švédsko	26
6.4. Passo Alto, Serpa, Portugalsko	32
6.5. Ayrshire, Skotsko	35
6.6. Dunnideer, Aberdeenshire, Skotsko	36
6.7. Craig Phadrig, Inverness, Skotsko	37
6.8. Jižní oblast Morare a Moidart, Skotsko	40
6.9. Oblast západní Iberie	45
6.9.1. Pozo de los Moros (Villasrubias, Salamanca, Španělsko)	46
6.9.2. Castro dos Ratinhos (Moura, jižní Portugalsko)	48
6.9.3. Sabugal Velho (Guarda, severní Portugalsko)	49
6.9.4. Castelos de Monte Novo (Évora, jižní Portugalsko)	49
7 Otázky spojené se spečením	51
7.1. Hradiště Vrcovice	51
7.2. Všemyslice - Kozí vrch	54
7.3. Hradec u Nuzic	56
8 Experimentální zkoumání	59
9 Geofyzikální analýzy	65
10 Závěr	67
11 Resumé	75
12 Seznam použité literatury	79
13 Přílohy	83

1 Úvod

1.1. Cíle práce

Cílem diplomové práce je zkoumat procesy působení vysokých teplot na stavební materiál nalézáný na archeologických výzkumech s pomocí přírodovědných metod. Vzorky přepálených hornin a sedimentů získaných v koordinaci s vedoucím práce budou podrobeny makro a mikroskopickému pozorování, geofyzikálním měřením a analýze chemického složení. Potřebné přístroje a zaškolení pro práci s nimi budou poskytnuty na odborných pracovištích Západočeské univerzity v Plzni, Geofyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i. v Praze a České zemědělské univerzity v Praze. V interpretační části práce bude posouzen informační potenciál použitých metod pro studium původní podoby a zánikových procesů konstrukcí zaniklých požárem.

Vitrifikovaný a kalcinovaný materiál na protohistorických opevněních v Evropě byl dokumentován od období dvacátého století, avšak první zmínka spojená s vitrifikací pevnosti pochází již z roku 1774 a po dlouhou dobu se věřilo, že se jedná o domorodý a lokální fenomén z oblasti Skotska. V průběhu doby se však situace měnila a již v roce 2004 se počet 200 vitrifikovaných pevností připisoval oblastem Britských ostrovů, Francii, Německu, Čech, Švýcarsku, Itálii, Portugalsku a Španělsku. Rozrůstající počet těchto pevností lze poměrně dobře pozorovat v oblastech Švédska, kde před více jak 30 lety byly zaznamenány pouze tři lokality, na rozdíl od roku 2006, kdy bylo identifikováno celkem sedmnáct lokalit. Rozšíření tohoto jevu v oblastech Evropy pak mělo nastat především v době železné (Kresten – Ambrosiani 1992, 1; Ralston 1986, 17; Wadsworth–Heap–Dingwell 2016, 7; Friend - Dye - Fowler 2007, 1685; Berrocal-Rangel a kol. 2018, 1- 2; Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383).

Vznikají také protichůdné názory vztahující se k motivům samotných konstrukcí, které lze rozdělit na konstrukční, destrukční, náhodné či rituální. Využití pevnosti se pak může týkat i funkce obranné (s trvalým pobytem nebo bez něj), útočištné (v obdobích nepokojů), pozorovací (dohled nad průjezdy či cestami s účelem ochrany nebo kontroly cestování a obchodu) či armádně ubytovací (jako tábor pro vojenské síly). Vysvětlení avšak mnohdy stálo na použití nevhodných nápadů, které ztěžují pochopení. První vědeckou studii spojenou s tímto fenoménem lze zařadit až do období 30. let 20. století, a to společně s pracemi Vere Gordona Childa a Wallace Thorneycrofta, kteří tento jev připisovali silnému požáru na dřevěných stěnách. Oheň pak měl dosáhnout vysokých teplot, jež by roztavily kámen a které by mohly odkazovat na určitý násilný prvek ničení těchto osad. Jiní vědci s touto hypotézou nesouhlasili, a přikládali pozornost teplotám, které nelze připisovat činnosti “jednoduchého” ohně. Vědci ze Skandinávie tak navrhli motiv vitrifikace jako konstrukčního prvku, jež se týkala stavebních procesů. K této hypotéze měla přispět i analýza dat z Broborgu (Švédsko), u které se mělo jednat o jednoznačný úmyslný proces, určený k posílení opevnění (Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687; Berrocal-Rangel a kol. 2018, 1- 2; Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383).

Jako relevantní odbornou reakci na tyto hypotézy lze zmínit práci profesora Iana Ralstona, který měl zájem tento způsob opevnění replikovat experimentálně, a to poblíž Aberdeenu (Skotsko, Velká Británie). Jeho výsledky však poukázaly na kolaps stěny a tudíž nemožnosti účinného zlepšení konstrukčních vlastností. Tak vysoké teploty vyprodukované ohněm by pak bylo těžké zprostředkovat, ale i ovládat. Pozornost se tedy ubírala směrem úmyslného zničení hradeb ve spojitosti s opouštěním sídliště. S tím byla v minulosti spojována lokalita Bernstorf (Bavorsko), jejíž vitrifikace je považována za rituální důsledek. Později však bylo v západní Evropě zaznamenáno mnoho vitrifikovaných pevností s datací od pozdní doby bronzové do raného středověku (obr. 1.). Je tedy pravděpodobné, že podobné případy mohou odkazovat na různé příčiny. To, co by však mohlo velmi výrazným způsobem osvětlit tuto situaci, jsou vzniklé taveniny. Nelze opomíjet ani použitý materiál, který se musí vztahovat k chemickému složení horniny, z níž bylo opevnění vystavěno. Pokud tedy existuje určité pojítko mezi vyprodukovanou taveninou a fragmenty, můžeme uvažovat o konstrukčních, destruktivních, náhodných či rituálních motivech (Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687; Berrocal-Rangel a kol. 2018, 1- 2; Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383).

2 Historie

Způsobů zkoumání tepelně transformovaných vzorků pomocí přírodovědných metod je více a zasahují od oblasti biologie až po chemické, fyzikální aj. vědní obory. V tomto spojení tak je důležité poukázat na určitou posloupnost v historii těchto metod. Jedním z důvodů je i určitá technologická selekce metod použitých na archeologických lokalitách či mimo ně.

Jednou z jistě výhodných pro charakterizaci tepelně opracovaných vzorků můžeme řadit metody geofyzikální, jejichž výchozí bod v archeologii můžeme sledovat již v roce 1946, kdy Richard Atkinson uskutečnil své první geofyzikální měření na archeologické lokalitě Dorchester-on-Thames. O deset let později pak Angličan Anthony Clark aplikoval na lokalitě Curotio, Wiltshire první speciálně vyrobenou geoelektrickou aparaturu pro geofyzikální průzkum

v archeologii. Z pohledu teorie velmi také přispěl Kanadčan John Beshé, který v roce 1957 položil základy magnetometrického průzkumu vypálených materiálů. Aplikaci této metody pak uskutečnil Angličan Martin Aitken z Research Laboratory for Archaeology and the History of Art v Oxfordu, kterého se týkají první magnetometrická měření na lokalitě Water Newton, Peterborough s pomocí prvních magnetometrů pracujících na principu precese protonů. K počátkům 80. let a nové metodiky velkoplošných geofyzikálních (především magnetometrických) průzkumů a počítačového zpracování na archeologických lokalitách je pak spjato se jménem Helmuta Beckera z Bayerisches Landesamt für Denkmalpflege v Mnichově. Období 90. let pak lze charakterizovat neustálým zdokonalováním metodiky a jednotlivých výsledků, což také profiluje i další pracoviště s nejmodernějším vybavením (magnetometrie, geoelektrické přístroje, radar) v Interdisziplinäres Forschungsinstitut für Archäologie při Univerzitě ve Vídni (Kuna a kol. 2004, 117-120).

Česká archeologie poprvé aplikuje geofyziku až od 60. let, systematictěji pak od počátku 70. let. V Čechách byla v roce 1973 navázána systematická spolupráce mezi Katedrou užití geofyziky PŘF UK Praha, firmou Geofyzika Brno, závod Praha a Archeologickým ústavem ČSAV v Praze, na Moravě v roce 1974 mezi Geofyzikou Brno a Archeologickým ústavem ČSAV v Brně. Pracovníky těchto, ale i dalších institucí (vysokých škol i ústavů) pak byla v roce 1976 založena Interdisciplinární racionalizační brigáda pro uplatnění geofyzikálních metod v archeologii (IRB), jejichž výsledkem byla řada úspěšných a systematických spoluprací na archeologických lokalitách. Pro Čechy však "nové" období znamená až počátek 90. let, kdy dochází k možnostem postupného vytváření geofyzikálního pracoviště v Archeologickém ústavu v Praze. Po období oddělení expozitur a detašovaných pracovišť s aktivními geofyziky pak vzniká v rámci reorganizace Archeologického ústavu v Praze nové geofyzikální pracoviště v rámci Oddělení prostorové archeologie. Investiční prostředky z grantů GA ČR a GA AV ČR na konci 90. let napomohly k tomu, že dnes toto pracoviště může využívat moderní geofyzikální vybavení s možností spolupráce geofyziků s archeology ve více oblastech praktického i teoretického výzkumu (Kuna a kol. 2004, 117-120).

Vedle geofyzikálních metod můžeme třeba také zmínit i metody geochemické, jejichž rozvoj nastal v průběhu 19. a 20. století a byl úzce spjat s vývojem analytické chemie a teoretickou a experimentálně fyzikální chemií. Můžeme tedy hovořit o jakémisi hraničním oboru, který představuje spojovací článek mezi chemií a geovědami (René 2016, 4).

Jak již bylo naznačeno, tak ani oblast archeologie se v průběhu let neobešla bez opory jiných vědních oborů. Dokonce lze říci, že v některých obdobích převládal metodologický vliv jiných věd nad samotným oborem archeologie. Hlavním důvodem motivace pro nové pokusy byla snaha nalezení nových zdrojů informací, jež by nabízely východisko pro zkoumání dosud nevyřešených problémů a posunuly dosavadní poznání kupředu. V pozitivistickém období se pak jednalo především o exaktní vědy přírodní s důrazem na antropologii, geologii a chemii. V současnosti je však archeologie bez podílu přírodních věd na zpracování výsledků terénních výzkumů zcela nemyslitelná (Sklenář 2015, 547).

Blízký vztah těchto oborů však vznikal velmi postupně. Teprve v období na sklonku 18. století můžeme sledovat častější pokusy spojené s integrací základních přírodovědných poznatků. Ty však byly často dány skromnými znalostmi konkrétních starožitníků. Pojednávalo se tak o jednoduché klasifikaci surovin, makroskopické určování kamenných surovin (dle osobních zkušeností) či zkusmé určování pohlaví jednotlivých kosterních pozůstatků založené spíše na charakteru milodarů, než na kostech samých. Ke změně došlo v první polovině 19. století, kdy archeologie přeměnila dosavadní starožitnické zkoumání ve vědeckou disciplínu, a to souběžně se zdokonalováním rozvíjejících se přírodních věd. A tak dosud blízcí archeologové a přírodovědci měli dostatečný prostor k výměně svých podnětů a nabytých poznatků. Spolupráci lze charakterizovat jako studium o neživé přírodě (mineralogie), analytické chemii (pomineme-li konzervaci materiálů) a geologii, jejíž význam vzrostl s nástupem zájmu o období paleolitu. Naopak pominout pro toto období musíme oblast archeobotaniky i archeozoologie (Sklenář 2015, 548).

V této souvislosti lze také jmenovat prof. Jana Erazima Vocelova, díky kterému česká archeologie nezmeškala nástup spolupráce s přírodními vědami. První setkání archeologie a věd o anorganické přírodě pak nelze spojovat se surovinami kamenných nástrojů ani s rozborů kovových artefaktů nýbrž právě s problematikou tzv. spečených valů, s níž si archeologové ani přírodovědci nevěděli rady. Pro oblast Skotska byl zaveden termín “zeskelnatělé pevnosti” (vitrified forts) či v pozdějších dobách ve střední Evropě “spečené” či „škvárovité” valy (verschlackte Wälle, Schlackenwälle; Sklenář 2015, 548).

V regionech Skotska se často jednalo o masivní valovitá opevnění na vrcholcích, která poukazovala svým vzhledem na přepálení a spečení kamenitého stavebního materiálu. Je pravděpodobné, že právě ona záhadná minulost dokázala stimulovat zájem starožitníků v dobách osvícenství. Nárůst zájmu o tuto problematiku je možno sledovat od 18. století, kdy přírodovědci tento fenomén přirovnávali k vulkanickým projevům vyhaslé sopky, a to i přes neschopnost vysvětlit charakter jejich specifické morfologie. Jistý průlomový okamžik v archeologii lze sledovat v 70. letech 18. století, kdy montanista John Williams došel k závěru, že se jedná o způsob záměrné opevňovací techniky (Sklenář 2015, 548).

Vrchol zájmu o tento fenomén nastal v období romantismu, v první polovině 19. století, kdy byl součástí mnoha přírodovědeckých tak archeologických diskuzí. Domněnku o využití těchto procesů k opevňovacím technikám zastával i známý technik a vynálezce James Watt. Konkurenční hypotéza pak zastávala názor o ukončení existence opevnění spojované s jejím podpálením. Zájem o spečené valy přineslo i pozdně halštatské a raně středověké hradiště u Bukovce (Plzeň), kde v létě roku 1836 bánští prospektoři narazili na panství hraběte a přírodovědce Kašpara ze Šternberka (1761–1838), jednoho z hlavních zakladatelů Národního muzea, na struskovitě spečenou a zčervenalou hlínu. Následujícího výzkumu se tedy ujal právě hrabě Šternberk s předním mineralogem, petrografem a geologem prof. Franzem Xaverem Maxmilianem Zippem (1791–1863), který byl profesorem přírodovědy na pražské polytechnice, kustodem a tvůrcem mineralogické sbírky Národního muzea, ale i autorem prvního přehledu geologie Čech. Po exkavaci na několika

místech napříč valem se prokázaly stopy ožehnutých či žárem rozpučených kamenů, hrudek vypálené hlíny či struskovité hmoty v tělese valu (Sklenář 2015, 548- 549; Kondelík 2012, 27).

S tímto lze spojit i obsáhlý mineralogický referát prof. Zippe, který přednesl v září roku 1837, a to na sjezdu německých přírodovědců v Praze. V této době tak byl objev deklarován a uznán jako první ve střední Evropě, za níž se umístila lokalita Horní Lužice. Mezi následující můžeme řadit hradiště Kněží hora na Strakonicku (odkud J. E. Vocel přinesl vzorky v roce 1858), Hradiště u Libětic, Svákov u Soběslavi aj. Jednotlivé lokality později sepsal Julius Ernst Födisch (1868) a látku shrnul prof. Rudolf Virchow (1870), který též zahájil pozitivistickou fázi výzkumu středoevropských spečených valů (Sklenář 2015, 550).

V předchozí romantické fázi se oblast archeologie zabývala především otázkou záměrného původu spečení, na rozdíl od přírodovědců, již se spíše zajímali o možný vulkanický původ, možnosti spečení či projev vyšších teplot na určitých typech hornin. Obecně však lze říci, že situace na středoevropských lokalitách byla poměrně odlišná od skotských “zeskelnatělých” pevností. Nacházely se tak hlinito-kamenné valy se stopami tepelných změn, přepálenou hlínou či struskovitou hmotou. A ačkoliv se i zde uvažovalo o důsledku úderu blesku či vulkanické činnosti, majoritně přijímán byl umělý původ. Zippe v tomto směru nebyl ve shodě se záměrným spečením v Čechách a uvažoval tak o náhodném požáru dřevěné hradby. Saský geolog Carl Bernhard Cotta pak byl naopak přesvědčen, že vysoký stupeň spečení poukazuje na záměrné motivy. K této myšlence se u nás později přidal i Jan Erazim Vocel. Horninové odlišnosti ve struktuře valů jednotlivých lokalit zaznamenal již historik umění prof. Bernard Grueber. Bohužel však z této skutečnosti nevyvozoval žádné důsledky a odkazoval na budoucí chemické pokusy. Některé z těchto pokusů se však objevovaly již v tomto období a odkazují na práce Johna Williamse či prof. Rudolfa Virchowa z výzkumů v Lužici (tamní vzorky zkoumal i jeho přítel berlínský geolog a mineralog Hauchecorne (1870). Nutno poznamenat, že výsledky nabyté z těchto prací nevedli k použitelným závěrům. Zájem přírodovědců v následujících obdobích lze spojovat s experimentálními

činnostmi, které byly často spjaty s otázkou teplot jejich spečení (Sklenář 2015, 550- 551).

Ve spojitosti s tepelně upravenými vzorky a oblastí geochemie můžeme v minulosti spojovat i práce F. C. Friedricha z poloviny 20. století, jehož hlavním záměrem byl především chemický rozbor vitrifikovaného materiálu z lokality Kozel u Hostimi. Jeho práce tak popisuje chemické složení spečené hmoty a body tání jednotlivých látek. Samotný chemický rozbor pak poukázal na značné množství SiO_2 (70,32 %) a $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3$ (21,50%) a bod tání stanovil na 1400°C (Friedrich 1957, 130-138). V další práci pak označuje právě zmíněné vysoké procento SiO_2 , které by mohlo znamenat přidání písku z terasy řeky Berounky z důvodu zpevnění valu. Vysoké teploty pak vedly k hypotéze o nahrazení dubového či smrkového dřeva dřevěným uhlím, které dokáže uvolnit energii až 6000 cal. Kromě chemických rozborů se též soustředil i na experiment, který měl upřesnit teploty potřebné k procesu slinování materiálu. Tyto pokusy byly prováděny v elektrické laboratorní peci. Zde pak jsou charakterizovány velikost a minerální složení materiálu, jednotlivé teploty a doby vystavení těmto teplotám. Těmito experimenty tak byly zjištěno, že ke spečení hmoty nalezené v oblastech valu je zapotřebí teplota okolo 1200°C . Vzájemná nejednotlivost pak má být především z důvodu prostoru uvnitř valu pro mohutnou dřevěnou konstrukci. Kromě tohoto se v práci nastiňují i vhodné podmínky pro vznik takto vysokých teplot, jako jsou povětrnostní podmínky či složení hlíny (Friedrich 1946, 88-90; Friedrich 1957, 130-138; Vladař 2018, 9).

3 Charakteristika metod

Mezi nejběžnější, nejžádanější aplikací geofyzikálních metod lze uvést především nedestruktivní průzkum a identifikaci lokalit. Využití těchto geofyzikálních metod je pak, po nutné znalosti lokálních podmínek, vhodné pro potřeby detailního průzkumu lokalit, jejich částí či jinak vymezených území, při vyhledávání a ověřování nových či nejasných podpovrchově dochovaných archeologických objektů a situací. Velmi výhodná je geofyzika také při získávání plošných informací o lokalitě v počátečních etapách předstihového,

záchranného či systematického archeologického výzkumu odkryvem. Objem takového geofyzikálního měření pak dosahuje nejméně 80% (hraniční hodnoty se však pravděpodobně pohybují i přes 90%) všech geofyzikálních prací v tuzemské archeologii. Samotná aplikace však již po dlouhou dobu přináší kvalitativně i kvantitativně nové informace z archeologicky zkoumaných lokalit. Je proto s podivem, že cílený geofyzikální (systematický archeogeofyzikální výzkum) je v naší domácí sféře stále spíše výjimkou (Křivánek 2008, 695).

Mezi aplikace geofyzikálních metod ve spojitosti se studiem tepelně upravených vzorků lze tedy nepochybně zařadit jak laboratorní, tak i terénní měření magnetické susceptibility. Aplikaci geofyzikálních metod však lze provést i v samotném průběhu vlastního terénního archeologického výzkumu, resp. odkryvu, při kterém mohou výrazným způsobem obohatit poznatky o zkoumaných objektech, ovlivnit postup dalších archeologických prací či pomoci s lokalizací materiálu, jenž v minulosti podléhal vyšším teplotám. Neméně vhodné je tedy i detailní sledování magnetické susceptibility, kterou lze aplikovat právě i v samotném průběhu výzkumu (Křivánek 2008, 696-698).

V souvislosti s tím lze zmínit i různé typy magnetometrů, se kterými se často v archeologických publikacích setkáváme. Ty pracují jak s absolutními hodnotami odpovídajícími lokálním změnám intenzity magnetického pole T (nT), tak i s naměřenými gradienty ΔT (nT/m). A je to právě magnetická susceptibilita, která odpovídá svou velikostí reakci materiálu na působení pole a charakterizuje tím schopnost namagnetování jednotlivých materiálů. Způsob, jakým lze tuto veličinu zkoumat, je pomocí laboratorního studia na odebraných vzorcích různých materiálů, hornin, půd, ale také výplní archeologických objektů. Tento počín však díky možnosti použití jednoduchých mobilních přístrojů můžeme aplikovat již přímo v terénu (např. v průběhu terénních geologických průzkumů, v mapování výchozů, v hornictví či při archeologických výzkumech in situ). Výsledné hodnoty magnetické susceptibility primárně souvisejí s mineralogickým a chemickým složením, s velikostí a tvarem magnetických minerálů, ale závisí také na dalších (např. teplotních nebo tlakových) změnách sledovaných materiálů. Všechny minerály tedy můžeme, podle již výše popsané magnetické susceptibility, rozdělit na minerály

diamagnetické (nemagnetické), paramagnetické (slabě magnetické) a feromagnetické (silně magnetické). Nejvýraznější ovlivnění skutečné výše magnetické susceptibility je právě množstvím feromagnetických minerálů, jakými jsou např. magnetit, pyrhotin, titanomagnetit aj. Hodnoty pak však ale mohou být velice variabilní, a to již z důvodu jakési míry “unikátnosti” v geologickém vývoji Českého masivu či v oblastech moravsko-slezského prostředí. Množství variability souvisí i se svrchním zvětralinovým pláštěm, eluvii, na nich závislých pokryvných útvarech typu aluviálních náplav, teras či samotných půd. Na vzrůst magnetické susceptibility humózních půd se krom mineralogického složení skalního podloží podílí i činnost bakterií. Informativní upozornění o přesnosti výsledků magnetické susceptibility (uvedené na obr. 2.) v regionech formovaných sedimenty (např. pískovce, slínovce, slepence, jíly nebo spraše aj. – Kokořínsko, stř. Polabí, Nymbursko, Kolínsko, Turnovsko apod.), poukazuje na důvod aplikace magnetometrů na kyselším geologickém podloží (kupř. žuly, granodiority aj. – Brdy, Jindřichohradecko, Jizerské hory, Vysočina apod.), jež skýtá zdaleka menší problémy než na podloží z bazičtějších hornin (např. diabasy, migmatity, amfibolity aj. – Mariánskolázeňsko, Podkrkonoší, Turnovsko apod.). Výsledky magnetometrického průzkumu v terénech ze zvrásněných nemetamorfovaných hornin (kupř. křemence, břidlice, vápence aj. – Brdy, Český kras apod.) nebo z metamorfovaných sedimentárních hornin (kupř. ortoruly, břidlice, svory – Brdy, Krušné hory, Podještědí, Plzeňsko apod.) tedy mohou argumentovat o více homogenním složení nežli výsledky z problematických terénů z metamorfovaných hornin vyvřelých (kupř. pararuly, migmatity, amfibolity aj. – Pelhřimovsko, Prachaticko, Prácheňsko, Sedlčansko apod.). Tyto poznatky poukazují na určitou komplikovanost v magnetometrickém průzkumu v regionech formovaných vulkanickými horninami (kupř. čediče, znělce aj. – České středohoří, Doupovské hory, Komáří Hůrka u Chebu, Kunětická hora u Pardubic, Říp, Semilsko, Vinařická hora u Kladna apod.) či silně bazickými horninami (kupř. gabra; Křivánek 2008, 698-700).

Vedle znalosti konkrétního geologického prostředí je tedy nutná i znalost reálných hodnot magnetické susceptibility materiálů tvořících archeologické situace, objekty či jejich výplně. Typická je přitom velká variabilita rozsahu

hodnot magnetické susceptibility z různých materiálů z archeologických situací (obr. 3). Vysoká termoremanentní magnetizace, kterou můžeme sledovat např. u výrobních objektů (pecí a dalších objektů bezprostředně spojených s výrobou), je vyvolána výraznými teplotními přeměnami materiálů (vypálené jíly, kameny, mazanice, strusky, keramika, cihly aj.), kde jsou tyto hodnoty zdaleka největší (Křivánek 2008, 701).

Pomocí remanentní magnetizace lze detekovat přepálené partie opevnění (valů) či osídlení zaniklého požárem (spálené destrukce domů či kúlové konstrukce aj.) nebo v určité míře i objekty funerální (žárové hroby). Vysoké hodnoty magnetické susceptibility však mohou informovat i o původu kamenného stavebního materiálu (s vyšším zastoupením feromagnetických materiálů), tvořícího části objektů (zdiva, kamenné pláště mohyl aj.), opevnění (kamenné valy, plenty aj.) či výplně objektů (kamenná obložení hrobů, závaly aj.; Křivánek 2008, 701-702).

Naopak s nižšími hodnotami se můžeme setkat u hlinitých výplní řady zahloubených objektů (jámy, jamky, příkopy, žlábký, hroby, polozemnice, hliníky aj.). V této souvislosti je však nutno poznamenat, že k těmto hodnotám magnetické susceptibility se dostaneme až v odkrytých terénních situacích po skrývce ornice, která mívá vyšší hodnoty magnetické susceptibility než výplně zahloubených objektů, a to navíc pouze vůči homogennějšímu archeologickému podloží lokality (někdy nehomogenní štěrkopísky či náplavy dosahují velmi podobných hodnot jako hlinitopísčité výplně zahloubených objektů). Jakousi ojedinělostí je měření magnetické susceptibility na vertikálních profilech objektů i v komplikovanějších souvrstvích, které umožňuje vyčlenit více archeologických vrstev, resp. zánikových horizontů objektů (Křivánek 2008, 701-702).

V současné době pak můžeme v rámci odkrytých terénních situací či prvotní rekonstrukci použít hned několik typů mobilních přístrojů. Pro potřeby orientačního měření si vystačíme pouze s bodovým měřením, měřením v nepravidelné síti či měřením v jednotlivých profilech (řezech) s určitou pravidelnou hustotou bodů napříč začištěnou horizontální či vertikální situací (Křivánek 2008, 701-702).

Naopak podrobnější studium vyžaduje měření magnetické susceptibility v pravidelné síti. Tento typ tak je zaměřen především na sledování několika metrových ploch, objektů a dílčích situací v síti od 0,5 x 0,5 m až po 0,1 x 0,1 m. Limitující se pak může zdát hloubkový dosah měřících cívek, jejichž naměřené hodnoty vypovídají o struktuře materiálu několik centimetrů od cívky. Odlišnosti materiálů je tedy nejlépe zkoumat na odkryté a následně začištěné situaci nebo i na povrchu terénu v případě dochovaných nadzemních částí archeologických objektů. Obecně lze říci, že princip samotný je založen na registraci změny frekvence oscilátoru ve volném prostoru (mimo dosah vlivu jakýchkoli materiálů alespoň ve vzdálenosti 30 cm), a to po přiložení na povrch materiálu (Křivánek 2008, 703).

K měření magnetické susceptibility v terénu se nejčastěji používají tzv. kappametry. Mezi výhodami kappametru bychom jistě mohli vyzdvihnout jeho snadnou obsluhu a různé druhy terénního měření, které lze provést buďto bodově (měření rozdílu ve vzduchu a na povrchu materiálu je sice o několik sekund pomalejší, ale hodnoty jsou přesnější) nebo i kontinuálně (scan mode je naopak rychlejší, ale jeho přesnost klesá s časem a proto je nutno jej restartovat - je tedy méně vhodný při nízkých hodnotách magnetické susceptibility). K výhodám také lze připojit spolehlivé měření diamagnetických materiálů, jakými jsou vápenec, křemenec či voda. Z nevýhod pak lze jmenovat malý hloubkový dosah, který je dán výrobcem a u kappametru typu SM 30 (ZH Instruments) charakterizuje 90% naměřených hodnot magnetické susceptibility povrchové vrstvy do 2 cm od cívky. Další nevýhodou je menší přesnost měření a nutnost zavádění oprav při sledování zakřivených, nerovných a nerovnoměrně zhuštěných povrchů (Křivánek 2008, 703-705; ZH Instruments. SM 30 Shirt Pocket – size magnetic susceptibility meter [online]. Brno: ©2016 [cit. 15.5.2020]. Dostupné z: <http://www.zhinstruments.com/sm30.html>).

Hlavní přínos však bude mít tato metoda pro terénní geofyziky či pro rychlé laboratorní zkoušky za účelem analýzy a klasifikace typů hornin nebo vzorků vrtných jader. Po přiložení na plochý povrch materiálu můžeme za pomoci čidla sledovat hodnoty objemové magnetické susceptibility v SI

jednotkách nebo můžeme využít možnost záznamu těchto dat do paměti. Mezi výhody tohoto přístroje lze považovat malé rozměry, nízkou hmotnost, jednoduchou obsluhu či samotnou vysokou citlivost. Práce s kappametrem (či jinými přístroji podobného typu) by tedy nemusela nutně spadat pod gesci geologů či geofyziků, ale mohly by být velmi užitečným přístrojem pro terénní měření během výzkumů, a to již samotnými archeology (Křivánek 2008, 703-705).

Limitujícím bohužel zůstává malý hloubkový dosah. Lze uvést i zahraniční výrobce těchto terénních přístrojů pro měření magnetické susceptibility, jakými je např. system řady MS-2 britské firmy Bartington. Tento systém tak kromě možnosti měření magnetické susceptibility (v terénu, ve vrtech, ale i na laboratorních vzorcích) obsahuje i možnost pozorování půd nebo hornin, a to pomocí několika zabudovaných sond a kalibrovaných senzorů. Tuto metodu lze využít v různých typech environmentálních a laboratorních výzkumů a v řadě specializovaných aplikací. "Výhodou celého systému je koncepční provázanost vzájemně se doplňujícího příslušenství pro možnost systematické terénní i laboratorní práce a také možnost rychlého měření i větších ploch při použití terénní měřicí cívky." Bohužel do této metody musíme zařadit i nevýhody, jakými je především vysoká cena systému, a to v případě, pomineme-li některé současné možnosti tuzemských archeologických pracovišť (Křivánek 2008, 705).

Způsobem, kterým lze však také měřit změny magnetické susceptibility (mimo zdánlivé vodivosti), jsou např. konduktoměry, resp. přístroje pro elektromagnetické měření vodivosti a susceptibility, typu EM-38 kanadské firmy Geonics. Princip založený na bezkontaktním sledování elektrické či magnetické složky elektromagnetického pole mezi vysílací a měřicí cívkou je pak velmi výhodný, a to především z důvodu schopnosti měřit obě fyzikální veličiny, a to i s větším hloubkovým dosahem aparatur (v případě EM-38 do hloubek 0,5-1m). Výhodný je navíc i z důvodu možné aplikace v místech, kde aplikace jiných metod není možná, jako tomu je v případě geoelektrického odporového měření či magnetometrie. A právě to je důvodem, proč se její použití nevyskytuje často

ve spojitosti s měřením magnetické susceptibility na odkrytých archeologických situacích (Křivánek 2008, 705-706).

4 Teorie archeologie

Jak již bylo zmíněno, tepelně opracovaný materiál je možné sledovat na velkém množství archeologických lokalit. Z pohledu technických norem nám bohužel zůstává pouze kontext, který se do současnosti dokázal dochovat. K rozuzlení procesu spečení se tak často používá experimentální archeologie, která je bohužel mnohdy souvislá s finančními nároky projektu (Baitinger - Kresten 2012, 494; Friend a kol. 2008, 3134; Wadsworth - Heap - Dingwell 2016, 7; Neustupný 2010, 104-107).

Z pohledu samotného vzhledu konstrukce pak vyvstává i otázka spjatá s motivy vytvořené konstrukce. Mezi motivy úmyslného jednání, můžeme jistě řadit vytvoření pevnější konstrukce za aplikace vhodného palivového a stavebního materiálu. Vystavení vyšších teplot však můžeme spojovat i s destruktivní silou nepřítele, která jako vedlejší produkt mohla vést k vitrifikaci či kalcinování materiálu. Dále nelze opomíjet ani náhodné či rituální motivy vytvoření. Z pohledu artefaktového algoritmu pak můžeme použít tvrzení, že použití artefaktu v konkrétních situacích může být jiné, než je jeho běžné použití. Způsob vitrifikace, pak mohl tedy opravdu být využit hlavně z důvodů konstrukčních, ale tato teze se nemusí vztahovat na všechny lokality s tímto jevem. Z pohledu technických norem se však může jednat o charakter určité tradice, ke které dochází např. při opouštění sídliště, kdy samotný destruktivní motiv mohl být proveden i samotnými staviteli (Ralston 1986, 17; Kresten – Ambrosiani 1992, 1; Wadsworth – Heap – Dingwell 2016, 7; Neustupný 2010, 103-107).

Poněkud problematická situace může nastat u sociálních a symbolických norem. Umístění na vrcholcích kopců může pak být vnímáno z pohledu sociálních norem jako symbolické vymezení. Tyto normy by také mohly odkazovat na společenský, případně i generový status obyvatel takových lokalit.

Skupinu symbolických norem pak dle mého názoru nejlépe přiřadit k motivům rituálním, kdy místní “genius loci”, vytvořený v souvislosti se “skleněným” povrchem, mohl tvořit jakousi rituální ochranu dané oblasti. Pokud by však došlo k potvrzení konstrukčních motivů, museli bychom směřovat naše myšlenky k normám technickým (Neustupný 2010, 104- 107).

Kam ale můžeme s jistotou tyto žárem upravené pevnosti zařadit je oblast faktu. Artefaktové vlastnosti tohoto faktu by pak zahrnovaly např. snahu docílit pevnější konstrukce pomocí účelné aktivity definované jasnou strukturou (zastoupení hornin s určitým minerálním složením, způsoby uložení trámů aj.). Událostí by v tomto případě byly samotné kusy taveniny. Ekofaktovou vlastnost by pak mohl zastupovat skelný povrch valu. Tento přístup lze však aplikovat pouze na motivy konstrukčního charakteru. Pokud by byl skelný povrch vytvořen úmyslně z důvodu vzhledových aj. vlastností, pojednávalo by se opět o artefaktovou vlastnost (Ralston 1986, 19, 22-23; Neustupný 2010, 66-70).

Pokud bychom se na tento proces dívali z pohledu sociální teorie, kdy je tvorba odvislá od přírodních (materiálových, energetických), společenských a ideologických podmínek, je nutné zmínit, že tato přeměna lidského světa mohla nastat zevnitř (nikoliv z venčí) společnosti (např. z důvodu určitých ideologických myšlenek či společenských procesů; Hovorka – Túnyi 2011, 50; Neustupný 2010, 41- 44).

Z hlediska posouzení intencionality je klíčovým vodítkem posouzení motivu lidského konání. Pokud bychom se dívali z pohledu nahromadění neopracovaných hornin z důvodu vytvoření valového tělesa, jednalo by se o stupeň izolace. Další etapou je samotný proces vitrifikace či kalcinace, kde bychom právem mohli uvažovat o stupni formování, který z intencionálního důvodu byl vytvořen pro pevnější konstrukci (Kresten – Ambrosiani 1992, 7; Neustupný 2010, 71-74).

V kategorii živé kultury - kategorii účelu, pak lze v událostní záležitosti pojednávat o tom, že ačkoliv bylo hradiště upraveno záměrně (např. z důvodu rituálních potřeb), není vyloučeno že v nezbytném případě nemohlo fungovat

i jako refugium. Exprese (styl) by mohla poukazovat na vyjádření určité patřičnosti a přejímání této “tradice” mohlo souviset s činností specialistů (Friend - Dye - Fowler 2007, 1685-1698; Friend a kol. 2008, 3130; Neustupný 2010, 83-93).

5 Metoda termoluminiscence

5.1. Potenciál a aplikace

Pro rozšíření informovanosti o pevnostech se stopami vystavení žáru je jistě důležitý i prvek datace. Datace vitrifikace pak také neopomenutelně souvisí s materiálem výstavby či pozůstatky po primárním osídlení lokality, jež může přiblížit datování zánikového horizontu. Zatímco termín ante quem je v našem případě poskytován pouze skrze vzorky představující vitrifikaci (požárovou událost). Umístění jednotlivých pobřežních, tak vnitrozemských lokalit lze pak vidět na obrázku č. 4 (Sanderson - Placido - Tate 1985, 799- 802).

Na množství míst pak lze také pozorovat silně vitrifikované horniny, u kterých došlo jak k morfologickým tak k mineralogickým změnám, a jež jsou vhodně použitelné k datování. Mezi použitými daty můžeme zahrnout TL metodu aplikovanou na švédských vitrifikovaných pevnostech, jakými jsou Torsburgen v Gotlandu s použitím vytěženého vápence a lokalitu Broborg s aplikací živce. Dosažené výsledky se tedy mohou výrazným způsobem podílet na procesu datace, a to především ve spojitosti s daty C14 pro charakterizaci primárních fází (Sanderson - Placido - Tate 1985, 803-806; Plucháček 2011, 13; Weaver a kol. 2017, 4).

Aplikace TL datování tedy byla v místech se zřejmou vitrifikací, kde byl následně proveden odběr vzorků za pomoci vodou chlazeného vrtáku o průměru 7,2 cm a délce 30 cm. Na jiných místech došlo k ručnímu odebrání (“vysekání”) vzorků z kamenného materiálu (Strickertsson - Placido - Tate 1988, 317).

Každý vzorek pak byl připraven pomocí následujícího postupu:

A) Nejdříve došlo k rozřezání vzorku pomocí diamantové pily na 2 cm silné sekce s následným rozdrčením za pomoci svěráku, paličky a hmoždíře.

B) Po rozdrčení byl vzorek mikroskopicky zkoumán s aplikací žlutého filtru pro bezpečné osvětlení. V případě, že některá jsou stále směsí minerálů, došlo k navrácení vzorku k dalšímu drcení.

C) V další části byly jednotlivé za mokra prosévány na jednotlivé velikostní frakce zrn: <90 μm , 90-106 μm , 106-150 μm , 150-250 μm , >250 μm .

D) Následně byla provedena separace těžké kapaliny na minerální frakce: lehká frakce (L) <2540 kg/m^3 ; draselné živce (F), 2540 kg/m^3 -2580 kg/m^3 ; plagioklas (P) a křemen (Q), 2580 kg/m^3 -2680 kg/m^3 .

E) Leptání HF pak u lehkých frakcí, draselných živců a plagioklasu bylo provedeno 10% HF po dobu 40 minut. U frakcí křemene byla aplikace 40% HF po dobu 60 minut.

F) Odstranění fluoridů pak bylo za pomoci 10% HCl po dobu 20 minut, následované opláchnutím v destilované vodě.

Nutno však podotknout, že pro většinu geologických a archeologických materiálů je krok B) nadbytečný. U drceného materiálu z rozsáhle vitrifikované horniny byl také nalezen obsah zrn, jež představovaly minerální směsi. Ty zde jsou obsaženy již z procesu vitrifikace, kdy došlo k jejich spojení. Možný problém tvořila struktura vitrifikovaného materiálu, která sahala od velmi křehkého až po velmi tvrdý materiál. Jemné drcení tak nebylo mnohdy možné. Otázkou tedy bylo, zda by příliš tvrdé ošetření nemohlo vyvolat překážku pro datování daných vzorků (Strickertsson - Placido - Tate 1988, 317- 318).

Mezi prvními byl zkoumán vzorek vitrifikovaného pískovce z lokality dun Kemp Law, který byl zahříván v peci při 600°C po dobu 2 hodin a následně pomalu ochlazován na teplotu místnosti. Ze vzorku pak byly odebrány dvě poloviny, z čehož jedna polovina byla rozdrčena pomocí značné síly a druhá co nejjemnějším způsobem. Následné ošetření daných vzorků pak již proběhlo obvyklým způsobem. Dále bylo zjištěno, že způsob drcení nemá vliv na přirozený signál TL, což je poměrně uklidňující z hlediska fragmentů, jež nelze rozmělnit pomocí šetrného přístupu. Měření obsahu draslíku v draselných živcích pak byla pomocí rentgenové analýzy na elektronovém skenovacím

mikroskopu. Pro lokalitu Mote of Mark bylo získáno celkem pět nekalibrovaných dat z dřevěných fragmentů z opevnění, jež odkazovala na období od 380 n.l. - 459 n. l. Z dokladů pozůstatků hrnčířských hutí, kovoobrábění a skleněných materiálů je pravděpodobné, že místo bylo osídleno až do roku 650 n. l. Bližší charakterizace TL dat se pak shoduje s těmito výsledky a odkazuje na data 723 n. l. \pm 120. Výsledky datování čtyř vitrifikovaných struktur jsou pak uvedeny na obrázku č. 5. Naopak datace pro Kemp Law a Portencross jsou překvapivě starší, nežli se od archeologických důkazů očekávalo. Podobně lze nahlížet i na lokality jakými jsou Knockfarril (1120 př. n. l.) či Tap O Noth (2160 př. n. l.). Výsledky z čedičového materiálu z lokality DunDonald, bohužel nedaly reprodukovatelné výsledky. Výsledek, jež je tedy uveden na obrázku č. 5 je pro vypálený kamenný materiál, který se sice nachází ve styku s vitrifikovaným materiálem, ale není s ním sloučený. A tak i z důvodu vysoké pravděpodobnosti, že tento materiál byl vypálen ve stejném období, nelze vyloučit možnost pozdějšího výpalu. Vitrifikovaná pevnost DunDonald pak leží přímo pod hradem DunDonald. Je tedy možné uvažovat i o možném využití této lokality nepřetržitě, přes celé dvě tisíciletí (Strickertsson - Placido - Tate 1988, 318- 320).

5.2. Problémové aspekty metody

Nesoulad této metody je především spojen s výsledky datace dřevěných konstrukcí pomocí metod C14. Během procesu tavby se přednostně usazují křemenná a živcová zrnka, která jsou uložena společně s jílovitými minerály. Ty však nepodporují signál této metody, protože jejich citlivost je nízká ve srovnání s křemenem a živcem. Výsledky vzorků, jejichž teplota vystoupila na teplotu 550°C a nižší tedy pravděpodobně poukazují na mnohem starší datace. Obecně také platí, že data TL jsou považována za bezpečná, pokud z několika vzorků získáme stejnou dataci. Pokud se většina výsledků tedy pohybuje ve stejném období, dělají to pouze proto, že byly vzorkovány ve stejném horizontu, tj. v úzkém teplotním intervalu. Zde bych chtěl nastínit např. i situaci neolitické lokality Niuheliang v severovýchodní Číně. Zde byla nalezena keramika s datací 3899 \pm 555 až 4928 \pm 345 let BP, zatímco tyglíky udávaly data 3000 \pm 330 až 3494 \pm 340 let BP. Tento rozdíl i zde souvisel s odlišnými teplotami. Zatímco

červené zboží bylo vystaveno teplotám okolo má 750°C, tyglíky byly zahřáty na teplotu minimálně 1100°C (tedy nad teplotou tání čisté mědi), zdánlivě vysoký věkový rozdíl zde tak mohl být vysvětlen jako rozdíl v uvedených teplotách (Kresten 2003, 9-14; Peteranna - Birch 2018, 80).

6 Lokality

6.1. Plzeň- Hradiště

Lokalita se nachází asi 250 metrů severovýchodně od stejnojmenné obce, a to s umístěním v šíji meandru na pravém břehu Úhlavy v poloze „Pod Homolkou“. Rozloha vnitřní plochy hradiště pak dosahuje 1,65 ha s délkou 200 m a šířkou okolo 100 m, jež je obehnána obvodovým valem, který je na východní straně doplněn mohutným předsunutým valem s vnějším příkopem. Nejvyšší robustnost pak dosahuje především na severní straně, kde přepažuje směr nejsnadnějšího přístupu k hradišti. Destrukce tělesa, pak lze ve spojitosti s přepáleným materiálem sledovat až do hloubky 10-12 metrů po svahu, což může být ovlivněno i svahovými posuny sedimentů. „Výrazné stopy spečení jsou vidět po celém obvodu fortifikace vnitřní plochy“ (Vladař 2018, 11; Šmejda a kol. 2013, 4-9; Šmejda - Hložek - Menšík a kol. 2015, 26-28).

Nejstarší výrazný doklad lidské činnosti pak můžeme pozorovat již v období 17./ 16. stol. př. Kr., a to ve spojitosti s tenkou vrstvou, s vysokým obsahem zuhelnatělého rostlinného materiálu. Nejstarší doloženou fortifikaci na této lokalitě lze sledovat v návaznosti na tuto vrstvu, kde nasedá valové těleso ze světlejší písčité zeminy s doklady palisády. Datace této fortifikace pak spadá do tzv. předmohylového horizontu Bz A2/B1. Následné doklady osídlení pak máme od střední doby bronzové (Bz B2/C) s doklady stop požáru, množstvím uhlíků, mazanice a především s destrukcí kamenného líce hradby, jejíž spodní část se dochovala in situ až po střední dobu hradištní, se kterou lze spojit mocnost až 130 cm do červena propálené destrukce nejmladšího z doložených opevnění, jehož vnitřní i vnější líc stál na kamenném založení. Na této situaci pak leží vrstva spálených dřevěných prvků, kladených kolmo na osu valu. Nad touto úrovní se v hlinitopísčitém propáleném materiálu nacházela vrstva

středních až velkých kamenů s víceméně rovnoměrným rozprostřením v prostoru mezi čelem a týlem hradby. Na tuto úroveň pak následuje do červena propálená písčité zemin. Časové zařazení této situace vychází pouze z radiokarbonové metody, která dřevěný rošt datuje s největší pravděpodobností do středohradištního období. To je i poměrně zajímavým poznatkem, a to především z důvodu, že během posledního století, kdy byla lokalita archeologicky sledována, se nepodařilo nalézt žádné artefakty pocházející z této doby. Období raného středověku pak pravděpodobně představuje chronologicky poslední doklady opevnění této lokality s doklady destrukce čelní zdi (Vladař 2018, 11-13; Šmejda a kol. 2013, 37- 39; Šmejda - Hložek - Menšík a kol. 2015, 31-32).

Snahou radiokarbonového datování devíti vzorků odebraných z profilu sondy, bylo rozčlenění do pěti logických celků, odpovídajících hlavním fázím přestaveb obvodové fortifikace hradiště. To nám pak může poměrně dobře osvětlit i období požáru na lokalitě, a to i bez úzké závislosti na nalezených artefaktech obsažených ve vrstvách hlavní fáze zkoumaného souvrství. Všechny odebrané vzorky byly odebrány z větších zuhelnatělých kusů dřeva, které bylo většinou možné interpretačně spojit s jednotlivými fázemi konstrukce opevnění, jejichž přehled podává obrázek 6, 7. Ačkoliv u tohoto typu vzorků nelze vyloučit i určitý časový rozdíl mezi dobou růstu dřeva a jeho použitím ke konstrukčním účelům, nabyté výsledky jsou logicky koherentní a dobře odpovídají pozorované stratigrafické sekvenci i datování kontextů, jež je založený na movitých nálezech (Šmejda a kol. 2013, 90- 93).

Situaci na lokalitě v době požáru nám může přiblížit i analýza uhlíků. Celkem tak bylo analyzováno 2 616 ks uhlíků o celkové hmotnosti 4 403,1 g. Bez analýzy bylo ponecháno 576g uhlíků – vesměs jde o jednodruhové (dubové) vzorky. Období raného středověku zde reprezentuje 224 analyzovaných uhlíků pouhých dvou druhů dřevin - dubu a borovice. Takto druhově skrovný soubor může být důsledkem postupné degradace lesních porostů, ale nelze vyloučit ani důvody tafonomické. Aktivita reprezentující toto období může poukazovat na jednorázové útočištní využití starších valů, které by nutně nemuselo reprezentativním způsobem

využívat okolní zdroje dřeva (tedy nemusí indikovat dostatečným způsobem lesní vegetaci v zázemí hradiště; Šmejda a kol. 2013, 117- 120).

Součástí terénní části archeologického výzkumu pozůstatku valů na lokalitě Plzeň – Hradiště v roce 2012 došlo také k vyhodnocení petrografické a geologické situace v místě hlavního dokumentovaného terénního profilu. Zvýšená pozornost pak byla věnována vrstvám s doklady natavení a jistého působení vysokých teplot. Jednotlivé vzorky hornin vyjmutých z terénního řezu i vzorků srovnávacích byly následně podrobeny tepelným zkouškám v keramické dílně VŠUP pod vedením akad. sochaře Aleše Wenera. Zhotovení petrografických výbrusů zhotovil J. Letko (z firmy Diatech s. r. o.) a jejich mikroskopického zkoumání se ujal RNDr. Vladimír Žáček (z České geologické služby). Obecně však lze říci, že v řezu soustavou pozůstatků opevnění byly místy dokumentovány výrazné koncentrace kamenů. Jejich zastoupení a poměr horninových typů se však v jednotlivých stratigrafických úrovních částečně odlišoval. Tuto skutečnost pak vhodně charakterizuje obázek č. 8, který poukazuje na vyhodnocení kamenitého materiálu v archeologicky dokumentovaném terénním řezu. Skalní podklad na této lokalitě tvoří téměř ve všech úrovních místní proterozoické vyvřeliny (metabazalty – spility). Výskyt tohoto typu materiálu ve spojitosti se sekundárně vypáleným a nataveným materiálem pak můžeme sledovat v jednotlivých kontextech. Některé vrstvy pak byly tvořeny metabazalty s částečným podílem proterozoických metaprachovců a metadrob s výraznými stopami vysokých teplot - doklady rozpraskání a zčervenání horninového materiálu. Částečné uplatnění zde měli i poněkud rozměrnější valouny z fluviálních náplavů Úhlavy (především odolné proterozoické silicity, bulžníky a křemence). Ve všech zmíněných případech se jedná o kombinaci s metabazalty. V místech kumulace pak některé z rozměrnějších valounů nesly známky po úderech (oštípání, lomné plochy). V jiných částech terénního řezu pak převažovaly ostrohranné lomové proterozoické metasedimenty nad dalšími materiály (Šmejda a kol. 2013, 163-165).

Zvýšená pozornost pak byla věnována především vzorkům vystaveným vysokým teplotám s doklady zčervenání, rozpraskání či natavení horniny

samotné z rozpadlé čelní části kamenné plenty. Pro zhotovení klasifikace daných horninových materiálu tak došlo ke zhotovení několika petrografických výbrusů a následnému mikroskopickému zkoumání v polarizačním mikroskopu. Zkoumání srovnávacích vzorků místních vyvřelin (proterozoických metabazaltů) pak proběhlo stejnou metodou. Pro bližší charakterizaci teplot zde však bylo aplikováno sekundární roztavení v keramických pecích na přesně zvolenou teplotu, a to vždy s prodlevou 10 minut. Vzorky byly při první termické zkoušce prováděné souběžně ve dvou oddělených elektrických pecích, postupně zahřívány na teplotu 800°C, resp. 1300°C. Z tepelné zkoušky vyšlo najevo, že níže temperovaný vzorek poukazoval na zčervenání a mírné rozpraskání, zatímco druhý se změnil na taveninu s velmi nízkou viskozitou, která přetekla přes podložní porcelánovou desku na dno pece, kde při kontaktu se šamotovým obkladem došlo k jeho zničení (obr. 9). Z toho důvodu byly teploty následujících termických testů jednotlivých vzorků postupně sblížovány. Určitou shodu natavených vzorků z části valu a z pece můžeme sledovat při teplotách okolo 1166°C. Naopak vzorky vystavené nižším teplotám 900°C - 1133°C k natavení nedošlo (Šmejda a kol. 2013, 165- 166).

Zjevnou podobnost z pohledu mineralogického i strukturního složení těchto žárem zčervenalých, rozpraskaných i natavených vzorků hornin z prostoru archeologického výkopu a srovnávacích vzorků metabazaltů pak potvrdil i rozbor mikroskopický. Petrografický rozbor tedy výrazným způsobem napomohl k potvrzení místního původu žárem přeměněných hornin a zjištění přibližné teploty, při které došlo k jejich natavení a následnému tečení (teploty kolem 1160°C). Další poznatkem bylo i naměření vysoké magnetické susceptibility z jednotlivých vzorků. To pravděpodobně svědčí o přítomnosti novotvořeného ferromagnetického minerálu ze skupiny spinelidů. Jedná se tedy nejspíš o magnetit, který vznikl v důsledku natavení a rekrytalizace původního vulkanitu. Za splnění dalších podmínek by tedy zjištěná okolnost mohla vést k bližšímu vymapování průběhu tzv. "spečeného valu", a to na základě využití jedné z geofyzikálních metod - magnetometrie. Vysoce kontrastní anomálii v místech průběhu čelní natavené stěny by pak mělo identifikovat právě množství silně ferromagnetického minerálu magnetitu, jež se koncentruje

v sekundárně natavené hornině. Provedení tohoto měření by tedy mělo uvedený předpoklad potvrdit či vyvrátit (Šmejda a kol. 2013, 165- 166).

Mikroskopické zkoumání, pak bylo aplikováno hned na tři vzorky. V prvním případě se jednalo o místní vzorek z bazického vulkanitu vypálený na 900°C (obr. 10), ve druhém případě stejné horniny byl výpal stanoven na 1166°C (obr. 11) a v posledním, třetím případě se jednalo o porovnání s nataveným vzorkem z oblasti valu (obr. 12; Šmejda a kol. 2013, 181 – 182).

V prvním případě vzorek vykazoval zachovanou usměrněnou stavbu metamorfované horniny (spilitu) tvořeného především živci, aktinolitem, křemenem v žilkách, vedle dalších velmi jemnozrnných fází. Často zde pak také dochází k přetínání kosých žilek křemene vláknitým amfibolem. Aktinolit jež signalizuje výrazný pleochroismus (bledě žlutá až sytě červenavě hnědá) připomínající biotit. Mezi atypičnost aktinolitu můžeme zařadit jeho netypickou barvu, která však má pravděpodobně co s dočiněním s výpalem samotným a s ní spojenou oxidací. Celkově tedy lze pojednávat o vypáleném a silně oxidovaném vzorku s jemnozrnným vulkanitem s převahou aktinolitu. Zvýšená magnetická susceptibilita pak poukazuje na přítomnost jemného maghemitu či magnetitu, který mohl vzniknout až po výpalu samotném. K tavbě vzorku za těchto teplot však nedošlo (Šmejda a kol. 2013, 181 – 182).

Druhý vzorek místního bazického vulkanitu vypálený na 1166°C poukazoval na jemně zrnitý buchit s hojnými okrouhlými dutinami. Místní usměrněné partie pak především představují reliktů původně foliované stavby. Zjevné jsou i usměrněné agregáty opakní fáze. V blízkém okolí dutinek (bublin) je patrný také hruběji rekrystalovaný agregát tvořený jehlicovitým anortitem, pravděpodobným klinopyroxenem a spinelidem. V jemnozrnných partiích se nacházejí i pozůstatky skla. Lze tedy sumarizovat tento vzorek jako buchit (paraláva) vzniklý přetavením Ca- bohatého bazického materiálu (Šmejda a kol. 2013, 183- 186).

Poslední ze vzorků je natavený vzorek z oblasti valu. U toho vzorku jsou zřejmě všechny minerály novotvořené a vzniklé přetavením původní bazické

horniny. Z výbrusu je pak patrná značná část velmi jemnozrnné (pod 0.05 mm) mozaiky minerálů s převahou bazického plagioklasu a pravděpodobných pyroxenů, možná i melilitu s podřízeným kostrovitě vyvinutým opakním minerálem pravděpodobně ze skupiny magnetitu. Mandlovcovitá část výbrusu pak v okolí těchto dutin obsahuje hruběji krystalizovaný materiál s převahou lištovitého nahnědlého pravděpodobného klinopyroxenu s tenké jehlicovitým pravděpodobným anortitem a hnědým spinelidem. U tohoto vzorku, podobně jako v předchozím případě, lze pojednávat o buchitu (paralávě), vzniklý přetavením na vápník bohatého bazického materiálu. Jedná se tedy o velmi zřetelnou podobnost se vzorkem, jenž byl vypálen na teplotu 1166°C, a to i v přítomnosti plagioklasu. Odlišnost předchozího vzorku bychom našli v zrně novotvořených minerálů, jež je o něco drobnější. Pravděpodobně k této situaci došlo z důvodu nižších teplot či kvůli jiné délce ochlazování, přičemž ta mohla být výrazně kratší (Šmejda a kol. 2013, 183- 190).

Zeminu ve spojitosti s vystavením vyšších teplot můžeme sledovat ve vrstvě, jejíž hlavní složkou je světle cihlově červený částečně zahliněný písek s kolísavou příměsí drobného i hrubšího šterku. Jednotlivé valouny, zrnka písku, prachovité či hliněné povlaky na povrchu klastů či původní mezerní hmota mezi nimi, jsou obarveny účinky tepelného žáru do červena, jež indikuje oxidaci železitých příměsí. Po bližším studiu jednotlivých složek došlo k potvrzení dosažených teplot, jež nedosáhly bodu tavení hlavních zastoupených horninotvorných minerálů, tudíž živeců ani křemene. Snad jen poznamenat, že u některých méně odolných horninových klastů došlo k jemnému rozpraskání povrchu či některé valounky signalizují stopy očazení. Díky tomuto vypálení může tedy vrstva vykazovat mírně zvýšenou magnetickou susceptibilitu. Zkoumaný vzorek obsahoval i drobné porézní hrudky krémové, narůžovělé až světle cihlově červené jemně písčité hmoty s nízkou objemovou hmotností (velikost obvykle kolem 3 až 5 mm, max. 11 mm) a s vysokým obsahem uhličitanu vápenatého (po zvlhčení HCl dochází k intenzivnímu šumění). Na některých vzorcích pak jsou pod mikroskopem patrné nitkovité podélné otisky (negativy), u kterých lze uvažovat o karbonizované složce mající možný původ v popelu (Šmejda a kol. 2013, 195- 196).

6.2. Deardail, Švédsko

Mezi jednu z hlavních výzev této lokality lze řadit datování jednotlivých fází. Pro možnost rozšíření znalostí o této lokalitě tak byla použita metoda radiokarbonového datování se současnou aplikací geofyzikálního průzkumu a environmentálních analýz. Výsledky radiokarbonového datování naznačovaly období výstavby této lokality v 5. století před naším letopočtem. Vzorke organického materiálu pak byly shromažďovány během odkryvu a v laboratoři při analýze použity na charakterizaci období výstavby, osídlení, vitifikace a opuštění lokality. Čtrnáct radiokarbonových měření bylo odebráno z jednotlivých kusů dřeva, dřevěného uhlí a obilných zrn získané během procesu exkavace. Jakmile byla získána všechna data radiokarbonu, byl použit i program statistické analýzy, který vytvořil model pro propojení veškerých získaných dat. Tento typ statistického modelování, nazvaný Bayesovská analýza, pomáhá otestovat teorie o širokém datu konkrétních událostí. Výsledky ukazují, že počátek na lokalitě můžeme spojovat s obdobím 5. století před naším letopočtem a jeho konec někdy ve 4. až 2. století před naším letopočtem. Bližší charakterizace požáru se díky vzorkům obilných zrn pomohlo přiblížit k rokům 335 a 120 př. n. l. Toto období se díky technice nazvané analýza požárních událostí pomohlo přiblížit k období přibližně 310 př. n. l. (The Archaeology of Dun Deardail. Forestry Commission Scotland 2018, 21-42).

Další etapou bylo i odebrání vzorků půdy, umožňující podrobnou analýzu půdní mikromorfologie pod mikroskopem. Usazování sedimentů umožnilo shromáždit vzorky z hlubších vrstev blízkého rašeliniště, které krom rekonstrukce krajiny v minulosti poskytly data o důkazech hoření a požáru v jejich okolí. Rašelina tak poskytuje vynikající podmínky pro zachování fosilního pylu a dřevěného uhlí, které můžeme použít při další analýze. Analýzou počtu a plochy makroskopických vloček uhlí lze pak statisticky zjišťovat konkrétní události požáru. V roce 310 př. n. l. tak analýza informuje o mimořádně rozsáhlé požární události, která je společná se záznamem ze zuhelnatělého materiálu. Při mineralogickém průzkumu pod mikroskopem pak byl zkoumán i použitý kamenný materiál na výstavbu opevnění. Závěry tohoto

průzkumu poukazují na jednotlivé části opevnění s teplotou vyšší než 800°C (z důvodu obsahu mulitu) a části pohybující se v rozmezí teplot 700-800°C, na což poukazuje přítomnost biotitu a živce. Skenovací elektronová mikroskopie nám pak dovoluje analyzovat materiál ještě v dokonce jemnějším měřítku, což nám umožňuje zkoumat jednotlivé krystaly a vytvořit obraz o chemických změnách v roztavených skalních úlomcích. Použitím chemického složení některých minerálů ve struktuře, jako je ortoklasový živec a silliminit, můžeme odhadnout teplotu kamenného materiálu v období již tavby samotné. Pro lokalitu Dun Deardail tak byla dána rozmezí mezi 850°C a 1100°C pro taveninu. Tyto teploty také vedly k myšlence o trvalém a intenzivním požáru. Mössbauerova spektroskopie pak napomohla k přiblížení množství železa v kamenitém materiálu. Forma, ve které se tento prvek nachází, poukazuje, zda byl kyslík v hojnosti nebo chyběl v okamžiku roztavení hornin. Nedostatek kyslíku by pak svědčil o pokrytí taveniny čímsi, co by zabránilo vnikání kyslíku a jeho následné vyčerpání v procesu spalování. Tato teze byla potvrzena výsledky, které opravdu potvrzují ztuhnutí taveniny v oblasti systému z důvodu nedostatku kyslíku. Tento povrch tak mohl být úmyslným jednáním z důvodu zvýšení teploty či samotným produktem velké masy vytvořené taveniny, která by celý systém pokryla. Ve spojení s touto tezí můžeme uvést příklad experimentální činnosti na okraji města Aberdeen ve východním Skotsku, kde se použila směs drnů k zabudování do konstrukce z důvodu zabránění proudění vzduchu do vnitřní části jádra. Tento proces pak měl dopomoci k dosažení vyšších teplot, a to i při omezení přístupu kyslíku. Výsledek se však v tomto případě projevil především při stabilizaci nižších teplot okolo 20°C. Nutno však s touto situací zmínit velmi nevýhodné podmínky, a to jak v souvislosti použitého konstrukčního materiálu, tak i z pohledu samotné konstrukce a podpalu stěny, kterou doprovázely větrné, chladné a velmi deštivé dny (Ralston 1986, 20-34; The Archaeology of Dun Deardail. Forestry Commission Scotland 2018, 43-55)

6.3. Broborg, Švédsko

Jistě s unikátním potenciálem starověkých pevností z oblasti Švédska nelze nezmínit lokalitu Broborg. S touto lokalitou se též pojí jméno Petera

Krestena, který tvrdil, že teplota potřebná pro vitrifikaci byla příliš vysoká na to, aby se jednalo o náhodný motiv vytvoření. Teploty pro vitrifikaci nalezeného kamenitého materiálu pak připisoval teplotám okolo 1200°C. Nalezená pevnost na lokalitě Broborg nemá charakter “nepropustné” konstrukce a je zde znatelný obsah mezer mezi jednotlivými kameny (Weaver a kol. 2017, 1-2; Bechtel National, Inc., U.S. Department of Energy Office of River Protection. Hanford vit plant [online]. Washington © 2007 [citováno 9.2. 2020]. Dostupné z: <https://www.hanfordvitplant.com/>).

Je možné samozřejmě uvažovat i o jakési součásti návrhu konstrukce, důsledku “usazování” struktury v průběhu doby či pozůstatku po popraskání kamenitého materiálu během ohřevu. Zmiňované dutiny pak byly přirozené nebo úmyslně zasypány půdou společně s organickými a anorganickými zbytky. Zřetelná je také poréznost materiálu s častým otevřením či propojením pórů. Tento otevřený charakter opevnění se tak promítl i na průtoku a průsaku vody, a to přímo struktury jeho konstrukce (Weaver a kol. 2017, 1-2; <https://www.hanfordvitplant.com/>).

Pro úspěšné modelování musí být také známé změny podmínek prostředí. Jedná se tedy o dostatečnou informovanost o změnách vegetace, paleogeografii a dopadu člověka na okolí Broborg (farnost Husby-Långhundra). Tyto údaje jsou pro daný region k dispozici z důvodu místního archeologického významu v oblasti zpracování železa Švédska/Skandinávie. Využití této lokality pak bylo pravděpodobně během švédské doby stěhování národů (Migration Period, 375-550 n. l.). Opuštění však lze spojit až s obdobím před tisíciletím. Pylové analýzy pak byly poskytnuty z nedalekých sedimentů pro objasnění vývoje krajiny, které poukazují na stav zemědělství či stupeň odlesnění. První meteorologické záznamy daného místa sahají až do 17. století a obsahují informace o klimatu s časovým rozlišením denních hodnot a častěji měsíčních průměrů. Nejdelší soupis meteorologických dat pro tuto lokalitu byl zahájen v roce 1722 a pokračuje až do současné doby. Obecně však lze říci, že sklo bylo řízeno počátečními podmínkami po vypálení, přičemž mezi výrazně ovlivňující parametry lze řadit teplotu, objem vody ale i globální klimatické podmínky za posledních 1500 let. Odebrané vzorky z hradiště mají velikost

okolo 5cm³- 30 cm³ a jejich datace spadá od 650 do 1050 AD. Z pohledu litologie se týká o žulové balvany, které jsou spojeny sklovitými oblastmi, které jsou často připisovány zbytkovému stavu amfibolitických hornin složených především z amfibolových minerálů, plagioklasového živce a křemene. Charakterizaci amfibolového minerálu můžeme přiblížit jako křemičitan s dvojitým řetězcem, ve kterém jsou řetězce variabilně uspořádány. Příkladem amfibolových minerálů je aktinolit. Analýza vzorku se týkala typu skla tmavšího odstínu a čirého odstínu. Ty byly mj. zmiňovány a charakterizovány již Peterem Krestenem s kolektivem. Tmavší sklo pak mělo být vytvořeno jako důsledek nesouměrného tavení amfibolitu. Charakter složení tohoto skla je možné přiřadit k čedičovým sklům s vyšším obsahem železa a nízkým obsahem alkalických prvků. Mezi možný návrh lze zařadit i myšlenku o krystalech železa, které se v tmavém skle mohly vytvořit až po ochlazení nebo mohly být zastoupeny již v počáteční hornině, ale v době výpalu procházely neúplným táním. Druhým typem je tzv. čiré sklo, které je křemeno-živcového charakteru, jež se mohlo vytvořit roztavením a následným sloučením fází přítomných v žulové rule tvořící stěnu. K podpalu a následnému roztavení kamenného materiálu pak pravděpodobně bylo použito dřevo, jehož pozůstatky máme v podobě otisků na povrchu roztaveného materiálu. Některé vzorky skleněného materiálu také mj. poukázaly na zahrnutí prvku Fe, což by mohlo poukazovat na možné redukční podmínky (Weaver a kol. 2017, 3-4).

Jednotlivé vzorky byly nejprve vizuálně zkontrolovány a jejich fyzický vzhled zaznamenán jak v písemném, tak digitálním formátu. Další etapou bylo vybrání vhodného vzorku pro řez, který musel být dostatečně robustní a musel obsahovat dostatečné množství tmavého a čirého skla. Pro posouzení vnitřní struktury artefaktu byla použita rentgenová počítačová tomografie (XCT). Vytvoření řezu bylo za sucha pásovou pilou s následnou analýzou pomocí mikroskopické rentgenové difrakce (μ -XRD), mikroskopickou rentgenovou fluorescencí (μ -XRF), skenovací elektronovou mikroskopií (SEM), řezem pomocí fokusovaného iontového paprsku (FIB) a skenovací transmisní elektronovou mikroskopií (STEM; Weaver a kol. 2017, 4).

Jak již bylo nastíněno, vnitřní mikrostruktura vzorku před řezáním byla analyzována pomocí XCT. Skenování vzorku pak bylo za pomoci skenovacím mikroskopem Nikon XTH 320/225kV s vysokým rozlišením pro mikroostření při rentgenovém výkonu 95 kV a 165 μ A pro optimální kvalitu obrazu a kontrast. Celkem se tak jednalo o shromáždění 3142 projekcí. Jednotlivé snímky pak sloužily k rekonstrukci trojrozměrného datového souboru. Následující proces lze charakterizovat jako řez vzorku, jehož zásadním hlediskem bylo zabránění kontaminace artefaktu (, a to jak části, která má být zachována, tak části, která má být analyzována) materiálem bohatý na uhlík, což může zahrnovat grafit, ale i maziva na bázi olejů. Důvodem zabránění kontaminace spočíval v možném ztížení analýzy organického vzorku. Dále byla vyloučena i maziva na vodní bázi, u kterých byl velmi pravděpodobný nepříznivý vliv na jemné struktury a mohla by tak odstranit usazeniny organických látek. To bylo i důvodem, proč se aplikoval postup bez kapalných či pevných maziv za sucha. Broborg měl při vizuální kontrole oblasti s různou hustotou, jejichž tmavé a čisté oblasti v XCT snímku poukazují na rozdíly v elementární chemii. Dále obsahoval i oblasti s pozůstatky tavby, které byly pozorovatelné na základě “bublinových” struktur. Povrch pak tvořilo tmavý až čirý sklovitý materiál (Weaver a kol. 2017, 4-5).

Z nedestruktivních metod můžeme zmínit mikro-rentgenovou difrakci či mikro-rentgenovou fluorescenci. Mikro rentgenová difrakce (μ XRD) odebraných vzorků byla měřena pomocí přístroje Rigaku D/ Max Rapid II μ XRD s detektorem obrazových destiček. Mikro rentgenová fluorescence (μ XRF) pak byla provedena pomocí analyzátoru EDAX Orbis Micro-XRF se zdrojem rentgenového zdroje Mo a křemíkovým detektorem (Weaver a kol. 2017, 5).

Ze semidestruktivních metod lze jmenovat skenovací elektronovou mikroskopii s použitím fokusovaného iontového paprsku (FIB-SEM), kde byly vzorky analyzovány pomocí přístroje FEI Helios NanoLab 660 FIB-SEM s energiově disperzním spektrometrem (EDS). Z pohledu vizuálního a chemického popisu byla většina vzorků pokryta prachem a viditelnými nečistotami. Byly zaznamenány i pozůstatky sekáče, které pravděpodobně lze pojit s výkopovým procesem (Weaver a kol. 2017, 5-8).

Z pohledu hlavních složek čirého skla můžeme poukázat především na obsah prvků Na, Al, K a Si. Zvýšené množství K ve sklovitém materiálu je pak připisován tavně dřevěného uhlí. Hlavním nositelem zvýšené koncentrace by tedy bylo množství popela a uhlí, které by mohly stát i za produkcí uhličitánů alkalických kovů, kovů alkalických zemin při teplotách uváděných pro spalování na lokalitě Broborg. Uhličitany by pak výrazným způsobem ovlivnily množství prvku K během procesu vitrifikace. Zdrojovému materiálu, kterým mohou být smíšené křemenné a živcové části žulové rudy, lze připisovat vyšší koncentraci Si a Al v čirém sklovitém materiálu. Pokud by však hlavním zdrojem Al či Si byl amfibolit či jiná složka bohatá na železo, jež by byla obsažena v žulových materiálech, projevilo by se to především na zvýšené koncentraci Fe v čirém skle. Čiré sklo tak pravděpodobně nebylo vyrobeno z taveniny čistých křemenných fází v ruce s předpokládanou teplotou tání okolo 1130°C, jejichž teploty byly příliš nízké pro tání tridymitu (1670°C) a cristobalitu (1713°C). Původ čirého skla lze možno najít ve smíchání množství křemene a draslíku s původem z organického paliva či živce draselného. To, co je tedy zjevné je podstatně nižší teplota oproti křemičitanovým sklům, pro které se uvádějí teploty >1400°C. Významným způsobem by se mohla podílet i role vody a těkavých prvků (např. F, Cl), které by dokázaly snížit viskozitu taveniny nebo snížit teplotu tání. Účinky vody byly dokumentovány především u silikátových skel, kde se výrazně podílely na tání amfibolitů. Další prvky v čirém skle se připisují přítomnosti slídy s relativně nízkým obsahem Fe (např. muskovit). Obsah tohoto minerálu pak je identifikován v žulových rulách, jež jsou použity jako stavební materiál opevnění. V jiných studiích pak mělo k tání materiálu docházet již při teplotách 800-950°C jako důsledek rozkladu slídy (jakým je např. biotit) s následnou reakcí křemenného materiálu. Tento proces měl být ještě doplněn o vznik draselných živců, ortopyroxenů a kapalin. Zisk všech těchto elementů pak mohl být ve spojitosti s roztaveným amfibolitem. Odlišnost v chemii tmavého skla je především spjata s vyšším množstvím Fe (jako Fe₂O₃: 0,91% hmotnosti - čiré sklo vs. 11,75% hmotnosti - tmavé sklo), alkalických zemin (CaO: 0,22% hmotnosti - čiré sklo vs. 11,33% hmotnosti - tmavé sklo), přechodných kovů (TiO₂: 0,15% hmotnosti - čiré sklo vs. 1,63% hmotnosti - tmavé sklo) a naopak nižším množstvím z pohledu alkalických zemin (K₂O: 8,94% hmotnosti - čiré sklo vs. 2,39% hmotnosti -

tmavé sklo) a Si (SiO_2 : 67,37% hmotnosti - čiré sklo vs. 48,95% hmotnosti - tmavé sklo). Podobnost chemie tmavého skla je možno přiřadit k některým čedičovým sklům. Dále byly nalezeny i krystalické fáze, jejichž souvislost lze hledat s fázemi nalezenými v amfibolitu (Weaver a kol. 2017, 9-10).

K potvrzení tohoto předpokladu, byly provedeny chemické a mineralogické analýzy metamorfovaných maficko-přechodných hornin odebraných z výchozů na lokalitě Broborg. Byly zde nalezeny různé podíly hornblendu (amfibolu), oligoklasů, plagioklasů (albitu, anorthitu), chloritů (pravděpodobně změněné slídy) a křemene. Tmavé sklo tak je pravděpodobně výsledkem tavení amfibolitu, který byl vystaven stejným teplotám jako u žulového materiálu. U amfibolů je pravděpodobné, že se rozkládají na bezvodé minerály, zejména na pyroxeny (např. diopsid), které při zvýšených teplotách taveniny a tavbě živcových fází (teplota roztoku Albitu je 1118°C) prochází k transformaci do tmavého skla. Možné nižší teploty tání bychom mohli spojovat s přítomností vody (Weaver a kol. 2017, 10).

Tvorba polokruhovitých vzorů na povrchu může být známkou mikrobiálně indukované alterace. Tyto změny byly pozorovány již dříve v sopečném sklu, a to v důsledku změn vyvolanými mikroby. Je tedy velmi pravděpodobné, že za změnu skel je zodpovědné více mechanismů - a to jak abioticky či bioticky řízených. Souvislost těchto mechanismů lze pravděpodobně hledat v metabolických procesech biologických druhů na povrchu skla, rychlosti doplňování vody a půdní chemii, jež je ve styku se sklem. Silný vliv zastává i činnost mikrobů, jež se podílí na rychlosti a mechanismech změn sklovitého materiálu. Tuto činnost by tak mohly mít za následek organické kyseliny, jež jsou produkovány některými mikroorganismy, a které se mohou pozitivně či negativně podílet na změnách. Bohužel větší soustředěnost na vliv mikrobů zatím nebyla provedena. Pro charakterizaci metabolických procesů, které mohou být aktivní na skleněném povrchu materiálu, či jeho vedlejších produktech, je nezbytná bližší znalost mikrobů v daném prostředí či v blízkosti povrchu. Bližší poznání zastoupených druhů přibližuje informovanost o pH měnícího se roztoku. Jedná se o regulaci pH různými třídami organismů, které se podílejí na "obyvatelnějším" povrchu, kde mohou žít. Při možném příkladu

lze poukázat na fototrofy, organismy jež biologicky reagují na světlo a mohou zvyšovat pH kontaktního roztoku na více než deset. Tato hodnota tak může vést k výraznému zrychlení procesu změny. U jiných organismů, jejichž proces změny se týká $\text{pH} > 5$, pak může také zrychlit proces změny, ale pouze ve spojitosti s kyselinou šťavelovou, jež je běžně přítomna v přírodním prostředí. Krom toho se zdá, že pH hraje důležitou roli i v tvorbě sekundárních (tj. krystalických) alteračních fází z aluminosilikátových hydrogelů. Pokud je nadbytek hydroxidových aniontů a zásad, hydrogel se mineralizuje na zeolity. Tvorba zeolitů je často spojována s opakovaným procesem rozpouštění skla. Vzorky z lokality Broborg tedy přesně charakterizují biosféru obklopující sklovitý materiál opevnění. K bližší charakterizaci tedy byla použita extrakce DNA ze vzorků s následnou kvantitativní polymerázovou řetězovou reakcí (qPCR). Tento postup by pak měl umožnit srovnání biomasy bakterií s houbovitou biomasou, a to jak ve spojení s okolní půdou, tak i sklem. DNA pak může být využita k analyzování diverzity přítomných houbových či bakteriálních komunit. Jednotlivé informace pak byly společně aplikovány v souvislosti s daným vegetativním růstem a počasím, jež byly shromážděny pro lokalitu nebo její blízké okolí (Weaver a kol. 2017, 11).

Vzorky také poskytly data k částečnému poodhalení technik tání, jež byly v minulosti použity při stavbě opevnění na lokalitě Broborg. Množství vitrifikovaného materiálu většiny minerálů, má vyšší teploty tání, jež by jen stěží mohli lidé z minulosti dosáhnout. Je tedy velmi pravděpodobné použití speciálních technik, jež vedly ke snížení teploty tání jednotlivých minerálů, nebo k dosažení vyšších teplot. K dosažení vyšších teplot mohly být použity měchy či přirozený tah. Teplota tání pak může být snížena přítomností vody ve zdroji paliva a hydratovanými minerály v amfibolitu (Weaver a kol. 2017, 12).

6.4. Passo Alto, Serpa, Portugalsko

Osada Passo Alto se nachází v jihozápadním Portugalsku na vrcholu malého kopce nedaleko soutoku dvou řek. Na lokalitě pak jsou archeologické nálezy především spjaté s množstvím keramiky, které byly shromážděny během několika archeologických výzkumů. Časové zařazení tohoto materiálu pak

poukazuje na pozdní dobu bronzovou, se kterou by mělo být spjato i osídlení osady samotné. Přirozená obrana tohoto sídliště je na severní straně vhodně doplněna opevněním, a to v místech nejjednoduššího přístupu. Výzkum odkryvem pak umožnil blíže charakterizovat strukturu valu, jehož základ se skládá především z břidlicových bloků ve vnější ploše, vertikálních břidlicových desek v ploše vnitřní a malých kamenů s kompaktní půdou jež tvoří samotnou vnitřní část valu. Jednotlivé kamenné úlomky poukazující na doklady částečné tavby jsou pak přítomny v oblasti valu, a to především na místech možného hlavního vchodu. První předběžná interpretace těchto horninových fragmentů tak přisoudila tuto situaci k metalurgickým procesům. Tato interpretace se však zdá dosti zavádějící, a to především s ohledem na podrobnější analýzy, jež zjistily nedostatek rudních minerálů a tavící strusky. Tuto situaci tak lze jen těžko sladit s typickým tavením kovu v době bronzové. Z tohoto důvodu tak došlo k alternativní interpretaci, jež předpokládala proces vitifikace horninového materiálu poblíž hlavního vchodu. Tato interpretace také zvažuje možnost dochování dřevěné konstrukce, jež by mohla tvořit společně s horninovými fragmenty jednotný celek obranné zdi (Díaz-Martínez a kol. 2005, 152- 155).

Z důvodu nesourodosti s metalurgickými procesy tak byla provedena podrobná studie částečně roztavených fragmentů, jež byly nalezeny v tak velkém objemu. Po bližším studiu lze v místních horninách pozorovat střídavé pásy světle zbarveného křemene a tmavší slídy. Ve vitifikované hornině je pak patrné roztavení slídového materiálu ve tmavé sklo (obr. 13). Stupeň tavby vitifikovaných fragmentů se pak liší vzorek od vzorku, načež poukazuje i rozdílnost šířky jednotlivých minerálních pásů. Charakteristickým znakem některých z těchto fragmentů vitifikované horniny je přítomnost zuhelnatělého materiálu doloženého na jejich povrchu (Díaz-Martínez a kol. 2005, 155-156).

Elektronové mikroprobové analýzy společně s analýzami zpětně rozptýlených elektronů (BSE) umožnily charakterizovat jak variabilní složení různých fylosilikátů v břidlici, tak i silné složení heterogenity ve skle vitifikované horniny. Obě tyto metody také umožnily identifikovat malé krystaly, jež se nacházejí ve skle. Jedná se nejčastěji o mullity a hercypy s častou variabilitou

v kompozici, která následně vede k dalším podobným fázím, jako jsou např. feritový mullit či magnézijský hercyt. Dále nelze opomenout ani magnetit, ilmenit a kapičky nativního železa. To, co je častým prvkem, je i zónování minerálních fází skupiny spinelů. K tomuto jevu pak obvykle dochází se zvyšováním množství železa a poklesem množství hořčíku. Obsah kapiček železa jsou pak časté jen lokálně a obvykle obsahují obsah fosforu (až 3%). Elektronová mikroprobová analýza také mj. poukazuje na malé lokální odlišnosti ve složení. Pravděpodobně se tak jedná z důvodu různorodosti slídového materiálu (muskovit, biotit a chlorit), jež je obsažen v břidlicové hornině (Díaz-Martínez a kol. 2005, 158).

Malé krystalky, identifikované pomocí optického mikroskopu, XRD, elektronového mikroskopu a mikrosondové analýzy jsou spojovány s minerálními fázemi, které jsou výsledkem nesourodého tavení slídy a rychlého ochlazování taveniny uvnitř skleněné matrice. Přítomnost těchto minerálů by pak měla souviset především s obsahem Al a Fe v křemičité tavenině, jako důsledek nesourodého tavení slídy v břidlicové hornině. Mineralogické složení ukazuje, že dosažené teploty při částečné tavně nemohou překročit 1100°C, ke kteréžto pravděpodobně došlo rychlým ohřevem a následným rychlým ochlazením při okolním povrchovém tlaku. Tyto údaje jsou pak potvrzeny i na jiných vitrifikovaných opevněních (Díaz-Martínez a kol. 2005, 159).

Před úplným spálením dřevěného materiálu tedy došlo k procesu tavby, a to uvnitř stěny. Vedle důkazů o přímém kontaktu mezi dřevěnou konstrukcí a samotnými horninami, poskytuje možné další vysvětlení i heterogenita složení skla, kde je možné, že právě za vznikem vysokých koncentrací K a P stojí resorpce popela ze spalování dřevěného materiálu. Tyto prvky zde však zauímají poměrně neopomenutelnou roli, kdy výrazným způsobem přispívají ke snižování teplot tání křemičitanů, a to alespoň v blízkosti vitrifikovaných klastických sedimentů. Tento proces tak vede k tvorbě méně viskózní taveniny a skla, což usnadňuje opětovnou tavbu těchto sedimentů (Díaz-Martínez a kol. 2005, 159).

6.5. Ayrshire, Skotsko

Samotná geologie tohoto místa je tvořena dvěma různými druhy bazaltové horniny. Tyto horniny jsou pak velmi magnetické a jako takové mohou být pro provádění geofyzikálního průzkumu problematické. Problematika zvýšené magnetické odezvy se pak řešila v případě měření magnetickým gradiometrem pomocí zvýšení běžných hodnot na desetinásobek (1000nT). Zachycení podpovrchových struktur tak bohužel souviselo (v tomto případě) se zhoršením rozlišení. Výsledky gradiometru pak poukázaly na velký rozsah hodnot, a to především ve spojení s exponovaným podložím na východním hřebenu. Velmi vysoké reakce pak byly také zaznamenány podél jedné ze severních hradeb. Tato oblast byla však spíše pokryta travním porostem a nejednalo se o přítomnost exponovaného materiálu. Vysoká odezva tak mohla být interpretována jako struktura opevnění zkonstruovaná z bazaltového podloží či z jiného materiálu, který z důvodu vitrifikace zvýšil svůj magnetismus (Goodchild 2016, 10-12).

Kromě těchto výsledků pak bylo v datech nalezeno množství lineárních struktur s nízkými a vysokými odezvami s umístěním na západní straně kopce, které bohužel nesouhlasí s žádnými stávajícími zemními pracemi, a vzhledem k jejich silným reakcím by tak mohly vypovídat o geologických formacích. Výsledky získané pomocí magnetické citlivosti pak jen potvrzují již zmiňované informace, což lze vztahovat i k výsledkům elektrického odporu, které taktéž výrazně nepřispěly k rozvoji nových informací (Goodchild 2016, 12).

Závěrem můžeme poznamenat, že nízký odpor na vrcholu kopce je pravděpodobně spojen s převahou mechu v této oblasti. Dokonce i oblasti exponovaného podloží byly naměřeny s překvapivě nízkými hodnotami. To vše lze spojit s vegetačním krytem, který si zachovává více vlhkosti než okolní zatravněné plochy (Goodchild 2016, 12).

6.6. Dunnideer, Aberdeenshire, Skotsko

Lokalita je umístěna na vrcholu prominentního pahorku s podlouhlým charakterem. Vnitřní opevnění je pak značně vitrifikováno a dosahuje rozměrů 67m* 27m. V nalézaných situacích je pravděpodobné, že u většiny vitrifikovaného materiálu se jedná o přemístění ze své původní polohy. Vnější dvě opevnění jsou pak umístěna níže na svazích tohoto vrcholku. Vnější prostor pak dosahuje rozměrů 290m* 183m, a to s pravděpodobnými vstupy na východ a na západ. Nutno však zmínit, že výrazné množství vitrifikovaného materiálu z podlouhlé pevnosti bylo použito při pozdější stavbě věžového domu. Ve většině případů je ale pravděpodobné, že vitrifikovaný materiál opevnění je dosud in situ (Cook a kol. 2010, 82-83).

Po průzkumu odkryvem vnitřního opevnění bylo definovat dva odlišné kontexty. Vrchní kontext 1002 se skládal většinou ze sypkého kamene a byl spojován se středověkou keramikou. Spodní kontext 1003 pak byl o něco více kompaktní a obsahoval velké množství uhlí s absencí středověké keramiky. Kolaps vnitřního opevnění lze pravděpodobně spojit s "vykrádáním" materiálu pro stavbu pozdějšího věžního domu. Vrstvy ve spodních úrovních (1003 a 1004) jsou pak považovány za primární materiál odvozený z vitrifikace hradby. Vrstva 1004 by pak podle předpokladů měla představovat tuhou hmotu paliva umístěnou na vnitřní stěně hradby, zatímco horní vrstva 1003 je směsí paliva a zhrouteného opevnění. Nalézané uhlí tak mohlo být buď palivem pro vitrifikační proces nebo se mohlo jednat o zhroutenou dřevěnou strukturu uvnitř opevnění. Přítomnost lískových prutů pak může být vysvětlena jako součást pozůstatků proutěných struktur, jakými mohly být např. zdi či střechy (Cook a kol. 2010, 84).

Pro bližší poznání období vitrifikace výrazně pomohla radiokarbonová metoda nalezených kusů lískového uhlí z kontextu 1004 a 1003. Datace v kontextu 1004 pak směřovala k období 370-160 cal. BC. Druhý kus z kontextu 1003, pak byl zařazen do období 390-190 cal. BC. Tato data tedy necharakterizují období vitrifikace pevnosti, ale okamžik, kdy byl dřevěný prut sesekán a nuno jej tedy přiřadit k předcházejícímu období před vzplanutím

pevnosti. Nutno však vzít v potaz i dřívější sesekání lískového materiálu (např. 10 let před spálením), a tak může být považována i za konečný post quem pro vitifikaci dané pevnosti. Dr. Mark Houndlow z centra životního prostředí lancasterské univerzity společně se Samem Harrisem z univerzity v Bradfordu, odebrali v roce 2010 šest archeomagnetických vzorků z vitifikovaného opevnění. Časové rozmezí pak odpovídá období mezi 606-257 BC, což představuje koncový ante quem pro vitifikaci opevnění (Cook a kol. 2010, 84-86).

Radiometrická a archeomagnetická data tedy směřují k datu požáru ve třetí čtvrtině 1. tisíciletí BC. V širším pojetí pak data můžeme s jistotou tedy připisovat druhé polovině 1. tisíciletí BC. Z možných scénářů je tedy možná varianta budování a podpalování opevnění, a to napříč čtyřmi závěrečnými staletími či se může jednat o velmi úzké období rozkvětu (Cook a kol. 2010, 86-87).

6.7. Craig Phadrig, Inverness, Skotsko

Oproti ostatním pevnostem je lokalita Craig Phadrig poměrně přímočarého charakteru se zaoblenými nárožními. Obdélné tvary ve východním Skotsku pak zaujímají pevnosti jako Knock Farril, Dunnideer, Tap O 'Noth, Finavon a mnoho dalších. Obdélníková vnitřní část opevnění na lokalitě Craig Phadrig uzavírá oblast s rozměry 72* 22 metrů. Rozměry náspu jsou pak značně redukovány a dosahují tloušťky 12m a výšky 1,4 m. Vnitřní část je také značně zarostlá travou, kapradím a stromy. Mezi první moderní výzkum odkryvem můžeme řadit práce Alana Smalla a Barryma Cottama, kteří v letech 1971 a 1972 odkryli část valového tělesa na severovýchodě, východě a jihozápadě. V roce 1971 tak došlo k odhalení mohutné kamenné zdi složené ze spodních základových bloků a drobnějšího materiálu ve vyšších vrstvách. Dále se našly i pozůstatky dřevěných trámů z oblasti jádra, které díky radiokarbonové analýze odkazovaly na období výstavby ve 4. století před naším letopočtem. Způsob vnějšího opevnění je pak méně jasný. Zdá se, že vitifikovaný materiál je přítomen pouze na západní straně, a to jak uvnitř, tak vně opevnění. Z výzkumu je tedy velmi pravděpodobné uvažovat o osídlení v

době železné a následně až v období raného středověku. Na severovýchodní části pak bylo zaznamenáno množství zvířecích kostí, rašelinového popela a bronzový špendlík (Peteranna - Birch 2018, 61- 65).

Lokalita však byla průlomová i z důvodu využití radiokarbonového datování, kdy se řadí mezi jednu z prvních. Odebráno tak bylo sedm vzorků uhlí, které však měly vysokou míru chyb a odkazovaly na poměrně široká data (od 800BC-100AD, 550BC-350AD a 200AD - 800AD). Bouře v roce 2015 však zapříčinila pád dvou stromů a poodhalila vnitřní část opevnění (Peteranna - Birch 2018, 65- 70).

V průběhu průzkumu odkryvem bylo shromážděno celkem 22 environmentálních vzorků, které byly následně analyzovány archeologickou skupinou AOC. Jednalo se především o zbytky spálených rostlin, dřevěného uhlí a spálené kosti. Zkoumáno a hodnoceno bylo i devatenáct vzorků vitrifikovaného kamene. Výzkum odkryvem ale dokázal poodhalit i nové informace o opevnění samotném. Strukturu lze rozdělit na oblast: “primární zdi”, “horní část jádra” a “horní část náspu”. Struktura “primární zdi” pak měla šířku 6,5 m a výšku 1,8 m. V “horní oblasti jádra” primární stěny byl identifikován úzký příkop či palisádový příkop se zřetelnou činností tepla a vitrifikační materiálu. “Horní část náspu” je definována úpravou povrchu pomocí kamenného materiálu a možného zasazení sloupu. S tím lze spojit objev výplně bohaté na dubové uhlí. V jámě pak bylo nalezeno i menší množství březového a olšového uhlí. Vzorek březového uhlí poskytoval radiokarbonové datum 1018-1155 cal. AD s 95% pravděpodobností. Dále byl nalezen i obsah skořápek lískových ořechů, který bylo díky radiokarbonové metodě možno datovat do 1036- 1205 AD (Peteranna - Birch 2018, 65- 70).

Z celkového množství je nutno uvést, že 97% karbonizovaných zbytků (28,3g) tvořilo dubové uhlí a je možné spojovat se spalováním vertikálních dřevěných sloupků, které pravděpodobně tvořily palisádu. Palisáda pak byla upevněna do horní části jádra primární stěny. Jediný nalezený vzorek březového uhlí poskytl radiokarbonové datum 416- 556 cal. AD (Peteranna - Birch 2018, 65- 70).

Naproti tomu, že tento výsledek koreluje se dříve známými daty středověkého osídlení, nemusí nutně poukazovat na data vystavení palisády, ale může charakterizovat datum post quem této lokality. Horní oblast jádra také odhalila koncentraci výrazné vitrifikace kamenitého materiálu se znatelným rozptýlením. Díky této oblasti tak dokážeme blíže charakterizovat místa, kde byly teploty nejvyšší s možnou souvislostí umístění konstrukčních trámů. Dále byly v jádru primární stěny nalezeny i fragmenty spálených kostí savců. Druhy použitých dřevin byly pro jednotlivé kontexty různé. Dub se však jeví jako nejvíce oblíbený. Množství dubu je tak možné považovat za strukturální prvky primární zdi a její pozdější renovace. Přítomnost březového, olšového a lískového dřeva by pak mohlo představovat palivo pro podpal a vitrifikaci primární zdi (Peteranna - Birch 2018, 70-75).

Horní zhroucená vrstva pak obsahovala větší množství smíšeného materiálu kamene a písčitohlinité hmoty. Oblast mezi ní a spodní vrstvou byla tvořena kameny v písčité matrici s množstvím vzduchem naplněných dutinek. Rozměrnější kamenné desky byly v destruované matrici nalezeny ve svislém směru proti čelu zdi. Dále byly nalezeny i velké kusy zborceného a tepelně opracovaného materiálu s jasnými známkami vitrifikace. Naopak vnitřní část opevnění obsahovala pouze malé množství vitrifikovaného kamene. Horní úroveň tak mohly být zhrouceny během fáze destrukce a během následného využití vyčištěny z vnitřní části pevnosti. Z procesu kolapsu bylo získáno 30,1g fragmentů olšového a březového dřeva. Radiokarbonové datum olšového dřeva ze spodní části odkazovala na data 409–235 cal BC. Lze tedy tento vzorek spojovat s obdobím podpálení a kolapsu stěny jako koncový post quem. Oblast vnější pevnosti lze charakterizovat jako řadu velkých balvanů ve spojení s menšími fragmenty. Čelní kameny pak byly v nižších úrovních větší. Horní část pak nevykazovala žádné viditelné známky po dřevěných konstrukcích. Ve spodní části však byly zřetelné kameny s mezerami, které mohly představovat místa začlenění horizontálních trámů. Čelní zeď pak poukazuje na procesy praskání, odlupování a zbarvení materiálu ve spojitosti s činností ohně. Žádný z nich však nebyl vitrifikován. Dále byly během odkryvu nalezeny i spálené a nespálené fragmenty savců, jakými byly kosti a zuby prasete. Jediný vzorek

březového uhlíku pak odkazoval na datum 361-176 cal BC. Odkryv čelní stěny odhalil i jamku, která byla interpretována jako spálený dubový sloup (nalezeno 131,8 g dubového uhlí) v horní části zdi a spálený in situ. Horní oblast dále obsahovala i jasně oranžový až žlutý rašelinový popel obsahující 19 malých fragmentů kostí savců, z nichž jeden byl identifikován jako ovce / koza. Byly zde však zaznamenány i menší množství březových uhlíků a spálené skořápky lískových oříšků, které charakterizovaly období pozdějšího středověkého osídlení (1028-1183 cal BC). Na základě vrstev, které byly spojeny s prvotním požárem a kolapsem primární zdi a z nich vyjmutých dvou vzorků dřevěného uhlí byl proces destrukce radiokarbonově datován do období 4. - 3. stol. př. n. l. V pozdějším období došlo i k modifikaci horní oblasti silně vitrifikované primární stěny se vztyčením dubové palisády. Tyto obranné prvky však pravděpodobně podlely požáru a lze je přiřadit k výplni ve tvaru V s množstvím dubového uhlí. Proces požáru je, díky radiokarbonové metodě odebraného březového uhlíku, charakterizován od počátku 5. až do poloviny 6. století. Datace však přibližuje období pouze koncového post quem. Pro období následné přestavby horního jádra bohužel nemáme jasná radiokarbonová data. Do jisté míry nám však situaci může objasnit skořápka lískového ořechu z kontextu pod zhroucenými kameny, která poskytovala časové období od 11. do počátku 13. století. S tímto nutno připomenout i Alana Smalla, který s těmito myšlenkami rekonstrukce také sympatizoval. Možnou podporou pro tuto dataci by tak mohl přispět radiokarbonový výsledek uhlíku z jamky v blízkosti tohoto místa, spadající do 11. až poloviny 12. století (Peteranna - Birch 2018, 75- 78).

6.8. Jižní oblast Morare a Moidart, Skotsko

V oblasti South Morare a Moidart se celkem nachází celkem šest pevností (obr. 20), z čehož čtyři mají jasné známky vitrifikace. První z nich se vyskytuje na poloostrově Rubh Aird Ghamhsgail. Další dvě na ostrově Eilean nan Gobhar. A poslední z nich pak na kopci Shielfoot, jež je známý pod názvem Torr (obr. 21, 22; Friend - Dye - Fowler 2007, 1687).

Dvě z těchto pevností (Rubh Aird Ghamhsgail a Torr) jsou pak od sebe vzdáleny asi 15 km a i přes tuto vzdálenost jsou však postaveny v oblasti

podobné geologie, která zahrnuje metamorfované horniny. Tyto dvě pevnosti byly vybrány z několika důvodů. Za prvé se zdá, že jsou vyrobeny ze stejného typu materiálu, a to převážně z pískovcových fragmentů. Za druhé, tato dvě vybraná místa se nacházejí ve zcela odlišných topografických situacích - jeden blízko hladiny moře a druhý na vrcholu prominentního izolovaného kopce. Při hledání způsobu dodávání paliva na topný proces není pochyb o tom, že se jedná o oblast, která byla kdysi hustě zalesněna, ačkoli přesun velkého množství paliva na ostrovy (např. Eilean nam Gobhar) pak poukazuje na mnohem větší složitost situace (Friend - Dye - Fowler 2007, 1687).

Z důvodu testování složení jednotlivých fragmentů a vitrifikovaného materiálu složeného ze sklovité (a do značné míry devitrifikované) matrice byl materiál z obou lokalit podroben analýze oxidů jednotlivých hlavních prvků a prvků minoritních a vzácných zemin (REE), a to za pomoci několika technik. Ukázalo se, že vitrifikovaný vzorek z lokality Torr se stal kapalným při 1050°C - 1230°C, a to při normální hodnotě fosforu. Tato hodnota tedy představuje tekutinu bez těkavých látek v roztavené hornině a dává tedy odhad teploty potřebné k jeho roztavení v současném stavu, nikoli za období jeho "výroby". První tavenina totiž byla vyrobena za přítomnosti těkavých složek, kdy byly teploty nižší. Toto tvrzení pak bylo potvrzeno pomocí experimentu, který pečlivě sleduje tání fosforu na ~2 g rozdrčeného moine pískovce, který se při zahřívání po dobu 24 hodin při 1200°C úplně roztavil. Hlavní prvky společně s Ba, Sr, Y, Cr a Zr byly stanoveny pomocí indukčně vázané spektroskopie plazmatické emise (ICPAES; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686).

To, co je také znatelné, je vysoká míra heterogenně rozptýlených křemičitých zrn. Tento proces tak poukazuje na vysokou pravděpodobnost vysokého zastoupení SiO₂. Křemen dále neobsahuje žádné prvky vzácných zemin (REE), a proto, pokud jsou přítomny, povede zde k ředícímu účinku a také k mírně nižším měřeným koncentracím REE (Friend - Dye - Fowler 2007, 1691).

Z pohledu analýzy SEM je tavenina také vnitřně heterogenní s tmavě zakalenými částmi. Ty odpovídají složitému vztahu mezi bohatostí nebo naopak

nedostatečností železa v tavenině (obr. 24). Pravděpodobně však tento proces může být způsoben neúplným promícháním nebo začátkem rekrystalizace. Ze studie SEM je také zřejmé, že taveniny krystalizovaly v době zchlazení - přičemž bylo ve fragmentech identifikováno množství minerálních fází. Část heterogenity roztavené taveniny můžeme tedy v této souvislosti připsat krystalizačním fázím. Mezi identifikované fáze patří aluminózní spinel spojený s magnetitem, plagioklasem, ortopyroxenem, spinelem bohatým na chrom, ilmenitem, apatitem a fázemi TiO_2 , jenž je považovaný za anatas. Z důvodu zchlazení jsou krystaly špatně polymerovány, což místně přispívá k obtížnému vyhledávání skutečného složení taveniny v podobě jednotlivých minerálů (Friend - Dye - Fowler 2007, 1691).

To, co se však povedlo poodhalit díky studii SEM, bylo odhalení množství denaturovaného biotitu a taveniny. Tento proces tak pravděpodobně je v souladu s myšlenkou, že alespoň některé zbytky suti pravděpodobně poukazují na dřívější tavbu. Prvek fosforu tak mohl ukazovat na přidání fosforu již během procesu tavení. Obě tyto pevnosti jsou tedy konstruovány převážně z Moine pískovcového materiálu, které mají mineralogické složení s dominancí křemene (často >70%) a nižším zastoupením živce, biotitu, muskovitu a granátu. Křemen (čistý SiO_2) je vysoce žáruvzdorný materiál a při atmosférickém tlaku u něj dochází k tavbě zhruba při 2000°C , ale pokud by i tak u takového křemičitého materiálu došlo k tavbě, je velmi nepravděpodobné, že by poskytovalo větší množství taveniny. V přírodních systémech tak lze jen obtížně dosáhnout úplného roztavení křemičitých hornin a obvykle lze nalézt pouze důkaz o částečném tání. Brothwell a Youngblood s kolektivem se obecně shodují v názoru, že neexistují žádné geochemické důkazy o přidání tavidla (rašelina, mořské řasy atd.), které by mohly vést ke snížení teploty tání. To, čemu však byla věnována pozornost, byla skutečnost, že v některých analyzovaných taveninách byl odstraněn fosfor s vazbou na vápník. S tímto se pak dospělo k závěru, že fosfor mohl být přidán ve formě kosti (hydratovaný fosforečnan vápenatý), což nemuselo být nutně použito pro účel tavidla, ale mohlo být začleněno do suti celého systému. K podobnému závěru přispěla i analýza prezentovaná zvýšeným obsahem fosforu (vzhledem k průměrnému složení hornin moine) a krystaly apatitu. Odkryvy uskutečněné na lokalitě Rahoy

pak odhalily i zbytky spálené kosti. Jednou z možných alternativ pro obsah kostí v rámci fortifikace je použití kostí a částí těl pro dekorování pevností. Tyto prvky se tak po vytvoření taveniny mohly z vrchní části hodnověrně začlenit do procesu vitrifikace (Friend - Dye - Fowler 2007, 1689- 1695).

Odlišnost od dřívějších geochemických studií je pak především v množství oxidu křemičitého, který je většinou příliš nízký na to, aby mohl přispět ke skutečnému tání v žulovém systému. Výrazným způsobem však taveninám pomáhají specifické podíly přítomných chemických složek (živce, plagioklas a křemen). Ty při prvotním tavení jedné z těchto složek nutí v procesu tavby ke stále vyšším teplotám. Odstranění zásad a felsických složek znamená, že restit při tavení žuly je mafický zbytek (např. biotit a granát), často s určitým podílem zbytkového křemene a plagioklasového živce. Toto "omezení" by tedy naznačovalo, že pokud by tání proběhlo, mělo by vždy existovat ještě určité množství sutí, která by zanechala žáruvzdorný zbytek neschopný tání při dané teplotě. Tento proces však nebyl pozorován na žádné z uvedených pevností. Možností je tedy tvrzení, že částečné taveniny z těchto typů pevností jsou převážně žulového složení - více křemitičtější a méně mafické než jejich rodičovský materiál. Vitřifikační taveniny však neodpovídají žulovému složení a vytvořená tavenina je pak charakterizována příliš nízkým obsahem SiO_2 (65% versus 75% očekávaná) a příliš vysokou mírou hořčíku a železa s koncentrací oxidů (např. 2-3% MgO oproti 0,5% očekávaným). V granitickém systému s částečným obsahem taveniny tedy zbyde část prvku železa a hořčíku, který za klidového stavu se nesmísí a neroztaví v taveninu. Mezi další problematiku můžeme zařadit i charakteristiku materiálu s dominancí vitřifikovaného pískovce, který se nemůže částečně nebo úplně roztavit, aby se vytvořila minimální roztavená granitická kompozice (Friend - Dye - Fowler 2007, 1696- 1697).

Možností by tedy bylo zahájení reakce specifických minerálů v pelitických, semi-pelitických nebo slídových materiálech. Studie SEM odhalily řadu hliníkových fází a minerálů jako je např. orthopyroxen. Proto je důležité hledat reakce, které by mohly při výrobě tavenin přinést právě tyto minerály. K samotným reakcím pak dochází především při vysokých teplotách, ale i při

nízkých tlacích. Objev fragmentů pelitu a neobvyklé shromáždění minerálů však poukazuje na prvek hořčíku jako koncového členu biotitové skupiny, který se může dehydratovat cca při 900°C a ve spojitosti s křemenem může produkovat taveninu (Friend - Dye - Fowler 2007, 1685-1698; Friend a kol. 2008, 3130).

Reakce č. 1:

flogopit + křemen = sanidin + orthopyroxen + kapalina

Reakce č. 2:

annit = sanidin + kapalina

(Friend - Dye - Fowler 2007, 1698)

Nízké tlaky pak umožní, že samotné reakce mohou probíhat při relativně mírných teplotách. V první uvedené reakci flogopit bude potřebovat teploty okolo 830°C. Slídy v moinech jsou pak více bohaté na železo, a tak se mohou samy rozkládat pomocí dehydratační reakce č. 2, což vytvoří taveninu již při teplotě cca 800°C. Biotit následně reaguje a taví se za vzniku kapaliny zcela odlišného složení ve srovnání s granitickými tekutinami. Klíčem k pochopení tohoto aspektu je tedy důkaz krystalizačních fází v taveninách. Možností by tedy byla výroba taveniny na hranici mezi reakcí biotitu (1) a křemene (2), což vedlo k tavení dalšího materiálu a umožnilo lokální variaci složení (Friend - Dye - Fowler 2007, 1698-1699).

Studie SEM je jedna z důkazů, že tání žulového systému nezačalo uvnitř, ale bylo zprostředkováno ve spojitosti s degradací slídy, převážně biotitu a některých muskovitů. Samotné tání pak mělo být zahájeno reakcí zahrnující křemen a biotit, ke které dochází již při 850°C. Tímto způsobem se pak vytvořila kapalina, ve které se minerální zrna částečně rozpustila nebo reagovala. A tak i navzdory znalostem v době železné o použití tavidel (např. v hutnictví, sklářství) získaná data posilují koncept, že v těchto příkladech nebyly o těchto aplikovaných prvcích žádné výraznější náznaky. Z pozorovacích a analytických údajů slídy a jejím počátečním zdrojem taveniny společně s křemenem, poukazují na pelitický materiál jako na hlavní materiál s bohatostí na množství biotitů v surovině (Friend - Dye - Fowler 2007, 1699-1700).

6.9. Oblast západní Iberie

Ve středním Španělsku a Portugalsku bylo zaznamenáno více míst s podobnými jevy. Jedná se např. o lokality Castro de Ratinhos, Volcán del Gasco v Extremaduře či Sabugal Velho a další osady v regionu Odemira v jižním Portugalsku. Tyto lokality, ač netvoří velkou skupinu, jsou pak rozloženy na poměrně rozsáhlé ploše se vztahem k povodí řek Guadiana a Douro. Tyto oblasti jsou pak mj. bohaté i na množství dubových lesů (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 4).

Možným příkladem ozbrojených konfliktů je např. opevněné sídliště Ratinhos (Moura, Portugalsko) s dobou využití od pozdní doby bronzové do počátku rané doby železné, jež se nachází na břehu řeky Guadiana, jako důležité obchodní křižovatce. Systém opevnění byl pro tuto lokalitu budován od 12. do 9. století před naším letopočtem a z jeho nejvyššího bodu bylo možno vizuálně "ovládat" rozsáhlou část okolního území. Tomuto aspektu je přisuzována i místní nejstarší orientální svatyně v Iberii. Datace pak spadala do druhé poloviny devátého století před naším letopočtem. S vystavením svatyně byly postaveny i nové hradby. Obě tyto stavby obsahovaly dřevěný rám, jež byl skutečnou novinkou pro toto období. Stratigrafie a radiokarbonová data poukazují na dobu opuštění svatyně kolem roku 760 př. n. l., kdy hlavní vchod do obranné zdi vykazuje známky požáru s vitrifikovanými kameny a kousky přepálené hlíny. Na lokalitě Azenha da Misericordia (Serpa, Portugalsko) bylo identifikován úsek stěny s přítomností zeskelnatělého materiálu, jež představuje nejjednodušší přístupovou cestu k osadě. Někteří badatelé pak tuto přítomnost spojovali s pecemi z doby bronzové a hutní činností. Časový rámec stěny pak byl bez exkavace stanoven na základě shromážděné keramiky z povrchu a s časovým zařazením do konce mladší doby železné a archeomagnetické analýze, která informovala o časovém horizontu 842 – 652 př. n. l. a 725 – 1034 n. l. Catanzariti s kolektivem považovali za pravděpodobnější první z těchto dvou období. Poměrně podobná situace nastala i na lokalitě Castelos de Monte Novo (Évora, Portugalsko), kde velké množství keramiky bylo datováno do pozdní doby železné. Mohutné příkopy s mohutnými valy tedy i zde uzavírají jedinou přístupovou stranu do vesnice, na

sever. Vitřifikace zde byla patrná na kamenech střední velikosti v úseku více než 300 metrů. Je velmi pravděpodobné, že opevnění se zděným základem a hliněnými cihlami byla obložena dřevem načež byla spálena. V této spojitosti jde vidět určitá propojenost období rané doby železné (Ratinhos, Passo Alto a pravděpodobně i Azenha) s vitřifikováním pouze v určité části, zatímco pozdní dobu železnou lze spojovat s vitřifikací delších úseků, ne-li celých hradeb (Monte Novo, Sabugal Velho a pravděpodobně i Fraga de Romualdo). Pravděpodobně lze tedy hovořit o náhodném či úmyslném požáru související s ozbrojenými konflikty (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 4- 6).

Na možnou souvislost vitřifikace se základovými strukturami odkazuje článek Jorge Vilheny a Miguela Gonçavesy, který se zaměřuje na region Odemira v jižním Portugalsku. Do tohoto území řadíme např. malou vesničku Cerro das Alminhas (Odemira, Portugalsko) o rozloze 0,5 ha jejíž hrnčičřské dílny spadají do doby bronzové až železné. Tato lokalita pravděpodobně neobsahovala žádnou obrannou zeď, ale byla zde nalezena umělá terasa, jež uzavírala přístup do celé osady. Terasa byla tvořena místními drobyami, z čehož některé z nich byly kalcinovány. Zbytky pak tvoří jakousi součást přístupu k osadě. Z pohledu pravidelného uspořádání pak někteří badatelé přiřadili tento postup k úmyslným stavebním technikám. Proces vitřifikace či kalcinace tedy lze v některých případech spojovat se strukturou nedokončené zdi. Důvodem tohoto smýšlení je absence uhlí nebo dřeva, jež by byly spáleny. Antropolog Roland Comte hledá vysvětlení v symbolickém účelu. Spekuluje se také o přidání materiálů bohatých na obsah fosforu (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 7).

6.9.1. Pozo de los Moros (Villasrubias, Salamanca, Španělsko)

Vitřifikované kusy břidlice, jež byla nalezena na západní straně podél hlavního přístupu poukazovala i na různé stupně intenzity ohně (obr. 14). Jedná se o krátký úsek, který se díky použití systému ArcGIS a metodě LiDAR Digital Terrain Model ukázal jako nejjednodušší přístupová část lokality (obr. 15, 16). Tato oblast navíc představuje terasovitý útvar, jehož břidlicové výchozy naznačují i možnou přítomnost bašty či zdi. Nalezené fragmenty keramiky pak

odkazují na možné osídlení již v období pravěku (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 8).

K určení minerálního složení byla použita rentgenová difrakce (XRD) pomocí přístroje SIEMENS D5000 pracující při 30 mA a 40 kV. Měření profilů pomocí této metody pak bylo po dobu 3 sekund. Metoda je založena na porovnání břidlicovitého materiálu z výchozů (bez známek zvýšené teploty - vzorek PZ008) s materiálem z okraje terasy, jež prošel procesem vitrifikace. Následná přítomnost/ nepřítomnost minerálů pak slouží jako geotermometr. Došlo také k analyzování vitrifikované země mezi horninami s označením PZ001. Zkoumání vzorku PZ008 poukázalo na protolitový materiál se silikátovou kompozicí zhotovenou z chloritu, ilitu, fylosilikátů, křemene a draselného živce. PZ001 má šedé pemzovité jádro s obsahem vezikulárního skla s identifikací křemene. Dosažené teploty tedy pravděpodobně byly vyšších než 1200°C. Oranžový povrch pak obsahuje malé množství maghemitu s absencí fylosilikátů a draselných živců, které odkazují spíše na nižší teploty, a to 1000 - 1100°C. Potvrzení nabytých informací bylo i na základě dalších vzorků odebraných ze země, jádra a povrchu. Vzorek PZ005 se odlišuje zachováním draselných živců, což by mohlo poukazovat na teploty mezi 800 - 1000°C. Z hlediska možnosti vitrifikace křemičitanové horniny při 850°C se došlo k názoru o pravděpodobném vitrifikování všech hornin. Malá přítomnost magmetitu pravděpodobně poukazuje na snížení teploty tavby. Nelze ani opomenout absenci stop kovů, jako je hliník či měď, která je typická pro tavicí pece. S těmito poměrně rozsáhlými rozmezími teplot od 800 - 1200°C tak přišel do úvahy náhodný nebo úmyslný motiv vzniku požáru. Nejednalo by se však o přesně řízený podpal určený pro rituální důvody či zlepšení technických vlastností. Je však možno uvažovat o jakési dřevěné konstrukci, možná i hlavní bráně, jež byla zapálena. Co lze však odmítnout jsou procesy přírodní až fantaskní (dopad meteoritu) či použití vitrifikované suroviny pro zvýhodněné konstrukční vlastnosti stavby (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 8- 12).

6.9.2. Castro dos Ratinhos (Moura, jižní Portugalsko)

Castro dos Ratinhos je jedním z mála vykopaných míst, která v archeologickém kontextu poskytla „vitrifikované“ kameny (obr. 17). Lokalita byla podrobena průzkumu odkryvem, a to napříč vnitřním opevněním. Díky tomu tak byly nalezeny zcela inovativní stavební techniky, jakými jsou vnější zděné konstrukce s plochými kameny, nové základy či zbytky dřevěné konstrukce. Stopy po požáru pak jsou spojeny se silnými vrstvami do červena přepálené hlíny, popela a uhlí, které byly rozšířeny uvnitř základu zdi (obr. 18). Zeď byla složena z nepravidelných řad břidlicovitého a křemenného materiálu, mezi nimiž byly nalezeny dva otvory s příměsí uhlí a břidlicovité horniny menších rozměrů (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 12).

Z důvodu využití hlíny jako omítky pro dřevěné prvky pak poskytl přepálený materiál otisky tvaru trámů. Větší kameny pak byly nalezeny v pozici vnějšího svahu s doklady lesklé patiny a světle načervenalé barvy. Různorodost jednotlivých procesů ve formě kalcinace, vitrifikace a zčervenání materiálu společně s rozšířením popela pravděpodobně svědčí o jediném požáru, který byl lokalizován v nejsnadnějším místě přístupu k akropoli. Toto umístění by tak mohlo odpovídat i hlavní bráně. Blízké obydlí poskytlo i fragment uhlíku bílé borovice, díky němuž bylo možné situaci datovat. Opuštění obydlí tedy pravděpodobně nastalo v období poloviny osmého století před naším letopočtem, kdy došlo i ke zmiňovanému požáru. Nepřítomnost vápenosodných živců a jejich nahrazení draselnými živci si lze pravděpodobně vysvětlit jako výrazně menší ovlivnění ohněm v prostoru jádra. Důvodem jsou i teploty, při kterých se draselný živec zachovává tj. 800-1000°C. Ke odstranění kaolinitu pak dochází při teplotách 600 - 650°C. Potvrzení těchto procesů, je pak možno přiřadit ke druhému vzorku s načervenalou plochou, jež byla pravděpodobně vystavena vyšším teplotám a neobsahuje množství draselných živců. Přítomnost kaolinitu tak poukazuje na teploty, které nepřesáhly 650°C a nepřítomnost fylosilikátů a draselných živců naznačují teploty spalování mezi 1000-1100°C. Teploty uvnitř i vně kamenitého materiálu tedy byly velmi podobné s teplotami mezi 600 - 650°C. Nejednalo se tedy o teploty, které by stačily k posílení konstrukce, ale o teploty, jež dokázaly vytvořit načervení

materiálu. Podobné bylo zpozorováno i na jílovitém materiálu, jež poukazoval na tvar jednoho ze tří trámů, jehož složení opět odpovídalo křemičitanovým strukturám s vyšším zastoupením křemene a nižším zastoupením illitu a draselných živců. Teploty zde byly tedy pod 1000°C. Ze vzorku přepálené hlíny pak bylo zjištěno malé množství pyroxenu, ke kterému dochází při teplotách nad 1000°C (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 12).

6.9.3. Sabugal Velho (Guarda, severní Portugalsko)

Časové zařazení této lokality je možné do pozdní doby železné ve 4. až 1. století před naším letopočtem. Následně lze hovořit o opuštění lokality a znovuosídlení ve 12. až 13. století našeho letopočtu. Do pozdní doby železné lze také zařadit i nález jednoduché zděné zdi (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 15).

V této spojitosti lze připomenout jméno Marcose Osória, který se zabýval detailním studiem středověkých tavicích pecí. Výsledky pak poukázaly na zamítnutí souvislosti vitrifikace kamenného materiálu s metalurgickými činnostmi. Jasně charakterizoval vitrifikaci jako protohistorickou událost související s obdobím pozdní doby železné a vymezil její rozšíření při jihozápadní straně obvodové zdi a západním rohu s pravděpodobným umístěním hlavního vchodu do osady. Tato oblast je znatelná na množství břidlicové horniny s negativními otisky, které by mohly znamenat pozůstatky stop trámů. V mnohém tedy můžeme sledovat jistou podobnost lokalitou Castelos de Monte Novo (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 15).

6.9.4. Castelos de Monte Novo (Évora, jižní Portugalsko)

Castelos de Monte Novo je výšinná lokalita se třemi řadami opevnění spadající do období pozdní doby železné. Došlo tak k identifikaci dřevokamenné zdi s délkou více jak 300 metrů. Místní břidlicový materiál navíc poukazuje na zřetelné negativní stopy dřevěných prvků na vitrifikovaném kamenném povrchu (obr. 19; Berrocal-Rangel a kol. 2018, 15- 16).

Doklady jsou i hrnčířské hlíny z pozdní doby železné. Následně došlo i k analyzování jedné hliněné cihly a vitrifikovaného kamene. Na břidlicovém

vzorku jsou doklady vezikulárního povrchu se stopami tavby, otisky dřevěných prvků a kovových hřebíků. Určení minerálního složení povrchu a jádra horniny pak bylo pomocí rentgenové difrakční analýzy (XRD). Oba výsledky pak poukazují na silikátové složení. Hnědý vzorek odebraný z povrchu tak vykazoval množství illitu, amfibolu, křemene a draselného živce. Naopak tmavo-šedý vzorek z jádra odkazoval na množství křemene, pyroxenu a hematit. Zbarvení poukazuje i na dosažené teploty, kdy hnědý povrch byl ovlivněn nižší teplotou při které byl odstraněn illit. Jedná se tak o teploty nad 900°C - 1000°C. Draselné živce a amfibol se mění však až kolem 1000°C. Přítomnost pyroxenu z černého vzorku odebraného z jádra označuje teplotu vyšší než 1100°C. Je tedy pravděpodobné, že kamenitý materiál byl vitrifikován za teplot 850°C a může souviset s “nepravidelným” ohněm s motivy náhodnými či úmyslnými za podmínek oxidační atmosféry. Hliněná cihla jenom potvrdila silikátové složení s množstvím křemene, draselného živce, vápenosodného živce, ale také přítomnost chloritu, neokalcitu a ferrihydridu. Možnou odlišnost lze vidět ve zvýšeném množství chloritanu, který zůstává konzistentním při nižším vystavení ohni. K odstranění množství skupiny OH dochází při teplotách chloritanu v rozmezí 600-700°C. A ačkoliv byly teploty v hliněné cihle výrazně nižší oba tepelné rozsahy jsou si výrazně podobné: 600-850°C pro cihlu a 900-1100°C pro kámen (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 16- 19).

Předběžné závěry tedy lze zařadit k jakémusi souběhu okolností s mnohonásobnými příčinami: přírodní požáry, destruktivní motivy z pohledu útoků, konstrukční motivy z pohledu stavebních technik či motivy rituální nebo symbolické. Proces vitrifikace lze pozorovat od střední a pozdní doby bronzové do období raného středověku severní, západní a střední Evropy, a to bez vyhraněné kulturní specifičnosti. Je však nutno zmínit určitý vztah s “keltskými” opevněními s aplikací dřevěných prvků (*muris celticus*). Pravděpodobné využití vitrifikace jako technického procesu lze sledovat na lokalitě Cerro das Alminhas, kde hlavní vchod do osady je tvořen z propálené podlahy z drob. Je možné tedy uvažovat o stavebních metodách k posílení základů. Stratigrafický důkaz o destrukčních motivech lze pravděpodobně spojit s lokalitou Ratinhos, která by mohla být dokladem podpalování opevnění ve formě útoků nebo jiných násilných událostí. Vrcholné období doby bronzové a rané doby železné je pak

charakterizováno vitrifikací podél hlavních přístupových oblastí (např. Passo Alto, Ratinhos, Pozo de los Moros), zatímco vitrifikované pozůstatky opevnění se spíše řadí až do pozdní doby železné. Také je možné uvažovat o využití dřevěných prvků, které mohly v oblasti bran tvořit samotnou kostru této stavby. Začlenění trámů do hlavních bran, mohlo souviset ale i s jistým symbolickým významem proti překonání jejich "obranné slabosti". Tato doba by se tak mohla projevit využitím dřevěných prvků k obložení zdí kolem celých osad, jak tomu je např. na lokalitách Monte Novo, Sabugal Velho a Fraga do Romualdo. Tyto případy jsou však poměrně vzácné, a to z důvodu obtížnosti spálení zdi sestavené z hlíny a kamení. Z dosud získaných poznatků se tak zdá, že fenomén vitrifikovaných zdí je v oblasti Pyrenejského poloostrova soustředěn především na centrální a jihozápadní část (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 19- 20).

7 Otázky spojené se spečením

Mezi možnou problematiku lokalit se stopami žárem propáleného materiálu můžeme řadit i otázku týkající se upřednostňování jednotlivých lokalit. Bližší pohled na tuto problematiku by mohl podhalit preferované konstrukce či použitý materiál pro jejich stavbu. K této otázce jsem tedy zvolil oblast jižních Čech se soustředěním na hradiště Vrcovice, hradiště Všemyslice - Kozí vrch a Hradec u Nuzic, na jehož výzkumu jsem byl součástí.

7.1. Hradiště Vrcovice

Mezi prvními můžeme zmínit Vrcovické hradiště, které je umístěno na ostrožně v poloze Dolní Lipice na pravém břehu řeky Otavy a zhruba 3,5 km severně od historického centra města Písku. Hradiště je na své západní a jižní straně vymezena svahem. Východní strana je charakterizována prudkým poklesem terénu po plochou terasu. Přístup na lokalitu je nejsnadnější na severní straně, která se mírně vyvyšuje k návrší Bohuslavec, kde jsou v terénu pozůstatky dvojice (k ose ostrožny příčných) paralelních valů, mezi nimiž se nachází příkop. Obloukovitý tvar valů na západní straně je patrný na lidarovém snímku. Délka valů pak dosahuje cca 80 m. Ohrazená plocha hradiště má

rozlohu přibližně 0,55 ha. Geologické podloží v zázemí této lokality je tvořeno rulou, žilným granitem (žulou) a granodioritem (Hlásek 2015, 10-12).

Typologický rozbor nálezů z hradiště je možno zařadit do mladší fáze přelomu starší a střední doby bronzové (16. století před Kristem). Jednotlivé uhlíky nalezené odkryvem v oblasti vnitřní hradby pak silně zastávaly pozici dubu a borovice lesní. Z rozboru movitých nálezů byly nalezeny i pozůstatky mazanice (obr. 25). Mazanici lze definovat jako směs sprašové nebo jílovité hlíny s organickými příměsemi (např. plevy, sláma, řezanka či drobné větvičky). Její nejhojnější použití bylo k výmazu a omazu dřevěných konstrukcí jako tepelná izolace nebo mohla plnit i estetickou funkci. Analýza tohoto materiálu z archeologických kontextů tak může poukazovat na různé konstrukční prvky či interpretovat odlišné stavební techniky. Na tomto základě bylo možno interpretovat devět základních skupin konstrukčních prvků (Hlásek 2015, 140; 186-199).

Jedná se o kuláče (skupina A), tesané prvky (skupina B), kombinace kuláčů a tesaných prvků (skupina C), kombinace kuláčů a prutů (skupina D), kombinace tesaného prvku a prutu (skupina E), pruty (skupina H), kombinace kuláč, prut a tesaný prvek (skupina K), vnější strana omazů (skupina J) a hliněné plotny a desky (skupina L; obr. 26). Dle rekonstrukce kuláčů odpovídají průměry od 4-6 cm. V jednom případě se dochovalo i jejich křížení (Hlásek 2015, 140; 186-199).

Fragmentárnost tesaných prvků (šířka od 1,5- 5 cm) a značná abraze bohužel znemožňuje určení přesné technologie opracování jednotlivých tesaných prvků. U kombinace tesaného prvku a prutu pocházejí fragmenty mazanice z horizontálně nebo vertikálně umístěných prutů, které křížily tesaný prvek. Největší množství fragmentů mazanice se nachází ve skupině prutů (745 ks fragmentů), kde na 16 zlomcích se dochovaly vzájemně se křížící otisky prutů. Z rekonstruovaných rozměrů lze charakterizovat průměr od cca 1 - 2,5 cm. Pouze jeden kus pak nese na povrchu vnější strany šedý (vápenný) nátěr o síle 2 mm. Tyto zlomky jsou označovány jako "plotny či desky" se známým výskytem na řadě pravěkých sídlišť. Nálezový kontext, ve

kterém byla mazanice obsažena, naznačuje, že zpracovaný materiál souvisí s destrukcí fortifikace (Hlásek 2015, 140; 186-199, 255).

Z hlediska početnosti jednotlivých skupin tedy lze pravděpodobně uvažovat o vyplétané konstrukci s omazem. Jednotlivé pruty pak byly s největší pravděpodobností obtáčeny kolem kuláčů či půlených kulatin. Situace poukazuje i na pruty zachycené mezi pravděpodobnými vertikálními sloupky (obr. 27, 28). Úprava vnější strany spočívala v jemném hlazení s průměrnou vrstvou omazu okolo 2 cm. Zřejmá je i absence výraznějších nosných prvků, která naznačuje nesouvislost s obytnými nebo hospodářskými stavbami. Většina nalazené mazanice pak pochází z prostoru valu, což může poukazovat na souvislost s destruovanou hradbou. Zjištěná konstrukce mohla být samozřejmě i nástavbou na kamenno-dřevo-hliněné bázi hradby. Je možné též uvažovat o zastřešení dané konstrukce, které by zaručilo dlouhodobější životnost hliněného omazu (Hlásek 2015, 140; 186-199, 255).

Většina z nalezeného kosterního materiálu byla klasifikována jako neurčení savci (97,6%). V některých případech tak docházelo k nemožnosti rozhodnout, zda-li se jedná o lidské či zvířecí pozůstatky. Veškeré fragmenty měly šedé až bílé (výjimečně černé) zbarvení, což naznačuje spálení organické hmoty, ke které dochází při teplotách překračujících 600°C. Na intenzivní výpal dále poukazují i změny indikujícími rekrystalizací kostního minerálu (Hlásek 2015, 199).

Pro bližší charakterizaci teplot přepálených kamenů bylo experimentálně vypáleno pět úlomků biotických rul v muflovací peci za teplot 300°, 400°C, 500°C, 600°C a 700°C. Doba ohřevu pak byla minimálně 20 minut. Následně došlo k subjektivnímu posouzení barvy a měření magnetické objemové susceptibility. Hlavní kamennou složku hradby tvořily především muskovitické a biotitické ruly, jež byly zbarveny do hnědo-růžovo-červena. Důležité je však uvést, že tento materiál lze propálit již při poměrně nízkých teplotách (více než 300°C). Důvod nemožnosti dosažení míry susceptibility, jež byl měřen na kamenech in situ, je pravděpodobně ovlivněn jejich redukčním výpalem (Hlásek 2015, 203).

Z nálezové situace také lze odvodit uložení dvou hrobů v rámci vývoje hradiště. Pokud struskovitý kamenný materiál souvisí se zánikem hradby požárem, tak společně s registrovaným porušením destrukce můžeme pojednávat o zapuštění hrobu po zániku hradby. Velmi obdobně lze přistupovat i u situace druhé, přičemž nelze vyloučit hypotézu o uložení hrobu před stavbou vnitřní hradby. Lze tedy pojednávat o fázích: osídlení před stavbou vnitřní hradby (možné je dočasné ohrazení lehkou palisádou), období zbudování a zániku vnitřní hradby s přiléhajícími kúlovými stavbami a fáze využití destrukce hradby k ukládání pohřbů. Komplexnost fortifikace dovoluje uvažovat o možnosti obranné funkce, nicméně jasné důkazy o válečnictví na lokalitě dosud nejsou známy. Jediným artefaktem, který lze označit za zbraň jsou dvě kamenné šipky, z nichž minimálně jedna nebyla nejspíš nikdy vystřelena (Hlásek 2015, 219-251).

7.2. Všemyslice - Kozí vrch

Mezi další lokality můžeme řadit hradiště Všemyslice - Kozí vrch, které se nachází na levém břehu řeky Vltavy v severní části Českobudějovicka. Celková plocha akropole a předhradí dosahuje okolo 0,4 ha. Geologické podloží ostrožny je pak tvořeno kvarciticou pararulou s biotitem a muskovitem. Akropole je oddělena nízkým valem s vnějším příkopem od většího předhradí s valem na jižní straně. Bohužel je však po svých stranách porušena lámáním kamene. Příkop, oddělující akropoli a předhradí, pak dosahuje na jihovýchodní části hloubky okolo 5 m (Hlásek a kol. 2014, 51-54).

Dvoudílné hradiště Kozí vrch lze charakterizovat svým jednofázovým osídlením se zachovalými nadzemními relikty. V roce 2014 zde byl proveden archeologický výzkum s důrazem na environmentální metody. Datování této lokality lze díky radiokarbonovým výsledkům a nalezené keramice zařadit do období střední doby bronzové od 1650-1500 BC. Díky výzkumům z roku 1983 jsme informováni i o konstrukci vnitřní hradby. Opevnění akropole bylo fortifikací o šířce cca 9 m, jejíž čelní stěnu tvořila kamenná hradba vystavená ze středně velkých, nasucho kladených kamenů. Za touto hradbou se pak

nacházel hlinitý val s bohatými náznaky přepálení. Vymezení vnitřní hranice opevnění lze charakterizovat na základě dřevěné kůlové palisády, na níž zřejmě navazovaly další objekty umístěné ve vnitřní části akropole. Zdá se, že některé situace poukazují na doklad palisády jako jedné ze stěn sídelního objektu. Zpevnění konstrukce opevnění bylo napříč i podél trámy, jejíž fragmenty se nám zachovaly na dně tělesa valu (Hlásek a kol. 2014, 96, 54).

Pro osteologické analýzy byly použity fragmenty savčích kostí (158 ks), které byly nalezeny v roce 1976. Veškerý materiál byl kompletně spálen se zbarvením do hnědo-černé, šedo-bílé a bílé barvy. Nejvíce zastoupenou skupinou bylo bílé zbarvení, které poukazovalo na proces kalcinace, ke které dochází při teplotách nad 600°C a na níž může odkazovat i křídová konzistence. Dle experimentů z konce osmdesátých let, pak příčné rýhy a hlubší štěrby svědčí o pálení kostí s masem a nikoli o pálení v suchém očištěném stavu. Anatomické určení bylo poněkud obtížné. Detailní pozorování jednoho z nalezených obratlů však naznačilo, že by se mohlo jednat o část obratle z hrudní páteře (*vertebrae thoracicae*) dospělé psovité šelmy, např. menšího psa či lišky (Hlásek a kol. 2014, 60).

Pro antrakologickou analýzu byly jednotlivé zlomky prohlíženy stereomikroskopem a následně porovnávány se snímky mikroskopického atlasu dřev. Z celkového počtu tak bylo určeno 9 druhů dřevin s dominantou dubu (*Quercus* 38,4 %) a smrku ztepilého (*Picea abies*, 50,3 %). Hojný výskyt oproti ostatním zastávala také borovice lesní (*Pinus sylvestris*, 6,5 %; obr. 29, 30, 31). Výskyt dalších dřevin byl již nehojný. Analyzovaný soubor uhlíků tak byl jistě ovlivněn selekcí dřeva, což dokládá i poměrně vysoké množství uhlíků smrku a dubu z oblasti roštové konstrukce. Uhlíky smrku z oblasti zkoumaného areálu by mohly tedy eventuálně dokládat sekundárně využitě konstrukční dřevo, odpad při zpracování dřeva či již sekundárně uložené destrukce dřevěných konstrukcí. Pro okolí sídliště byla vyhodnocena jako potencionální přirozená vegetace černýšová dubohabřina a acidofilní doubravy. Překvapivé je tedy vysoké zastoupení uhlíků smrku, jehož jedinou a ojedinělou přítomnost lze předpokládat jako příměs kyselých doubrav či bučin. V úvahu však přichází i možný výskyt v těsné blízkosti či na hradišti samotném, a to především

z důvodu hlubokých, stinných údolích Vltavy a drobných vodotečí, jež mohly mít v průběhu života hradiště dosti odlišný charakter (Hlásek a kol. 2015, 110-115).

Pro akropoli dále lze uvažovat o složitosti architektury (dřevohlinitá konstrukce, kamenné prvky), která zanikla požárem. Potvrzení těchto úvah bylo založeno především na měření magnetické susceptibility a radiokarbonovém datování. Nalezená pravěká keramika navíc signalizuje, že konstrukce nebyla vytvořena okamžitě po osídlení plochy. Jistou podobnost pak lze sledovat při dokumentaci profilu, který byl velmi blízký současnému hradišti Vrcovice (Dolní Lipice). O této podobnosti se zmiňoval již A. Beneš v 80. letech jež prováděl řez opevněním na lokalitě Vrcovice. Bohužel bližší charakterizace vnějšího valu všemyslického předhradí je zatím neznámá. Přesné vymezení vnitřní části opevnění znesnadňuje i stejná niveleta s prostorem akropole. Údajné opevnění mělo být tvořeno kůlovou palisádou a s ní související kůlovou jámou, která byla zachycena v 80. letech minulého století. Stopy po těchto prvcích však na udaných místech nalezeny nebyly. Nejasný účel lze spojovat i s vrstvami kamenitého materiálu za touto situací, jež se skládá ze štěrkovitých, písčitých a hlinito- písčitých vrstev narozdíl od Vrcovic, kde armatura vnitřní hradby byla z kamene (vnější hradba však kamenná nebyla). Souhlasné jsou i černé vrstvy na bázi obou konstrukcí. Jak bylo zjištěno remanentní magnetizací, skoro veškeré vrstvy se nenacházely v původní pozici svého přepálení. Z procesu přepálení však není jasné, zdali se jednalo o destrukční vrstvy v sekundární poloze či se jedná o prohoření dřevěné konstrukce. Současný stav poznání však nedovoluje jednoznačně interpretovat tuto situaci jako destrukci zbylého opevnění. Mohlo se jednat i o uměle navršenou terasu, jež rozšiřovala využitelný prostor akropole, která v současnosti nedosahuje ani 30 m². Z důvodu kumulovaného sídlištního odpadu a nálezům mazanice s konstrukčními prvky otisků prutů je nutné předpokládat zástavbu na lokalitě. Její bližší podoba je však zatím neznámá (Hlásek a kol. 2015, 116-118).

7.3. Hradec u Nuzic

Posledním ze zvolených je Hradec u Nuzic, lokalita umístěná na výrazně ostrožně tvořené meandrem potoka Židova strouha (těsně před jeho soutokem

s Lužnicí). Jižní, východní a severní plochu hradiště utínají příkré srázy. Pouze na západní straně lze pozorovat terén plynule navazující na okolní krajinu s mohutným valem, jež přetíná prakticky celou přístupovou šíjí na ostrožnu. Plocha hradiště, která je vymezena srázy a valem činí 0,95ha. Geobotanické mapy zařazují toto území do pomezí acidofilních doubrav (ve vyšších partiích), olšin a luhů (údolí Lužnice) a dubo-habrových hájů (údolí Židovy strouhy). Podloží pak lze charakterizovat jako muskovito-biotitickou ortorulu známou též pod názvem bechyňská ortorula (Chvojka 2010, 53-54).

Již J. L. Píč upozorňuje na val složený z hlíny a kamene, který je z vnější strany 4m a z vnitřní strany 2 m vysoký. Mezi další cenné informace lze zařadit i souhrnné zpracování o Bechyňsku od Antonína Chleborada, jehož popis z roku 1928 poukazuje na přítomnost dvou valových těles, které chránily centrální část hradiště. Menší val, který chránil předhradí, byl pak pravděpodobně již rozvezen. Konstrukce valu měla mít kamennou strukturu s možnými komorami vysypanými hlínou. Nabyté informace o této lokalitě tak často poukazují na pravěké stáří, ale i aktivitách v období středověku či novověku (železná koule z houfnice). V současnosti je zde možno pozorovat pouze jediný relik, a to val obloukovitého charakteru, jež vymezuje lokalitu z JZ směru. Celková délka valu dosahuje 130 m a ve své střední a nejvyšší části dosahuje těleso z vnější strany 2,5 m převýšení. Z vnitřní části je pak převýšení podstatně méně výrazné. Další val by se tedy měl nacházet na nejužším místě ostrožny s následným rozvezením sedláky počátkem 20. století (Chvojka 2010, 54-56).

Byl zde proto zvolen magnetometrický průzkum pomocí cesiového magnetometru ARÚ Praha (Smartmag SM-4g, Scintrex). Magnetické anomálie ve výsledcích magnetometrického měření však nenaznačují ani o intenzivním osídlení, či o podpovrchovém zachování linie opevnění. V oblasti cesty na hradiště byl však zaznamenán relik magnetické linie původně probíhajícího valu. Níže, u vnější strany valu, byla pak identifikována magneticky variabilní liniová anomálie rovnoběžná s valem. Bohužel projev této anomálie byl rušen místním výskytem kovů. I napříč tomu je však možno uvažovat o detekci podpovrchově zaniklého příkopu před valem nebo se může jednat o projev

destruovaných a lokálně vypálených poloh valu - dnes již částečně roztroušených (obr. 32; Chvojka 2010, 56-57).

Ačkoliv je lokalita známa již od konce 19. století, pochází z něj pouze malý počet nálezů. Prokázané fáze zahrnují starší dobu bronzovou, raný středověk ale i období vrcholného středověku až raného novověku, kam můžeme zařadit patrně většinu tuhové keramiky, nálezy zlomku klíče či koule z houfnice. Možné je i zahrnutí doby halštatské a laténské. Keramické nálezy pro tyto období jsou však v současnosti nezvěstné, a tak je nelze revidovat (Chvojka 2010, 60-61).

To, co by nám mohlo trochu podhalit časové zařazení, je výzkum z roku 2019, jehož jsem byl součástí a jež byl zaštitěn Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích. Díky odkryvu napříč valem v oblasti vstupu (JZ směr) bylo nalezeno torzo nádoby, jehož pravděpodobné zařazení (po konzultaci s vedoucím výzkumu Danielem Hláskem) lze směřovat k období starší až střední doby bronzové. Materiál nalezený v okolí hradiště, jež však nemusí nutně souviset s danou situací, toto časové zařazení podporuje. Stopy vystavení materiálu vyšším teplotám však v těchto místech nalezeny nebyly. Pro období starší doby bronzové a raného středověku nelze mluvit o izolaci hradiště v neosídlené krajině. Nasvědčovat tomu může i výskyt jednoho z centrálních mikroregionů v jižních Čechách, který se nacházel v širším okolí Lužnice a Vltavy. Z bezprostředního okolí tak dnes známe několik významných lokalit či hradišť. A ačkoliv je hradiště v Nuzicích poměrně vzdáleno (od soutoku cca 7 km vzdušnou čarou), jistě jej můžeme počítat i do jeho zázemí. Lokalita Hosty (cca 7 km) pak je jednoznačně datovaným pohřebišťem pro toto období (Chvojka 2010, 61-62).

Rozsah jednotlivých lokalit se tedy pohybuje v přibližném rozsahu do 1 ha a geologickým podlažím vázaným na různé typy rul. Časové zařazení pak lze směřovat do období doby bronzové. Konstrukce pak mohla být tvořena vyplétanými konstrukcemi, jejíž jednotlivé pruty byly obtáčeny okolo vertikálních prvků se zřejmou vnější úpravou pomocí mazanice. Pravděpodobné je i zastřešení dané konstrukce, které by zaručilo dlouhodobější životnost.

Ke zpevnění dané konstrukce je možné zamýšlet o napříč i podélně zasazených trámech na dně tělesa valu. Na oblast palisády pak mohly navazovat již samotné sídelní objekty. S použitým materiálem lze často pohlížet na dominanci dubu, smrku a borovice. Častým je zastoupení osteologického materiálu, jež bohužel v mnohých případech nelze blíže analyzovat. Z hlediska teplot, a s ním spojeným přepálením kostěného materiálu, lze předpokládat teploty dosahující 600°C a vyšší. Možný otazník tak stojí nad lokalitou Hradec u Nuzic, který ač by svým charakterem a dobou působení nasvědčoval pravděpodobnému vystavení vyšších teplot, zdá se, že tomu tak nebylo. Nelze na možnost přepálení vztáhnout i rozměrové vlastnosti, kdy právě Hradec u Nuzic dosahuje skoro dvojnásobku svých předešlých "vrstevníků". Mezi možné varianty můžeme jistě řadit činnost sedláků v období 20. století, kteří se podíleli na destrukci lokality. Cenným materiálem této situace tedy mohou být práce od Antonína Chleborada, který se ve 20. letech 20. století zmiňuje o kamenné struktuře s komorami, jež jsou vysypány hlínou. Znemožnění současné detekce oblasti se stopami přepálení pak bohužel znesnadňují přítomné kovy (Hlásek 2015, 6-285; Hlásek a kol. 2014, 51- 67; Hlásek a kol. 2015, 96-121; Chvojka 2010, 53- 71).

8 Experimentální zkoumání

Při zahřátí horninového materiálu může také dojít k procesu kalcinace, kdy dochází k rozkladu materiálu bez procesu tavby. Jedním z nejběžnějších procesů kalcinace je přeměna vápence (uhličitanu vápenatého) na vápno. Opevnění zbudovaná z vápence tedy podléhají za vyšších teplot těmto procesům. Z pohledu archeologie můžeme na jev kalcinace a vitrifikace pohlížet jako na produkt stejného procesu v různých geologických podmínkách. Kameny jsou pak v některých případech spojeny sklovitým materiálem na bázi křemičitanu, jehož původ lze hledat v doleritu, žule, amfibolitu či pískovci. Jsou však také zaznamenány případy spojení materiálem, jenž je podobný maltě a který pochází z páleného a hydratovaného vápence nebo dolomitu. K procesu kalcinace nebyl však použit hydroxid vápenatý, který se používá k výrobě hašeného vápna a je skoro celý složen z uhličitanu vápenatého. Proto je při

experimentech důležité použít místní vápence, které mohou vykazovat odlišné chování při kalcinaci a hydrataci. Některé z nich tak budou potřebovat dlouhé období pro proces hydratace, jiné naopak mohou hydratovat rychle, ale také rychleji ztvrdnou. Datování vitrifikovaných pevností zhotovených ze směsi zeminy, kamene a dřeva bylo přibližně od roku 1000 př. n. l. až do doby kolem roku 1400 n. l. Většina dat však se však nacházela v intervalu 500př. n. l. až přelom letopočtu (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383).

Kresten uvádí, že lidé v těchto dobách již měli přístup k dřevěnému uhlí a měchům, které jim dopomohly k dosažení požadovaných teplot. Teploty tání stejných materiálů poukazují na teploty okolo 900-1100°C, přičemž počáteční tavba a množství kapaliny se zvyšuje s rostoucí teplotou. K určení počátku tavby dochází za použití diferenční skenovací kalorimetrie (DSC) či kalorimetrických prostředků (DTA). Počáteční tavení může dále ovlivnit i množství vody ve vzorku či daná atmosféra. Samotná výroba dřevěného uhlí je poměrně snadná. Dataci použití vápna lze směřovat přibližně do období posledních 10 tisíc let, přičemž první pec válcové konstrukce na zpracování vápna je datována asi 2500 let BC. Vnitřní část byla vyplněna vrstvami paliva (často dřeva) a střídavých vrstev vápence. Při teplotě 900°C dochází v atmosféře s oxidem uhličitým k oddělení uhličitánu vápenatého. Poměrně vhodným palivem je dřevo, které má spalovací teplotu od 700-1100°C (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 385).

Modernější pece pak používají paliva, jakým je např. koks, jehož spalovací teplota je podobná jako teplota při spalování uhlí tj. 1300-1500°C. Primárním důvodem použití těchto paliv není však kalorická hodnota (spalné teplo), ale kvalita tepla, která řídí tepelnou výměnu mezi plyny a horninou. Pro účinnost tepelné výměny je dále podstatná i rychlost postupu ohně, která by měla odpovídat velikosti kamenů. Uhlím naplněné kamenné stavby by tak dle výpočtů a výše uvedených procesů poukazovaly na dostatečnou tepelnou výměnu pro rozvoj tepelných úprav. Konstrukce, jejíž fragmenty poukazují na zbytky dřevěného uhlí tak mohou odkazovat na začlenění paliva z důvodu procesu tavení či ke snížení redoxních podmínek. Nabyté informace však potvrzují Krestenovy představy o pevnostech, jež byly pro konstrukční účely

vitřifikovány. Jedním z možných důvodů mohlo být i posílení konstrukce, u které by v průběhu času bylo nutné nahrazovat již ztrouchnivělé dřevěné prvky, což může ve spojitosti množstvím kamenitého materiálu být poněkud těžkopádné. V probíhajících procesech lze zmínit atomy draslíku a sodíku, jež mají vyšší počet přilehlých atomů kyslíku ve srovnání s křemíkem. Tento průběh tak rozbíjí tuhou síť křemíku-kyslíku usnadňující přeskupení a snížení teploty, jež je potřebná k tání. Nízký obsah sodíku a draslíku ve spojitosti s vysokým obsahem oxidu křemičitého má ve skle vynikající vlastnosti ve smyslu odolnosti vůči vlivu přírodních podmínek. To je i důvod, proč např. obsidián, jako přírodní sklo, vydrží i desítky milionů let (obr. 33). Naopak sklovité materiály bohaté na obsah sodíku a draslíku jsou náchylné ke korozi a z důvodu vyšší míry alkálií mohou být dokonce rozpustné ve vodě. Přidávání oxidu vápenatého (6% vápno) do skla zlepšuje dále i odolnost vůči vlhkosti. Oxid hlinitý pak může zlepšit chemickou odolnost vůči devitřifikaci skla. Obrázek 34 pak odkazuje na účinky jednotlivých oxidů (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 385- 394; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687).

S pojmem degradace je možno spojit korozi skla, která zahrnuje tenkou oblast na povrchu skla, jež je ochuzena o část prvkového složení, zejména o ty prvky, které mohou být rozpustné ve vodě. Tato vrstva pak dosahuje velikosti několik desítek nanometrů. Mezi hlavní mechanismy koroze skla řadíme alkalickou extrakci a rozpouštění matrice. Alkalická extrakce je pravděpodobnější při nízkých hodnotách pH a nízkým obsahem alkálií, zatímco rozpouštění matrice je podporováno spíše vyššími hodnotami pH a vyšším množstvím alkálií (množství draslíku a sodíku). Sklo však také může být napadeno lokalizovanou korozí, kdy některé její typy lze detekovat až po určité době. Sklovitý materiál, jenž je bohatý na obsah křemíku, se mění převážně s procesy devitřifikace či hydratace. Mezi další podstatné prvky můžeme řadit i množství popela ze spalování uhlí či ze sopečných erupcí, který se ve formě malých částic velmi rychle ochlazuje. Podobné jevy lze vidět i ve struskovém materiálu z vysokých pecí, který je rozprášen a zchlazen a lze jej použít jako cement. Pomalé zchlazení tedy může u stejného chemického složení vytvořit vhodný materiál pro trvalé konstrukce. Tavba popela při vyšších teplotách tedy vytváří mnohem výhodnější kompozice sklovitého materiálu. Je také

pravděpodobné, že lidé v minulosti mohli vybírat vhodný horninový materiál pro konkrétní procesy, které měly být použity (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 385- 394; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687).

Pro další poodhalení tepelných procesů, tak byl na základě analogií zvolen materiál z lokalit Darley Dale, Velká Británie (pískovec) a Lanhélin, Francie (granodiorit). Podobnost těchto materiálů s litologií použitou na celé řadě evropských pevností je však značná. Dalším kladem použitých materiálů jsou i dosavadní znalosti v oblasti fyzikálních vlastností. U materiálu byl následně zkoumán vývoj při vystavení vyšším teplotám v souvislosti se zkoumáním 45 příkladů vitrifikovaných pevností z evropských lokalit se zařazením do doby železné (Wadsworth a kol. 2017, 1-2).

Jednotlivé vzorky byly zahřívány v peci na teploty 400 - 1800 K (126°C-1526°C) při rychlosti 10 K min⁻¹ s udržením teplot po dobu 5 hodin. Tento čas charakterizuje potřebný čas k tepelné rovnováze v těchto materiálech. Drcený prášek z těchto materiálů byl také umístěn do hliníkových zkumavek a zahříván za stejných podmínek. Diferenciální skenovací kalorimetrie dokázaly poodhalit teploty tání, které jsou úzce propojeny s danou litologií. Granodiorit z lokality Lanhélin tak vykazoval tání při teplotách od 1293-1350 K (1019°C-1076°C), zatímco pískovec Darley Dale spíše charakterizovaly teploty od 1200-1340K (926°C- 1066°C). Při procesu zahřívání o teplotách 1400K (1126°C) tak dochází k vyčerpání živce, slídy (v případě granodioritu) a jílu (v případě pískovce). Výsledným produktem je tak křemen s kapalným uskupením dané směsi. Sklovitý materiál může po ochlazení vykazovat texturu částečné devitifikace s pozůstatky zchlazených krystalů. Při teplotách, které se blíží teplotám solidusu, se pak tato zrnka zhutňují na úkor poréznosti sypkého materiálu. K tomuto procesu dochází jak při relativně nízké, tak i vysoké rychlosti ohřevu během materiálního slinování jednotlivých částic. Výsledkem tavby těchto částic jsou částečně viskózní kapky, jež obsahují zbytkové hodnoty suspendovaných krystalů. Ty podléhají schopnosti koalescence při kontaktu s jinými částicemi. Tento proces tak pokračuje až do období, kdy je získán dostatečný objem pro izolaci pórovitosti a po němž následující zahřívání vede k expanzi (nyní izolovaných) bublin. Pokles pórovitosti tak i počáteční teplota

slinování (jež je shodná s počátkem tavby solidu), se mění v závislosti na času a dosažené teplotě z důvodu rozdílnosti ve složení horniny, ale i rozdílnosti v teplotních závislostech. Tyto informace tedy pouze potvrzují význam konkrétní litologie místních hornin. Viskozita kapaliny se tedy vyvíjí v čase a silně ovlivňuje rychlost slinování. Vyvíjející se složení taveniny v průběhu času by tak mohlo odkazovat na úbytek porézности mezi jednotlivými částicemi ve stěnách pevností. Samotné snížení porozity viskózním slinováním se ale také odráží i na objemové pevnosti materiálu. Výsledný materiál se tedy stává slabším při vystavení vyšším teplotám. Příčinou má být zvyšování množství mikrotrhlin, které vznikají jako důsledek tepelně vyvolaného stresu a pozdější vesikulace v částečné tavenině (v případě žuly). V případě granulovaného charakteru stejného materiálu dochází za stejných podmínek po dostatečnou dobu naopak k posílení materiálu. Byla proto použita pětihodinová slinovací perioda, která se ukázala jako minimální doba pro proces vitrifikování jednotlivých pevností. Při procesu zeslabení velkých bloků dochází tedy k zesílení jemnozrnného materiálu. Do charakteristiky časového rámce procesu slinování můžeme také řadit i teplotu tuhého materiálu a teplotní závislost vyvíjející se viskozity během částečné tavby. Pro bližší zkoumání tedy byly použity údaje jak o složení hmoty, tak i o složení skla ze 45 evropských pevností z doby železné (včetně experimentálně vyráběného skla z částečných tavenin protolitu). Dále bylo zkoumáno i složení referenčních Moinských sestav z oblastí Skotska. Z vypočtených hodnot křehkosti materiálu napříč složením jednotlivých pevností je pravděpodobné, že daná litologie určuje vizkozitu při následném neizotermickém vysokoteplotním vypalování. Dále je třeba brát i v potaz rozdílnost v procesech malých versus velkých bloků u kterých bude k dosažení vyšších teplot nutno potřebovat mnohem více času. To je i důsledek proč jsou menší části velmi často vitrifikovány, na rozdíl od velkých bloků, které zůstávají v poměrně nezměněném stavu (Wadsworth a kol. 2017, 2-4).

Za připomenutí stojí i práce z pera badatelů G. Childea a W. Thorneycrofta, kteří v roce 1938 postavili repliku kamenné zdi z důvodu ověření proveditelnosti vitrifikačních procesů. Bohužel však úplně zanedbali materiálové a rozměrové měřítko, které se na těchto procesech výrazně podílejí. Výsledkem jejich práce tedy bylo odmítnutí myšlenky o posílení

opevnění. V této souvislosti je nutno poznamenat, že k samotnému posílení opevnění dochází až při dosažení účinnosti důkladné a intenzivní vitrifikace. Výhodné jsou dále i dlouhotrvající vyšší teploty, které vedou k všeobecnému slinutí menších částic, což vede ke zvýšení pevnosti v oblastech velkých bloků. A i zde je třeba věnovat pozornost použité litologii, tj. materiálu, ze kterého jsou pevnosti konstruovány a které souvisejí s viskozitou kapaliny a s ní spojeným účinkem slinování a tedy i potencionálním zesílením stavební konstrukce. Pokud by tedy byla na lokalitách pojednávaného typu podobná distribuce teplot žáru dosažená podobnými palivy, pak by lokality žulového charakteru (např. Mote of Mark) pravděpodobně byly vystaveny vyšším teplotám než lokality s dominantním materiálem pískovce (např. Wincobank Hill). Na obrázku 35 je možné vidět oblast Skotska s lokalitami, jejichž pozůstatky poukazují na stopy vitrifikace a která se blíží místní litologii (Wadsworth a kol. 2017, 4-5).

Nutno však připomenout, že závěry stanovené pouze na experimentální práci jsou přinejmenším křehké a prehistorická praxe je stále do značné míry "záhadná". Další otázkou je, zda-li byly tyto účinky zajímavé již pro samotné stavitele těchto opevnění. Na všechna opevnění také nelze stáhnout proces vitrifikace v celém svém obvodu. To je pravděpodobně důsledek neúspěšné vitrifikace nebo pohled na tento proces jako na nežádoucí výsledek. Ian Ralston poukazuje na nejvyšší teploty a tedy i nejvýznamnější činnost vitrifikačních procesů v oblasti dřevěné konstrukce. Vznik pak připisuje úspěšným útočníkům z dob obsazení. Opačný pohled má Youngblood s kolektivem, který informuje o nedostatečné vnitřní konstrukci, která by nebyla schopna vydržet požár s požadovanými teplotami a dobou. Množství paliva by pak bylo nepřiměřeně velké a naznačují tak na možnost pokrytí rašelinou pro schopnost stabilizace dlouhotrvajících teplot. Pokud by se k vitrifikaci přistupovalo jako ke záměrnému a konstrukčnímu procesu tak by pyrotechnologie byla úspěšná až na oblasti s přítomností žáruvzdorné geologie. Pokud by se však stavitelé skutečně zajímali o posílení svých staveb, je pravděpodobné, že by experimentovali s různými technikami. Podpálení tak mohlo představovat jedno z možných řešení, které bylo úspěšné v oblastech vyvěřelých a metamorfovaných hornin v oblastech Skotska. Export do Evropy již nebyl tak zdařilý, a to i z důvodu stavebních materiálů, které nepodléhaly tak účinné tavbě. Ať je tedy motiv

jakýkoliv, zdá se, že geologie daného místa je klíčovým faktorem (Wadsworth a kol. 2017, 5-6).

9 Geofyzikální analýzy

Vzorky, jež byly podrobeny analýze, pocházejí z lokality Plzeň - Hradiště, kde byly odebrány v rámci výzkumných a dokumentačních prací v roce 2012. Konkrétně se pak jedná o severní část valového tělesa z horizontů tvořených destrukcemi a zbytky kamenných konstrukcí. Volba této části pro aplikaci příčného řezu byla především na základě relativně malého staršího narušení. Řez valovým tělesem původně tvořily dvě sondy (1/2012 a 2/2012) oddělené kontrolním blokem o šířce 0,6m. S narůstající hloubkou musel být však kontrolní blok rozebrán z důvodu nesoudržných písčitých uloženin (obr. 36, 37, 38; Šmejda a kol. 2013, 20).

Z důvodu neočekávané situace, a s tím spojeného vyhlášení nouzového stavu, nebylo možné aplikovat na námi zkoumané vzorky veškeré dostupné magnetické analýzy, které by jistě byly velkým přínosem. Ve zkráceném času jsem tedy v koordinaci s paní Ing. Hanou Grison, Ph.D. z Geofyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i. podrobil vybrané vzorky analýzám, které zde bylo v tomto obtížném období možno realizovat.

Typ použité horniny lze přiřadit k místním proterozoickým vyvřelinám, jež tvoří skalní podklad hradiště a blízkého okolí (metabazalty – spility; obr. 39). Z pohledu makroskopického pozorování bylo možné zaznamenat zčervenání materiálu. Předpokládáme, že povrch materiálu byl vystaven jak dlouhodobému kontaktu horniny s půdou, tak i působení ohně, proto díky oxidačním a redukčním procesům došlo na povrchu horniny k vysrážení oxidů železa (maghemit, hematit) mající červenou barvu. Části odhalující vnitřní strukturu pak poukazují na pórovitost, typickou pro tmavě zbarvenou strusku s početnými póry o velikosti 1 – 5 mm. Takový charakter pórů odpovídá šokovému tuhnutí materiálu ovlivněného působením vody. Odlišnou strukturu a pórovitost můžeme sledovat na vzorku strusky (scoria) z lávového proudu z lokality Centrálního Masívu ve Francii, v Aderche, na kterém se dobře

dochoval peridot (olivín). To značí o vysokých teplotách a tlacích, které olivínu pomohly vykristalizovat (obr. 40; Šmejda a kol. 2013, 165; Weaver a kol. 2017, 10; Friend 2008, 3142).

Tvar a rozměr všech analyzovaných vzorků neumožnil přesné stanovení hodnot MS, proto bylo měření prováděno opakovaně a z různých stran. První způsob vyhodnocení materiálu bylo za pomoci kappametru SM 30 od firmy ZH Instruments (obr. 41). Tento malý měřič magnetické susceptibility (dále jen MS) je velmi výhodný především z důvodu jeho snadné manipulace. Kromě toho je schopný spolehlivě měřit i materiály diamagnetické jakými jsou vápenec, křemen či voda. Mimo to je schopný uložit do paměti až 250 naměřených hodnot. Vzorek č. 1, vykazoval největší nehomogenitu, protože z rovnější strany byla průměrná hodnota MS $4,81 \times 10^{-3}$ -SI (obr. 42), ale z druhé, mírně načervenalé strany, vykazoval průměrnou hodnotu $6,72 \times 10^{-3}$ -SI (obr. 43). Za zvýšenou MS stojí pravděpodobně sekundárně vytvořený maghemit, který se na povrchu vzorku vysrážel. V narušené části tohoto vzorku lze pozorovat jeho vnitřní strukturu, která poukazuje na zřetelnou pórovitost materiálu. Vzorek č. 2 ze strany silně rozpraskaného a zčervenalého metabazaltu vykazoval hodnotu MS $4,30 \times 10^{-3}$ -SI (obr. 44). Druhá strana se zřetelnou pórovitostí a lokálním výskytem sklovitého materiálu na povrchu (povrchové vitrifikace) dosahovala hodnot MS $2,48 \times 10^{-3}$ -SI (obr. 45). Tyto hodnoty však byly jistě ovlivněny nemožností plného přiložení kappametru k nerovnému povrchu materiálu. Z tohoto důvodu bylo aplikováno měření ještě na třetí stranu horniny z důvodu ověření naměřených hodnot (obr. 46). Výsledná měření vzorku č. 2 tak ukazují na průměrnou hodnotu MS $4,46 \times 10^{-3}$ -SI. Vzorek č. 3 lze charakterizovat jako část vytvořené taveniny. Tento vzorek bylo velmi obtížné měřit pouhým přiložením kappametru. Z velké části byl kontakt vzorku ovlivněn vzduchem a i přes to vykazoval hodnoty MS $7,10 \times 10^{-3}$ -SI (obr. 47). Z tohoto vzorku bylo možno odebrat menší část a MS stanovit pomocí laboratorního přístroje MFK1-FA (Agico, Brno; viz. obr. 48). Výsledná MS vzorku č. 3 dosáhla hodnoty na $53,30 \times 10^{-3}$ -SI. Aby mohlo dojít k porovnání s existujícími materiály, byla stanovena tzv. hmotnostní magnetická susceptibilita (objemová susceptibilita byla vztažena k hmotnosti). Vzorek vážil 7,7966 g, tudíž výsledná hmotnostní susceptibilita je $53\,300 \times 10^{-8}$ m³/kg. Takto vysoké hodnoty jsou

však u hornin velmi překvapivé, a proto by spíše mohly odpovídat materiálu jako je odpad při výrobě železa (struska) či přímo roztavenému železu. S tímto měřením tedy vyvstává i otázka, zdali zkoumaná tavenina může mít původ v místních proterozoických vyvřelinách (Šmejda a kol. 2013, 165; AGICO. MFK1 [online]. Brno: ©2020 [citováno 15.5.2020]. Dostupné z: <https://www.agico.com/text/products/mfk1/mfk1.php>.; ZH Instruments. SM 30 Shirt Pocket – size magnetic susceptibility meter [online]. Brno: ©2016 [citováno 15.5.2020]. Dostupné z: <http://www.zhinstruments.com/sm30.html>).

10 Závěr

Tepelně upravený materiál se stopami kalcinace či vitrifikace byl na evropských lokalitách zaznamenán již v osmnáctém století, avšak bližší dokumentaci tohoto fenoménu můžeme sledovat až ve století dvacátém. V souvislosti s rozsahem tepelně upraveného materiálu si také nelze nepovšimnout časového propojení rané doby železné s vitrifikováním pouze určité části opevnění (např. Passo Alto, Ratinhos a pravděpodobně i Azenha), na rozdíl od pozdní doby železné, se kterou lze spojovat vitrifikování delších úseků, ne-li po celém opevnění (např. Monte Novo, Sabugal Velho a pravděpodobně i Fraga de Romualdo). Z tohoto pohledu lze tedy pomýšlet na možné náhodné či úmyslné motivy vytvoření (Kresten – Ambrosiani 1992, 1; Ralston 1986, 17; Wadsworth–Heap–Dingwell 2016, 7; Friend - Dye - Fowler 2007, 1685- 1687; Berrocal-Rangel a kol. 2018, 1- 2, 19- 20; Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383).

Nelze opomíjet i topografickou situaci daného místa, kdy v některých případech (např. ostrovní umístění lokality Eilean nam Gobhar) může dojít k poměrně výrazným omezením z hlediska přesunu velkého množství paliva. Při použití různých typů paliv je pak kladena důležitost na dosažené teploty, ale i na kalorickou hodnotu. Ta se pak řídí tepelnou výměnou mezi plyny a horninou. Pro účinnost tepelné výměny je také podstatná i rychlost postupu ohně, která by měla odpovídat velikosti kamenů. Dle výpočtů by tak naplněné stavby dřevěným uhlím poukazovaly na dostatečnou tepelnou výměnu. Obsah

popela ze spalování uhlí či ze sopečných erupcí, který je ve formě malých částic se navíc velmi rychle ochlazuje. K podobným jevům dochází i ve struskovém materiálu z vysokých pecí, který je rozprášen a zchlazen a lze jej použít jako cement. Pomalé zchlazení tedy může u stejného chemického složení vytvořit vhodný materiál pro trvalejší slinuté konstrukce. Tavba popela při vyšších teplotách tedy vytváří mnohem výhodnější kompozice sklovitého materiálu (Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1697; Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 385- 394).

Ve spojitosti se způsobem zkoumání je nutno zmínit také problematiku, mezi kterou můžeme řadit metodu termoluminiscence. Její nesoulad je spojen především s výsledky datace dřevěných konstrukcí pomocí radiokarbonové metody. Získaná data z této metody byla však považována za bezpečná, pokud poukazovala na blízké datování jednotlivých vzorků. Tyto souhlasné parametry pravděpodobně souvisejí s datací stejného horizontu, tj. nacházejí se v úzkém teplotním intervalu. Problematiku magnetické gradietrie v případě nevhodné místní geologie (např. bazaltové horniny se zvýšenou magnetickou odezvou) lze pak, na úkor rozlišení podpovrchových struktur, řešit zvýšením běžných hodnot. Nízký odpor pak může být spojen s vegetativním krytem (např. mech), jež si dokáže zachovat větší množství vlhkosti na rozdíl od okolního travního porostu (Kresten 2003, 9-14; Peteranna - Birch 2018, 80; Goodchild 2016, 10-12).

Mössbauerova spektroskopie pak dokázala odlišit formu železa (Fe^{3+} od Fe^{2+}) v kamenitém materiálu. Forma, ve které se tento prvek nachází, nám dokáže identifikovat, zdali byl kyslík v hojnosti nebo chyběl v okamžiku roztavení horniny. Nedostatek kyslíku by mohl odkazovat o pokrytí taveniny čímsi, co by zabránilo vnikání kyslíku a jeho následné vyčerpání v procesu spalování. Pokryv by tak mohl poukazovat na úmyslné jednání, a to ve spojitosti se zvýšením teplot či by se mohlo jednat o produkt velké masy taveniny, která by celý systém pokryla. S tímto nelze opomenout experiment na okraji města Aberdeen ve východním Skotsku, kde byla směs drnů zabudována do konstrukce, a to z důvodu zabránění proudění vzduchu do vnitřní části jádra a následné stabilizaci nižších teplot okolo 20°C . Velmi pravděpodobné je také využití dřevěného materiálu, díky němuž došlo uvnitř stěny k procesu tavby.

Neméně častým jsou i pozůstatky vertikálních sloupků, které pravděpodobně tvořily palisádu. Možné důkazy tak poskytuje i heterogenita sklovitého materiálu, která odkazuje na vysoké koncentrace draslíku a fosforu, za nímž může stát resorpce popela ze spalování dřevěného materiálu. Tyto prvky se pak také podílejí na snížení teplot tání křemičitanů, a to alespoň v blízkosti vitrifikovaných klastických sedimentů. Mezi nejčastěji použité dřevo můžeme ve většině případů považovat podle antrakologických analýz dub. Přítomnost měkčího březového, olšového a lískového dřeva pak mohlo v některých případech představovat palivo pro podpal (Ralston 1986, 20-34; The Archaeology of Dun Deardail. Forestry Commission Scotland 2018, 43-55; Díaz-Martínez et. al. 2005, 158; Hlásek 2015, 199; Hlásek a kol. 2014, 60; Peteranna - Birch 2018, 62- 65; Weaver a kol. 2017, 3-4).

Velmi častým jevem jsou i doklady osteologického materiálu, z nichž bohužel ne vždy je možno určit zvířecí či lidský původ. Neméně častým je i odhalení mohutných kamenných bloků a drobnějšího materiálu ve vyšších vrstvách. Naoranžovělý břidlicovitý povrch pak poukazuje na nízký obsah maghemitu s absencí fylosilikátů a draselných živců, který odkazuje na dosažené teploty 1000-1100°C. Naopak vzorky, které byly schopné zachovat množství draselných živců poukazují na teploty okolo 800- 1000°C. Takto rozdílné teploty (800-1100°C) pak bývají autory studií střídavě přisuzovány náhodným či úmyslným motivům. Nejednalo by se tedy o přesně řízený podpal, určený pro rituální účely či dosažení specifických konstrukčních vlastností. Nepřítomnost vápenosodných živců a jejich nahrazení draselnými živci si lze pravděpodobně vysvětlit jako menší ovlivnění ohněm. Příčinou jsou nezbytné vyšší teploty, při kterých se draselný živec zachovává tj. 800-1000°C. K odstranění kaolinitu pak dochází při teplotách 600-650°C. Přítomnost kaolinitu tedy naopak poukazuje na teploty, jež nepřesáhly 650°C. U teplot, jež by dokázaly způsobit načervenaní materiálu (600-650°C), nelze mluvit o způsobu posílení konstrukce. Přítomnost pyroxenu na některých tmavo-šedých vzorcích odkazují na teploty vyšší než 1100°C. K odstranění množství skupiny OH pak dochází při teplotách chloritanu v rozmezí 600-700°C (Hlásek 2015, 199; Hlásek a kol. 2014, 60; Vladař 2018, 11-13; Šmejda a kol. 2013, 37- 39; Šmejda - Hložek - Menšík a kol. 2015, 31-32 Šmejda a kol. 2013, 163-166).

Čiré sklo pak má základ ve smíchání určitého množství křemene a draslíku s původem z organického paliva či živce draselného. Tavba křemene a živce draselného tak poukazuje na výrazně nižší teploty oproti křemičitanovým sklům (které vyžadují teplotu $>1400^{\circ}\text{C}$). Významným způsobem se tak na termických procesech mohla podílet i role vody a těkavých prvků (např. fluoru či chlóru), které by dokázaly snížit viskozitu taveniny nebo se podílet na snížení teplot tání. Účinky vody pak byly zdokumentovány především u silikátových skel, kde se výrazným způsobem podílely na tání amfibolitů. Přítomnost dalších prvků v čirém skle, které nezohledňují draselné a křemenné živce, lze připsat přítomnosti slídy s relativně nízkým obsahem železa (např. muskovit). Tento minerál, jenž byl v některých případech prokazatelně použit při stavbách opevnění, mohl vykazovat proces tání, již při $800\text{-}950^{\circ}\text{C}$, a to ve spojitosti s rozkladem slídy (jakým je např. biotit) a následnou reakcí křemenného materiálu. Celý tento proces pak mohl být doplněn o vznik draselných živců, ortopyroxenů a kapalin. Zisk všech těchto elementů pak mohl být důsledkem tavení amfibolitu (Weaver a kol. 2017, 3-10; Friend - Dye - Fowler 2007, 1698- 1699).

Odlišnost v chemickém složení tmavého skla je spjata především s vyšším množstvím železa (Fe_2O_3 : 11,75% hmotnosti- tmavé sklo vs. 0,91% hmotnosti- čiré sklo), alkalických zemin (CaO : 11,33% hmotnosti - tmavé sklo vs. 0,22% hmotnosti- čiré sklo), přechodných kovů (TiO_2 : 1,63% hmotnosti- tmavé sklo vs. 0,15% hmotnosti - čiré sklo) a naopak nižší zastoupením alkalických zemin (K_2O : 2,39% hmotnosti- tmavé sklo vs. 8,94% hmotnosti- čiré sklo) a křemíku (SiO_2 : 48,95% hmotnosti- tmavé sklo vs. 67,37% hmotnosti- čiré sklo). Podobnost chemického složení tmavého skla je možné přiřadit k některým čedičovým sklům. Tmavé sklo je pravděpodobně výsledkem tavení amfibolitu, jenž byl vystaven stejným teplotám jako u žulového materiálu. Amfibolit se pak s velkou pravděpodobností rozkládá na bezvodé minerály, zejména na pyroxeny (např. diopsid), které při zvýšených teplotách taveniny a tavbě živcových fází se transformují do tmavého skla (Weaver a kol. 2017, 9-10).

Tvorba polokruhovitých vzorů na povrchu může být následkem mikrobiální činnosti. Je tedy zřejmé, že na změně skleněného materiálu se v průběhu doby podílí více mechanismů, a to jak abioticky či bioticky řízených. Určitou souvislost těchto mechanismů lze přiřadit k metabolickým procesům biologických druhů na povrchu skla, rychlosti doplňování vody a půdní chemii, jež je ve styku se sklem. Činnost mikrobů se pak podílí na rychlosti a mechanismech změn sklovitého materiálu. Výsledek této činnosti tak můžeme pravděpodobně charakterizovat jako následek působení organických kyselin, jež jsou produkovány mikroorganismy s možností podílení se na pozitivních či negativních změnách na daném materiálu (Weaver a kol. 2017, 11).

Pro přiblížení metabolických procesů je nezbytná bližší znalost zastoupených druhů mikrobů v daném prostředí, jež informuje o pH měnícím se roztoku. Zde se jedná o regulaci pH různými skupinami organismů, které se podílejí na "obyvatelnějším" povrchu, kde mohou žít. Lze tak poukázat např. na činnost fototrofních organismů, které biologicky reagují na světlo a jež mohou zvyšovat pH nad hodnotou 10. Tato hodnota tak může následně vést k výraznému procesu změny. Jiné organismy, jejichž proces změny se naopak týká hodnot $\text{pH} > 5$, pak může proces změny urychlit, ale pouze za přítomnosti kyseliny šťavelové, která je běžně přítomna v přírodním prostředí. Kromě toho se zdá, že hodnota pH hraje důležitou roli i v tvorbě sekundárních krystalických fází z aluminosilikátových hydrogelů. Pokud by tedy byl přítomen nadbytek hydroxidových aniontů a zásad, hydrogel by se mineralizoval na zeolity. Tvorba zeolitů je pak často spojována s opakovaným procesem rozpouštěním skla (Weaver a kol. 2017, 11).

Z hlediska fosforu s vazbou na vápník pak lze uvažovat o možnosti přidání osteologického materiálu (hydratovaný fosforečnan vápenatý), jež nemusel nutně být použit záměrně jako tavidlo. Z pohledu osteologického materiálu také nelze opomenout šedé až bílé (výjimečně černé) zbarvení, které odkazuje na spálení organické hmoty za teplot překračujících 600°C . Na intenzivní výpal mohou dále poukazovat i rekrystalizace kostního minerálu. Dle experimentů z konce osmdesátých let 20. století pak příčné rýhy a hlubší štěrbiny svědčí o pálení kostí s masem a nikoliv o pálení v suchém a očištěném

stavu (Friend - Dye - Fowler 2007, 1698- 1699; Hlásek a kol. 2014, 60; Hlásek 2015, 199).

Nutno také zmínit možné reakce specifických minerálů v pelitických, semipelitických či slídových materiálech, ke kterým dochází při nízkých tlacích. Z možných variant můžeme mluvit o dvou typech reakcí:

Reakce č. 1

flogopit + křemen = sanidin + orthopyroxen + kapalina

Reakce č. 2

annit = sanidin + kapalina

V první uvedené reakci bude flogopit potřebovat teploty okolo 830°C. Druhá reakce pak popisuje situaci, kdy slídový materiál, jež je bohatší na množství železa, které se může rozkládat pomocí dehydratační reakce a jež vytvoří taveninu již při teplotách okolo 800°C. Slídy jsou více bohaté na Fe a mohou se samy rozkládat dehydratační reakcí (2), čímž se vytvoří tavenina při teplotě okolo 800°C. Poměry FeO/ -Fe₂O₃ pravděpodobně také mohou odkazovat na přítomnost redukčních podmínek. Proces tání pak měl být zahájen degradací slídového materiálu, s množstvím biotitu a muskovitu. K tavně křemene a biotitu tedy docházelo při teplotě 850°C. Tímto způsobem se tedy vytvořila kapalina, ve které se minerální zrna částečně rozpustila nebo reagovala (Kresten 2003, 9-14; Peteranna - Birch 2018, 80; Weaver a kol. 2017, 3-4; Friend - Dye - Fowler 2007, 1698 - 1700).

Samotný pojem vitrifikace se používá k popisu konstrukce fortifikační stěny s obsahem sklovitého materiálu či devitrifikovaných produktů. V případě tepelné úpravy vápence pak spíše hovoříme o procesu kalcinace nežli o procesu vitrifikace. Proces kalcinace lze definovat jako rozklad materiálu bez procesu tavby. Jedním z nejběžnějších procesů kalcinování materiálu je přeměna vápence (uhličitanu vápenatého) na vápno. Vápenkové pevnosti tedy podléhají vyšším teplotám. Z pohledu archeologie můžeme tedy na jev vitrifikace a kalcinace pohlížet "jako na produkt stejného procesu v různých geologických podmínkách". Jsou však také zaznamenány případy spojení materiálu, jež je podobný maltě a který pochází z páleného a hydratovaného vápence nebo dolostonu. K procesu kalcinace však nelze použít hydroxid

vápenatý, který se používá k výrobě hašeného vápna a jež je skoro celý složen z uhličitanu vápenatého. Proto je při experimentech důležité použít místní vápence, které mohou vykazovat odlišné chování v hydrataci a kalcinaci. S tím lze spojit i časovou náročnost na proces hydratace. Dále lze zmínit i atomy draslíku a sodíku, jež mají vyšší počet přilehlých atomů kyslíku ve srovnání s křemíkem. V tomto procesu tak dochází k rozbití tuhé sítě křemíku-kyslíku jež usnadňuje přeskupení a snižuje teploty potřebné k tání. Nižší obsah draslíku a sodíku ve spojitosti s vyšším obsahem oxidu křemičitého má ve skle vynikající vlastnosti vůči odolnosti v přírodním prostředí. Naopak sklovitý materiál bohatý na množství draslíku a sodíku je náchylný ke korozi a z důvodu vyšší míry alkálií mohou být dokonce rozpustné ve vodě. Přidávání oxidu vápenatého (6% vápno) do skla pak může zlepšovat i odolnost vůči vlhkosti. Oxid hlinitý pak může dopomoci ke zlepšení chemické odolnosti vůči devitrifikaci skla (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383- 395; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687).

S pojmy degradace je nutné zmínit korozi skla, která je soustředěna na povrchu skla a jež je ochuzena o prvkové složení a která může být rozpustná ve vodě. Tato vrstva pak dosahuje velikosti pouze několik desítek nanometrů. Mezi hlavní mechanismy koroze skla pak lze řadit alkalickou extrakci a rozpouštění matrice. Rozpouštění matrice je podporováno spíše vyššími hodnotami pH a vyšším množstvím alkálií (množství draslíku a sodíku), zatímco alkalická extrakce je pravděpodobnější při nízkých hodnotách pH a nízkým obsahem alkálií. Vyšší teploty pak, ale také mohou vést i k oslabení materiálu, a to především z důvodu zvyšování množství mikrotrhlin, které vznikají jako důsledek tepelně vyvolaného stresu a pozdější vesikulace v částečné tavenině (v případě žuly). V případě granulovaného charakteru stejného materiálu dochází za stejných podmínek po dostatečnou dobu naopak k posílení materiálu (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 384- 395; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687; Wadsworth a kol. 2017, 2-4).

Z důvodu celosvětového výskytu koronaviru SARS CoV-2 a s tím spojeným vyhlášením nouzového stavu, nebylo možné zkoumané vzorky podrobit plánovaným analýzám. Ve zkráceném času, ve spolupráci s paní Ing. Hanou Grison, Ph.D. z Geofyzikálního ústavu AV ČR, v. v. i., bylo možno

stanovit magnetickou susceptibilitu 3 vzorků z lokality Plzeň - Hradiště. Konkrétně se jedná o místní proterozoické vyvřeliny, jež tvoří skalní podklad hradiště a blízkého okolí (metabazalty - spility). Po stanovení magnetické susceptibility pomocí kappametru, SM 30 (ZH Instruments, Brno) se ukázal nejvíce překvapivým vzorek taveniny, který po detailnějším měření laboratorním přístrojem MFK1-FA (Agico, Brno) vykazoval hodnoty, jež by bylo možno srovnat s odpadem při výrobě železa či roztaveným železem. S tímto tedy vyvstává otázka, zdali veškerá tavenina, nalezená na Hradišti má původ v místních proterozoických vyvřelinách (Šmejda a kol. 2013, 163-165; Weaver a kol. 2017, 9; Friend 2008, 3142).

Nejlépe tedy lze definovat archeologicky dokumentované situace jako souběh okolností s mnohonásobnými příčinami, jakými mohou být přírodní požáry, destruktivní motivy, konstrukční motivy z pohledu stavebních technik či motivy rituální a symbolické. V této souvislosti nutno pomýšlet i na možné využití dřevěných prvků sloužící k možnému překonání "obraně slabosti" dané pevnosti (Díaz-Martínez et. al. 2005, 158; Hlásek 2015, 199; Hlásek a kol. 2014, 60; Peteranna - Birch 2018, 62- 65; Weaver a kol. 2017, 3-4; Berrocal-Rangel a kol. 2018, 19- 20).

11 Resumé

In connection with the extent of heat-treated materials the time connection of the Early Iron Age with vitrification of only a certain part of fortifications cannot be overlooked, unlike the Late Iron Age which can be associated with vitrification of longer sections, or the whole fortifications. From this point of view, one can contemplate possible accidental or intentional motives for creation (Kresten – Ambrosiani 1992, 1; Ralston 1986, 17; Wadsworth–Heap–Dingwell 2016, 7; Friend - Dye - Fowler 2007, 1685- 1687; Berrocal-Rangel, et al., 2018, 1- 2, 19- 20; Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383).

With methods of research, it is also necessary to mention the issues, among which we can include the method of thermoluminescence. Its discrepancy is mainly associated with some results of dating wooden structures by means of radiocarbon dating methods. However, the data obtained by this method were considered safe if they indicated close dating of individual samples. These consistent parameters are probably related to the dating of the same horizon, i.e. they are in a narrow temperature interval (Kresten 2003, 9-14; Peteranna - Birch 2018, 80; Goodchild 2016, 10-12).

Remains of vertical columns probably forming palisades are no less often. Possible evidence is also provided by the heterogeneity of vitreous materials which refers to high concentrations of potassium and phosphorus, which may be due to ash resorption from combustion of wood materials. These elements also contribute to lowering the melting points of silicates, at least in the vicinity of vitrified clastic sediments. According to anthracological analyzes, oak wood can be considered the most frequently used. And in some cases, the presence of softer birch, alder and hazel wood could indicate a kindling fuel (Ralston 1986, 20-34; The Archaeology of Dun Deardail. Forestry Commission Scotland 2018, 43-55; Díaz-Martínez et. al. 2005, 158; Hlášek 2015, 199; Hlášek et al. 2014, 60; Peteranna - Birch 2018, 62- 65; Weaver et al. 2017, 3-4).

The orangish surfaces then indicates a low content of maghemite, with the absence of phyllosilicates and potassium feldspars, which refers to the achieved temperatures of about 1000-1100°C. On the contrary, samples that were able to retain some amount of potassium feldspars indicate temperatures of about 800-1000°C. Such different temperatures (800-1100°C) are attributed alternately to random or intentional motifs by the authors of studies. Which means, that there was not a precisely controlled kindling of fire intended for ritual purposes or to achieving some construction-specific properties. The absence of calcium-sodium feldspars and their replacement by potassium feldspars might be explained as fire minor influencing. At temperatures that could cause material reddening (600-650°C) it is not possible to claim that it was a way to strengthen the structure. The role of water and volatile elements (e.g. fluorine or chlorine) could reduce the viscosity of a melt or contribute to depression of melting points. Muscovite was used very provably in the construction of fortifications in some cases, because it could be exposed to a melting process already at 800-950°C, thanks to decomposition of mica (e.g. biotite) and the subsequent reaction of quartz material. The whole process could then be supplemented by formation of potassium feldspars, orthopyroxenes and liquids. The gain of all these elements could then be due to the melting of amphibolite (Hlásek 2015, 199; Hlásek, et al.. 2014, 60; Vladař 2018, 11-13; Šmejda, et al., 2013, 37- 39; Šmejda - Hložek - Menšík et al., 2015, 31-32 Šmejda, et al., 2013, 163-166; Weaver et al. 2017, 3-10; Friend - Dye - Fowler 2007, 1698- 1699).

The activity of microbes then contributes to the rate and mechanisms of changes of vitreous materials. The result of this activity can probably be characterized as a consequence of the action of organic acids which are produced by microorganisms with the possibility of participating in positive or negative changes in the material. In order to approximate the metabolic processes, it is necessary to have closer knowledge of the species of microbes in the given environment which informs of changing the pH of a solution. It is thus possible to point out, for example, the activity of phototrophic organisms which are biologically responsive to light and which can increase the pH above

10. Other organisms, whose process of change, on the other hand, involves values of pH > 5, can then accelerate the process of change, but only in the presence of oxalic acid that is normally present in the natural environment. On top of all that, pH seems to play an important role in the formation of secondary crystalline phases from aluminosilicate hydrogels. Thus, if there was an excess of hydroxide anions and bases, hydrogel would be mineralized to zeolites. The formation of zeolites is then often associated with a repeated process of glass melting (Weaver et al. 2017, 11).

From the point of view of calcium-bound phosphorus, the possibility of adding osteological material (hydrated calcium phosphate) should be considered which did not necessarily have to be used intentionally as a flux (Friend - Dye - Fowler 2007, 1698- 1699; Hlášek et al. 2014, 60; Hlášek 2015, 199).

It is also necessary to mention possible reactions of specific minerals in pelitic, semipelitic or mica materials which can occur at low pressures. There are many possible versions, but we shall choose two types of reactions:

Reaction No. 1

phlogopite + quartz = sanidine + orthopyroxene + liquid

Reaction No. 2

annite = sanidine + liquid

As for the first reaction is concerned, phlogopite will need temperatures of about 830°C. The second reaction describes a state with mica materials with a richer content of iron which can decompose due to dehydration reactions, and which forms a melt even at temperatures of about 800°C. FeO / -Fe₂O₃ ratios may also refer to the presence of reduction conditions. The melting process should be initiated by the degradation of mica materials, with large amounts of biotite and muscovite. The melting of quartz and biotite therefore took place at a temperature of 850°C. In that way a liquid was formed in which mineral grains were partially dissolved or reacted (Kresten 2003, 9-14; Peteranna - Birch 2018, 80; Weaver et al. 2017, 3-4; Friend - Dye - Fowler 2007, 1698 - 1700).

One of the most common processes of material calcination is the conversion of limestone (calcium carbonate) into lime. This can be associated with the time required for hydration processes. Potassium and sodium atoms should be also mentioned with a higher number of adjacent oxygen atoms compared to silicon. In this process, the solid silicon-oxygen network is broken which facilitates rearrangement and reduces temperatures required for melting (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 383- 395; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686-1687).

Higher temperatures can also lead to weakening of the material, mainly due to increase in the number of microcracks arising as a result of heat-induced stress and later vesiculation in the partial melt (in the case of granite). And vice versa, in case of the granular nature of the same material, the material is strengthened within a reasonable time under the same conditions (Sjöblom - Ecke - Brännvall 2013, 384- 395; Friend - Dye - Fowler 2007, 1686- 1687; Wadsworth et al. 2017, 2-4).

The samples that were subjected to geophysical analyzes come from the locality Plzeň – Hradiště. The most surprising was melt sample, because after more detailed measurements using the MFK1-FA laboratory instrument it showed values that could be compared with waste from iron production or molten iron itself (Šmejda et al. 2013, 163-165; Weaver et al. 2017, 9; Friend 2008, 3142).

Thus, it is best to define archaeologically documented situations as a concurrence of circumstances with multiple causes, such as natural fires, destructive motifs, construction motifs from the point of view of construction techniques or ritual and symbolic motifs. In this context, it is necessary to think about the possible use of wooden elements to overcoming the "defensive weakness" of the fortress (Díaz-Martínez et. al. 2005, 158; Hlásek 2015, 199; Hlásek et al. 2014, 60; Peteranna - Birch 2018, 62- 65; Weaver et al. 2017, 3-4; Berrocal-Rangel et al. 2018, 19- 20).

12 Seznam použité literatury

Berrocal-Rangel, L. a kol. 2018: Vitrified Walls in the Iron Age of Western Iberia: New Research from an Archaeometric Perspective, *European Journal of Archaeology* 22, 1- 25.

Díaz-Martínez a kol. 2005: Evidence for wall vitrification at the Late Bronze Age settlement of Passo Alto (Vila Verde de Ficalho, Serpa, Portugal). *Revista Portuguesa de Arqueologia* 8, 151-161.

Friedrich, F. C. 1946: Otázka spečených valů, *Obzor prehistorický* 13, 88-90.

Friedrich, F. C. 1957: K otázce tzv. spečených valů, *Časopis národního muzea* 126, 130-138.

Friend C. R. L. a kol. 2008: Experimentally produced glass compared with that occurring at The Torr, NW Scotland, UK: vitrification through biotite melting, *Journal of Archaeological Science* 35, 3130-3143.

Friend, C. R. L. - Dye, J. - Fowler, M. B. 2007: New field and geochemical evidence from vitrified forts in South Morar and Moidart, NW Scotland: further insight into melting and the process of vitrification, *Journal of Archaeological Science* 34, 1685-1701.

Goodchild, H. a kol. 2016: The Knock Vitrified Fort, N. Ayrshire: Site survey and archaeological excavation of the southern ramparts. University of York.

Hlásek, D. a kol. 2014: Hradiště „Kozí vrch“ u Všemyslic, okr. České Budějovice. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 27, 51–67.

Hlásek, D. a kol. 2015: *Archeologické výzkumy v jižních Čechách. Jihočeské muzeum v Českých Budějovicích a Západočeská univerzita v Plzni: České Budějovice – Plzeň.*

Hlásek, D. a kol. 2015: Všemyslice – Kozí vrch, Nové poznatky o hradišti z počátku střední doby bronzové, výsledky multidisciplinárního výzkumu. *Archeologie západních Čech* 9, 96-121.

Chvojka, O. a kol. 2010: Hradec u Nuzic (okr. České Budějovice). Hradiště na soutoku Lužnice a Židovy strouhy - Hradec bei Nuzice (Kr. České Budějovice) - Der Burgwall an der Mündung des Baches Židova strouha in die Lužnice. *Archeologické výzkumy v jižních Čechách* 23, 53–71.

Kondelík, M. 2012: Archeologie v západních Čechách do roku 1950. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Menšík, P. Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni.

Kresten, P. - Ambrosiani B. 1992: Swedish vitrified forts- a reconnaissance study, *Fornvännen* 87, 1-17.

Kresten, P. – Goedicke, Ch. – Manzano A. 2003: TL – dating of vitrified material. *Geochronometria* 22, 9-14.

Křivánek, R. 2008: Detailní měření magnetické susceptibility v odkrytých archeologických situacích – Detailed measurement of magnetic susceptibility in an open archaeological situation, *Archeologické rozhledy* 60, 695-724.

Kuna, M. a kol. 2004: Nedestruktivní archeologie - Non-destructive archaeology, Praha: Academia.

M. Cook a kol. 2010: New light on oblong forts: excavations at Dunnideer, Aberdeenshire, *Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland* 140, 79-91.

Neustupný, E. 2010: Teorie archeologie. Katedra archeologie ZČU v Plzni: Aleš Čeněk, s. r. o.

Peteranna, M. - Birch, S. 2018: Storm damage at Craig Phadrig hillfort, Inverness: results of the emergency archaeological evaluation, Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland 148, 61-81.

Pluháček, T. 2011: Možnosti specializačních analýz v AAS. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Milde, D. Fakulta přírodovědecká Univerzita Palackého v Olomouci.

Ralston, I. 1986: The Yorkshire Television vitrified wall experiment at East Tullos, City of Aberdeen District, Proceedings of the Society of Antiquaries of Scotland 116, 17-40.

René, M. 2016: Úvod do geochemie. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého v Praze.

Sanderson, D. C. W. - Placido, F. - Tate, J. O. 1985: Scottish vitrified forts: Background and potential for TL dating, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 10, 799- 809.

Sjöblom, R. - Ecke, H. - Brännvall, E. 2013: Vitrified forts as anthropogenic analogues for assessment of long-Term stability of vitrified waste in natural environments, International Journal of Sustainable Development and Planning 8, 380- 399.

Sklenář, K. 2015: Spolupráce s vědami o neživé přírodě v počátcích české archeologie - Cooperation with non-life sciences at the beginning of Czech archaeology, Archeologické rozhledy 67, 547-593.

Strickertsson, K. - Placido, F. - Tate, J. O. 1988: Thermoluminescence dating of Scottish vitrified forts, Nuclear Tracks and Radiation Measurements 14, 317-320.

Šmejda L. a kol. 2013: Hradiště u Plzně, okr. PM (Nálezová zpráva). Archiv západočeského muzea v Plzni.

Šmejda, L. - Hložek, J. - Menšík, P. et al. 2015: Archeologický výzkum opevnění lokality Hradiště u Plzně v letech 2012 a 2013. Archeologie západních Čech, 9, 25-43.

The Archaeology of Dun Deardail. Forestry Commission Scotland, 2018. 4-63.

Vladař, D. 2018: Informační potenciál tzv. spečených valů. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Šmejda, L. Fakulta filozofická Západočeské univerzity v Plzni.

Wadsworth, B. F. a kol. 2017: Local geology controlled the feasibility of vitrifying Iron Age buildings, Scientific Reports 7, 1-7.

Wadsworth, F. B. - Heap, M. J. - Dingwell, D. B. 2016: Friendly fire: Engineering a fort wall in the Iron Age, Journal of Archaeological Science 67, 7-13.

Weaver L. Jamie a kol. 2017: Pre-viking Swedish hillfort glass: A prospective long-term alteration analogue for vitrified nuclear waste, International Journal of Applied Glass Science 4, 1-15.

Internetové zdroje:

Bechtel National, Inc., U.S. Department of Energy Office of River Protection. Hanford vit plant [online]. Washington © 2007 [citováno 9.2. 2020]. Dostupné z: <https://www.hanfordvitplant.com/>.

AGICO. MFK1 [online]. Brno: ©2020 [citováno 15.5.2020]. Dostupné z: <https://www.agico.com/text/products/mfk1/mfk1.php>.

ZH Instruments. SM 30 Shirt Pocket – size magnetic susceptibility meter [online]. Brno: ©2016 [citováno 15.5.2020]. Dostupné z: http://www.zhinstruments.com/sm_30.html.

13 Přílohy



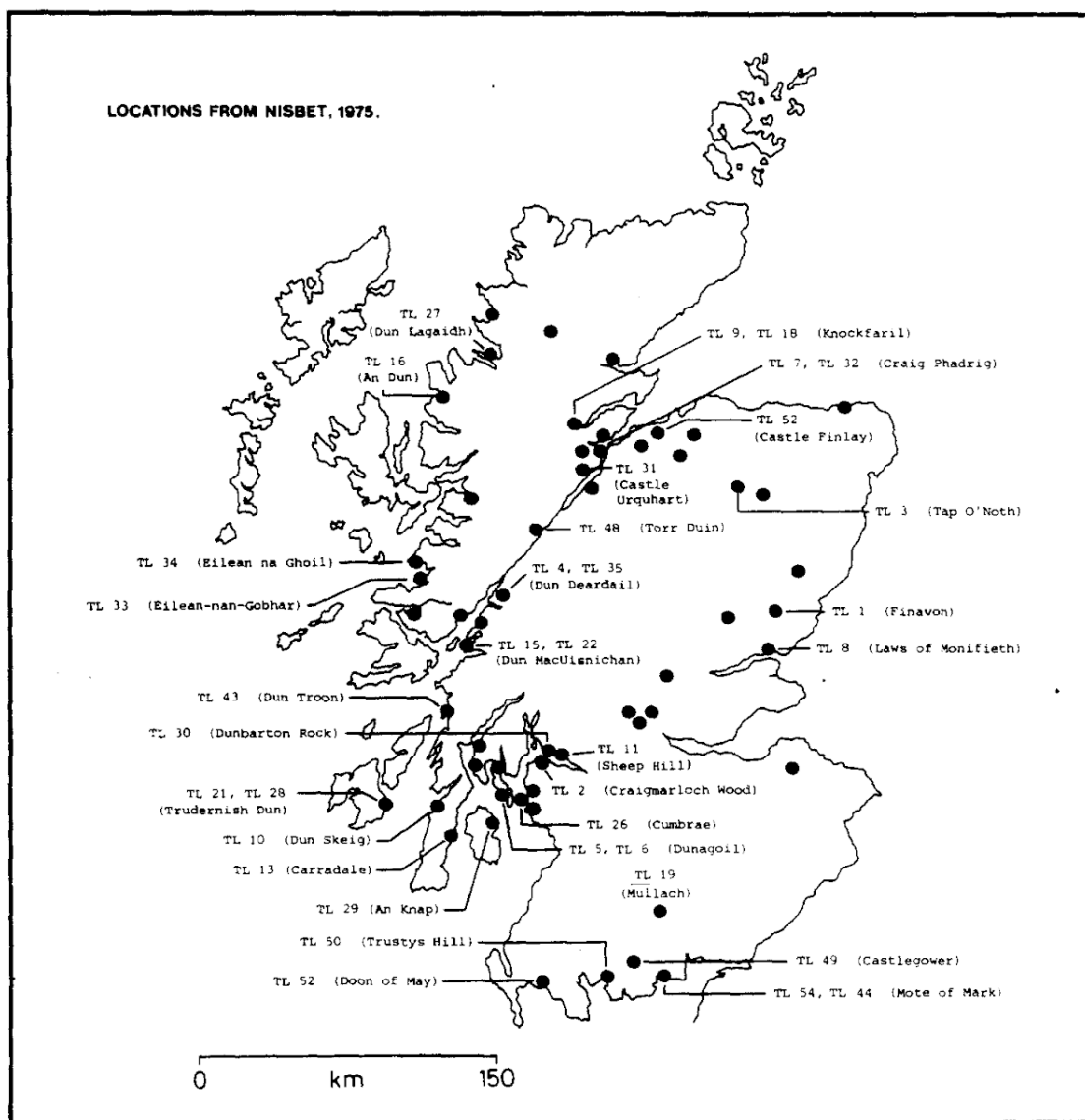
Obr. 1. Vitřifikované pevnosti v Evropě s datováním od střední doby bronzové do období raného středověku: 1. Moidart- Morar, 2. Lochaber, 3. Inverness, 4. Strathdon, 5. Clyde, 6. Dumfries a Galloway, 7. Wincobank, 8. Mayenne, 9. Vienne, 10. Corrze, 11. Côte d'Or, 12. Meurthe-et-Moselle, 13. Cantal, 14. Loire, 15. Sado-Mira, 16. Sasko, 17. Bukowetz, 18. Hjälmaren Lake, 19. Hesse (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 3).

Charakter geologického prostředí lokality		Běžný rozsah magnetické susceptibility ($j \cdot 10^{-3}$ SI)
vyvěřelé horniny	žuly	0,5–5
	granodiority, diority	5–50
	neovulkanity, andezity, čediče, trachyty, znělce	5–100
usazené horniny	jíly, jílovce, slínovce (opuky), jíly, břidlice	0,1–0,5
	písky, pískovce, prachovce, slepence	0,2–0,7
	vápence, dolomity	0,1–0,3
přeměněné horniny	ortoruly (v závislosti na horninovém složení)	0,3–50
	hadce	30–500
	pararuly (v závislosti na horninovém složení)	0,1–1
	křemence, mramory	0,1–0,5
pokryvné útvary	aluviální sedimenty	0,3–1
	jíly	0,1–0,3
	hlíny	0,3–1
	spraše	0,1–0,5
	štěrkopísky (v závislosti na horninovém složení)	0,3–2

Obr. 2. Obvyklé rozsahy hodnot magnetické susceptibility nejčastějších hornin v Čechách (Křivánek 2008, 697).

Typ archeologické situace	Běžný rozsah magnetické susceptibility ($j \cdot 10^{-3}$ SI)	
archeologické souvrství	běžné hlinité humosní kulturní vrstvy	0,5–1,5
	kulturní vrstvy s obsahem vypálených materiálů, mazanice, strusek, uhlíků aj.	1–5
zahlobené sídlištní objekty	zahl. domy, hlínky, jámy, polozemnice aj. s hlinitou výplní	0,5–2
	domy či jiné objekty s hlinito-dřevěnou či částečně kamennou konstrukcí, zaniklé požárem	1–30
	kulové jamky, obvodové žlábký, příkopová ohrazení aj. s hlinitou výplní	0,5–1,5
	ohniště v rámci sídlištních objektů	1–10
zděné sídlištní objekty	objekty z nepálených cihel	0,5–2
	objekty z pálených cihel	5–10
	objekty z kamenného zdiva (v závislosti na typu stavebního kamene)	0,1–100
opevnění	sypané hlinité a dřevo-hlinité valy nepropálené	0,2–1
	kamenné valy a valy s vnitřní kamennou konstrukcí, plentou aj. (v závislosti na typu stavebního kamene)	0,1–100
	valy s dřevo-hlinitou či kamennou konstrukcí zaniklé požárem	1–10
	příkopy (v závislosti na charakteru zásypu, obsahu a druhu destrukce valu aj.)	0,5–2
pohřebiště	hrobové jámy s hlinitou výplní	0,5–1,5
	žárové hroby s popelovitou vrstvou	1–5
výrobní objekty	železářské pece	5–80
	sklářské pece	5–40
	hrnčířské či chlebové pece	1–10
	smolárny, milíře aj.	1–5
	výrobní odpad, haldy, sekundární výplně zahl. objektů aj.	0,5–5

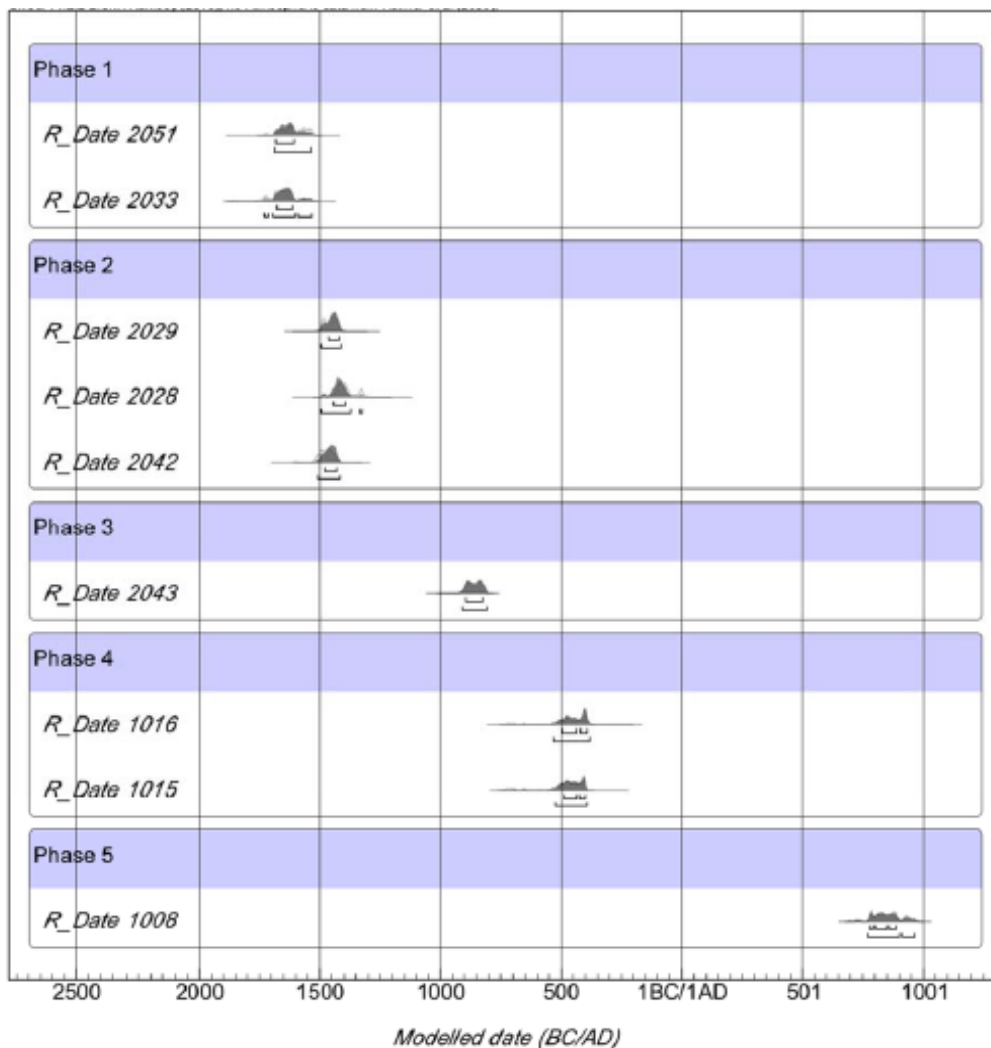
Obr. 3. Obvyklé rozsahy hodnot magnetické susceptibility sledované v různých archeologických situacích (Křivánek 2008, 697).



Obr. 4. Lokace jednotlivých pobřežních tak vnitrozemských lokalit (Sanderson - Placido - Tate 1985, 800)

Site	Grid reference	Building material	Sample material	Inclusion technique	TL age (ka BP)	Archaeological age determination
Mote of Mark	NX845540	Granite	Granite	L, F, P, Q	1.2 ± 0.1	^{14}C dates and finds 400–650 AD
Kemp Law	NS335336	Mixture of dolerite and sandstone	Sandstone	F, Q	3.5 ± 0.7	Iron Age
Portencross	NS171491	As Kemp Law	Sandstone	F, Q	3.4 ± 0.7	Iron Age
Dundonald	NS363346	Basalt	Burned stone (found in contact with vitrified material)	F	0.8 ± 0.2	Iron Age

Obr. 5. Výsledky datování čtyř vitrifikovaných lokalit. L = lehká frakce; F = živec draselný; P = plagioklasa; Q = křemen (Strickertsson - Placido - Tate 1988, 320).



Obr. 6. Plzeň - Hradiště: radiokarbonové datování lokality s charakterizací jednotlivých fází:

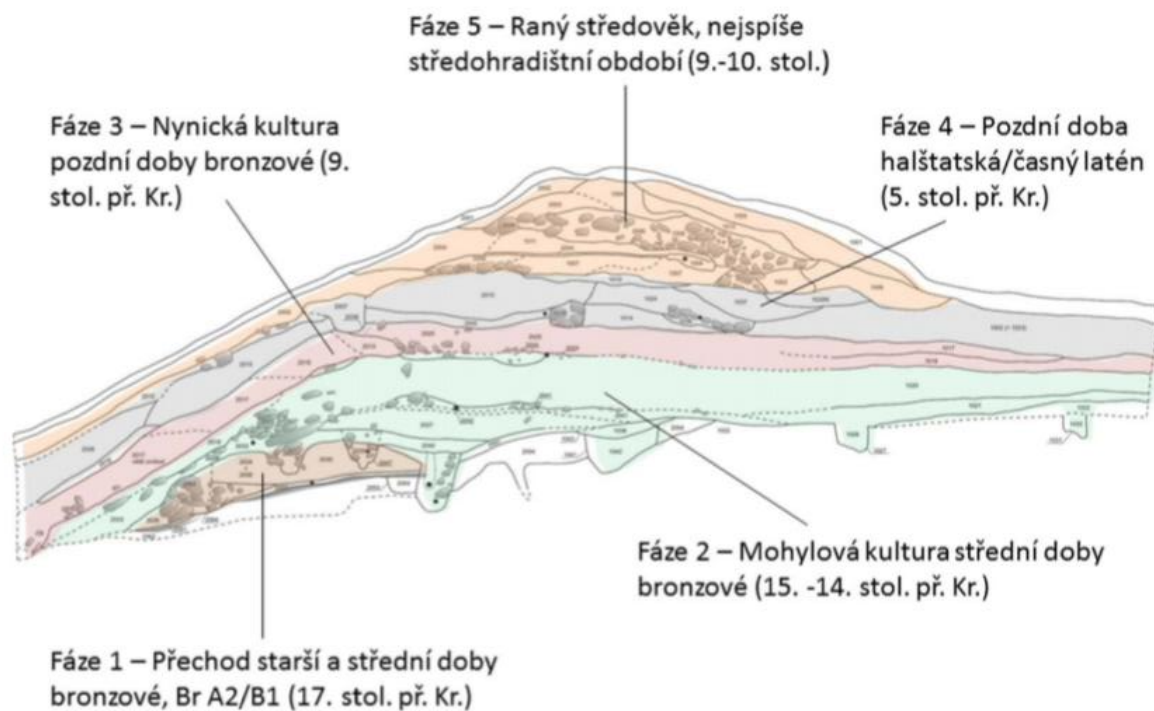
Fáze 1 – Přejechod starší a střední doby bronzové, Br A2/B1 (17. stol. př. Kr.),

Fáze 2 – Mohylová kultura střední doby bronzové (15. - 14. stol. př. Kr.),

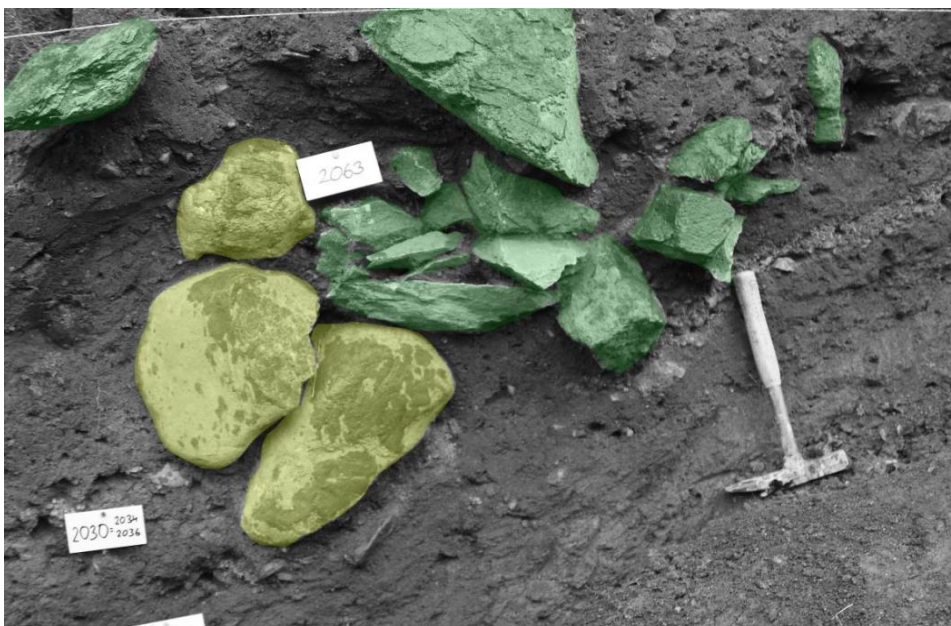
Fáze 3 – Nynická kultura pozdní doby bronzové (9. stol. př. Kr.),

Fáze 4 – Pozdní doba halštatská/časný latén (5. stol. př. Kr.),

Fáze 5 – Raný středověk, nejspíše středohradištní období (9. - 10. stol.; Šmejda a kol. 2013, 91).



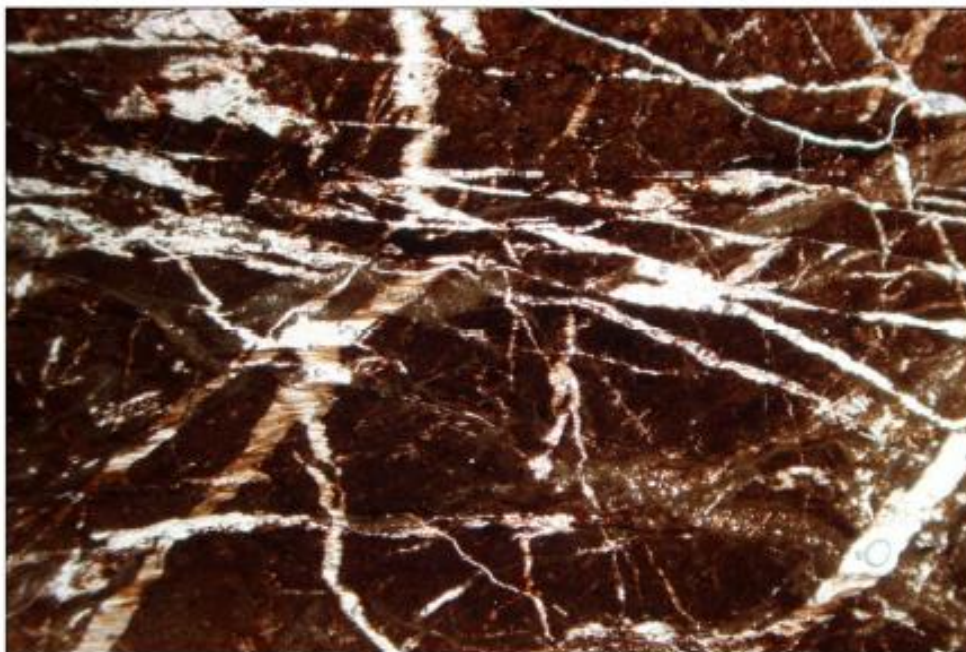
Obr. 7. Plzeň - Hradiště: stratigrafické rozdělení do hlavních chronologických fází na základě předběžného datování artefaktů a radiokarbonových dat (Šmejda a kol. 2013, 93).



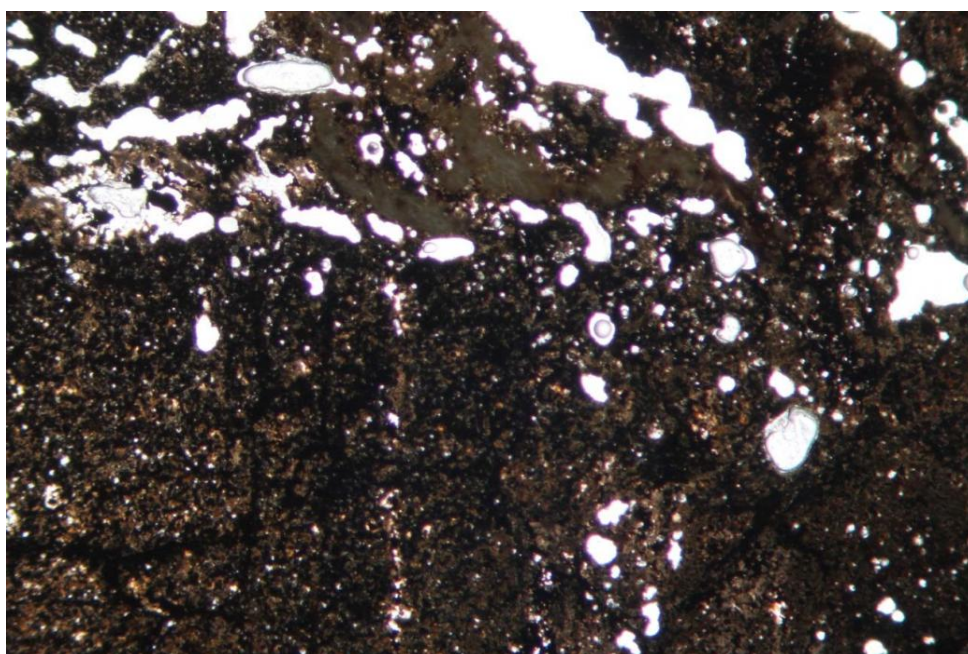
Obr. 8. Plzeň - Hradiště: terénní řez s vyznačenými fluviálními valouny (žlutě) a proterozoickými metabazalty (zeleně) – kontext 2063 (Šmejda a kol. 2013, 171).



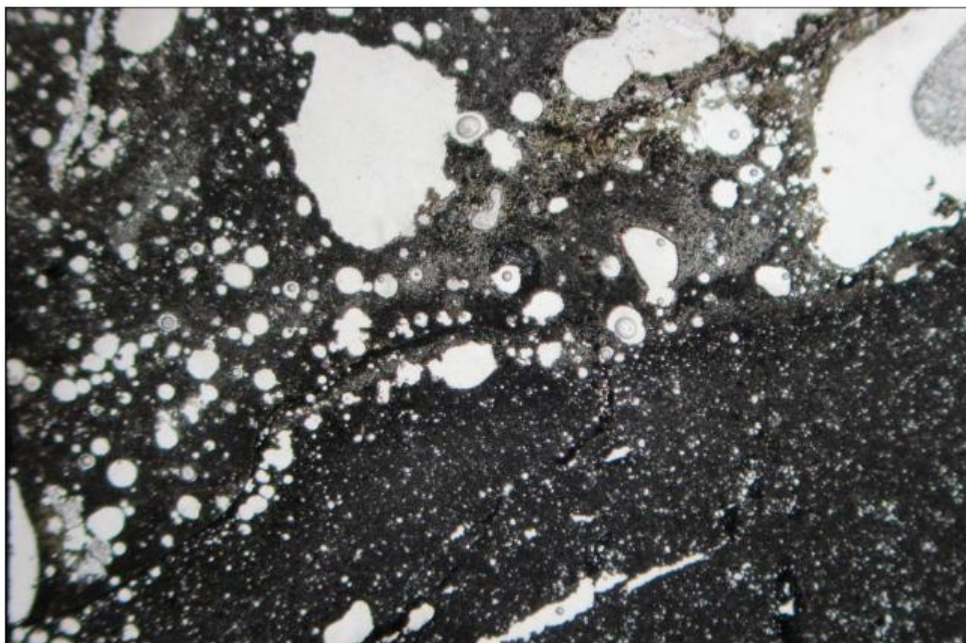
Obr. 9. Vnitřek keramické pece po zahřátí vzorku metabazaltu na 1300°C (Šmejda a kol. 2013, 176).



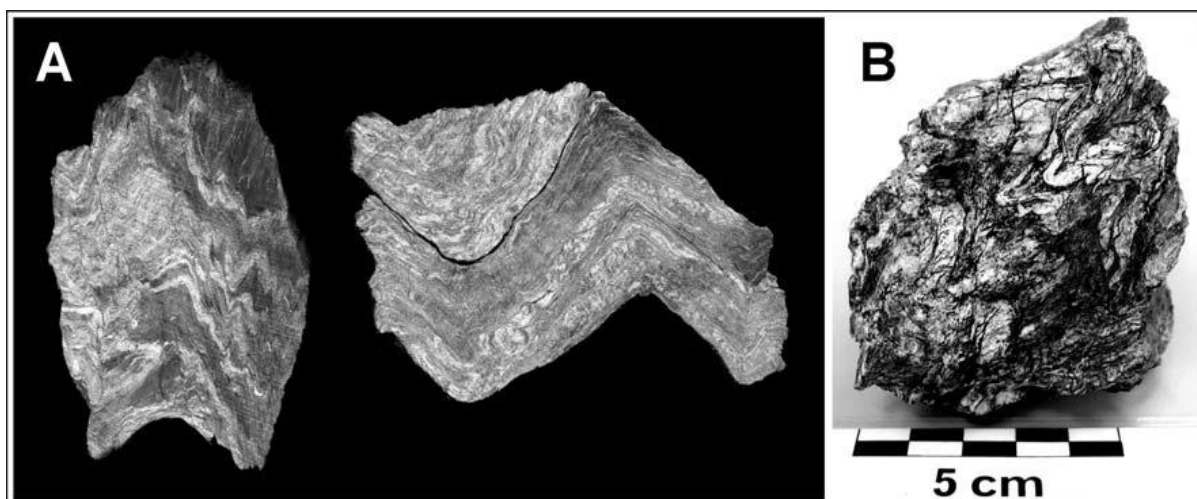
Obr. 10. Mikrofoto vzorku místního vulkanitu vypáleného na 900°C (Šmejda a kol. 2013, 181).



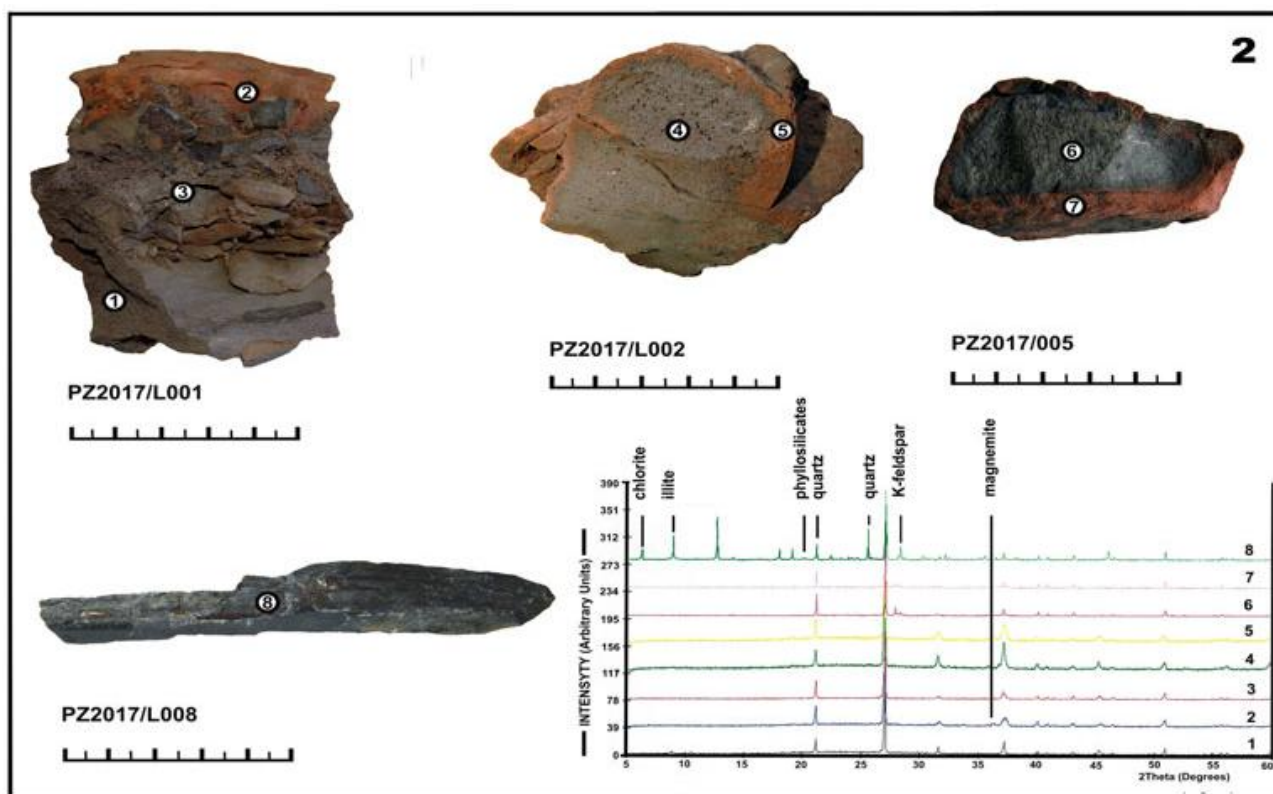
Obr. 11. Mikrofoto vzorku místní bazické vyvěřeliny vypálené na teplotu 1166°C (Šmejda a kol. 2013, 183).



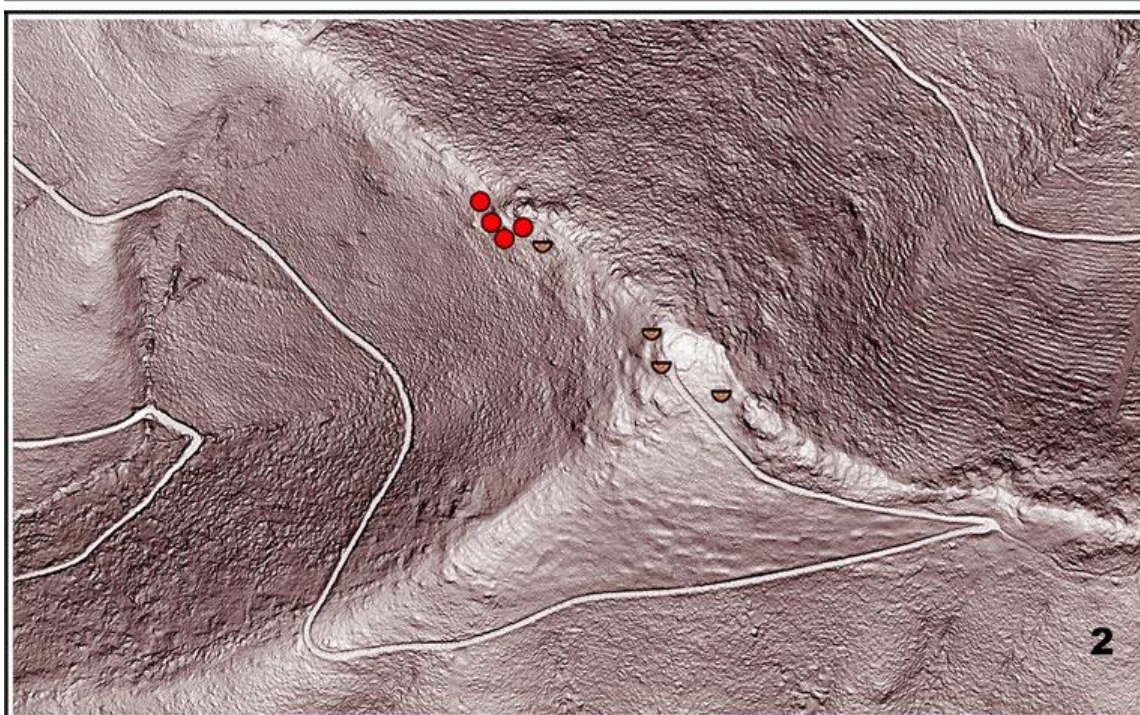
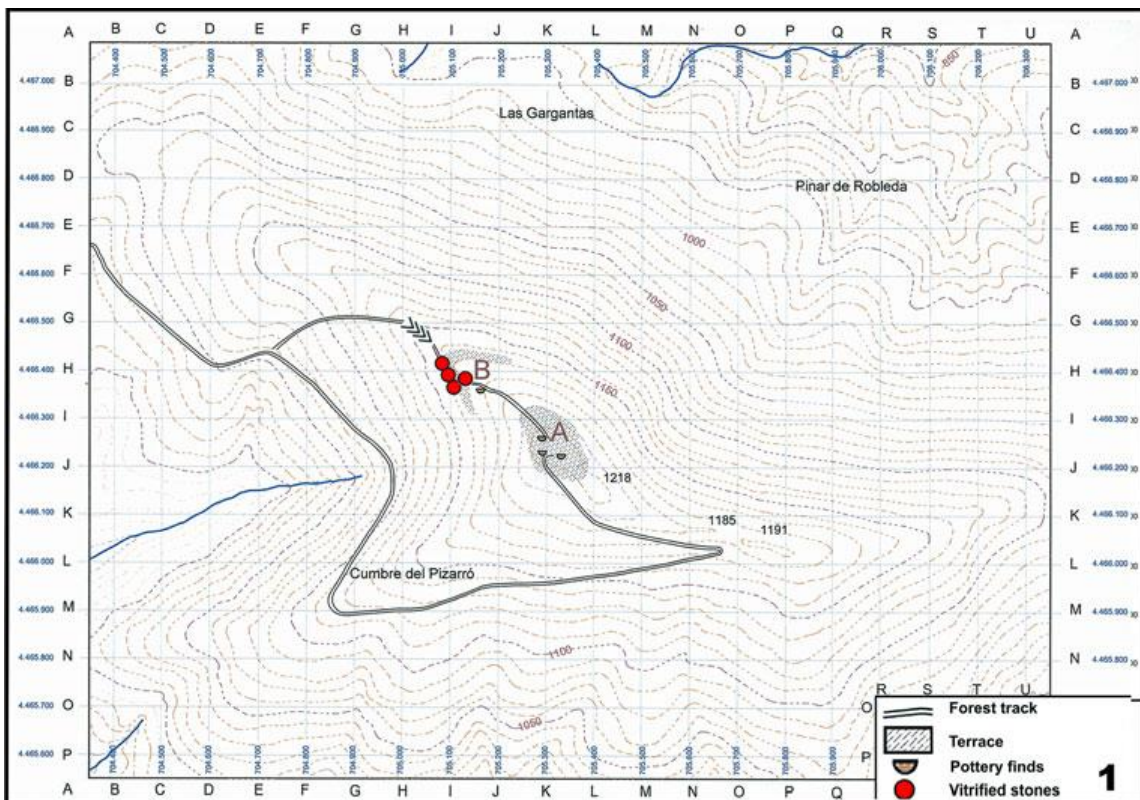
Obr. 12. Mikrofoto vzorku vykazující kontakt celistvé a porézní, hruběji krystalické partie buchitu z vrstvy 2007 (Šmejda a kol. 2013, 187).



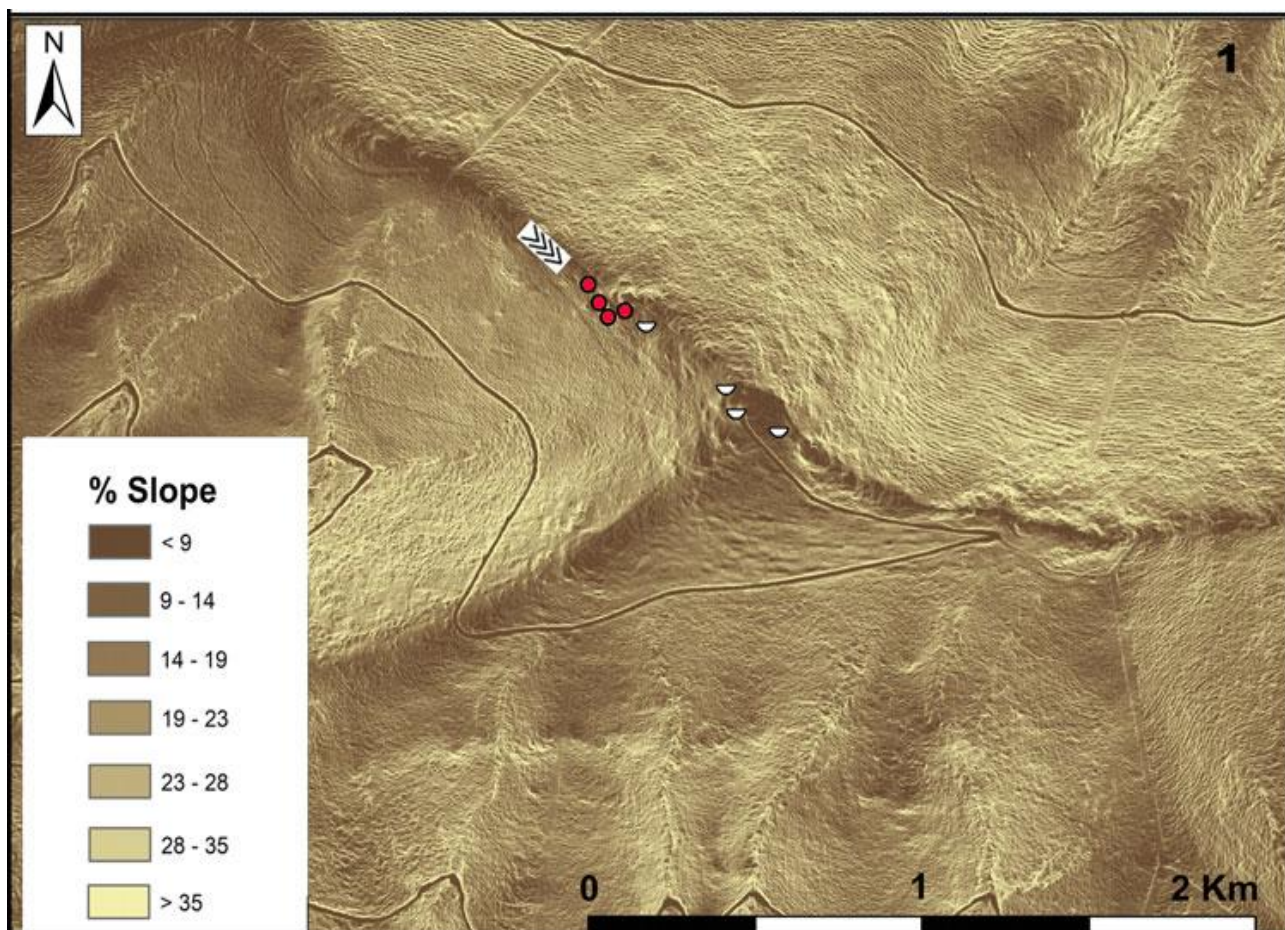
Obr. 13. Vzorek z lokality Passo Alto vykazující střídané pásy křemene (světlejší) a slídy (tmavší) jež jsou zachované ve vitrifikované hornině (Díaz-Martínez a kol. 2005, 155).



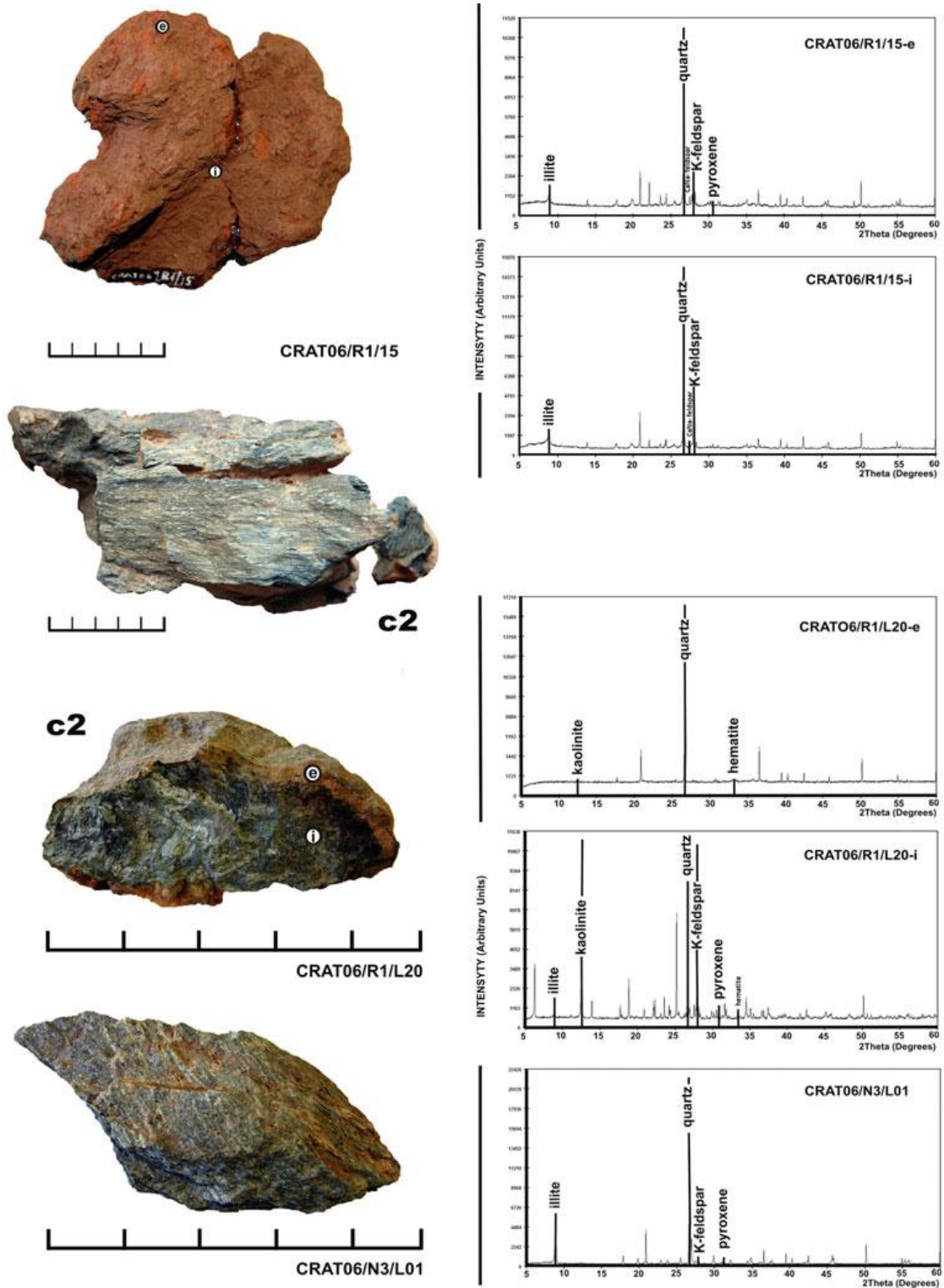
Obr. 14. Pozo de los Moros de Villasrubias (Salamanca, Španělsko): vitrifikované kameny a protolitické horniny analyzované rentgenovou difrakcí (XRD; Berrocal- Rangel a kol. 2018, 11).



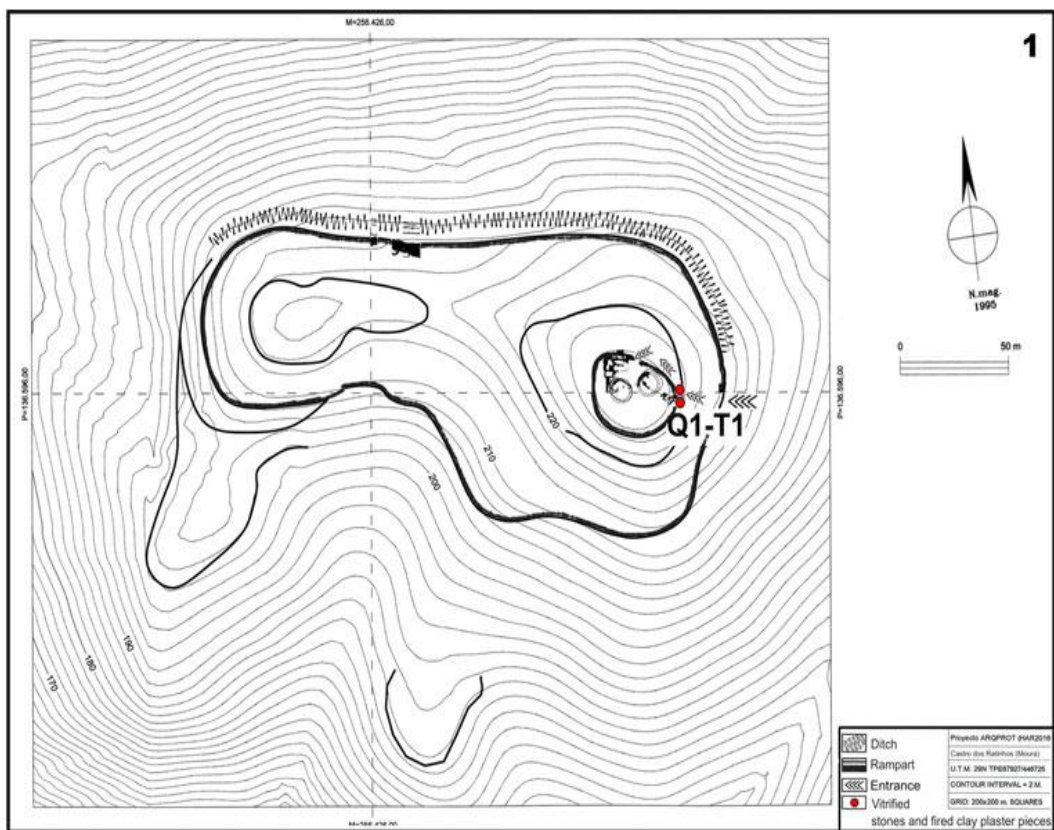
Obr. 15. Pozo de los Moros de Villasrubias (Salamanca, Španělsko): 1. Plán zobrazující umístění vitrifikovaných kamenů. 2: Lidarový obrázek (Berrocal-Rangel a kol. 2018, 9).



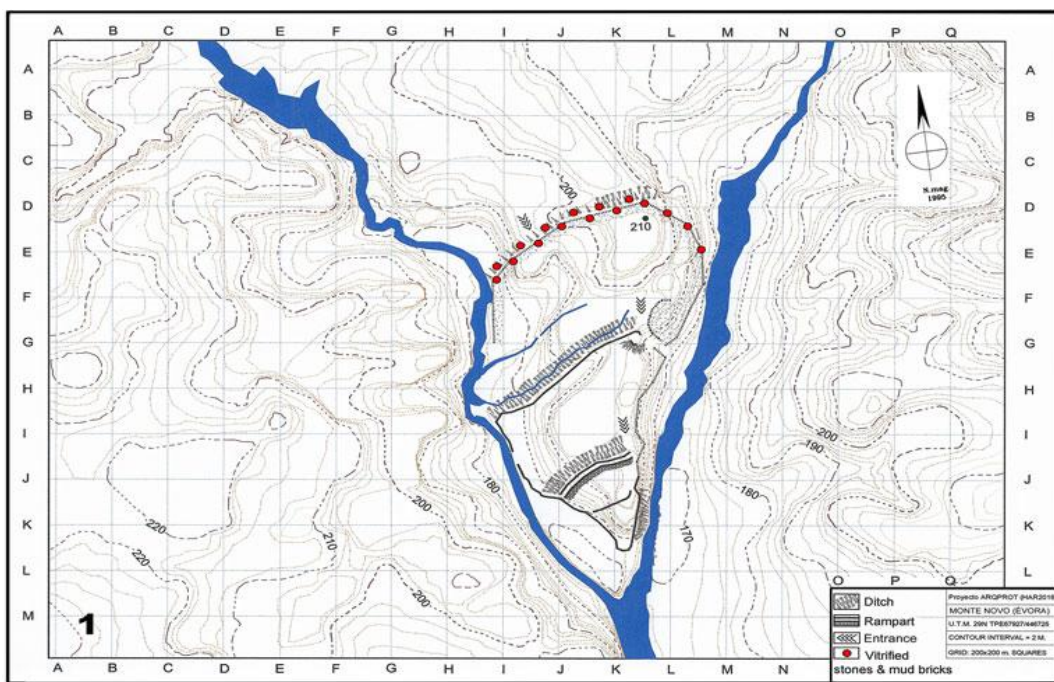
Obr. 16. Pozo de los Moros de Villasrubias (Salamanca, Španělsko): mapa, jejíž nejtmavší tóny odpovídají sklonům menším než 9% (Berrocal- Rangel a kol. 2018, 10).



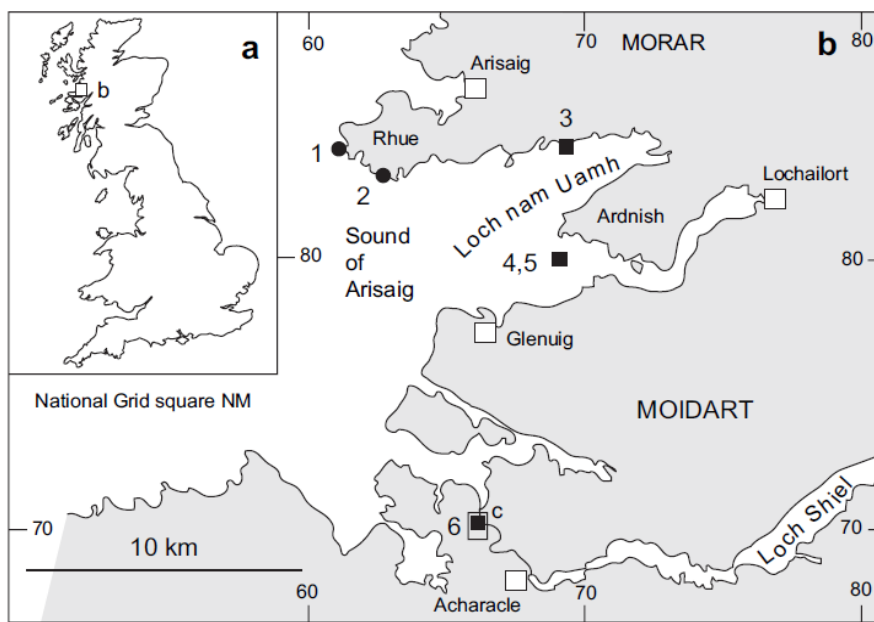
Obr. 17. Ratinhos (Moura, Portugalsko): vzorky vypáleného hliněného kusu, fragmentu podloží a zčervenálé břidlice s hlavními komponenty podle rentgenové difrakce (XRD; Berrocal- Rangel a kol. 2018, 14).



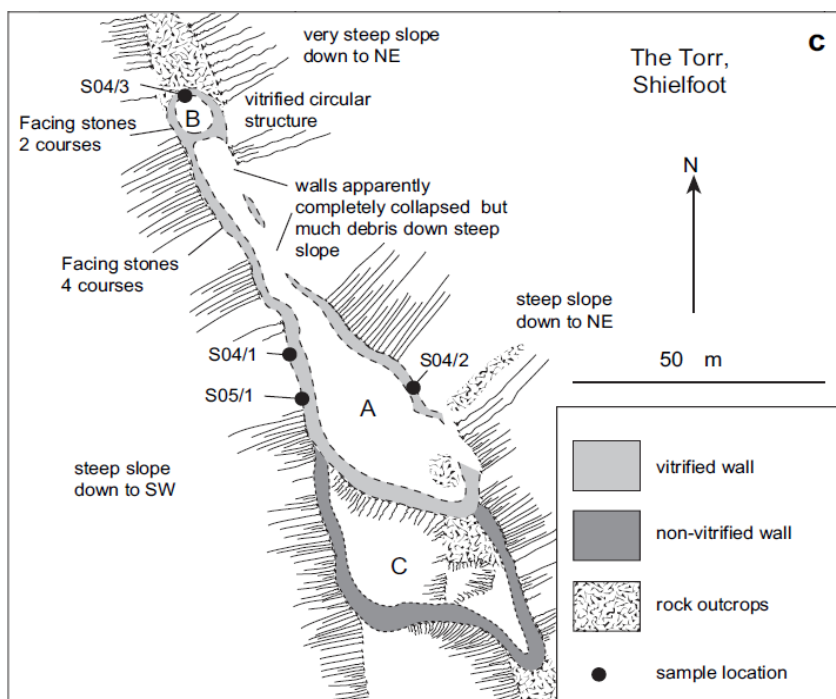
Obr. 18. Ratinhos (Moura, Portugalsko): plán s umístěním žárem zčervenalých kamenů a vypálených kusů jílu na opevnění akropole (Berrocal- Rangel a kol. 2018, 13).



Obr. 19. Castelos de Monte Novo (Évora, Portugalsko): plán umístění vitrifikovaných kamenů (Berrocal- Rangel a kol. 2018, 17).



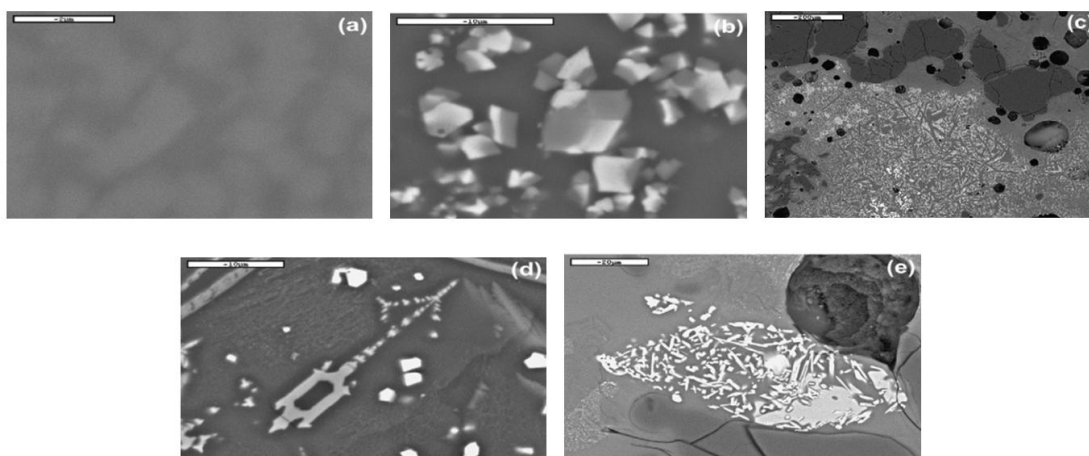
Obr. 20. (a) Vymezení oblasti Moidarte Morar v západním Skotsku. (b) Umístění vitrifikovaných pevností (čtverce) a nevitrifikovaných pevností (tečky) v oblasti Moidarte Morar: 1. Eilean Port nam Murrach; 2, Eilean a Ghail; 3, Rubh Aird Ghamhsgail; 4 a 5, Eilean nan Gobhar (kozí ostrov); 6, The Torr (Friend - Dye - Fowler 2007, 1688).



Obr. 21. Torr: bližší charakterizace lokality (Friend - Dye - Fowler 2007, 1688).



Obr. 22. Torr: západní strana lokality poukazující na psammitické fragmenty zasazené do tmavé, vysoce vesikulární vitrifikace (Friend - Dye - Fowler 2007, 1689).



Obr. 24. Mikrofotografie (SEM) vykazující některé podrobnosti o mikrokrystalové struktuře uvnitř vitrifikačních tavenin.

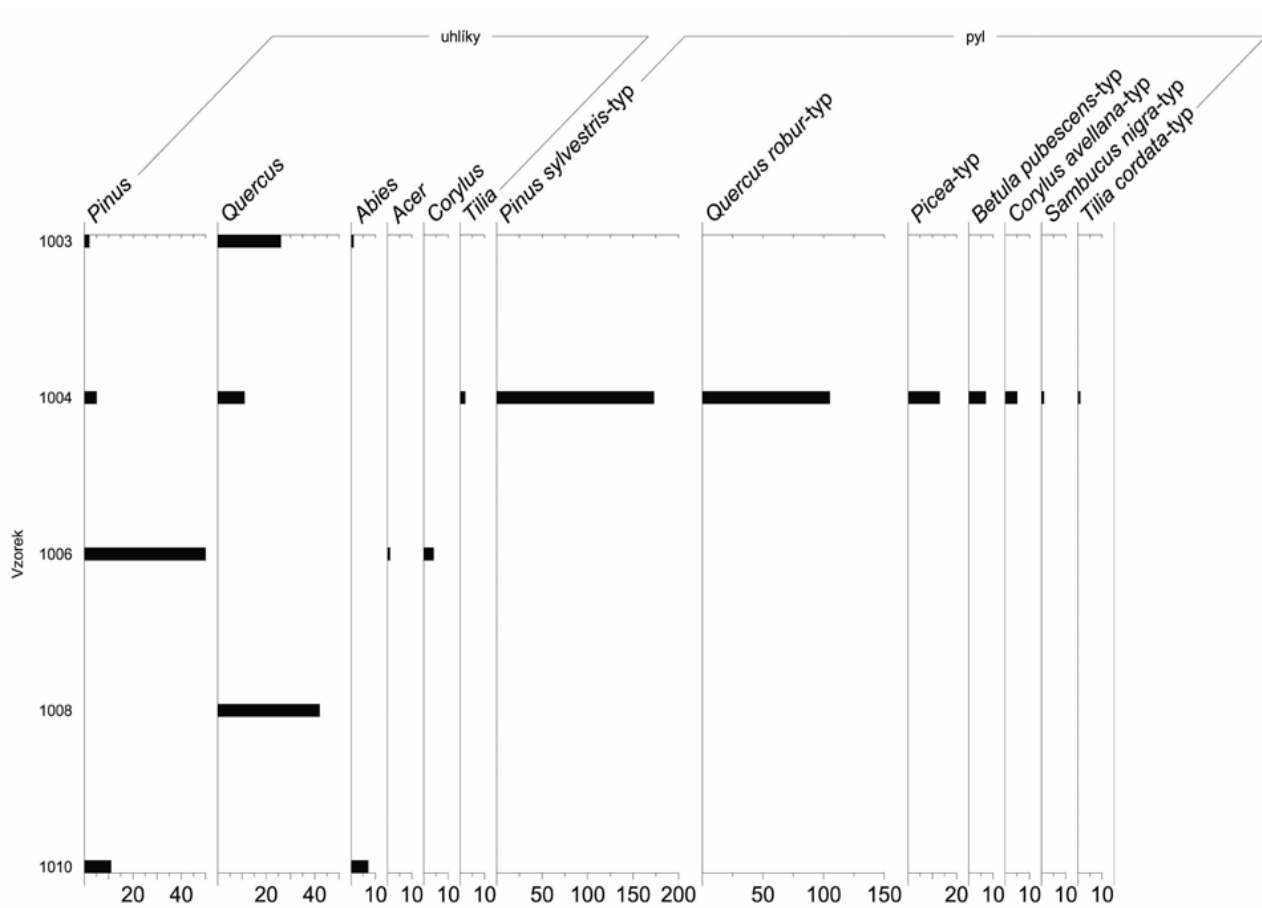
(a) Zobrazující podrobnosti zakalené světlé struktury (nízký obsah Fe) a tmavých struktur (vysoký obsah Fe). Měřítko je 2 μm .

(b) Čtvercové, obdélníkové a kosočtvercové tvary, které jsou vytvořeny z původních osmiúhelníkových tvarů spinelu se zasazením do tmavší šedé taveniny. Světlé části krystalů jsou magnetit a šedé sektory jsou aluminiové spinely. Měřítko je 10 μm .

(c) Kontakt taveniny (spodní část) s fragmentem psammitu (horní část). Je zde patrný vývoj kalených plagioklasových krystalů (pravoúhlých zrn) proti okraji psammitického fragmentu. Je zde také patrná i výrazná sada křemičitých zrn (tmavě šedá), která vykazuje známky rozpouštění v tavenině (světle šedá). Vezikuly a vzduchové bubliny jsou pak charakterizovány jako černé struktury kruhového charakteru. Měřítko je 200 μm .

d) Detail krystalu ortopyroxenu. Měřítko je 10 μm .

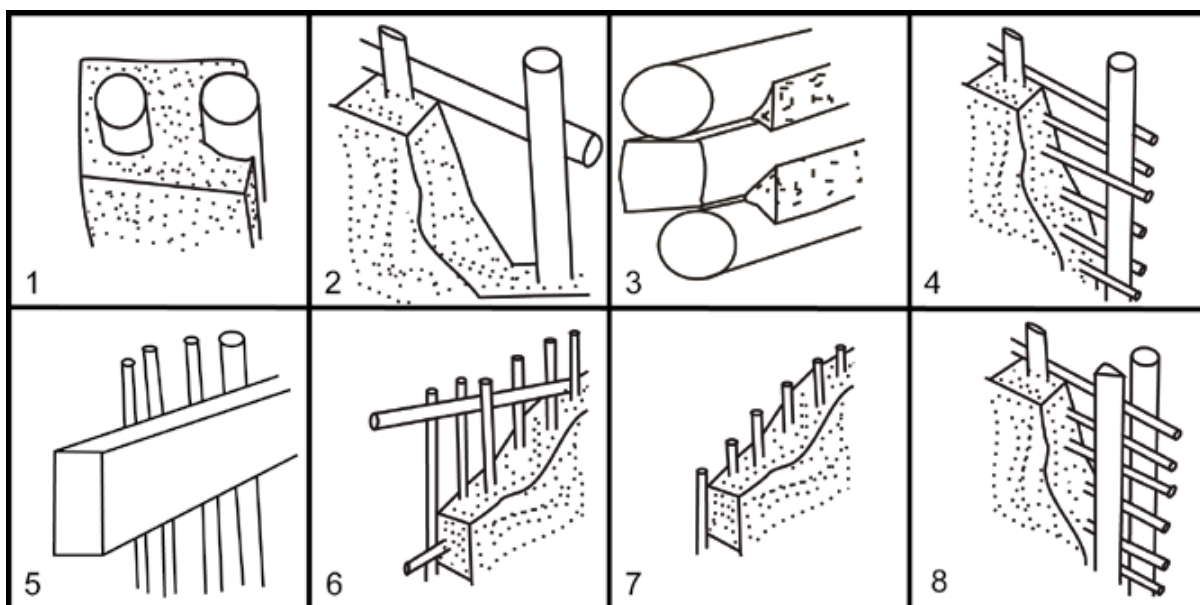
e) Identifikované zbytky diamantového titanitového krystalu (CaTiSiO_4), který je nahrazen anatasem (TiO_2). U vápníku se předpokládá jeho smísení s taveninou (Friend- Dye- Fowler 2007, 1696).



Obr. 25. Vrcovice: zastoupení uhlíků a pylu ze sondy 1/2013 (Hlášek 2015, 197).

Konstrukční prvky	
Skupina	Počet
A	28
B	14
C	2
D	32
E	10
H	761
K	2
J	63
L	1
Celkem	913

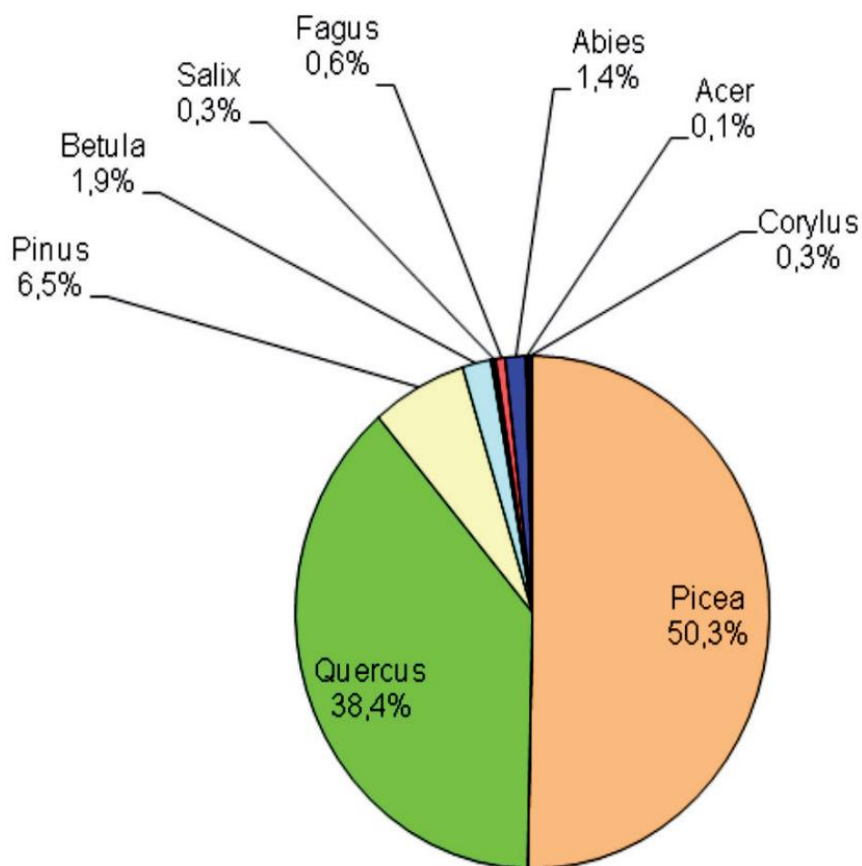
Obr. 26. Vrcovice: zastoupení jednotlivých mazanicových skupin (Hlášek 2015, 189).



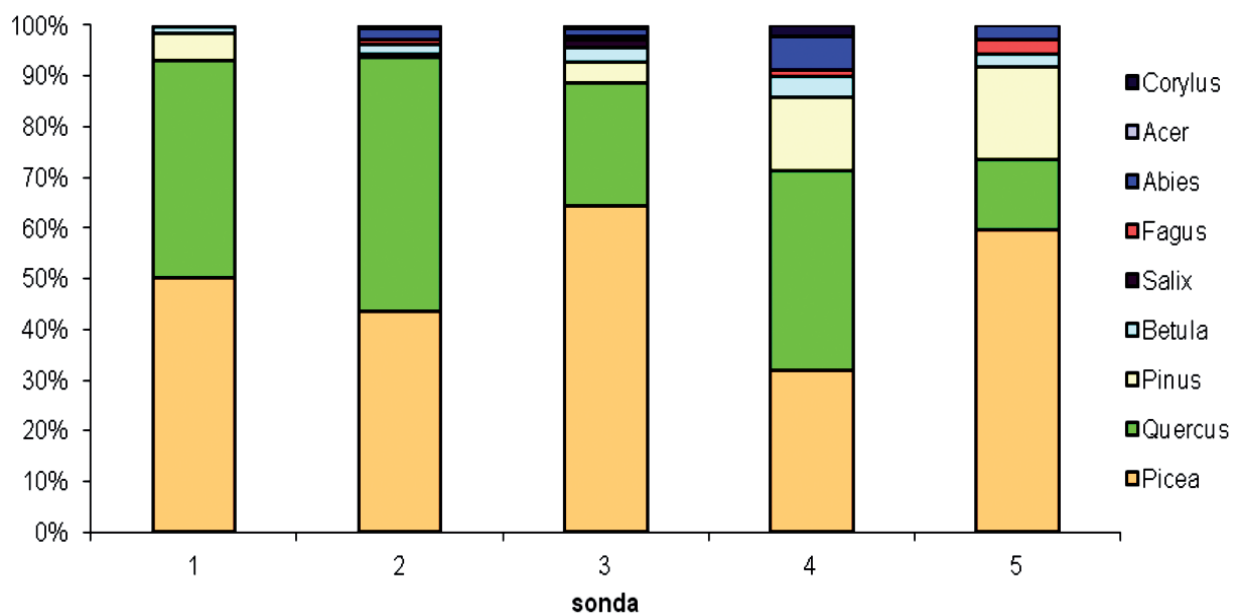
Obr. 27. Vrcovice: možný vzhled dřevěných stavebních konstrukcí dle dochovaných mazanic (Hlásek 2015, 189).



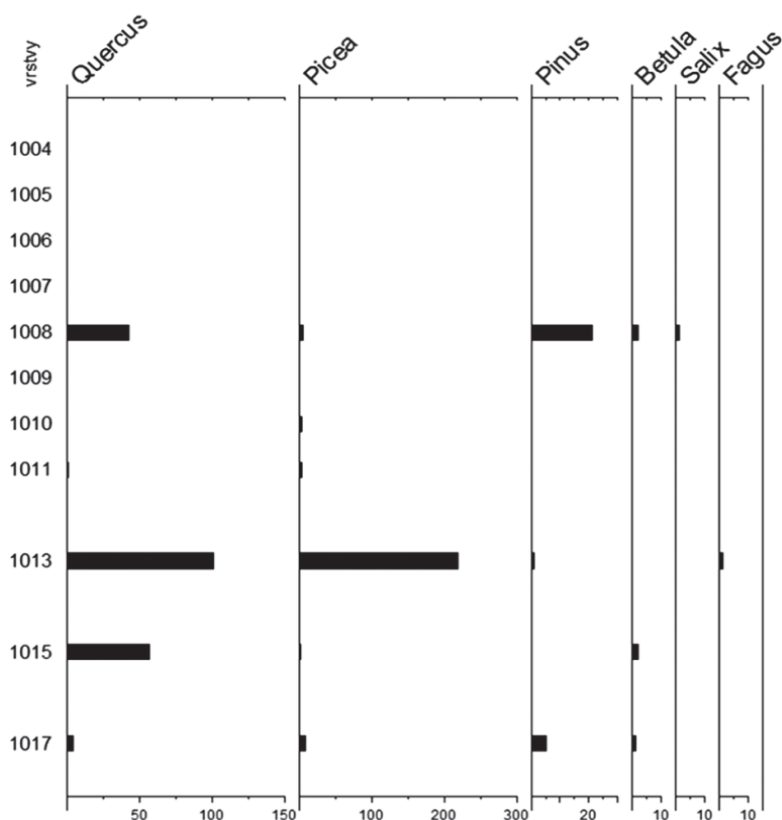
Obr. 28. Vrcovice: možný charakter hustoty výpletu (Hlásek 2015, 191).



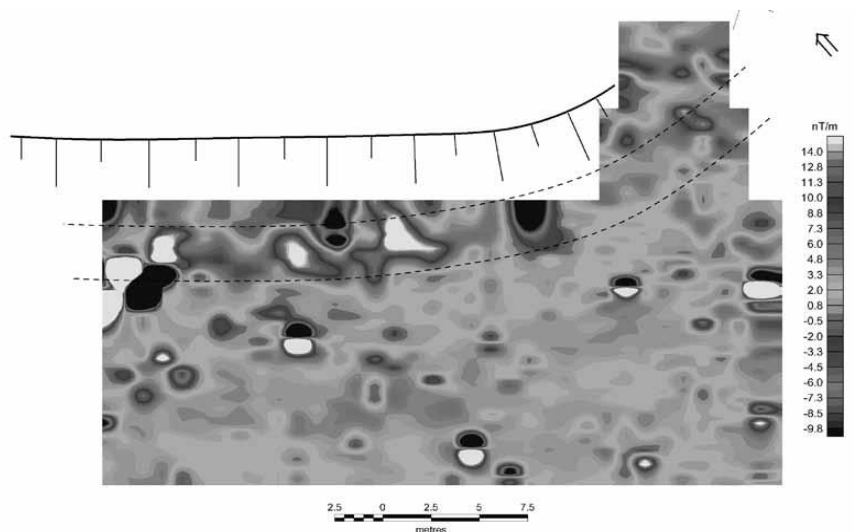
Obr. 29. Všemyslice - Kozí vrch: určené druhy dřevin (924 určení uhlíků; Hlásek a kol. 2014, 110)



Obr. 30. Všemyslice - Kozí vrch: skladba dřevin v jednotlivých sondách (Hlásek a kol. 2014, 111).

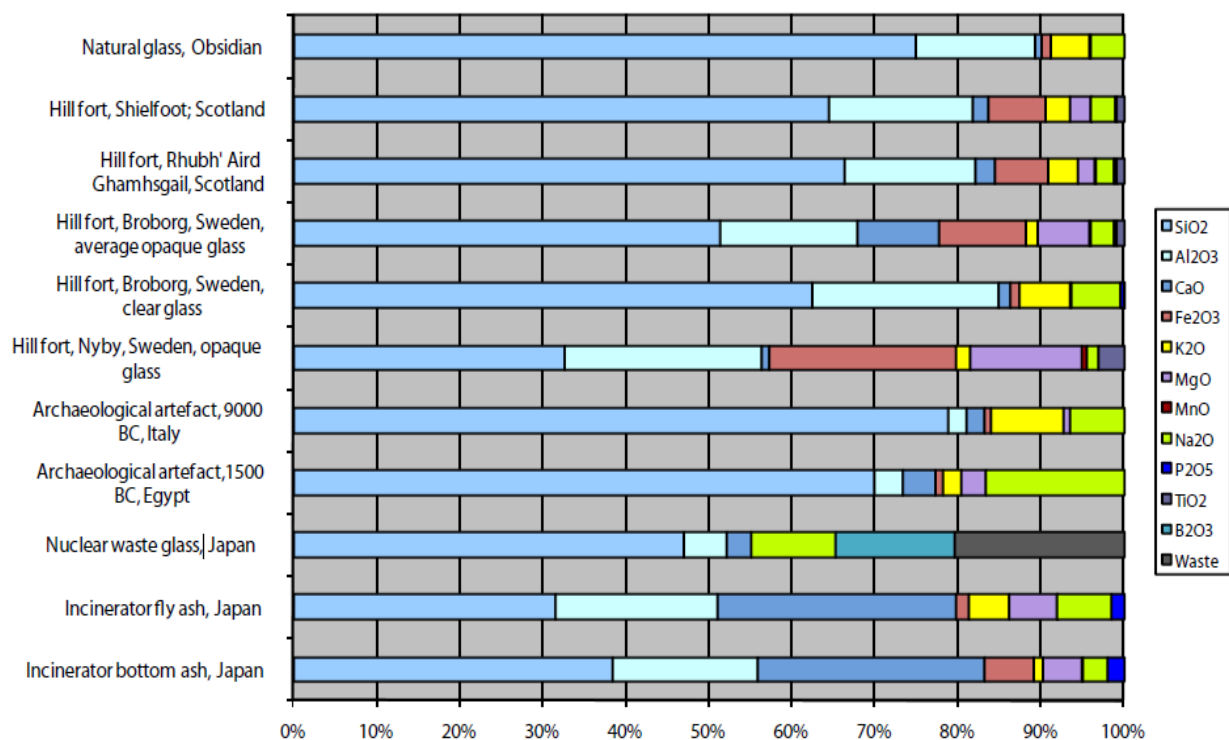


Obr. 31. Všemslyce - Kozí vrch: skladba zuhelnatělých dřevin v jednotlivých stratigrafických jednotkách (sonda 1/2014; Hlásek a kol. 2014, 111).



Obr. 32. Nuzice: výsledek magnetometrického průzkumu v bezprostředním okolí příčného valového opevnění s naznačením průběhu linie možného vnějšího příkopu či charakteru vypálených poloh (Chvojka 2010, 67).

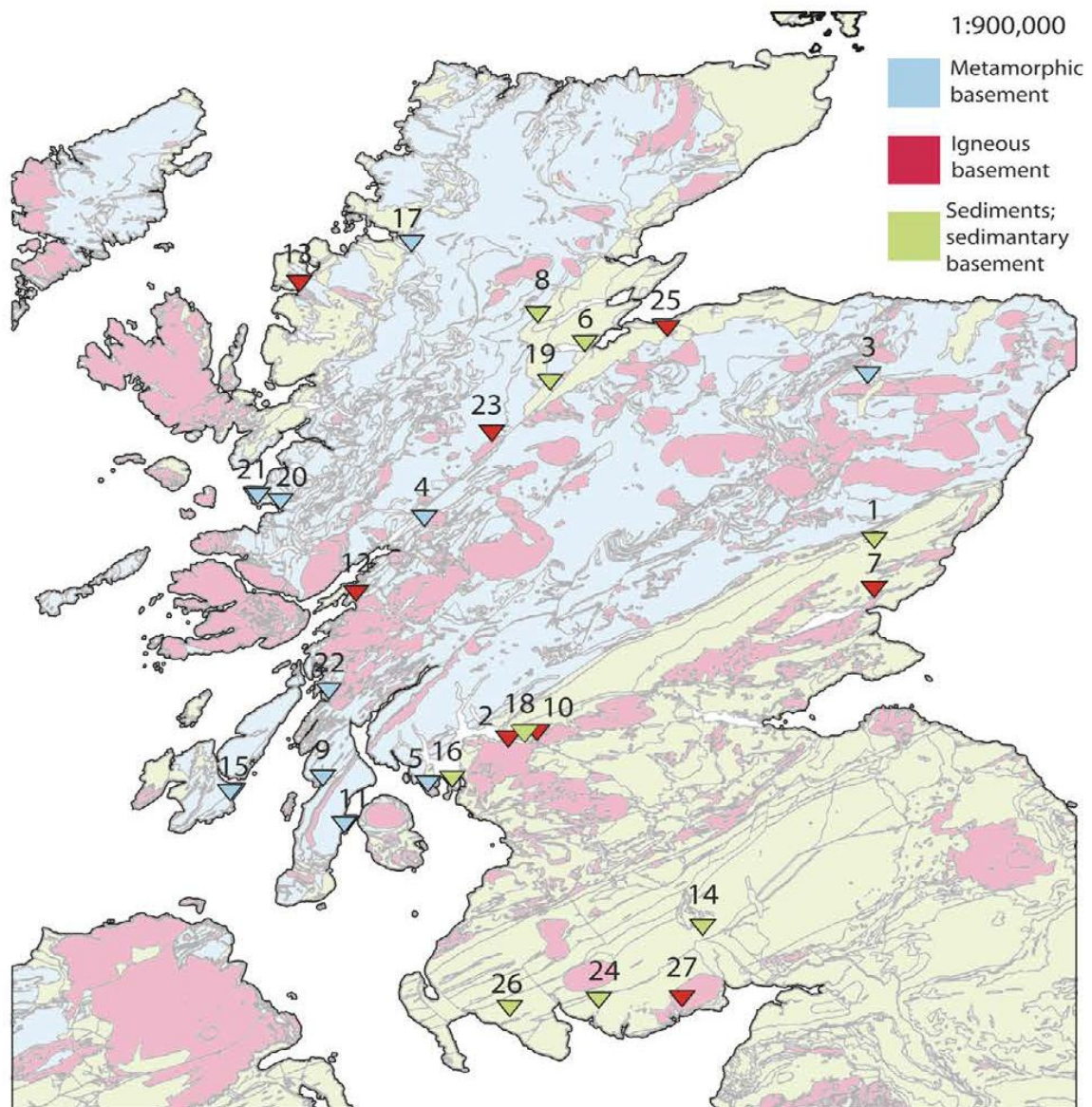
Examples of chemical composition of glasses



Obr. 33. Složení různých druhů skel: přírodní, vitrifikované pevnosti ve Skotsku a Švédsku, archeologické artefakty, jaderné odpadní sklo a popel ze spaloven (Sjöblom- Ecke- Brännvall 2013, 384).

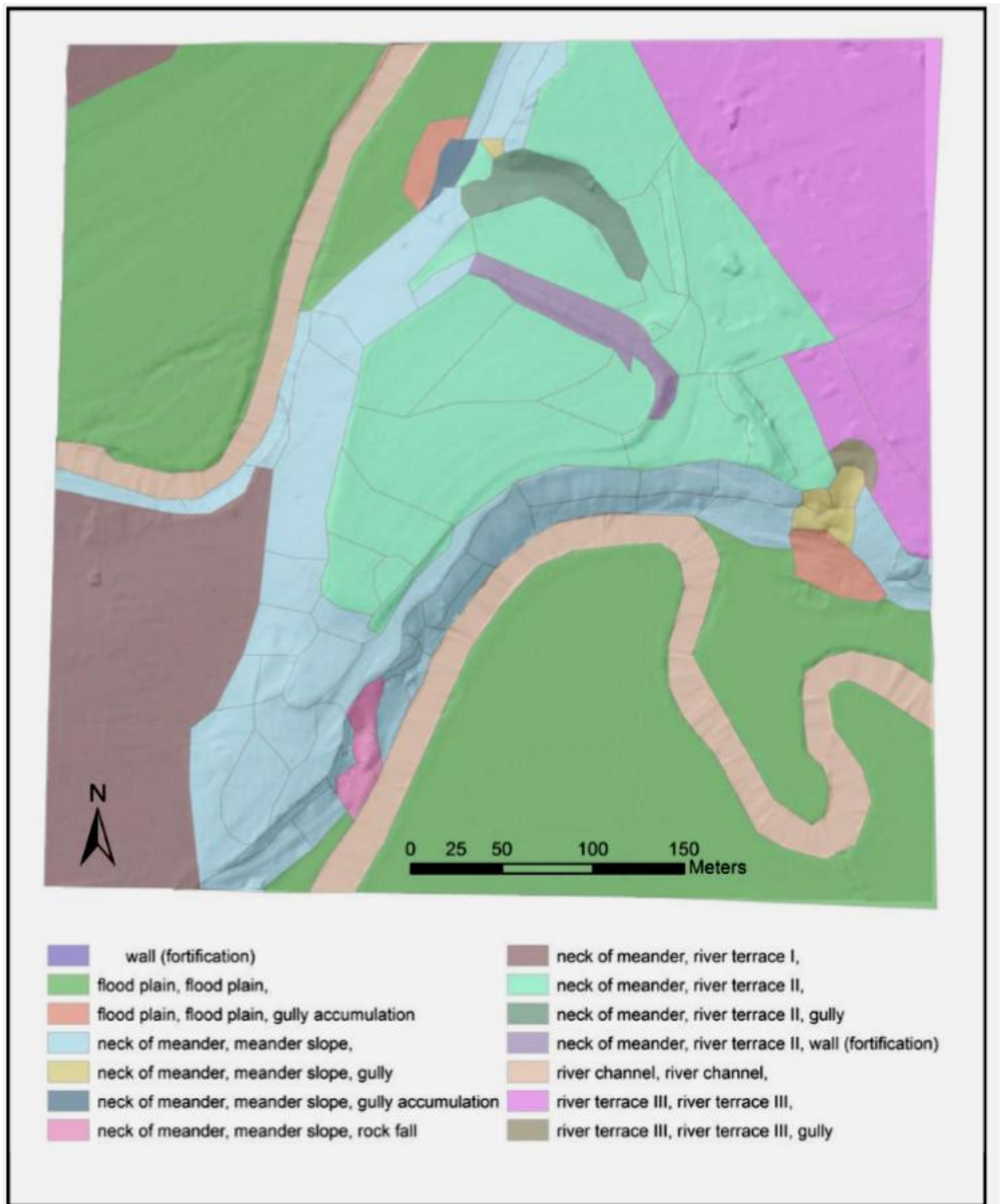
Skleněná složka	Proces	Výsledek
SiO ₂	Výrazně zvyšuje viskozitu; snižuje rozpustnost	Zvyšuje trvanlivost
B ₂ O ₃	Snižuje viskozitu; zvyšuje rozpustnost	Zvyšuje trvanlivost v malém množství, snižuje ve velkém množství
Na ₂ O	Snižuje viskozitu a rezistivitu; zvyšuje rozpustnost	Snižuje trvanlivost
Li ₂ O	Stejně jako Na ₂ O, ale větší účinek; zvyšuje tendenci k devitrifikaci	Snižuje trvanlivost, ale méně než Na ₂ O
K ₂ O	Stejně jako Na ₂ O; snižuje sklon k devitrifikaci	Snižuje trvanlivost více než Na ₂ O
CaO	Zvyšuje a následně snižuje viskozitu a rozpustnost	Zvyšuje a poté snižuje trvanlivost
MgO	Stejně jako CaO; snižuje tendenci vitrifikovat	Je stejný jako CaO, ale s větší pravděpodobností snižuje trvanlivost

Obr. 34. Účinky oxidů na výsledné vlastnosti skleněného materiálu (Sjöblom-Ecke- Brännvall 2013, 393).

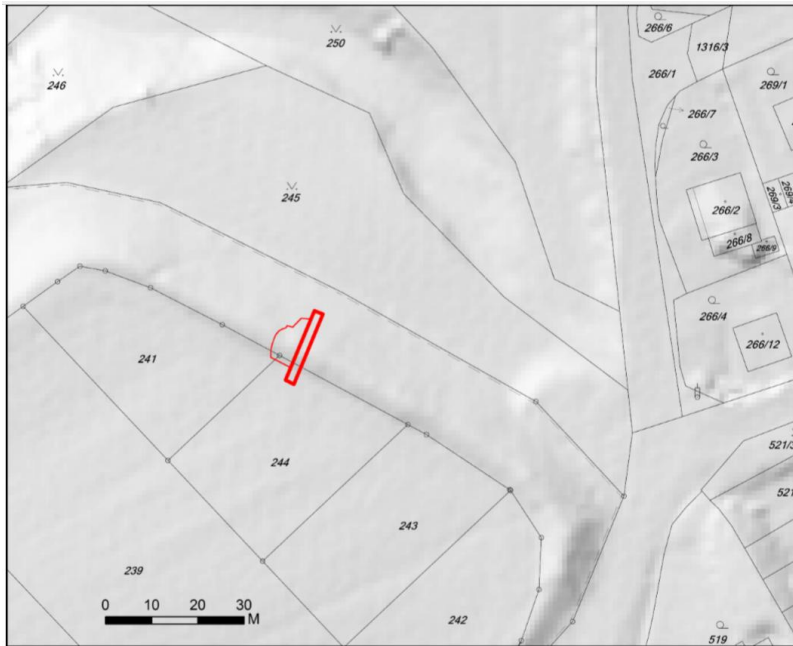


Obr. 35. Mapa skotských pevnostných miest s geologickým charakterom podloží:

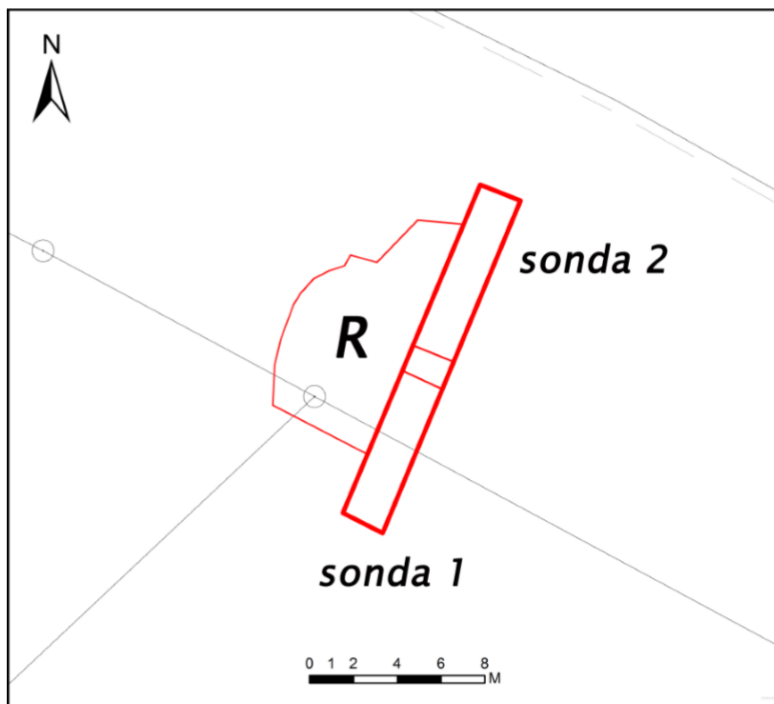
1. Finavon, 2. Craig Marloch Wood, 3. Tap O'North, 4. Dun Deardail,
5. Dunagoil, 6. Craig Phaidrig, 7. zákonů Monifieth, 8. Knockfarrell, 9. Dunskeig,
10. Dumbarton Rock, 11. Carradale, 12. Dun MacUisnichan, 13. Art Dun,
14. Mullach, 15. Trudernish Point, 16. Cumbrae, 17. Dun Lagaidh,
18. Sheep Hill, 19. Urquhart Castle, 20. Eilan- nan- Gobhar, 21. Eilan nan Ghoil,
22. Duntroon, 23. Torr Duin, 24. Trusty's Hill, 25. Doon z May, 26. Castle Finlay,
27. Mote of Mark (Wadsworth a kol. 2017, 5).



Obr. 36. Bližší charakterizace geomorfologického mapování elementárních forem reliéfu v okolí lokality (Šmejda a kol. 2013, 11).



Obr. 37. Lokalizace řezu valem, jež byl proveden v roce 2012. (Šmejda a kol. 2013, 41).



Obr. 38. Zobrazení rozložení sond 1-2 s původním kontrolním blokem (v průběhu výzkumu odstraněn). Písmenem R charakterizuje pozdější rozšíření sondy v horní části (vysvahování) nestabilního profilu. Vyznačeny jsou hranice parcel 236 (většina z rozsahu odkryvu), 241, 244 a 245 (Šmejda a kol. 2013, 41).



Obr. 39. Skalka proterozoických metabazaltů na západní straně ostrohu - pohled ze západní strany (Šmejda a kol. 2013, 167).



Obr. 40. Vzorek strusky (scoria) z lávového proudu z lokality Centrálního Masívu ve Francii, v Aderche (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 41. Kappametěr, typu SM 30 od firmy ZH Instruments. Měřítko: 10* 6cm (ZH Instruments. SM 30 Shirt Pocket – size magnetic susceptibility meter [online]. Brno: ©2016 [citováno 15.5.2020]. Dostupné z: <http://www.zhinstruments.com/sm30.html>).



Obr. 42. Plzeň – Hradiště: analyzovaný vzorek č. 1 (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 43. Plzeň – Hradiště: analyzovaný vzorek č. 1. Strana vykazující mírné zčervenání materiálu (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 44. Plzeň – Hradiště: analyzovaný vzorek č. 2 ze strany silně rozpraskaného a zčervenaleho metabazaltu (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 45. Plzeň – Hradiště: analyzovaný vzorek č. 2 ze strany s pozůstatky zřetelné pórovitosti a lokálním výskytem sklovitého materiálu na povrchu (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 46. Plzeň – Hradiště: kontrolní třetí strana analyzovaného vzorku č. 2 (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 47. Plzeň – Hradiště: analyzovaný vzorek č. 3, který lze charakterizovat jako část vytvořené taveniny (Dominik Vladař, 11. 5. 2020).



Obr. 48. Laboratorní přístroj MFK1-FA od firmy Agico (AGICO. MFK1 [online].
Brno: ©2020 [citováno 15.5.2020]. Dostupné z:
<https://www.agico.com/text/products/mfk1/mfk1.php>).