

PUŠKARNĖS ŠLAKO TYRIMAI

Aušra SELSKIENĖ, Algirdas SELSKIS, Vidas PAKŠTAS, Raimondas GIRAITIS

Chemijos institutas

A.Goštauto g. 9, LT-01108 Vilnius

tel.: 264 9772, 264 8881, 264 9365

IVADAS

Puškarnės priemiestis yra svarbi teritorija, kurioje buvo dislokuota strateginė gamyba (Vaitkevičius, Saracevičius, ruošiama spaudai). 1548 metais Žygimantas Augustas joje įkūrė patrankų liejykłą, klestėjusią 90 metų, iki Lietuva ēmė pirkti pabūklus užsienyje. XVI – XVII amžiais Puškarnės priemiestyje buvo liejamos patrankos, sviediniai, karčetės, kulkos ir įvairi amunicija. Karo reikmenų gamyba visada buvo prioritetinė sritis, į kurią investuojamos naujosios žinios ir technologijos. I Puškarnėje veikusią patrankų liejykłą buvo atskiviečiami užsienio šalių specialistai, importuojamos žaliavos, aplinkui buvo kalvių dirbtuvės, kurių veikla tiesiogiai ar netiesiogiai siejosi su patrankų liejykla. 2002 metais vykdant archeologinius tyrimus Gedimino prospektu rekonstrukcijos metu buvo rasta įvairių metalų lydalų, šlako, amunicijos pusgaminį ir apsilydžiusių degimo krosnių plynų. Tai pirmieji materialūs šaltiniai, kuriais remiantis pradedami šaunamosios ginkluotės gamybos senųjų technologijų tyrimai. Lygiagrečiai tiriami 2002 metais Dysnos gatvėje rasti šlakai, siejami su civilinės paskirties metalurgija.

TYRIMŲ OBJEKTAS IR METODIKA

Kaip rodo literatūros šaltiniai, jau daugelį metų įvairių šalių mokslininkai tyrinėja ne tik senuosius geležies dirbinius, bet ir senųjų geležies gavybos bei perdirbimo technologinių procesų atliekas. Gauta informacija yra panaujodama atsakant į įvairius technologijos istorijos klausimus apie geležiai išgauti naudotas žaliavas, įrangą bei technologinius parametrus, gamybos apimtis, rūdos, kričių ar gaminių transportavimo kelius.

Remiantis archeologinių bei gamtamokslinių tyrimų duomenimis, kalviškosios geležies gavybos bei perdirlbimo atliekas galima suskirstyti į tokias grupes (Erze, 1991, p.14; Sperl, 1980, p. 14):

1) atliekos, susidariusios išgaunant kalviškąjį geležį (rūdos gabaliukai, rudnių (tekieji ir dugno) šlakai, rudnelių sienelės, geležies kritės ar jų fragmentai);

2) atliekos, susidariusios kalvėje, pvz., valant geležies krites nuo šlakų, kalant dirbinius ir pan. (kalvės žaizdro šlakai, lengvieji šlakai, rutuliukų ar žvynelių formos kalimo šlakai, krosnelės sienelės, geležies ruošiniai arba jų fragmentai);

3) moderniosios geležies gavybos atliekos (aukštakrosnės bei moderniosios kalvės šlakas).

Daug autorių (Oelsen, Schürmann, 1954, p. 507; Bachmann, 1978, p. 66; Sperl, 1980, p. 65; Erze, 1991, p. 2; Kronz, 1997, p. 7) pabrėžia svarbiausios metalurginių procesų atliekos – šlako – tyrimų svarbą. Reikia pabrėžti, kad rudnių ir kalvės žaizdro šlakai susidaro esant panašioms fizinėms-cheminėms sąlygoms ir yra gana panašūs, taigi vienareikšmiškai atskirti juos pagal išorinius požymius arba remiantis tik jų bendraja chemine sudėtimi ne visuomet yra įmanoma. Tiksliau nustatyti šlako rūši, nusakyti jo susidarymo sąlygas ir vykusius technologinius procesus galima tik atsižvelgiant į įvairių veiksnių, tokų kaip archeologinis bei istorinis kontekstas, radinių išvaizda, mikrostruktūra, fazinė bei cheminė sudėtis, visumą (Kronz, 1997, p. 15).

Tyrimams pateikti 29 į metalurginį šlaką panašūs archeologiniai objektai, aptikti šiose vietose (Vaitkevičius, 2003, p. 19; Vainilaitis, 2003, p. 7):

I. Gedimino prospektas, horizontas 4B (13 radinių);

II. Dysnos gatvė:

- a) I metalurginė krosnis (7 radiniai);
- b) II metalurginė krosnis (3 radiniai);
- c) ūkinė duobė (6 radiniai).

Ruošiant radinius tyrimams, pirmiausia šepeteliu buvo nuvalomas jų paviršius ir iš charakteringos vietas diskiniu pjūklu išpjaunami reikalingo dydžio bandiniai.

Šlako bandinių bendroji cheminė sudėtis nustatyta optinės emisinės spektroskopijos metodu, naudojant pastoviosios srovės plazmos emisinį spektroskopą „Beckman SpectraSpan VI“. Fazinė sudėtis nustatyta rentgeno difraktometru „DRON-2“, naudojant Cu K α spinduliuotę, išskirtą grafitiniu monochromatoriumi, stovinčiu prieš detektorių.

Optinės mikroskopijos tyrimams bei elektronų zondo rentgenospektrinei mikroanalizei pagaminti radinių šlifai. Metalinės geležies bandinių paviršiaus struktūra išryškinta 3% HNO₃ tirpalu etanolyje. Optinės mikroskopijos tyrimai atlikti optiniu mikroskopu Olympus BH2. Nuotraukos gautos skaitmeniniu fotoaparatu „Nikon COOLPIX 4500“. Elektronų zondo rentgenospektrinė mikroanalizė atlikta skenuojančiu elektroniniu mikroskopu mikroanalizatoriumi „JEOL JXA-50 A“.

RADINIŲ IŠVAIZDA IR MAKROSTRUKTŪRA

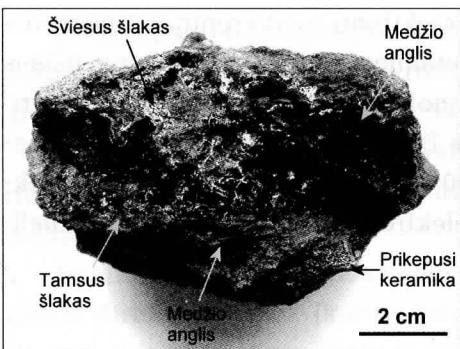
Trumpa radinių charakteristika pateikta 1-oje lentelėje. Tai įvairaus dydžio šlako gabalai arba jų nuolaužos ir keletas keraminių bei metalinių radinių.

Gedimino prospekto radiniai yra įvairūs: tai 5 dideli, tarpusavyje panašūs savo dydžiu, išorine išvaizda ir vidine struktūra šlako gabalai (Nr. 2 (1 pav.), Nr. 4, Nr. 5, Nr. 6 (2 pav.) ir Nr. 7 (3 pav.), du lengvi stiklingo šlako gabalai (Nr. 3 ir Nr. 9), du metalinės geležies radiniai (Nr. 1 ir Nr. 8 (4 pav.), du skirtinį vario lydinių gabaliukai (Nr. 12 ir Nr. 13), du radiniai, panašūs į keraminės sienelės nuolaužas (Nr. 10 ir Nr. 11), vienas jų (Nr. 11) – su metalinio vario ir vario junginių intarpu.

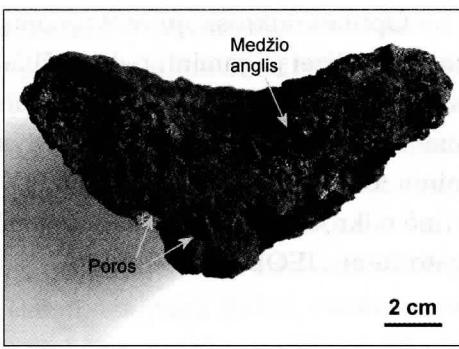
Dysnos gatvės radinius sudaro beveik vien šlako gabalai ir jų nuolaužos. Tik du iš jų yra dideli (Nr. 14 (5 pav.) ir Nr. 15), kiti – vidutinio dydžio ir mažesni, iki visai smulkių. Vienoje gargažėje pastebėtas didesnis kiekis iš dalies susijungusiu redukuotos geležies kruopelyčių (Nr. 27, 6 pav.), be to, rasti du metalinės geležies gabaliukai (Nr. 18 ir Nr. 22).

Didžiausi šlako gabalai yra iki 7–9 cm storio ir iki 16–18 cm skersmens, dažniausiai netaisyklingo dubens formos (1–3 pav.). Viena jų pusė (manome, kad apatinė) yra išgaubta, o kita (viršutinė) – īgaubta (2 pav.), išgaubta arba plokščia (1, 3 pav.). Nuolaužos, žinoma, yra mažesnės ir žymiai įvairesnių formų. Dauguma radinių padengti grunto (smėlio, molio) bei rūdžių sluoksneliu, kai kur matyti prikibę ar įsiterpę akmenukai. Prie kelių šlako gabalų matyti prikepusi keramika (1 ir 5 pav.) Beveik visų gargažių išorėje pastebėti medžio anglies gabalėlių likučiai ar išpaudai (1, 2, 4, 5 pav.). Kai kurių šlako gabalų paviršiuje matyti sustingusių tekėjusio šlako srovelių; radinių Nr. 3 ir Nr. 9 paviršiuje jų ypač daug.

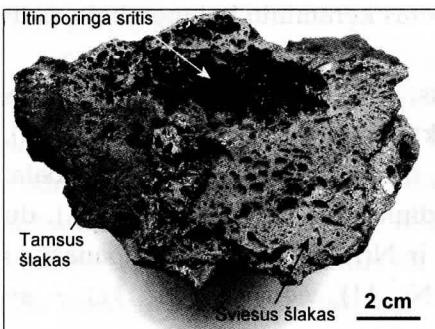
Charakterizuojant šlako savybes svarbu apibūdinti jo vidinę makrostruktūrą. Lūžio arba pjūvio analizė parodė, kad daugumos šlakų struktūra yra



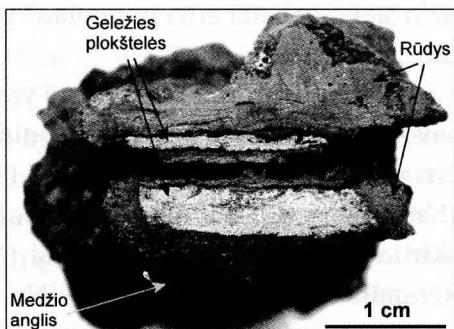
1 pav. Bandinio Nr. 2 lūžis.
Nuotrauka A. Selskienės.



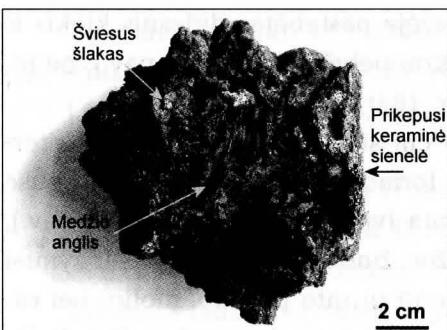
2 pav. Bandinio Nr. 6 pjūvis.
Nuotrauka A. Selskienės.



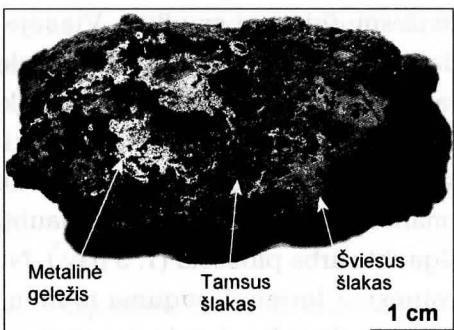
3 pav. Bandinio Nr. 7 pjūvis.
Nuotrauka A. Selskienės.



4 pav. Bandinio Nr. 8 pjūvis.
Nuotrauka A. Selskienės.



5 pav. Bandinio Nr. 14 apatinė pusė.
Nuotrauka A. Selskienės.



6 pav. Bandinio Nr. 27 pjūvis.
Nuotrauka A. Selskienės.

heterogeniška ir juose galima išskirti skirtingo poringumo ir skirtinges sudėties, nuo tamsiai pilkos iki šviesiai gelsvos spalvos sritis. Šlakų viduje taip pat aptikta nemažai medžio anglies likučių bei rūdžių, kai kuriose gargažėse pastebėta nedideliu kvarco ir metalinės geležies intarpeliu.

TYRIMAMS PATEIKTU RADINIŲ IŠORINIAI POŽYMIAI IR MAKROSTRUKTŪRA

Eil. Nr.	Svoris, g	Ilgis x plotis x aukštis, cm	Išoriniai požymiai	Lūžio (pjūvio) makrostruktūra
Gedimino prospektas, horizontas 4B				
1	30	6 x 1,2-1,8 x 0,8	Rūdimis padengta metalinė lazdelė.	Metalinė geležis; šlako intarpų plika akimi nematyti.
2	704	10 x 10 x 6	Sunkus šlako gabalas be tekėjimo požymių. Visas paviršius padengtas smėlio, molio ir rūdžių sluoksneliu. Vienoje vietoje matyti ~2x3 cm dydžio prikepusios poringos šviesios keramikos sluoksnelis (1 pav.).	Nevienalytė, įvairaus poringumo pilkai ruda medžiaga, kurioje matyti nedidelių šviesai gelsvo šlako sričių bei du (2 ir 3 cm dydžio) medžio anglies intarpai (1 pav.).
3	162	12 x 6-7 x 2-3	Lengvas šlakas. Paviršiuje matyti daug sustingusių šlako srovelių. Paviršius daugelyje vietų apstiklėjės – pilkšvos, kai kur balsvos ar melsvos spalvos, padengtas suodžiais ir medžio anglies likučiais.	Melsvai žalsvos, balkšvos ir pilkšvos spalvos stiklinga medžiaga su smulkiomis ir stambiomis poromis.
4	630	12 x 7-9 x 3-9	Didelis šlako gabalas. Kai kur paviršiuje matyti tekėjusio šlako srovelės, medžio anglies liekanos ir rūdys.	Tamsus poringas šlakas, turintis nemažai 1–2 cm dydžio medžio anglies intarpų ir rūdžių. Tik paviršiuje esančių šlako srovelių sritys yra šviesesnės, stiklinagos, su smulkiomis poromis.
5	1185	12 x 10 x 5-6	Viena šlako gabalo pusė pasidengusi grunto sluoksneliu, po kuriuo kai kur matyti tekėjusio šlako srovelės. Kitos pusės paviršius suodinas, matyti prikibęs medžio anglies gabalėlis.	Tamsiai pilka, poringa medžiaga. Yra keletas nedidelii šviesaus šlako plotelių bei medžio anglies intarpelių.
6	1430	15 x 14 x 4-5	Didžiausias iš visų tirtų, dubens formos šlako gabalas. Paviršiuje – rūdžių sluoksnelis, kai kur matyti smulkios šlako srovelės, medžio anglies gabalėliai.	Pilkos spalvos poringa medžiaga; poros kai kur užpildytos rūdimis. Matyti maži medžio anglies intarpai (2 pav.).

Eil. Nr.	Svoris, g	Ilgis x plotis x aukštis, cm	Išoriniai požymiai	Lūžio (pjūvio) makrostruktūra
7	1330	12 x 11 x 9 (centre)	Kompaktiškas, išgaubtu paviršiumi antras pagal dydį šlako gabalas. Išorėje yra prikibusio grunto, rūdžių bei medžio anglies gabalėlių Kai kur paviršiuje matyti smulkios šlako srovelės.	Viršuje centre matyti itin poringa sritis, sudaryta tik iš plonų šlako plėvelių; kairėje pusėje – tamsesnis šlakas, dešinėje – šviesesnis (3 pav.). Kai kur porose matyti rūdys.
8	120	7,5 x 2,5-3 x 2-3	Mažas, bet sunkus gabaliukas. Paviršius padengtas rūdimis.	Bandinį sudaro dvi greta sudėtos gerokai aprūdijusių geležies plokštelės (4 pav.).
9	56	7 x 4 x 1,5-3	Nedidelis lengvas šlako gabaliukas. Paviršiuje matyti medžio anglies liekanos, kai kur – smulkios tekėjusio šlako srovelės.	Nuo gelsvos iki pilkai melsvos spalvos, stiklinga, poringa medžiaga (panaši į bandinį Nr. 3.).
10	387	9 x 7 x 4-5	Keraminės sienelės fragmentas. Vienoje pusėje matyti lydymosi požymiai: paviršius apstiklėjės, pasidengės samaninės (kai kur juodos) spalvos glazūra.	Pilkšvai rusvos spalvos poringa keramika su smulkiais baltos spalvos intarpeliais. Ties apsilypdžiusiu paviršiumi matyti gelsvos, žalsvos ir juodos spalvos sluoksneliai.
11	482	6,5 x 5,5 x 5,5	Pilkos spalvos keraminės sienelės nuolauža. Kai kur matyti ryškiai žalios spalvos apnašų.	Smulkiai poringa pilkos spalvos keramika su kvarco intarpais. Prie vieno paviršiaus matyti metalinio vario ir jo junginių sritis.
12	24	3 x 2,5 x 1	Žalsvomis apnašomis pasidengės vario lydinio gabalėlis, turintis tekėjimo požymių.	Šviesiai auksinės spalvos vienalytis vario lydinas.
13	53	5 x 2-2,5 x 1-2	Žalsvomis apnašomis pasidengės vario lydinio gabalėlis, turintis tekėjimo požymių.	Auksinės spalvos vienalytis vario lydinas.

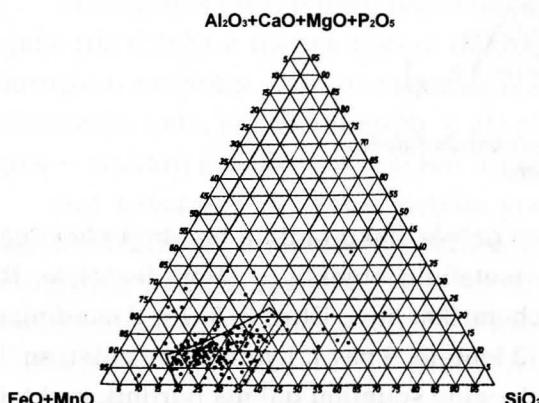
Eil. Nr.	Svoris, g	Ilgis x plotis x aukštis, cm	Išoriniai požymiai	Lūžio (pjūvio) makrostruktūra
Dysnos gatvė, I metalurginė krosnis				
14	740	10 x 10 x 4-7	Viršutinėje šlako gabalo pusėje matyti gana stambios sustingusios šlako srovės, tarp jų – rausvas 2 cm dydžio akmenukas, apatinėje pusėje – 2-4 cm dydžio medžio anglies gabalėliai. Dešiniajame šlako gabalo šone matyti ~0,5 cm storio lygi prikepusi keraminių sienelė (5 pav.).	Nevienalytė, poringa medžiaga, sudaryta iš tamsesnių ir nedidelį šviesesnių sričių. Porose ir prie medžio anglies gausu rūdžių.
15	1807	18 x 11 x 5-6	Didelis sunkus šlako gabala. Viršutinė pusė beveik plokščia, apatinė – išgaubta. Paviršiuje matyti nemažai medžio anglies gabaliukų bei jų išpaudų, gausu geležies korozijos produktų.	Tamsus šlakas, kai kur su rūdimis porose; visas išorinis paviršius padengtas geležies korozijos produktu sluoksneliu.
16	510	11 x 4-7 x 3-3,5	Gana sunkus pailgos formos šlako gabala. Vienoje pusėje matyti prikibęs medienos gabaliukas.	Tamsus poringas šlakas; išorinis paviršius padengtas rūdžių sluoksneliu.
17	17	2 x 2 x 1	Nedidelis rusvos spalvos gabaliukas; paviršiuje yra medžio anglies.	Tamsus šlakas, kai kur su rūdimis porose.
18	66	5 x 5 x 1,5	Nedidelis, bet sunkus gabaliukas, padengtas grunto ir rūdžių sluoksneliu.	~1cm storio geležies plokštelė, padengta 2-4 mm storio rūdžių ir grunto sluoksniu.
19	95	7,5 x 4,5 x 1,5	Rusvos spalvos gabaliukas.	Tamsus šlakas su rūdimis ir nedideliais medžio anglies intarpeliais.
20	117	7,5 x 4,5 x 2	Pilkos spalvos gabaliukas.	Pilkos spalvos šlakas, beveik be rūdžių. Netoli paviršiaus matyti keletas 2-3 mm dydžio baltos spalvos intarpų.

Eil. Nr.	Svoris, g	Ilgis x plotis x aukštis, cm	Išoriniai požymiai	Lūžio (pjūvio) makrostruktūra
Dysnos gatvė, II metalurginė krosnis				
21	280	10 x 8 x 2-4	Šlako gabalas, padengtas geležies korozijos produktu ir grunto sluoksneliu. Paviršiuje matyti medžio anglies liekanos ir įspaudai.	Pilkos spalvos šlakas; matyti keletas smulkių metalinės geležies kruopelyčių.
22	70	6,5 x 1-3 x~2	Sunkus gabaliukas, padengtas rūdžių sluoksneliu.	Beveik visą pjūvio plotą užima metalinė geležis, tik viename pakraštyje matyti šviesaus poringo šlako sankampa.
23	98	9 x 4,5 x 1-2	Rusvas šlako gabaliukas su tekėjimo požymiais.	Tamsiai pilkas šlakas, kai kur su rūdimis.
Dysnos gatvė, ūkinė duobė				
24	214	8,5 x 3,5 x 3,5	Šlako gabalas, kurio paviršiuje matyti medžio anglies liekanos, smulkios tekėjusio šlako srovelės.	Vidutiniškai pilkas šlakas, be rūdžių. Panašus į bandinį Nr. 25, tik didesnis, kiek šviesesnis, ir be rūdžių.
25	45	6 x 3,5 x 3	Lengvas šlakas su tekėjimo požymiais. Paviršius apstiklėjės.	Šviesus poringas šlakas, prikepės prie akmenuko. Be rūdžių.
26	142	6 x 6 x 4	Šlakas, išoriškai panašus į grunto gabaliuką.	Centre – geležies korozijos produktai, šiek tiek pilkos spalvos šlako ir keletas medžio anglies gabalėlių; išorėje – grunto sluoksnelis.
27	155	7 x 5,5 x 2-2,5	Sunkus gabaliukas su nedideliais medžio anglies įspaudais.	Kairėje pusėje – metalinės geležies „kempinė“, centre – tamsiai pilkas poringas šlakas, dešinėje pusėje – šiek tiek šviesesnis šlakas (6 pav.).
28	68	5 x 4,5 x 1,5	Šlako gabalėlis su nedideliais medžio anglies įspaudais.	Pilkas šlakas ir rūdys. Panašus į bandinį Nr. 25.
29	38	4,5 x 4 x 2	Nedidelis šlako gabalėlis.	Pilkame šlake matyti medžio anglies gabalėliai, rūdys, šiek tiek šviesaus šlako.

Reikėtų pabrėžti, kad Gedimino prospekte ir Dysnos gatvės šlako radiniai savo išorinėmis savybėmis bei makrostruktūra skiriasi nuo tyrinėtų Lietuvos rudnių šlakų (Navasaitis, Sveikauskaitė, Selskis, 1999, p. 122). Remiantis aukščiau pateikta metalurginių atliekų klasifikacija ir literatūros šaltiniuose (Erze, 1991, p. 14; Sperl, 1980, p. 14) pateiktais jų aprašymais, tiriamus šlakus pagal išorinius požymius galima būtų priskirti kalvės žaizdro arba rudnės dugno šlakams. Be to, bandinių išorinės savybės bei makrostruktūra labai panašios į daugelyje darbų (Bachmann, 1970, p. 732; Hauptmann, Mai, 1989, p. 95; Keesmann, 1985, p. 351; Keesmann, Hilgart, 1992, p. 391) aprašytą šlaką, autorių nuomone, susidariusių kalvės žaizdre, savybes.

CHEMINĖS SUDĖTIES TYRIMAI

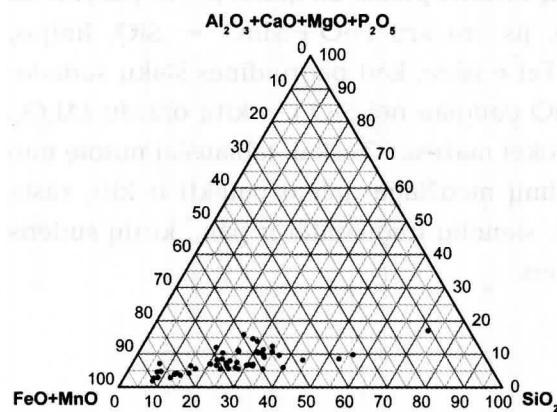
7 pav. pateikta Oelsen'o ir Schürmann'o (Oelsen, Schürmann, 1954, p. 510) dar 1954 m. sudaryta diagrama, kurioje apibendrinta Vokietijoje, Europoje bei neeuropinėje teritorijoje rasto rudnių (tekaus ir dugno) šlako cheminė sudėtis. Didžiausią taškų tankį turintis plotas diagrame yra pažymėtas punktyrine linija. Kaip matome, jis yra arti $\text{FeO} + \text{MnO}$ – SiO_2 linijos, arčiau prie $\text{FeO} + \text{MnO}$ kampo. Tai reiškia, kad pagrindinės šlakų sudedamosios dalys yra FeO ir SiO_2 (FeO daugiau nei SiO_2), o kitų oksidų (Al_2O_3 , CaO , MgO , P_2O_5) kiekiei yra gerokai mažesni. Taškai, labiausiai nutolę nuo pažymėto ploto, rodo, kad į tyrimų medžiagą galėjo patekti ir kitų rūsių bandiniai, pvz., rūdos gabaliukai, sienelių fragmentai ir pan., kurių sudėtis šiek tiek skiriasi nuo šlakų sudėties.



7 pav. Rudnių (tekaus ir dugno) šlako sudėtis
(pagal: Oelsen, Schürmann, 1954, p. 510, pav. 3).

Vėliau, po 1954 m., daugelio autorų darbuose pateikta rudnių šlako cheminė sudėtis Oelsen'o ir Schürmann'o diagramai nepriestarauja, o ją tik patvirtina ir papildo (Navasaitis, Sveikauskaitė, Selskis, 1999, p. 124). I daugiausia taškų turinčią sritį patenka ir dauguma Lietuvos rudnių šlakų (Navasaitis, Sveikauskaitė, Selskis, 1999, p. 125).

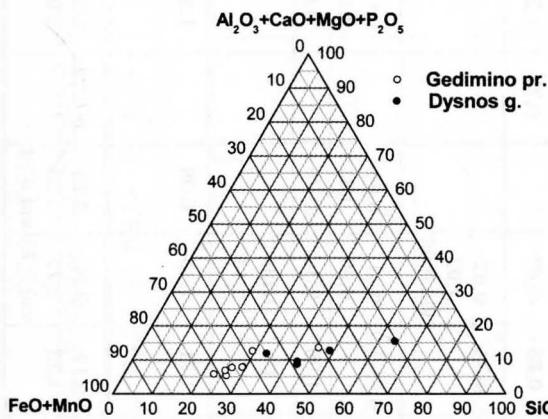
Kalvės žaizdro šlakų sudečiai charakterizuoti sudarėme kitą diagramą pagal aštuoniuose šaltiniuose (Hauptmann, Mai, 1989, p. 97; 1991, p. 175; Keesmann, Hilgart, 1992, p. 407; Kronz, 1997, p. 225; La Salvia, Mihok, 2003, p. 127; Mihok, Pribulova, 2003, p. 167; Pleiner, Pelikan, Bartuska, 1971, p. 112; Thomsen, 1971, p. 105) pateiktus duomenis (iš viso 51 taškas, 2 lentelė, 8 pav.). Kaip matome, dauguma kalvės žaizdro šlakų cheminės sudėties taškų atsiduria panašioje vietoje, kaip ir rudnės šlakų, ir pagal diagramą patikimai atskirti vieną šlako rūši nuo kitos yra gana sunku. Tačiau kai kurie autoriai (Thomsen, 1971, p. 108; Hauptmann, Mai, 1991, p. 176) atkreipia dėmesį į tai, kad kalvės žaizdro šlakuose, lyginant su rudnės šlakais, gali būti daugiau SiO_2 ir mažesnis kiekis MnO ir P_2O_5 .



8 pav. Ivairių autorų (žr. tekste) tyrinėto kalvės žaizdro šlako cheminė sudėtis. Braižė A. Selskiene.

Gedimino prospektu ir Dysnos gatvės šlako radinių bendroji cheminė sudėtis pateikta 3-ioje lentelėje, metalinių objektų – 4-oje lentelėje. Iš Gedimino prospektų rastų šlakų chemiškai buvo ištirti 3, 5, 7 ir 9 bandiniai bei bandinio Nr. 8 šlako interpalai (3 lentelė, 9 pav.). Lyginant jų sudėtį su 7 ir 8 paveiksluose pateikta šlakų chemine sudėtimi galima tvirtinti, kad tai neabejotinai su kalviškosios geležies gavyba ar perdirbimu susiję radiniai. Reikia pastebėti, kad, lyginant su Lietuvos rudnių šlakais, kuriuose, be kitų

elementų, aptikta 21,9 – 30,9% SiO_2 , 0,1 – 2,7% (vidutiniškai 1,3%) MnO ir 0,5 – 11,8% (vidutiniškai 4,8%) P_2O_5 (Navasaitis, Sveikauskaitė, Selskis, 1999, p. 125), Gedimino prospektuose yra kiek daugiau SiO_2 (32,5 – 61,2%) ir visiškai nedideli kiekiei MnO (0,1 – 0,3%) ir P_2O_5 (0,3 – 0,4%) (išskyrus bandinio Nr. 8 šlako intarpus).



9 pav. Gedimino prospektuose ir Dysnos gatvėje rastų
kai kurių šlako bandinių cheminė sudėtis. Braižė A. Selskienė.

Bandinyje Nr. 8 esančių šlako intarpų sudėtis nuo kitų Gedimino prospektuose rastų šlako bandinių skiriasi tuo, kad čia daugiau MnO (2,6%) ir kiek daugiau P_2O_5 (0,6%). Tai leidžia manyti, kad intarpuose esantis šlakas susidarė išgaunant geležį rudnėje, o bandiniai Nr. 3, 5, 7 ir 9 labiau panašūs į kalvės žaizdro šlaką.

Metalinių objektų tyrimai parodė, kad bandinyje Nr. 1 yra daugiau mangano (iki 0,26%) ir mažiau fosforo (iki 0,01%) nei bandinyje Nr. 8, kuriame mangano neaptikta visai, o fosforo rasta 0,05 – 0,17% (4 lentelė). Tyrimų duomenys rodo, kad bandinio Nr. 8 abi plokštélės yra iš tos pačios medžiagos – tipiškos kalviškosios geležies beveik be kitų elementų priemaišų.

Ant keramikos užtekėjės metalas yra beveik grynas varis su nedidele alavo (1,8%) ir kai kurių kitų elementų priemaiša (4 lentelė, bandinys Nr. 11). Nustatyta, kad bandiniai Nr. 12 ir Nr. 13 – tai du šiek tiek besiskiriantys vario lydiniai su alavu (11,8 ir 3,3%), švinu (1,5 ir 4,4%), cinku (0,04 ir 3,1%), stibiu (0,8 ir 2,2%), nikeliu (0,1 ir 0,7%) ir geležimi (0,01 ir 0,4%) (4 lentelė).

Dysnos gatvėje rastų šlakų bendroji cheminė sudėtis rodo, kad tai taip pat su kalviškosios geležies gavyba ar perdirbimu susiję radiniai (3 lentelė, 9 pav.). Lyginant su Gedimino prospektuose rastais šlakais, juose (išskyrus šlako

ĮVAIRIŲ AUTORIŲ PATEIKIAMA KALVIO ŽAIZDRO IR KALIMO ŠLAKŲ CHEMINĖ SUDĒTIS, %

Vietovė, amžius	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	TiO ₂
Vokietija (Haithabu), vikingų laikų gyvenvietė, (Pleiner, Pelikan, Bartuska, 1971, p. 112)	59,1	3,34	30,91	4,58	1,99	0,18	pėdsakai	pėdsakai				
Vokietija (Haithabu), vikingų laikų gyvenvietė, (Thomsen, 1971, p. 105)	50-71		24-37	1,5-2,8	1,8-2,7	0,4-1,1	0,1	0,6-1,2				
Austrija, VI—I a. pr. Kr., (Keesmann, Hilgart, 1992, p. 407)	47,5-56,2	8,9-12,4	24,1-31	1,8-2,09	2,85-3,88	0,67-0,83	0,15-0,42	0,5-1,12	0,17-0,23	0,61-1,27		0,04-0,05
Slovakija (Liptovska Mara IV), II—I a. pr. Kr. (Mihok, Pribulova, 2003, p. 167) (14 bandinių)	30,1-85,5		6,7-50,3	0-2,65	2,8-7,84	0-3,2	0,02-4,02 vid.0,68					
Vokietija (Colonia Ulpia Traiana), I—III a. po Kr., (Hauptmann, Mai, 1989, p. 97)	42,4-59,7		24,8-39,8	2,99-3,98	0,67-2,97	0,91-1,7	0,41-0,98	0,65-0,83		1,17-2,18	0,02-0,04	0,15-0,22
	8,8		61,1	9,51	2,2	1,99	0,34	0,76		3,8	0,03	0,39
Italija (Viterbo), XII—XIII a.; (La Salvia, Mihok, 2003, p. 127)	50,2-63,2		14,2-29,6	0,61-1,83	2,8-5,04	0	0,08-0,44					
Vokietija (Dhünntal), viduramžiai, (Hauptmann, Mai, 1991, p. 175)	58,9		24,4	6,62	1,3	1,71	1,16	0,98		1,34	0,03	0,35
Vokietija (ivairios vietovės); ivairius radinių amžius (19 bandinių); (Kronz, 1997, p. 225)	52,3-89,6		7,8-33,9	0,38-12,2 vid.4,40	0,41-4,08 vid.1,54	0,17-1,33	0,16-2,72 vid.0,70	0,19-1,55 vid.0,74	0-0,22	0,04-2,08	0-0,06	0,11-0,66

GEDIMINO PR. IR DYSNOS G. RASTO ŠLAKO BANDINIŲ BENDROJI CHEMINĖ SUDĒTIS, %

Bandinio Nr.	FeO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	BaO	TiO ₂
Gedimino prospektas, horizontas 4B											
3	45,6	40,1	4,1	4,2	0,6	0,2	0,3	0,4		0,08	0,15
5	53,5	32,5	4,0	5,5	1,9	0,3	0,4	0,4		0,07	0,17
7	19,3	61,2	5,4	7,3	1,9	0,2	0,3	0,6		0,07	0,25
8 *	37,9	35,3	2,5	4,3		2,6	0,6		3,2		
9	34,2	43,7	5,5	4,3	1,2	0,1	0,4	0,8		0,07	0,20
Dysnos gatvė, I metalurginė krosnis											
14	59,4	27,7	2,0	3,4	1,5	0,2	0,7	0,2		0,02	0,06
17	60,1	23,1	1,3	2,1	1,0	0,2	0,4	0,2		0,02	0,06
18 *	45,7	25,1	3,5	6,0		4,1	1,3		3,6		
Dysnos gatvė, II metalurginė krosnis											
21	59,5	24,2	1,6	2,6	0,8	0,4	2,1	0,6		0,05	0,07
23	69,2	22,2	1,4	2,7	0,9	0,3	0,7	0,3		0,02	0,06
Dysnos gatvė, ūkinė duobė											
24	62,3	28,7	1,9	3,3	1,0	0,3	1,7	0,2		0,04	0,07
25	35,7	40,7	2,4	4,7	1,4	0,6	3,6	0,3		0,08	0,10
28	63,4	23,6	1,5	2,6	0,6	0,4	1,8	0,1		0,07	0,06

* — šlako interpu metalinėje geležyje sudėtis.

Tuščias langelis — elemento koncentracija nematuota.

GEDIMINO PR. IR DYSNOS G. RASTŲ METALINIŲ OBJEKTŲ CHEMINĖ SUDĒTIS, %*

Bandinio Nr.	Matavimo vieta	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Mn	P	Pb	Sn	Sb
Gedimino prospektas, horizontas 4B												
1	Feritas	99,7	-	-	-	0,02	0,05	0,11-0,26	0,01			
1	Šalia siūlės	99,9	0,002	0,014	0,03	-	0,09	-	-			
1	Siūlė	99,8	-	-	-	-	-	0,2	-			
8	Feritas	99,9	0,004	-	0,005	-	0,05	-	0,05			
8	Feritas	99,8	0,006	0,012	0,008	-	0,05	-	0,06			
8	Feritas	99,8	0,007	0,007	-	0,003	0,06	-	0,08			
8	Feritas	99,8	0,008	-	0,01	-	0,03	-	0,17			
11	Metalas	0,01	-	0,1	97,2	-	-	-	-	0,2	1,8	0,7
12	Metalas	0,01	-	0,1	85,7	0,04	-	-	-	1,5	11,8	0,8
13	Metalas	0,4	-	0,7	85,9	3,1	-	-	-	4,4	3,3	2,2
Dysnos gatvė, I metalurginė krosnis												
18	Feritas	99,8	-	0,006	-	-	0,08	-	0,13			
18	Siūlė	99,7	0,003	0,005	0,01	0,007	0,22	-	0,07			
Dysnos gatvė, II metalurginė krosnis												
22	Feritas	99,6	0,014	-	-	-	0,08	0,001	0,32			
22	Feritas	99,5	0,002	0,005	0,01	0,006	0,12	0,005	0,37			

* Tyrimus atliko dr. E. Matulionis

- Elemento sudėtyje nėra.

Tuščias langelis – elemento koncentracija nematuota.

intarpą bandinyje Nr. 18) aptikta daugiau FeO (59,4 – 69,2%) ir mažiau SiO₂ (22,2 – 40,7%), Al₂O₃ (1,3 – 2,4%) bei CaO (2,1 – 4,7%). MnO kiekis čia tik nežymiai didesnis, o P₂O₅ kiekis, ypač bandiniuose iš II-os metalurginės krosnies ir iš ūkinės duobės, gerokai didesnis (0,4 – 3,6%) nei Gedimino prospekto bandiniuose. Pabrėžtina, kad panašus ar didesnis P₂O₅ kiekis (0,5 – 11,8%, vidutiniškai 4,8%) yra aptiktas ir daugelyje Lietuvos rudnių šlakų (Navasaitis, Sveikauskaitė, Selskis, 1999, p. 125).

Šlako intarpų bandinyje Nr. 18 sudėtis nuo kitų Dysnos gatvės šlako bandinių skiriasi tuo, kad čia gerokai daugiau CaO (6,0%) ir MnO (4,1%), o P₂O₅ kiekis (1,3%) didesnis tik už toje pat vietoje rastą šlakų P₂O₅ kiekį (0,4 – 0,7%). Šie šlako intarpai, kaip ir metaliniame bandinyje Nr. 8, greičiausiai susidarė dar geležies gavybos metu rudnėje, o Dysnos gatvės gargažės, tikėtina, yra susidariusios kalvės žaizdre.

Dysnos gatvėje rastų metalinių objektų sudėtis (4 lentelė, bandiniai Nr. 18 ir 22) rodo, kad tai taip pat beveik neturinti priemaišų geležis. Tačiau pabrėžtina, kad bandinyje Nr. 22 iš II metalurginės krosnies aptikta daugiau fosforo (0,32 – 0,37%) nei Gedimino prospekto bandinyje Nr. 8 (0,05 – 0,17%) ir Dysnos gatvės bandinyje Nr. 18 iš I metalurginės krosnies (0,07 – 0,13%). Tai logiškai siejasi su tuo, kad atitinkamai skiriasi fosforo kiekis skirtingose vietose rastuose šlakuose (žr. aukščiau).

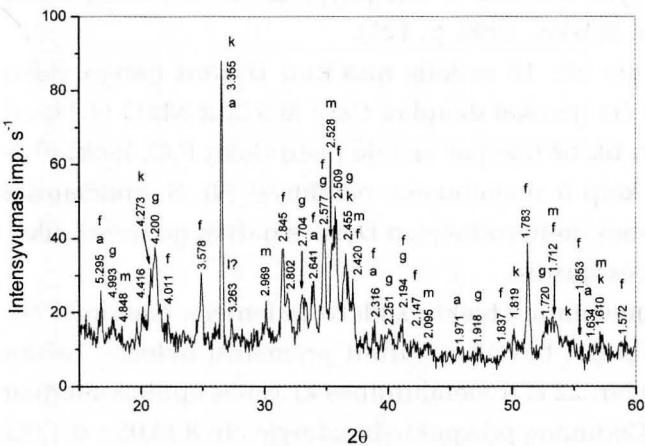
Cheminės sudėties tyrimai rodo, kad tiek Gedimino prospekto, tiek Dysnos gatvės radiniai yra susiję su kalviškosios geležies technologiniais procesais. Tai, kad gargažėse palyginti nedaug MnO ir P₂O₅, be to, minėti skirtumai tarp šlako intarpų ir gargažių sudėties, leidžia daryti prielaidą, kad pastrosios yra susidariusios kalvės žaizdre.

FAZINĖS SUDĖTIES IR MIKROSTRUKTŪROS TYRIMAI

Rentgenofazinės analizės metodu tiek Gedimino prospekto, tiek ir Dysnos gatvės šlako bandiniuose aptikta fajalito, magnetito, viustito, getito, lepidokrokito, akaganeito, kvarco, tik jų kiekiai skirtinguose bandiniuose gana stipriai skiriasi. Viena iš charakteringų rentgenogramų pateikta 10 pav. Reikia pastebėti, kad bandiniuose aptikta gerokai daugiau trivalentės geležies junginių, nei tirtuose rudnių šlakuose.

Nors getitas ir lepidokrokitas jeina į balų rūdos sudėtį (Malinauskas, Linčius, 1999, p. 112), šiuo atveju tai néra pirminiai rūdoje buvę mineralai. Kartu esantis fajalitas bei metalinė geležis (žr. toliau) rodo, kad medžiaga buvo

kaitinta aukštoje temperatūroje, kurioje geležies hidroksidai-oksidai negalėtų išlikti nepakitę. Taigi galima manyti, jog per laiką įvyko atvirkštinis procesas, kuomet metalinė geležis ar geležies junginiai korodavo ir virto hidroksidais-oksidais. Be to, mineralas akaganeitas taip pat ne tik aptinkamas gamtoje, bet ir susidaro koroduojant kai kuriems plienams (Post, Buchwald, 1991, p. 272).

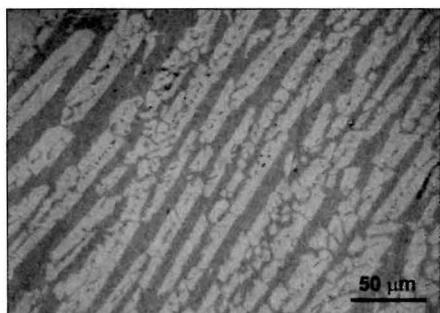


10 pav. Bandinio Nr. 29 rentgenograma. a – akaganeitas, f – fajalitas, g – getitas, k – kvarcas, l – lepidokrokitas, m – magnetitas. Bražė V. Pakštas

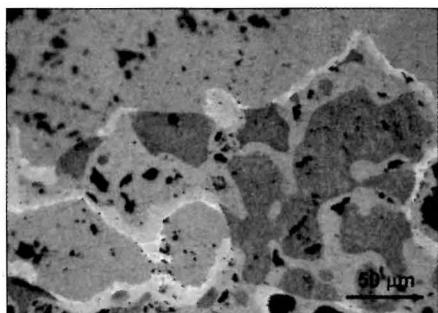
Optinės mikroskopijos tyrimai parodė, kad Gedimino prospektė rastų šlakų mikrostruktūra yra netolygi, heterogeniška. Beveik visuose bandiniuose aptikta ne tik tipiško fajalitinio šlako sričių, bet ir metalinės geležies intarpų, nemažas kiekis geležies oksidų ir hidroksidų (rūdžių), medžio anglies intarpų, kvarco dalelių bei stiklo fazės.

Fajalitinis šlakas, kurio pagrindą sudaro fajalito kristalai stiklo fazėje, skirtingai nuo tekiųjų šlakų, neužima viso tiriamo paviršiaus ploto, o sudaro tik įvairaus dydžio sritis. Jose fajalitas yra išskristalinės ilgais siaurais kristalais su geometriškai išsidėsčiusiais tamsiais stiklo fazės intarpais (11 pav.). Vienalaikę dviejų fazų kristalizaciją ir kartu tokią fajalito kristalų formą galėjo nulemti greitas aušimas. Daugelyje bandinių galima pastebėti visiškai nedideles fajalitinio šlako sritis su ypač smulkia struktūra (12 pav.). Dalis šio šlako greičiausiai susidarė perlydžius kritėje buvuši rudnės šlaką, o kita dalis galėjo susidaryti žaizdre, beriant smėlių ant įkaitusios oksiduotos geležies.

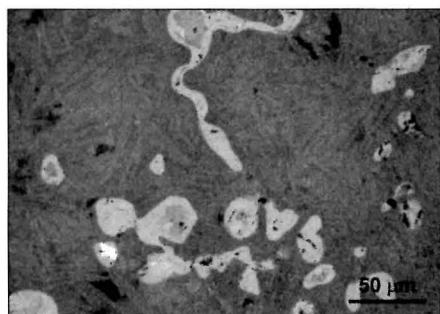
Metalinė geležis šlakuose dažnai sutinkama kelių mikrometrų dydžio idiomorfinių kristalų pavidalų, daugiausia esančių aplink medžio anglies intarpus bei poras, kur, kaip spėjama, anksčiau taip pat galėjo būti medžio



11 pav. Bandinio Nr. 2 mikrostruktūra. Fajalito kristalai (šviesiai pilki) stiklo fazėje (tamsiai pilka). Nuotrauka A. Selskienės.



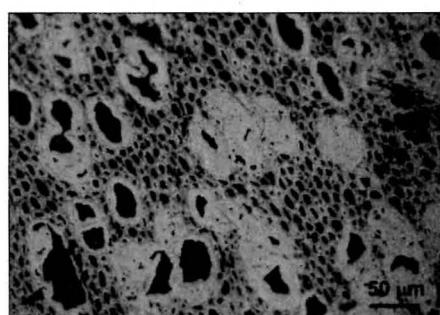
12 pav. Bandinio Nr. 2 mikrostruktūra. Fajalitinio šlako ploteliai (pilki, raini) geležies korozijos produktoose (šviesiai pilka matrica). Nuotrauka A. Selskienės.



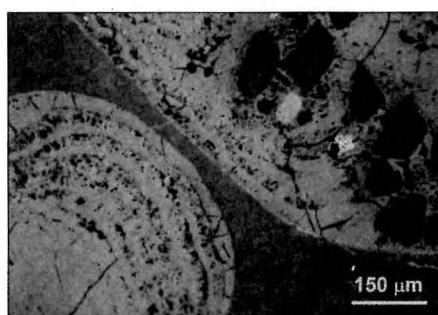
13 pav. Bandinio Nr. 4 mikrostruktūra. Korodavusios geležies intarpelėliai (šviesiai pilki) šlake. Kairėje matyt išlikusi metalinė geležis (baltas plotelis). Nuotrauka A. Selskienės.



14 pav. Bandinio Nr. 4 mikrostruktūra. Poros (juodos) iš dalies užpildytos geležies korozijos produktais (šviesiai pilki). Nuotrauka A. Selskienės.



15 pav. Bandinio Nr. 2 mikrostruktūra. Medžio anglies poros iš dalies ar visiškai užpildytos geležies korozijos produktais (šviesiai pilki). Nuotrauka A. Selskienės.



16 pav. Bandinio Nr. 4 mikrostruktūra. Pora, pilnai užpildyta rūdimis (šviesiai pilka, kairėje apačioje). Išorinis bandinio paviršius padengtas rūdžių sluoksniniu (šviesiai pilkas, dešinėje viršuje), kuriamo yra kvarco grūdelių (tamsiai pilki). Nuotrauka A. Selskienės.

anglis. Ši geležis galėjo susidaryti kalvės žaizdre, esant redukuojančių dujų aplinkai iš šlake buvusių geležies junginių. Metalinė geležis sutinkama ir didesnių intarpų pavidalu; šalimais paprastai esti nemažai panašios formos bei dydžio rūdžių intarpų (13 pav.).

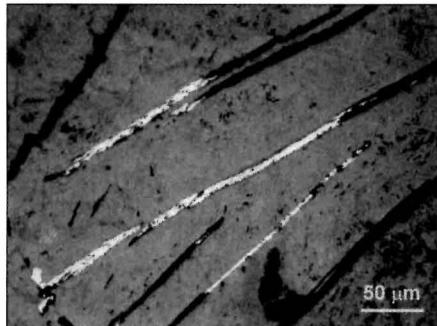
Viena iš daugiausiai šlifų paviršiaus ploto užimančių fazų yra geležies korozijos produktai – ilgo gulėjimo žemėje ir aplinkos poveikio pasekmė. Kadangi geležies oksidų ir hidroksidų tūris didesnis nei buvusios geležies, jie laikui bėgant pilnai arba iš dalies užpildė poras (14 pav.), išiskverbė į akytą medžio anglį (15 pav.) bei padengė šlako gabalą paviršių, kartu įjungdami grunte buvusius kvarco ar kitokių uolienų grūdelius (16 pav.). Dažnai galima pastebėti ištisus didelius korozijos produktų plotus, kuriuose kai kur matyti reliktinis cementitas (17 pav.). Tai rodo toje vietoje buvus nemažą įanglintos metalinės geležies kiekį.

Gedimino prospektu šlakų struktūroje palyginti nedaug viustito kristalu; tai rodo, kad lydalo sudėtyje nebuvo pakankamai FeO, kad jis išskristalintų kaip atskira fazė. Tačiau struktūroje pastebėti dideli, pavieniai gana griežtos geometrinės (dažniausiai plokštelių) formos viustito intarpai (18 pav.). Manoma, kad tai į šlaką patekė žvynelių pavidalo metalinės geležies oksidacijos produktai (dzindra). Jie galėjo susidaryti kaitinant ir kalant karštą geležį ore, o vėliau atšokti nuo jos paviršiaus dėl mechaninio poveikio arba kaitinant dėl mažesnio nei metalinės geležies plėtimosi koeficiente. Tokie viustito intarpai literatūroje aprašomi kaip viena iš kalvės žaizdro šlakams būdingų ir šią šlako rūšį patvirtinančių fazų (Hauptmann, Mai, 1989, p. 99; Keesmann, 1985, p. 354).

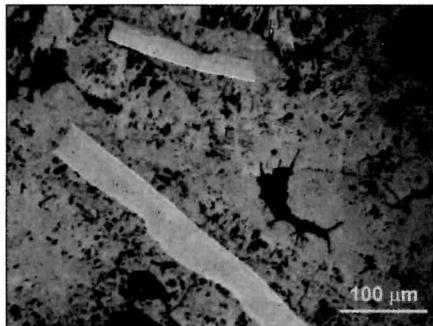
Medžio anglies gargažėse taip pat labai daug. Manoma, kad skystas šlakas palaipsniui padengė žaizdre buvusius medžio anglies gabalėlius; iki galo sudegti jie negalėjo, todėl pasiliko šlake.

Kai kuriems šlako bandiniams būdinga tai, kad jie turi daug kvarco intarpų – tiek paviršiuje, tiek ir šlako viduje. Vieni jų, dažniausiai šlako paviršiuje, yra susidarant rūdžių sluoksniui tiesiog iš aplinkos inkorporuoti smėlio grūdeliai (16 pav.), o kiti intarpai yra apsilydę ir apgaubti stiklo faze (19 pav.). Pastarieji buvo paveikti aukštos temperatūros ir į šlaką galėjo patekti arba lydantis keraminei žaizdro sienelei, arba dirbinių gamybos metu sąmoningai beriant kvarco grūdelius geležies oksidui nuo geležies paviršiaus pašalinti. Greičiausiai galimi abu keliai.

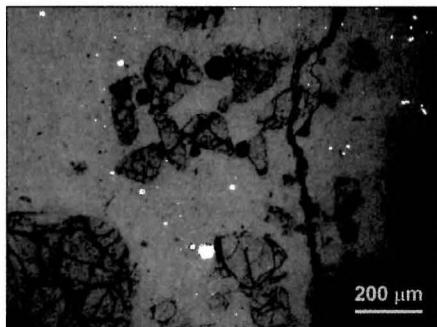
Bandinio Nr. 5 struktūroje aptikta daug tamsios fazės – kalio aliuminio silikato leucito (20 pav.). Be to, bandinyje labai ryškus sluoksniuotumas: paviršiuje matyti stiklingas, su kvarco intarpais sluoksnis, po to seką skirtin-



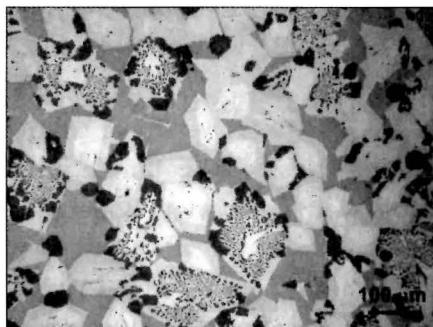
17 pav. Bandinio Nr. 2 mikrostruktūra. Cementito plokštelės (baltos) korodavusioje geležyje (šviesiai pilka). Nuotrauka A. Selskienės.



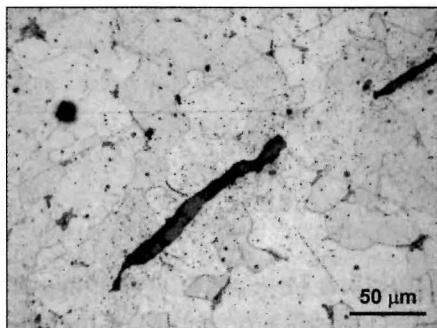
18 pav. Bandinio Nr. 4 mikrostruktūra. Plokštelų formos viustito intarpai (šviesiai pilki). Nuotrauka A. Selskienės.



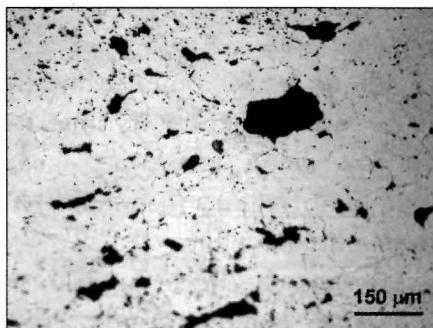
19 pav. Bandinio Nr. 3 mikrostruktūra. Kvarco kristalai (tamsiai pilki) ir metalinės geležies kruopelės (baltos) stiklo fazėje (pilka matrica). Nuotrauka A. Selskienės.



20 pav. Bandinio Nr. 5 mikrostruktūra. Fayalito kristalai (šviesiai pilki), stiklo fazė (vidutinio pilkumo) ir leucitas (tamsios spalvos kristalai). Nuotrauka A. Selskienės.



21 pav. Bandinio Nr. 1 mikrostruktūra. Šlako intarpai (tamsiai pilki) kalviškojo suvirinimo siūlėje. Ėsdinta 3% HNO_3 tirpalu etanolyje. Nuotrauka A. Selskienės.



22 pav. Bandinio Nr. 8 mikrostruktūra. Šlako intarpai (tamsiai pilki) feritinėje geležyje. Ėsdinta 3% HNO_3 tirpalu etanolyje. Nuotrauka A. Selskienės.

gū struktūrų su leucitu sluoksniai, ir galiausiai – sluoksnis be leucito. Toks struktūros ir kalio kiekio kitimas rodo, kad šis elementas galėjo susikaupti tam tikroje vietoje atsiradus ir palaipsniui daugėjant medžio anglies pelenų (Kronz, 1997, p. 190).

Atskirai reikėtų paminėti bandinius Nr. 3 ir Nr. 9. Bandinio Nr. 3 visame plote, o bandinio Nr. 9 – beveik visame (išskyrus pakraščius) plote matyti apsilydę kvarco grūdeliai stiklingoje matricoje. Bandinio Nr. 3 pakraščiuose yra smulkių metalinės geležies kruopelių (19 pav.), o bandinio Nr. 9 – ir smulkių fajalito kristalų. Gali būti, kad tai kitos rūšies, t. y. lengvieji (stiklinieji), šlakai, tačiau šiam teiginiu patvirtinti reikia nuodugnesnių tyrimų.

Ištirta ir Gedimino prospektė rastų metalinių bei keraminių bandinių struktūra. Bandinio Nr. 1 tyrimai rodo, kad geležis yra feritinės-perlitinės struktūros, kiek daugiau įanglinta ties kalviškojo suvirinimo siūle. Silikatinių šlako intarpų geležyje labai mažai; tik siūlėje matyti keletas siaurų, ištęstų intarpų (21 pav.). Tačiau geležyje pastebėta nemažai smulkių MnS intarpų. Tai rodo, kad šis bandinys, ko gero, yra vélyvesnis ir nėra tiesiogiai susijęs su kitais tiriamais Gedimino prospekto radiniais. Be to, jis buvo rastas kiek kitoje vietoje (išorinėje Boneckio namo pusėje) nei kiti Gedimino prospekto bandiniai.

Bandinio Nr. 8 tyrimai parodė, kad abiejų metalinių plokštelių geležis yra feritinės struktūros, t. y. mažaanglė (22 pav.). Geležyje daug šlako intarpų, jie vienalyčiai, dauguma jų mažai deformuoti kalant. Gali būti, kad šios dvi plokštelynės buvo sudėtos kalviškajam suvirinimui.

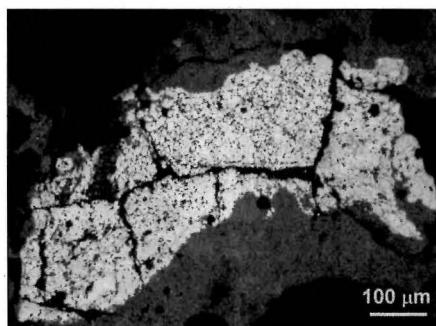
Sienelės nuolaužos (bandinys Nr. 10) struktūroje, nuo karščio apsilydžiusiame pakraštyje matyti nedidelių viustito dendritų sankaupų. Didžiausia jų parodyta 23 pav. Tikėtina, kad tai keraminės sienelės, buvusios netoli pūstuvo, dalis.

Kitoje sienelės nuolaužoje (bandinys Nr. 11) matyti ant jos užtekėjęs varis. Mikrostruktūros tyrimai parodė, kad dėl vario ir sienelės sąveikos aukštoje temperatūroje tarp jų susidarė kitų vario junginių (24 pav.). Dviejų rastų vario lydinių (bandiniai Nr. 12 ir Nr. 13) struktūra panaši ir tolygi visame tirtame plote.

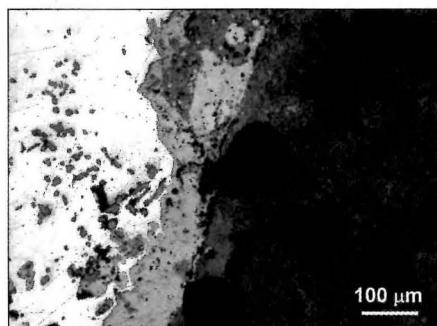
Dysnos gatvėje rastų šlako bandinių struktūra taip pat heterogeniška: juose yra ir fajalitinio šlako (25 pav.), ir geležies korozijos produktų, ir metalinės geležies bei kvarco intarpų (26 pav.), ir susioksidavusios geležies skeveldrų, ir medžio anglies likučių. Kai kuriuose bandiniuose rasta leucito (27 pav.) bei kvarco intarpų stiklingoje matricoje. Tačiau, lyginant su Gedimino pros-

peko radiniai, šiu šlakų struktūroje matyti žymiai daugiau idiomorfinio viusito (25, 27, 28 pav.). Kai kuriuose viustito kristaluose matyti išlikusios smulkios metalinės geležies dalelytės. Tai rodo, kad šiuo atveju viustitas susidarė iš metalinės geležies aukštoje temperatūroje veikiant oksiduojančių dujų terpei.

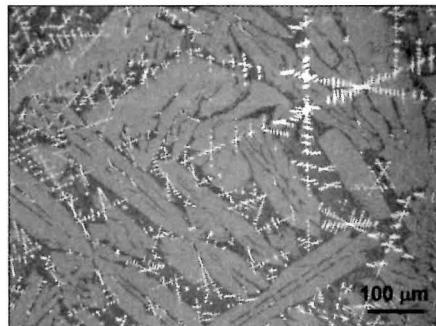
Ypatingas savo struktūra yra bandinys Nr. 27. Čia matyti vadinamoji „kempininė“ geležis – šlako ir geležies kruopelių mišinys (6 pav.). Bandinyje galima pamatyti tiek fajalitinio (29 pav.), tiek ir stiklingo (30 pav.) šlako sričių. Be to, metalinė geležis įsianglinusi nevienodai.



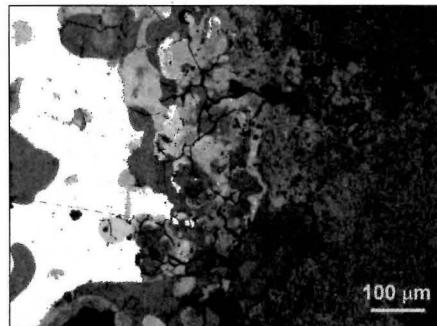
23 pav. Bandinio Nr. 10 mikrostruktūra. Viustito dendritų sinkaupa (balta) stiklo fazėje (pilka). Juodos spalvos ploteliai – poros. Nuotrauka A. Selskiénės.



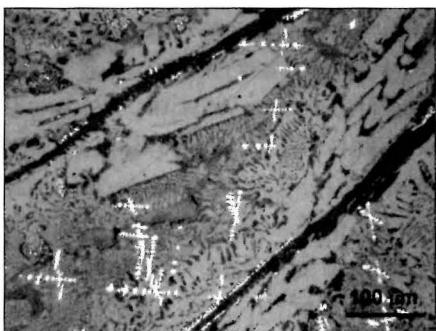
24 pav. Bandinio Nr. 11 mikrostruktūra. Keraminė sienelė (tamsiai pilka, dešinėje), metalinis varis (šviesiai pilkas, kairėje) ir tarp jų esantis vario junginių sluoksnis (vidutinio pilkumo). Nuotrauka A. Selskiénės.



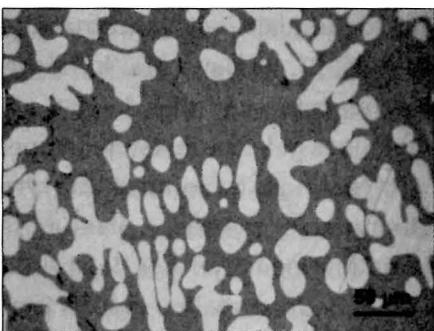
25 pav. Bandinio Nr. 23 mikrostruktūra. Fajalito kristalai (šviesiai pilki) ir viustito dendritai (balti) stiklo fazėje (tamsiai pilka). Nuotrauka A. Selskiénės.



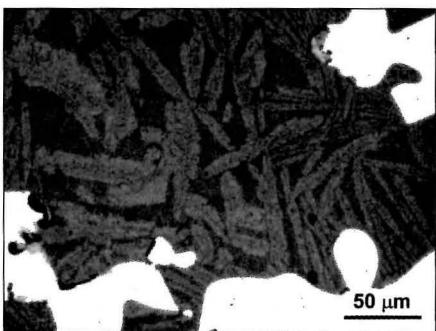
26 pav. Bandinio Nr. 27 mikrostruktūra. Metalinė geležis (balta), kvarco grūdeliai (vidutinio pilkumo) rūdyse (šviesiai pilkos) ir medžio anglis (pilka, raina, dešinėje). Nuotrauka A. Selskiénės.



27 pav. Bandinio Nr. 24 mikrostruktūra. Fayalito kristalai (šviesiai pilki), leucitas (tamsiai pilkas) ir viustito dendritai (balti). Nuotrauka A. Selskienės.



28 pav. Bandinio Nr. 19 mikrostruktūra. Viustito dendritai (balti) fajalite (pilkas). Nuotrauka A. Selskienės.



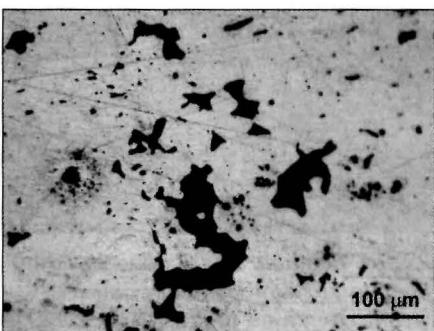
29 pav. Bandinio Nr. 27 mikrostruktūra. Fayalito kristalai (šviesiai pilki) stiklo fazėje (tamsiai pilka). Pakraščiuose – metalinė geležis (balta). Nuotrauka A. Selskienės.



30 pav. Bandinio Nr. 27 mikrostruktūra. Vienalytis stiklingas šlakas (pilkas) tarp geležies (balta) kruopelių. Nuotrauka A. Selskienės.



31 pav. Bandinio Nr. 18 mikrostruktūra. Kalimo metu deformuoti šlako intarpai (tamsiai pilki) geležyje. Ėsdinta 3% HNO_3 titrui etanolyje. Nuotrauka A. Selskienės.



32 pav. Bandinio Nr. 18 mikrostruktūra. Beveik nedeformuoti intarpai kraštiniame geležies sluoksnyje (tamsiai pilki). Nuotrauka A. Selskienės.

Metaliniai Dysnos gatvės radiniai (Nr. 18 ir Nr. 22) savo struktūra yra gana panašūs. Bandinys Nr. 18 gamintas paketavimo būdu: jame matyti suvirinti skirtingo įanglinimo sluoksniai, išilgai kurių išsidėstę ilgi siauri šlako intarpai (31 pav.). Tik pačiame krašte esančiame sluoksnyje šlako intarpų forma yra visiškai kitokia (32 pav.). Jie beveik nedeformuoti kalant. Matyt, šis sluoksnis uždėtas paskiausiai ir nepakankamai iškaltas. Bandinys Nr. 22 taip pat turi kalimo ir suvirinimo požymį, tačiau sukaltas ne taip kruopščiai ir yra mažiau įanglintas.

Taigi bandinių fazinės sudėties ir mikrostruktūros tyrimai patvirtino, kad tiek Gedimino prospektu, tiek Dysnos gatvės šlako radiniai galėjo susidaryti kalvės žaizdre.

REZULTATŲ APTARIMAS

Tiek Gedimino prospektu, tiek ir Dysnos gatvėje rasti šlako gabalai neabejotinai yra technologinių procesų, susijusių su kalviškosios geležies gavyba ar perdirbimu, atliekos. Tai patvirtina jų cheminė sudėtis, t. y. didelis juose esantis FeO ir SiO₂ kiekis.

Kiti tyrimai parodė, kad šlako radinius galima būtų priskirti atliekoms, gautoms ne redukuojant rūdą, o susidariusioms kalvėje valant ir tankinant pirmą produktą – kritę, taip pat kalant bei formuojant ruošinius ir gaminius. Išoriniai požymiai (forma, dydis, medžiagos heterogeniškumas) atitinka literatūros šaltiniuose aprašytus charakteringus šios rūšies šlakų požymius. Be to, R. F. Tylecote (Tylecote, 1987, p. 318) teigia, kad šios rūšies šlakų diametras retai viršija 15 cm, tačiau neatmeta galimybės, kad viduramžių karinėse kalvėse galėjo būti gaunami ir didesni šlako gabalai. Kitame literatūros šaltinyje (Erze, 1991, p. 15) teigama, kad tokią šlakų diametras dažniausiai neviršija 20 cm. Šiame darbe tirtų didžiausių bandinių skersmuo siekia 16–18 cm. Tikėtina, kad išgaubta jų apatinė pusė yra negatyvus kalvės žaizdro dugno atspaudas. Prie apačios ar šonų prikepę keramikos sluoksneliai greičiausiai reprezentuoja medžiagas, iš kurių buvo padaryta krosnelė, o apačios nelygumai atspindi krosnelės dugne buvusių medžio anglies gabalėlių bei ankstesnio šlako likučių formą.

Cheminės sudėties tyrimai parodė, kad Gedimino prospektu ir Dysnos gatvėje rastuose šlakuose žymiai mažiau MnO ir P₂O₅ ir daugiau SiO₂, nei anksčiau tirtuose kitų Lietuvos vietovių rudnių šlakuose. Kadangi metalinės geležies objektų šlako intarpų sudėtyje MnO ir P₂O₅ rasta daugiau, tai

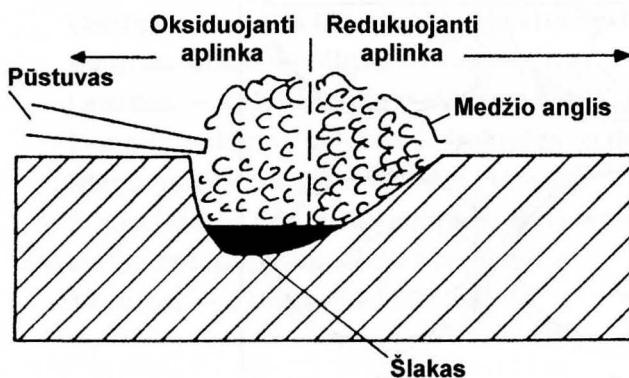
leidžia manyti, kad pirminis rudnės šlakas galėjo turėti daugiau MnO ir P₂O₅, bet, ištekėjės iš kritės, dėl iš šlaką patekusios geležies, jos oksidacijos produktų, besilydančių krosnelės sienelių, smėlio bei medžio anglies pele-nų stipriai „prasiskiedė“. Tai patvirtina ir užsienio autorių tyrinėjimai (Thom-sen, 1971, p. 108). Skirtinga Gedimino prospektu ir Dysnos gatvės šlako radinių sudėtis rodo, kad rūdos, iš kurių buvo pagamintos šiose gatvėse perdirbamos kritės, greičiausiai buvo skirtinės: pirmoji savo sudėtyje turėjo daugiau Al₂O₃ ir CaO, o antroji buvo fosforingesnė. Tai iš dalies pa-tvirtina anksčiau padarytą išvadą, kad daugelyje Lietuvos vietovių geležiai išgauti buvo naudojamos fosforingos rūdos (Navasaitis, Sveikauskaitė, Sels-kis, 1999, p. 130).

Prielaidą, kad tai kalvės žaizdro šlakai, labiausiai patvirtina bandinių mikrostruktūra ir fasinė sudėtis. Tirti šlakai yra heterogeniški, dažnai sudary-ti iš sričių, kurios skiriasi savo mineralogine sudėtimi bei kristalizacijos pro-duktų grūdelių dydžiu ir orientacija. Šlakuose aptikta ne tik tipiško fajaliti-nio šlako, bet ir įvairūs kiekiei medžio anglies, metalinės geležies, geležies korozijos produktų, magnetito, viustito sankaupų, kvarco grūdelių bei stiklo fazės. Skirtingas red-oks salygas atspindinčių struktūrų egzistavimas vienoje gargažėje rodo, kad šlako susidarymo proceso metu galėjo vyrauti tai oksi-duojančių, tai redukuojančių dujų terpė. Tai yra būdinga kalvio žaizdrui, ir šiuos pokyčius atspindinčių požymį dažnai aptinkama čia gautuose šlakuo-se (Kronz, 1997, p. 190).

Taigi atlikti radinių tyrimai patvirtina, kad netoli šlakų radimo vietų XV–XVII a. Vilniuje veikė kalvės. Tieki Gedimino prospektu, tieki Dysnos gatvėje rasti šlakai galėjo susidaryti įvairius geležies objektus kaitinant kal-vės žaizdre. Kalviškai apdoroti metalinės geležies radiniai (išskyruis bandinį Nr. 1) bei vario lydinių gabalėliai taip pat priskirtini darbo kalvėje atliekomis, o keraminės nuolaužos, tikėtina, galėjo būti kalvės įrangos dalys.

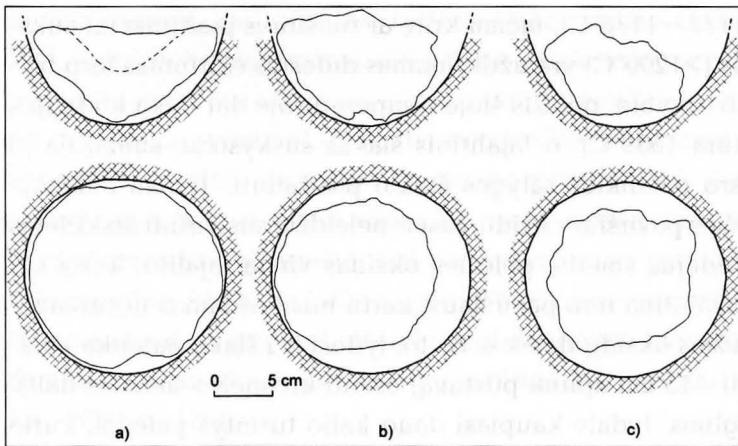
Anot kurių autorių (Erze, 1991, p. 15; Keesmann, Hilgart, 1992, p. 409; Tylecote, 1987, p. 248 ir 313), kalvės žaizdro šlakai galėjo susidaryti taip: per pūstuvo angą dumplėmis pučiant orą į krosnelėje degančias medžio an-glis, temperatūra kalvės žaizdre pakyla tiek, kad suskystėja kaitinamoje kri-teje esantys geležies išgavimo metu susidarę šlakai ir pamažu tekėdami ren-kasi po karščiausia zona, žemiau pūstuvo angos, kalvės žaizdro dugne. Kaip jau buvo rašyta (Navasaitis, Pilkaityė, Sveikauskaitė, Selskis, 1999, p. 60), temperatūra kalvės žaizdre turėjo siekti 1200°C, o gal net buvo aukštesnė. Nors eutektiniai fajalito lydiniai su viustitu arba kvarcu lydosi kiek žemesnė-

je temperatūroje ($1177 - 1178^{\circ}\text{C}$), tačiau kritę ar ruošinius įkaitinus iki aukštės temperatūros ($>1200^{\circ}\text{C}$) yra užtikrinamas didesnis skirtumas tarp fizi nių geležies ir šlako savybių: geležis šioje temperatūroje dar lieka kie ta (jos lydymosi temperatūra 1539°C), o fajalitinis šlakas suskystėja, sumažėja jo klampumas, susidaro palankios salygos šlakui pasišalinti. Tačiau aukštoje temperatūroje geležies paviršius oksiduoja ir neleidžia susivirinti atskiriems jos sluoksniams. Pridėjus smėlio, geležies oksidas virsta fajalitu, kuris suskystėjės lengvai pasišalina nuo paviršiaus, kartu nusinešdamas nesureagavusio smėlio ir geležies oksidų daleles. Be to, lydosi ir į šlaką patenka karščiausioje zonoje ($10 - 15$ cm aplink pūstuvą) esanti krosnelės sienelės dalis. Degant medžio anglims, lydale kaupiasi daug kalio turintys pelenai, kurie keičia jo cheminę sudėtį ir mažina jo klampumą. Šlakas užteka ant žaizdro dugne esančių medžio anglies gabalélių, kurie, pasidengę silikatiniu lydalui, nespėja iki galio sudegti ir pasilieka šlake. Pakartotinai kaitinant ir kalant kritę, nauji šlakai užteka ant ankstesnių, dėl ko susidaro heterogeninė, kartais ryškiai sluoksninė šlakų struktūra.



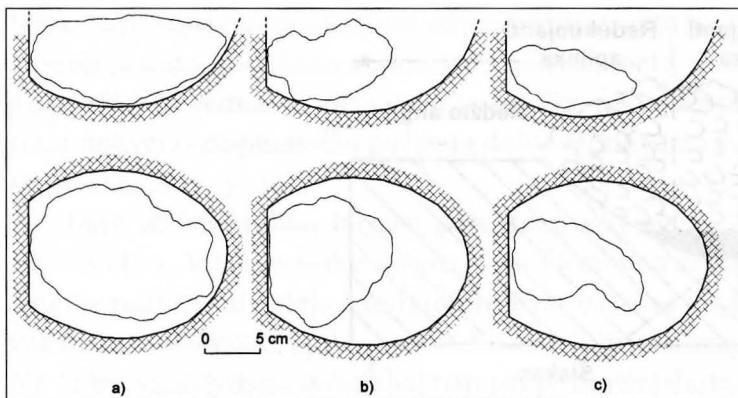
33 pav. Kalvės žaizdro schema
(pagal: Tylecote, 1987, p. 318, pav. 8.5).

R. F. Tylecot savo darbe (Tylecote, 1987, p. 318, pav. 8.5) pateikia kalvės žaizdro brėžinį (33 pav.). Mūsų atveju, remiantis turimų šlakų išvaizda, gali ma iš dalies nuspėti tik tai, kokios formos galėjo būti kalvės žaizdro dugnas. Manome, kad Gedimino prospektuose radiniai galėjo susidaryti beveik apvalios formos duobutėje (34 pav.), o Dysnos gatvėje rasti šlakai galėjo susiformuoti daugiau ovalios formos duobutėje (35 pav.). Bandinio Nr. 14 krašte prikepusi keramika galbūt rodo tai, kad viena iš Dysnos gatvės krosnelės sienelių galėjo būti plokščia.



34 pav. Galima kalvės žaizdro dugno forma ir Gedimino prospektu šlakų Nr. 6 (a), Nr. 7 (b) ir Nr. 5 (c) susidarymo padėtis jame. Viršutiniai bréžiniai – skersinis pjūvis; apatiniai bréžiniai – horizontalus pjūvis ties viršutiniu šlako paviršiumi.

Piešé O. Valionienė.



35 pav. Galima kalvės žaizdro dugno forma ir Dysnos gatvės šlakų Nr. 15 (a), Nr. 14 (b) ir Nr. 16 (c) susidarymo padėtis jame. Viršutiniai bréžiniai – skersinis pjūvis; apatiniai bréžiniai – horizontalus pjūvis ties viršutiniu šlako paviršiumi. Piešé O. Valionienė.

G. Sperl teigia (Sperl, 1983, p. 165), kad intensyviai dirbant kalvėje per dieną galėjo susidaryti 1–2 kg šlako. Maždaug tiek jo galėjo susidaryti ir Vilniuje egzistavusių kalvių krosnelių dugne: didžiausiai Gedimino prospektu rasti šlako gabalai sveria ~1,3–1,4 kg, o Dysnos gatvėje – 1,8 kg.

Manoma, kad iki XIX šimtmečio kalvėse susidarydavo šlakai, kurių daugelio sudėtis bei struktūra yra gana panaši (Pleiner, Pelikan, Bartuska, 1971, p. 112). Tai patvirtina ir mūsų tyrimai, todėl išskirti Vilniuje veikusių kalvių darbo ypatumus nėra lengva. Tačiau neabejotinai galima teigti, kad kalvėse galėjo būti nuo šlakų valomos ir tankinamos geležies kritės (šio proceso metu galėjo susidaryti didžiausi šlako gabalai), kalamai ir formuojami pusgaminiai bei gaminiai (šiu darbų metu galėjo susidaryti mažesni šlakai bei daugiau SiO_2 turintys lengvieji šlakai). Manome, kad to meto kalviai galėjo įanglinti geležį ir mokėjo suvirinti atskirus jos sluoksnius, tam panaudodami smėlį. „Gedimino prospektą“ kalvėje kartu galėjo būti perlydomi spalvotieji metalai – varis ir jo lydiniai.

KAI KURIŲ TERMINŲ PAAIŠKINIMAI

Akaganeitas – geležies hidroksidas-oksidas FeOOH .

Cementitas – geležies karbidas Fe_3C .

Fajalitas – geležies silikatas $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$.

Getitas – geležies hidroksidas-oksidas FeOOH .

Kvarcas, smėlis – silicio dioksidas SiO_2 .

Leucitas – kalio aliuminio silikatas $\text{KAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$.

Lepidokrokitas – geležies hidroksidas-oksidas FeOOH .

Magnetitas – geležies oksidas FeFe_2O_4 .

Stiklo fazė – žemiausią stingimo temperatūrą turėjės ir, išsikristalinus visoms fazėms, paskutinis sustingęs lydalas.

Viustitas – geležies oksidas FeO .

SANTRAUKA

Darbe pateikti 29-ių XV – XVII a. archeologinių objektų (įvairaus dydžio šlako gabalų, taip pat keleto metalinių bei keraminių radinių) sudėties ir struktūros tyrimų rezultatai. Radiniai buvo aptikti Vilniuje, Gedimino prospekte bei Dysnos gatvėje (anuometiniame Puškarnės priemiestyje) 2002 m. vykdant archeologinius tyrimus Gedimino prospekto rekonstrukcijos metu.

Detaliai apibūdinus visų radinių išorę bei makrostruktūrą konstatuota, kad šlako radiniai savo forma, dydžiu bei heterogeniškumu skiriasi nuo ligi šiol tirtų Lietuvos tekiųjų šlakų.

Darbe pateiktos įvairių šalių rudnių bei kalmės žaizdro šlakų, taip pat Gedimino prospektose bei Dysnos gatvėje rastų šlakų sudėties diagramos ir jų palyginimas. Nustatyta, kad tirtuose šlakuose, ypač rastuose Gedimino prospektose, žymiai mažiau MnO ir P₂O₅ ir daugiau SiO₂ nei anksčiau tirtuose kitų Lietuvos vietovių rudnių šlakuose. Pastebėta, kad skirtinė Gedimino prospektose ir Dysnos gatvės šlako radinių sudėtis galbūt rodo tai, kad rūdos, iš kurių buvo pagamintos šiose gatvėse perdirlbamos kritės, greičiausiai buvo skirtinės. Darbe taip pat pateikti ir išanalizuoti metalinių objektų cheminės sudėties rezultatai.

Bandinių fazinės sudėties ir mikrostruktūros tyrimais nustatyta, kad šlakai yra itin heterogeniški. Juose aptikta ne tik tipiško fajalitinio šlako, bet ir įvairūs kiekiei medžio anglies, metalinės geležies, geležies korozijos produkta, magnetito, didelių viustito intarpų, kvarco grūdelių bei stiklo fazių. Darbe pateikta daug tai iliustruojančių mikrostruktūros nuotraukų, aptartos šių fazių susidarymo galimybės. Greta nagrinėjama ir metalinių bei keraminių objektų struktūra.

Apibendrinus visus tyrimų rezultatus patvirtinta, kad netoli šlakų radimo vietų XV – XVII a. Vilniuje veikė kalmės. Tieki Gedimino prospektose, tieki Dysnos gatvėje rasti šlakai galėjo susidaryti įvairius geležies objektus kaitinant kalmės žaizdre. Panašūs į kalmės apdorotus metalinės geležies radiniai bei vario lydinių gabalėliai taip pat priskirtini darbo kalvėje atliekoms, o keraminės nuolaužos, tikėtina, galėjo būti kalmės įrangos dalys.

Darbe aptarta kalmės žaizdro šlako susidarymo eiga bei sąlygos, pateikti galimų kalmės žaizdro dugno formų brėžiniai ir trumpai aptarta veikla, galėjusi vykti kalmėse.

SUMMARY

The results of a study of the composition and structure of 29 fifteenth-seventeenth century archaeological objects (various sized pieces of slag as well as several metal and ceramic finds) are presented in the work. The finds were discovered in 2002 in Vilnius under Gedimino Avenue and Dysnos Street (in the then suburb of Puškarné) while making archaeological excavations during the reconstruction of Gedimino Avenue.

The work describes in detail the exterior and macrostructure of all the finds and establishes that the slag finds differ in form, size, and heterogeneity from the Lithuanian smelting slag studied up until now.

A diagram of the composition of iron smelting and smithing slag from various countries as well as the slag found under Gedimino Avenue and Dysnos Street and a comparison of them are presented in the work. It was established that in the studied slag, especially in that found under Gedimino Avenue, there was significantly less MnO and P₂O₅ and more SiO₂ than in the previously studied smelting slag found at other locations in Lithuania. Furthermore, it was noted that the composition of the slag finds from Gedimino Avenue and Dysnos Street is different. It perhaps shows that the composition of iron ores, from which were made the blooms, was probably different too. The work also presents and analyses the results of the chemical composition analysis of the metal objects.

Through phase composition and microstructure tests on samples, it was established that the slag was especially heterogeneous. Not only was typical fayalite slag detected in it but also various quantities of charcoal, metal iron, iron corrosion products, magnetite, large wustite inclusions, quartz crystals, and glass. Many photographs illustrating the microstructure are presented in the work and the possibilities for the formation of these phases are discussed. Besides this, the structure of the metal and ceramic objects is also examined.

In summarising all the research results, it is confirmed that smithies operated in Vilnius during the fifteenth-seventeenth centuries near the places where the slag was found. At both Gedimino Avenue and Dysnos Street, the slag that was found could have been formed by heating various iron objects in a forge. The forge-processed metal iron finds and pieces of copper alloys could have been the refuse of forge work. Ceramic shards could have probably been parts of a smithy's equipment.

The work discusses the course of and conditions for the creation of smithing slag, presents drawings of the possible forms of the smithing hearth bottom, and briefly discusses the activities, which could have taken place in the smithies.

ŠALTINIŲ IR LITERATŪROS SĀRAŠAS

- Bachmann** H. G., 1970 — Eisenschlacken aus Eski Kahta (Vil. Adiyaman), Südost-Türkei / / Archiv Eisenhüttenwesen, 8, 1970, p. 731–736.
- Bachmann** H. G., 1978 — Schlacken: Indikatoren Archäometallurgischer Prozesse // H.W.Hen-nicke. Mineralische Rohstoffe als kulturhistorische Informationsquelle, 1978, p. 66 – 103.
- Erze**, 1991 — Erze, Schlacken, Eisen. Einführungskurs zum Studium der frühen Eisenmetallurgie und der Identifikation der Abfälle dieser Industrie. Red. Barbara Thommen und Thomas Kohler. SAGEA, VATG, 1991, 42 p.
- Hauptmann** A., Mai P., 1989 — Chemische und mineralogische Untersuchungen an Schlacken aus der Colonia Ulpia Traiana // Spurenlese. Berträge zur Geschichte des Xantener Raumes, 1989, p. 93 – 107.
- Hauptmann** A., Mai P., 1991 — Chemische und mineralogische Untersuchungen an Funden der mittelalterlichen Eisenmetallurgie aus dem Einzugsbereich des Dhünntales // Manfred Rech. Das obere Dhünntal, Köln, 1991, p. 171 – 183.
- Keesmann** I., 1985 — Chemische und mineralogische Untersuchung von Eisenschlacken aus der Hallstattzeitlichen Siedlung von Niedererlbach // Archäologisches Korrespondenzblat 15, 1985, p. 351 – 357.
- Keesmann** I., Hilgart T., 1992 — Chemische und mineralogische Untersuchung der Schläcken von Manching // Manching 15, Ergebnisse der Ausgrabungen 1984 – 1987 in Manching, Wiesbaden, 1992, p. 391 – 413.
- Kronz** A., 1997 — Phasenbeziehungen und Kristallisationsmechanismen in fayalitischen Schmelzsystemen — Untersuchungen an Eisen- und Buntmetallschlacken. Dissertation. Mainz, 1997, 275 p.
- La Salvia** V., Mihok L., 2003 — The Smithy Workshop of the Medieval Site of Leopoli-Cencelle (Viterbo, Italy) // Acta Jutlandica LXXVI:2 Humanities Series 75. — Aarhus University Press, 2003, p. 125 – 128.
- Malinauskas** Z., Linčius A., 1999 — Pelkių (limonitinė) geležies rūda Lietuvoje // Lietuvos archeologija, T.18, 1999, p. 111 – 120.
- Mihok** L., Pribulova A., 2003 — Metallurgy of Iron at the Beginning of the 1st Millennium AD in Slovakia // Acta Jutlandica LXXVI:2 Humanities Series 75, Aarhus University Press, 2003, p. 163 – 170.
- Navasaitis** J., Pilkaitė T., Sveikauskaitė A., Selskis A., 1999 — Kalviškojo virinimo siūlių cheminė ir struktūrinė sandara // Mechanika, 1999, Nr. 5 (20), p. 57 – 63.
- Navasaitis** J., Sveikauskaitė A., Selskis A., 1999 — Lietuvos rudnių šlako sudėtis ir savybės // Lietuvos archeologija, T. 18, 1999, p. 121 – 133.
- Oelsen** W., Schürmann E., 1954 — Untersuchungsergebnisse alter Rennfeuerschlacken // Archiv Eisenhüttenwesen, 25, Nr. 11/12, 1954, p. 507 – 514.
- Pleiner** R., Pelikan J., Bartuska M., 1971 — Untersuchungen einer Eisenschlacke aus Haithabu // Untersuchungen zur Technologie des Eisens. Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu. Bericht 5, Neumünster, 1971, p. 110 – 112.

Post J. E., Buchwald V. F., 1991 — Crystal structure refinement of akaganeite // American Mineralogist, 1991, Vol.76, p. 272 – 277.

Sperl G., 1980 — Über die Typologie urzeitlicher, frühgeschichtlicher und mittelalterlicher Eisenhüttenschlacken. Wien, 1980, 80 p.

Sperl G., 1983 — Ein Fund aus Gurnia (Kreta) und das Problem der Schlackenbeurteilung // Pact. The First Iron in the Mediterranean. Proceedings of the Populonia/Piombino 1983 Symposium, Strasbourg, 1983, p. 163 – 167.

Thomsen R., 1971 — Essestein und Ausheizschlacken aus Haithabu // Untersuchungen zur Technologie des Eisens. Berichte über die Ausgrabungen in Haithabu. Bericht 5, Neumünster, 1971, p. 100 – 109.

Tylecote R. F., 1987 — The early history of metallurgy in Europe. Longman, London and New York, 1987.

Vainilaitis V., 2003 — 2002 metų archeologijos tyrimai tarp Ašmenos – Mésinių – Dysnos gatvių Vilniuje. Mokslinė ataskaita. LII F.1-b.3961. Vilnius, 2003, p. 7.

Vaitkevičius G., Saracevičius S. Puškarnės priemiestis (ruošiama spaudai).

Vaitkevičius G., 2003 — Vilniuje, po Gedimino pr. bei Ž. Liauksmo gt. (B ir C dalys) archeologinių tyrimų mokslinė ataskaita (LII archyvas, Fondas 1). Vilnius, 2003, p. 19.