BORIS ILAKOVAC

NEPOZNATI POSTUPAK IZRADE RIMSKIH OLOVNIH CIJEVI

Na položaju Jasen što se nalazi sjeverno od Vranskog jezera i ceste što poprijeko spaja Pakoštane i selo Vranu bila je još krajem prošlog stoljeća izvađena duboko ukopana masivna olovna cijev. Kako navodi L. Jelić, na cijev se naišlo u toku melioracijskih radova na močvarnom dijelu Vranskog polja, u toku kopanja ili proširenja već postojećih kanala kojima se izvorska i oborinska voda odvodi u Vransko jezero.[1] Prema navodu L. Jelića spomenuta je olovna cijev zatečena oko 400 metara sjeverno od tzv. velikog pakoštanskog mosta, kojeg je položaj na slici 1 približno označen slovom B.

Olovna je cijev dugačka 98 centimetara, ali srednja dužina koso zasječene cijevi mjeri oko 95,5 cm (vidi sliku 2). Aksijalno je malo povijena, što je vjerojatno posljedica nestručnog vađenja i trganja cijevi. Cijev je u poprečnom presjeku nepravilno eliptična, s vanjskim promjerom od 22 cm (veća osa elipse) i 16 cm (manja osa elipse), vidi slike od 2. do 5. Masa cijevi iznosi 102,55 kilograma. U Arheološkom muzeju u Zadru vodi se pod inventarnim brojem 947.

Kako je spomenuta olovna cijev bila nađena na trasi tada prvi put uočenog kamenog sifona velikog akvedukta Biba-Jader, kojim se pokušala riješiti najveća terenska prepreka tog akvedukta, pet tisuća metara dugačka sifonska dionica, to je L. Jelić pretpostavio da se spomenuta olovna cijev odnosi na neki vodovodni ogranak za snabdijevanje vile rustike na lokalitetu Bošana.[2]

Poslije se pokazalo da sporna olovna cijev nije pripadala nekom odvojku preko koga je bilo povezano rimsko poljoprivredno dobro s akveduktom Biba-Jader, već da pripada novoizgrađenom ali dru-

[1] L. Jelić, Povijesno topografske crtice o biogradskom primorju, VHAD 3 (n. s.), Zagreb 1898, 122.
[2] L. Jelić, sp. dj., 122.

gom sifonu što je zamijenio neodgovarajući stari sifon, sastavljen od nekih osam tisuća kamenih segmenata.[3] Iznijetu je tezu osnažila novopronađena olovna cijev što je bila zatečena u toku posljednje melioracije Vranskog blata 1968. godine, a koja se po mjestu nalaza gotovo u potpunosti poklapa s položajem trase prve olovne cijevi što je spominje L. Jelić.[4]

Pažljivim osmatranjem prve olovne cijevi, jer druga se nije sačuvala, zapazilo se da ona svojim sadržajem kao i po obliku ne odgovara standardnim rimskim olovnim cijevima. Ta cijev nosi poruku koja dosad nije bila zapažena pa ni znanstveno objašnjena. Da bismo objasnili različitost i složenost ove novine i da bi se istakla vrijednost zadarskog nalaza, pogotovo radi praćenja rimske metalurgije, mi bismo uz komentar dopunili poznate Vitruvijeve navode o proizvodnji olovnih cijevi.[5]

Postupak izrade olovnih cijevi po Vitruviju

1) Prvo bi se u za to pripremljeni te po dužini i širini određeni plitak kalup ulila određena masa rastaljena olova. Kalup je morao biti potpuno horizontalan, kako bi odlivena olovna ploča bila jednake debljine (vidi sliku 6/1).

2) Druga faza odnosi se na hlađenje, vađenje olovne ploče iz kalupa i čišćenje odljevka od površinske nečistoće (vidi sliku 6/2).

3) U trećoj fazi rada obradili bi se samo bridovi u smjeru dužine olovne ploče. Ovisno o tome kako se htio oblikovati uzdužni spojni šav, oba bi se kraja ploče (P), na radnom stolu (RS), udaranjem presavila, kako to na slici 6 prikazuje radna operacija 3a, ili bi se ti isti uzdužni rubovi olovne ploče samo skosili na način kako to na istoj slici prikazuje radna operacija 3b.

[3] B. Ilakovac, Vranska regija u rimsko doba, Radovi Instituta JAZU u Zadru 18, Zadar, 1971, 109.

[4] B. Ilakovac, sp. dj., 110, bilj. 132; Isti, Rimski vodovodi zadarskog područja. Zadarski vodovodi (izdanje komunalnog poduzeća »Vodovod i kanalizacija« Zadar), Zadar 1976, 13. Za obradu ove problematike sa stanovišta statike, hidraulike i otpornosti materijala up. B. Ilakovac, Primjena interdisciplinarne metode kod istraživanja rimskih akvedukata, Materijali X Jubilarnog kongresa SADJ što je 1976. godine održan u Prilepu (u tisku).

[5] Vitruvius, De architectura libri decem, ed. Krohn, Lipsiae 1912, VIII/6, 191. Usporedi naš prijevod od M. Lopca, Vitruvijevih deset knjiga o arhitekturi, Sarajevo 1951, VIII/VI, 183: »... zatim se prema količini vode odredi širina cijevi, pa se one polože od bazena do rezervoara koji je u gradu. Cijevi se odlijevaju tako da su duge najmanje deset stopa. Pa ako su od sto palaca, neka je svaka teška 1200 funti (= libre); od osamdeset palaca 960 funti; od pedeset palaca 600; od četrdeset palaca 480 funti; od trideset palaca 360 funti; od dvadeset palaca 260 funti; od petnaest palaca 180 funti, od deset palaca 120 funti, od osam palaca 100 funti, a od pet palaca 60 funti. Cijevi dobijaju imena od širine olovnih ploča, koliko palaca one imaju prije nego se saviju u krug. Kad se od ploče koja ima pedeset palaca načini cijev, zvaće se ona »quinquagenaria«, a tako i druge.«

4) Nakon toga bi se već djelomice obrađena hladna olovna ploča presavila preko kalibriranog valjka (V) i na taj način formirala u oblik cijevi, na slici 6 četvrta radna operacija. Radi te četvrte radne operacije, presavijanje hladne olovne ploče preko metalnog valjka, rimske olovne cijevi nemaju pravilan kružni presjek nego u poprečnu presjeku podsjećaju na oblik kaplje.[6]

5) Uzdužni šav tako formirane olovne ploče u obliku cijevi trebalo je zaliti rastaljenim olovom. Ovisno o tome kako je bio obrađen dužinski rub (d), (na slici 6. operacija 3a ili 3b), spojni je šav bio više istaknut, kako to na istoj slici prikazuje operacija 5a, ili je bio manje zamjetan, slika 6/5b.[7] Pri lemljenju, odnosno zalijevanju rastaljenim olovom uzdužnog spojnog šava, ovaj se morao nalaziti gore, kako to prikazuje slika 6, operacija 5a i 5b. Da rastaljeno olovo ne bi curilo u unutrašnjost cijevi, ona je s unutarnje strane morala biti nabijena posebnom masom za izradu kalupa, koja se nakon hlađenja vadila.[8]

Termalni uređaj na limes-kastelu Zugmantel[9] snabdijevao se tekućom vodom pomoću olovnih cijevi, što su bile izrađene ovdje prikazanim postupkom na slici 6.

Na olovnoj vodovodnoj cijevi napravljena su ispitivanja koja su obuhvatila kvantitativnu kemijsku analizu, strukturna ispitivanja, određivanje čvrstoće, a prije svega postupak izrade te olovne cijevi. Citirani autor pretpostavlja da je uzdužni šav tako proizvedene olovne cijevi bio zaliven tekućim olovom ali ne s vanjske nego s

[6] Neki takav presjek nazivaju »kruškoliki«, up. W. Haberey, Die römischen Wasserleitungen nach Köln, Bonn 1972, 139. O tome i L. Callebat, Vitruve, Paris 1973, 162, sl. 12.

[7] Za antičku proizvodnju olova i olovnih cijevi up. E. Michon, Daremberg-Saglio, Dictionnaire des Antiquités grecques et romaines (= Daremberg-Saglio), II/II, 1146—1149, s. v. fistula. Članak donosi raznolike presjeke tako oblikovanih olovnih cijevi na sl. 3062; M. Besnier, Daremberg Saglio IV/I, 511—515, s. v. plumbum; E. Ardaillon, u Daremberg-Saglio II/II, 1840—1873, s. v. metalla, A. Grenier, Manuel d'archéologie gallo-romaine 4, Paris 1960, 30 (poprečne profile takvih cijevi vidi na sl. 3); W. Haberey, sp. dj., 139 (na slici 122 jasno se razabire proizvodni postupak 3b i 5b). Za rimsku metalurgiju olova značajan je nalaz potopljene rimske teretne lađe nedaleko Majorke koja je iz španjolskih rudnika prevozila masivne olovne šipke teške od 30 do 35 kg, kao polufabrikat za finalnu izradu raznolikih olovnih predmeta, up. C. Veny, Diecisiete lingotes de plomo de una nave romana de Ses Salines (Mallorca), Ampurias 31—32, Barcelona 1969—70, 191—219.

[8] Prema E. Samesreutheru, Römische Wasserleitungen in den Rhenlanden, 26 Bericht der Römisch-germanischen Kommission 1936, Berlin 1938, 139, šavovi na olovnim cijevima zalijevali su se slitinom od dva dijela olova i jednog dijela cina (stannum tertiarum). O izradi kalupa za lijevanje metala up. E. Ardillon, sp. dj. 1862. Vitruvije, II/VII, 45 (izdanje Sarajevo 1951) spominje posebnu vrstu kamena za izradu kalupa za lijevanje.

[9] K. Löhberg, Bericht über ein Bleirohr von Zugmantel-Kastell, Saalburg Jahrbuch 24, Berlin 1967, 75.

unutarnje strane.[10] To je možda i bilo izvedivo kod kraćih olovnih cijevi većeg promjera, ali ni u kojem slučaju kod vodovodnih cijevi, koje su prema Vitruvijevu navodu bile dugačke najmanje deset rimskih stopa (= 296 centimetara).[11]

6) Samo na nekim ali niskotlačnim olovnim cijevima što su bile upotrebljene u gradskoj vodovodnoj distribucijskoj mreži, uzdužni spojni šav se ponekad nije spajao rastaljenim olovom nego se preklopio i zakucao.[12] Ta šesta radna operacija mogla je zamijeniti petu samo na onim olovnim cijevima što su bile proizvedene od veoma tankog olovnog lima.

Radi ovdje opisanog proizvodnog procesa rimske su se olovne cijevi pretežno nazivale po širini olovne ploče iz koje se, hladnim postupkom, proizvodila cijev. Tako se na primjer cijev proizvedena iz olovne ploče široke pedeset palaca nazivala »quinquagenaria«.[13]

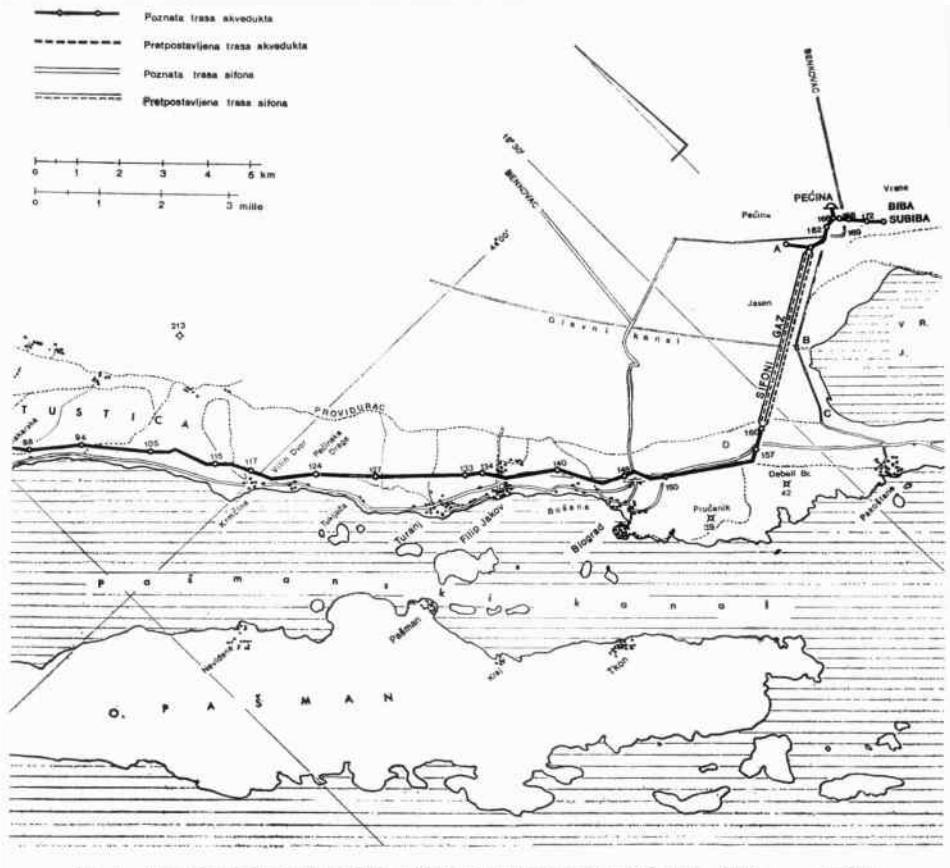
Radi veće preglednosti brojčanih podataka o različitim širinama i težinama olovnih ploča iz kojih su se ovdje obrađenim postupkom izrađivale olovne vodovodne cijevi, donosimo dopunjene Vitruvijeve podatke u priloženoj tabeli.

[10] K. Löhberg, sp. dj., 76, sa skicom lijevanja uzdužnog šava, ali s unutarnje strane cijevi, na slici 2. O sličnim rješenjima spajanja uzdužnog šava na olovnim cijevima up. E. Samesreuther, sp. dj., 139, sl. 61, 62.

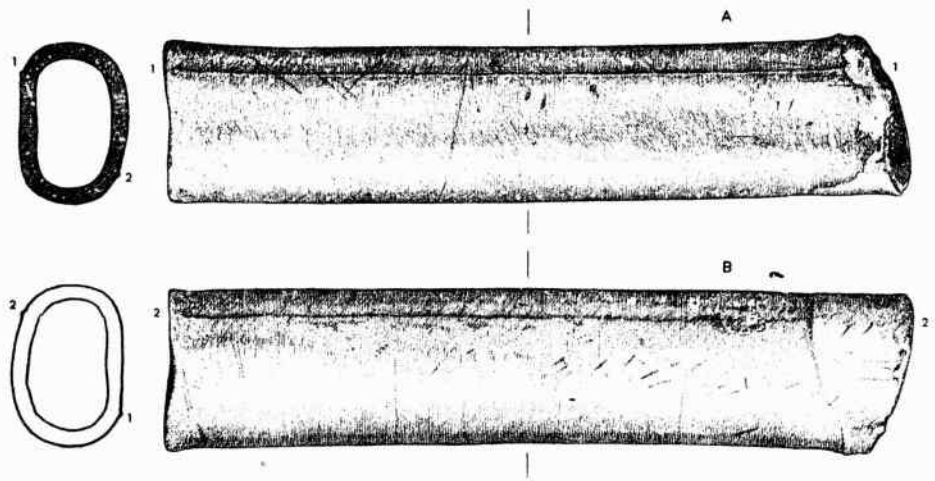
[11] Vitruvije, VIII/VI, 183. W. Haberey, sp. dj., 139, spominje nalaz olovnih vodovodnih cijevi što su u promjeru mjerile 38—40 cm, a bile su izrađene od olovnih ploča dugačkih 11 metara.

[12] W. Haberey, sp. dj., 139. E. Samesreuther, sp. dj., 139, navodi da su neke niskotlačne cijevi lionskog akvedukta bile odozgo zalivene smolom zimzelenog bora (mastix).

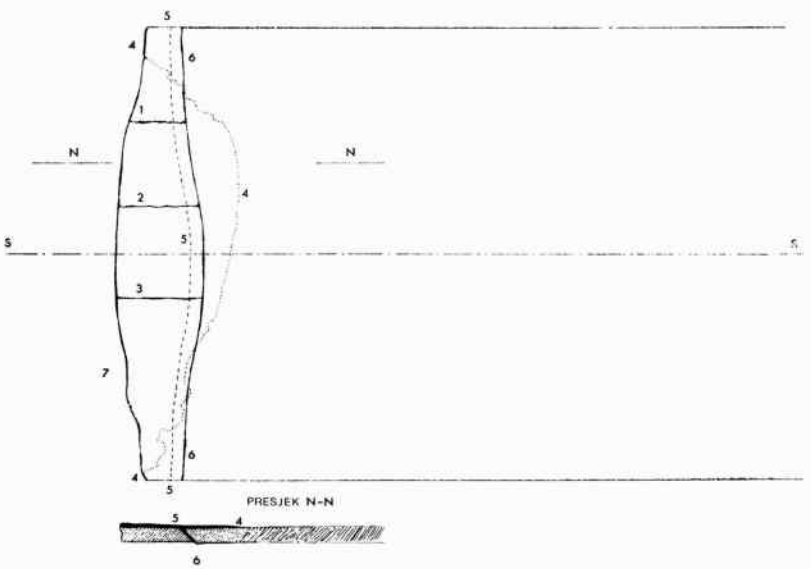
[13] Vitruvije, VIII/VI, 183. Krajem prvog stoljeća nove ere pojavila se nova dioba olovnih cijevi, koja nije počivala na proizvodnom postupku što ga opisuje Vitruvije, nego su cijevi bile klasificirane po veličini površine poprečnog (protočnog) presjeka. Kao jedinica mjere za površinu presjeka uzimao se četvorni prst (digitus quadratus = 3,42 cm^2) v. E. Samesreuther, sp. dj., 140. Kako je prodaja državne vode bila sve unosniji posao, cijevi su se počele nazivati po svojoj propusnoj moći, a kao jedinica kapaciteta cijevi služio je »quinarius«. Prema E. Samesreutheru, sp. dj., 140, kroz cijev propusne moći jednog kvinarija protjecalo je u određenim uvjetima 420 litara vode na dan, a prema Th. Ashby-ju, sp. dj., 30, čak 4150 litrara vode na dan, što je svakako bliže istini. O tome Frontin, Les aqueducs de la ville de Rome, ed. Grimal, Paris 1961, XXV, XXXIV i LXXIV. Tabelarni prikaz o olovnim cijevima donosi L. Callebat, sp. dj., 166.



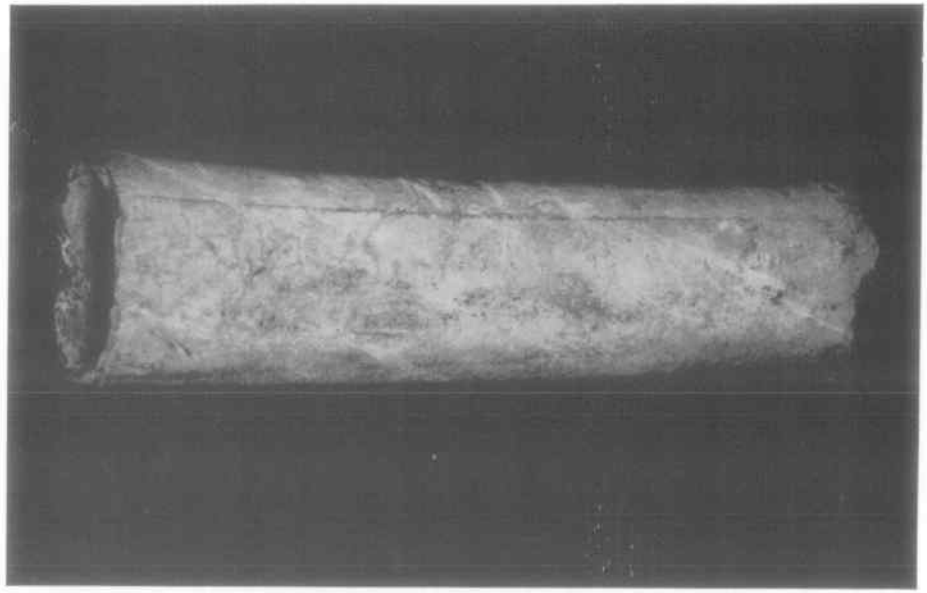
Sl. 1. Topografska situacija sifonske dionice akvedukta Biba — Jader



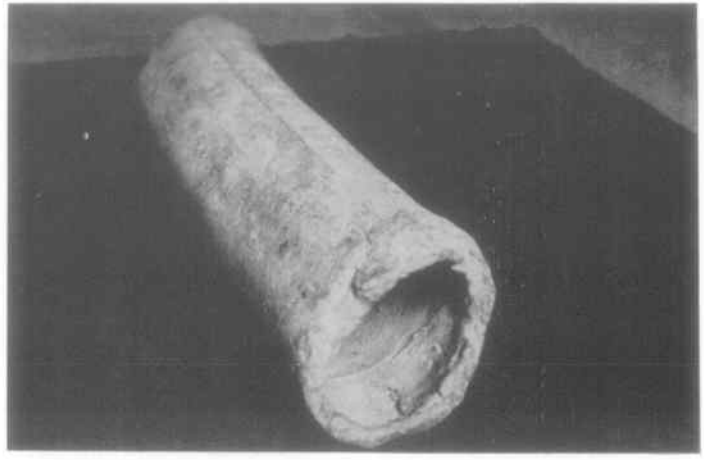
Sl. 2. Presjeci olovne cijevi sifona



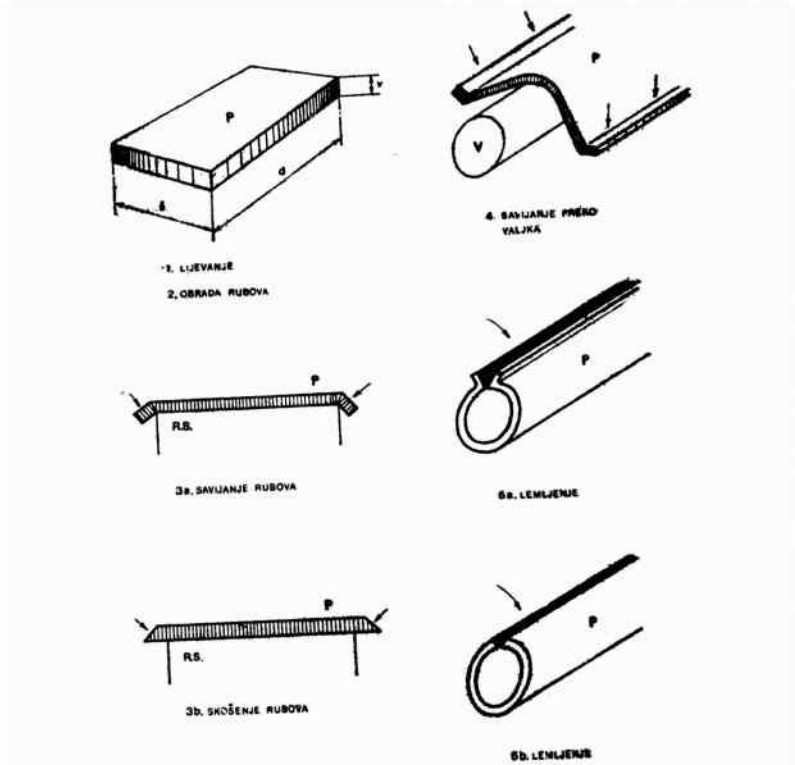
Sl. 3 Rasvijetni plašt olovne cijevi sifona



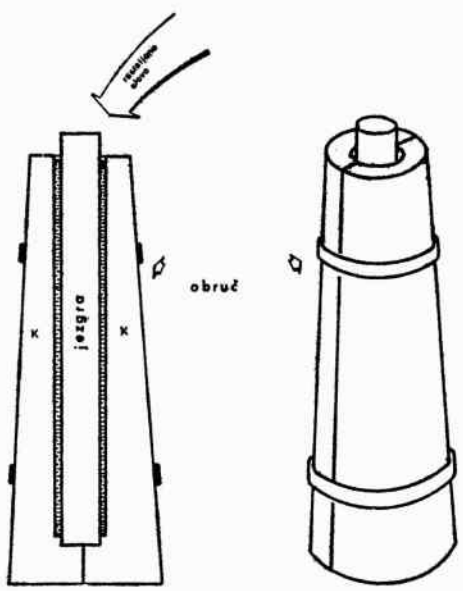
Sl. 4. Vidljiv je uzdužni šav na olovnoj cijevi



Sl. 5. Ostatak koljenaste spojke na olovnoj cijevi



Sl. 6. Shematski prikaz proizvodnih operacija po Vitruviju



Sl. 7. Shematski prikaz lijevanja olovnih cijevi po novom postupku

TABELARNI PRIKAZ ODNOSA ŠIRINE, TEŽINE I PROMJERA OLOVNIH CIJEVI PO VITRUVIJU

Širina olovne ploče u		Težina olovne ploče u		Približan vanjski promjer cijevi u
palcima	cm	librama	kg	cm
100	185,0	1200	392,9	58,0
80	148,0	960	314,3	45,8
50	92,5	600	196,5	28,0
40	74,0	480	157,2	22,2
30	55,5	360	117,9	16,4
20	37,0	260	85,1	10,8
15	28,0	180	58,9	7,9
10	18,5	120	39,3	4,9
8	14,8	100	32,7	3,7
5	9,3	60	19,6	2,1

1 prst (digitus) = 1,85 centimetara
1 libra = 327,45 grama.[14]

Novi postupak izrade rimskih olovnih cijevi

Da li je i olovna cijev koju spominje L. Jelić, a koja je bila zatečena na sifonskoj dionici akvedukta Biba-Jader, također bila izrađena proizvodnim postupkom što ga navodi Vitruvije? Pažljivim osmatranjem te iste olovne cijevi, a posebno stručnom ekspertizom ing. W. Habereya, jednog od najvećih eksperata za poznavanje rimskih akvedukata, zapazilo se da ona po svom obliku kao i po nekim drugim karakteristikama ne odgovara standarnim rimskim olovnim cijevima.[15]

Radi ovdje opisanog proizvodnog procesa, rimske olovne cijevi imaju karakterističan presjek u obliku kruške (kaplje), što je posljedica presavijanja hladne olovne ploče preko metalnog valjka. I drugo, radi opisane pete radne operacije (na slici 6 pod brojem 5),

[14] Za modularnu analizu rimskih olovnih cijevi up. M. Detoni - T. Kurent, Modularna rekonstrukcija Emone, Ljubljana 1963, 14 i 16, slika na str. 25. U ovdje priloženoj tabeli izračunat je vanjski promjer olovne cijevi iz navedene širine ploče. Za cijevi što su izrađene od ploča širokih od 100 do 40 palaca širina je umanjena za 4 cm, a kod ploča od 20 do 5 palaca širina je umanjena za 3 cm. To je učinjeno stoga što se otprilike toliko gubi na širini ploče kod oblikovanja uzdužnog spojnog šava (na slici 6 operacija 3).

[15] Godine 1971. boravio je u Zadru arheolog ing. W. Haberey i posebno se zanimao za svoju specijalnost, za rimske akvedukte. Tom prilikom ukazao mi je na osobitost rimske olovne cijevi iz sifonske dionice akvedukta Biba-Jader koju ovdje obrađujemo, na čemu mu i ovom prilikom kolegijalno zahvaljujem.

na takvim je cijevima uvijek jasno zamjetan ispupčeni i rastaljenim olovom zaliveni uzdužni šav na preklopljenim stranama cijevi (olovne ploče).

Cijev koja se i sada nalazi u Arheološkom muzeju u Zadru i vodi pod inventarnim brojem 947, nije u poprečnom presjeku u obliku kaplje nego manje više nepravilne elipse (vidi presjek te cijevi na slici 2 i 5). I što je od svega najvažnije, ta sifonska cijev nema izbačeni uzdužni šav, a koji bi se obavezno morao na cijevi nalaziti da je bila proizvedena metalurškom tehnologijom što je opisuje Vitruvije. A naknadno zalivenom uzdužnom šavu (peta radna operacija) nigdje ni traga. Umjesto toga zapažaju se dva teško zamjetna i tanka uzdužna šava, što je moguće zapaziti i na fotosima što ih prikazuju slike 4 i 5.

Ti se teško zamjetni šavovi nalaze na dijametralnim pozicijama, jedan nasuprot drugome i na slici 2. označeni su brojkama 1 i 2. Osmatranjem i pipanjem unutarnje stijene te iste olovne cijevi nije se ni najpažljivijim pregledom mogao zapaziti ma i najmanji trag nekom unutarnjem uzdužnom šavu. Stoga treba posebno istaći da se spomenuta dva među sobom dijametralno postavljena šava nalaze isključivo na vanjskoj stijeni zadarske olovne cijevi.

To je posve nova i dosad nepoznata tehnika lijevanja rimskih olovnih cijevi. U pokušaju da se rasvijetli uočeni problem, mala je teškoća bila sadašnje stanje te cijevi. Zašto je cijev nepravilna eliptična presjeka i da li je u času proizvodnje imala takav oblik poprečnog presjeka? Pored velike težine fizička je osobina olova, a posebno predmeta napravljenih od olovnih ploča, da neprimjetno ali postepeno puzu.[16] Radi svoje mekoće i velike specifične težine olovo puže već pri normalnoj sobnoj temperaturi.[17] Stoga je, na primjer, potrebno krovove pokrivene olovnim limom obnavljati svakih 10 do 30 godina, što ovisi o orijentaciji krova prema suncu i strmini krovne konstrukcije.

Dok je još bila u funkciji sifonske cijevi akvedukta i pod unutarnjim pritiskom od 3,6 atmosfere na najnižem dijelu sifonske dionice, ta je olovna cijev možda još zadržavala svoj proizvodni poprečan oblik. Nakon prestanka rada akvedukta Biba-Jader, a posebno izumom baruta i nove ratne tehnike koja je bila ovisna o proizvodnji olova, ta je olovna sifonska cijev starog i napuštenog rimskog akvedukta zasigurno bila kidana od strane Mlečana ili Turaka, prvotno samo na svojim najvišim krajevima na početku i na kraju sifona. Vodu što je nekoć tlačila na unutarnje stijene olovnog sifona postepeno je zamijenila rahla zemlja. A dva centimetra de-

[16] Za mnoge od ovdje upotrebljenih podataka zahvaljujem sveuč. prof. dr T. Kurentu iz Ljubljane.

[17] Specifična je težina olova (Pb) 11,34 kp/dcm³. Olovo se tali kod 327,4 stupnja Celzija, v. E. Wiberg, Anorganska kemija, Zagreb 1967, 403. Čvrstoća je olova na vlak približno 2 kp/mm².

bele stijene te olovne sifonske cijevi počele su, što pod vlastitom težinom, što pod težinom progresivno rastućih slojeva zemlje, postepeno popuštati (vidi presjeke cijevi na slici 2). Stoga smatramo da sadašnji nepravilno eliptičan presjek te cijevi ukazuje da je veća osa elipse bila u času nalaza u vodoravnu položaju, tj. da je cijev, s obzirom na njezin nepravilan eliptičan oblik, ležala i da nije bila uspravna.

Koji je to novi postupak pomoću kojeg je bila proizvedena neobična masivna olovna cijev, nekoč položena u sifonsku dionicu akvedukta Bibi-Jader? Kao prvo treba istaći da se uzdužni i među sobom dijametralno postavljeni i jedva zamjetni šavovi nalaze samo s vanjske strane cijevi. Stoga smatram da analiza tih karakterističnih elemenata upućuje samo na jedan zaključak. I ova je olovna cijev također bila livena, ali na nov i dosad nepoznat način.

Po našem sudu, ta je cijev bila izlivena pomoću specijalnog kalupa! Na slici 7. shematski je razrađena ideja kako su takve cijevi mogle biti livene. Vanjski plašt kalupa bio je zasigurno napravljen iz dva dijela, na što jasno ukazuju ona dva među sobom dijametralno postavljena uzdužna šava. Na slici 7. obje su vanjske ljuske kalupa označene slovima K. U sredini kalupa morala je biti koncentrično postavljena jezgra. Pretpostavljamo da je jezgra na donjoj strani bila ukliještena pomoću dvodjelnog kalupa K, a to je na neki način moralo biti učinjeno i na gornjoj strani jezgre, u što ovom prilikom ne ulazimo.

Između jezgre i dvodijelnog kalupa, kako to prikazuje presjek kalupa na slici 7, bila je ostavljena praznina koja je odgovarala debljini stijene livene cijevi, u našem slučaju oko 2 centimetra.

U toku lijevanja kalup je morao biti u vertikalnu položaju, kako to prikazuje perspektivna rekonstrukcija kalupa na istoj slici. Olovo se u rastaljenu stanju lijevalo s gornje strane, a da se od najmanje tri elementa sastavljeni kalup ne bi pod težinom rastaljenog olova raspao a olovo iscurilo, prije nego se hlađenjem ne stvrdne, kalup je s vanjske strane morao biti stegnut nekim metalnim prstenovima, što smo kao ideju na slici 7. posebno označili. Ako su se ovi prstenovi nabijali, tad je i dvodjelna vanjska ljuska kalupa bila vjerojatno oblikovana kao stožac.

Na osnovi ove morfološke analize može se smatrati sigurnim da je nepoznati izumitelj ove nove tehnike lijevanja vodovodnih olovnih cijevi proizvodio u poprečnu presjeku potpuno koncentrične, okrugle olovne cijevi. Radi stratigrafske pozicije duboko ukopanog vodovodnog sifona, odsustva pritiska vode na unutarnje stijene cijevi i fizičke osobine olova da neprimjetno ali polagano puze, ova se sifonska cijev akvedukta postepeno deformirala i slegla.

Vanjski opseg plašta ove vrijedne zadarske akvizicije mjeri sada 61.0 cm. Iz tog podatka slijedi da je prije deformacije vanjski i potpuno kružni poprečni presjek cijevi (= 2r) mjerio 19,4 cm.

Prema našoj aproksimaciji jedan tekući metar takve cijevi bio bi prosječno oko 107,4 kg težak. Na osnovi tih premisa bila bi srednja debljina olovnog plašta cijevi debela 17 milimetara.

Ako je čitava sifonska dionica u dužini od 5000 metara bila riješena takvim olovnim cijevima, tad je za izgradnju sifonske cijevi bilo upotrebljeno oko 537000 kg olova, dakle oko 537 tona![18]

Što je navelo nepoznatog izumitelja da napusti staru tehniku lijevanja olovnih cijevi i potraži drugu? Odgovor se nameće sam po sebi ako usporedimo staru i novu tehniku lijevanja olovnih cijevi. Dok se stariji proizvodni proces sastojao od pet različitih operacija, nova tehnika lijevanja olovnih cijevi svela je to na svega dvije:

a) lijevanje rastaljenog olova u vertikalan kalup. Ta se radna operacija poklapa s prvom što je opisuje Vitruvije. Bitna je ipak razlika u tome što se po starom postupku prvom radnom operacijom proizvodio tek polufabrikat (ravna olovna ploča), a novim postupkom definitivno oformljena olovna cijev određena promjera.

b) druga radna operacija obuhvaća hlađenje odljevka, rastavljanje kalupa i vađenje centralne jezgre iz sredine cijevi.

Ako ovaj dosad nepoznati postupak izrade olovnih cijevi osmatramo u sklopu antičke metalurgije, lako je zapaziti napadnu sličnost sa starijim, još Grcima poznatim, načinom izrade šupljih brončanih kipova, (up. W. Deonna, Daremberg Saglio, sp. dj. IV/2, str. 1489, s. v. »statuaria«). Na veoma sličan način već otprije su se proizvodile ne olovne nego brončane cijevi »calix« i »fistula quinaria«. A te su brončane cijevi kao baždareni vodovodni elementi (»antički vodomjeri«) bile osnova za paušalno naplaćivanje vodarine u starome Rimu. Stoga u ovoj, dosad nepoznatoj, tehnici lijevanja treba vidjeti primjenu starijih vještina, posebno adaptiranih za izradu vodovodnih olovnih cijevi.

Kako dosad nije zatečen dovoljno dugačak duktus olovne sifonske cijevi zadarskog akvedukta, ostajemo bez argumentiranog arheološkog podatka u kojoj su se dužini odlijevale takve olovne cijevi. Po starijem postupku, kako navodi Vitruvije, izrađivale su se cijevi dugačke najmanje deset rimskih stopa (= 296 centimetara), a neke su bile i do 11 metara dugačke.[19] Podatak u kojoj su se dužini odli-

[18] Ovaj račun polazi od ovih podataka: cijev je teška 102,55 kp, a dugačka 98 cm. Zbog kosih završetaka cijevi uzima se kao srednja dužina 95,5 cm. Iz toga slijedi da bi jedan dužinski metar takve cijevi bio u prosjeku težak oko 107,4 kp, a 5000 metara takve cijevi imalo bi masu od oko 537 000 kp (= 537 tona). Prema podatku što ga donosi W. Haberey, sp. dj., 154, za rješavanje akvedukta starog Lugdunuma (Lyon) pomoću deset međusobno paralelnih sifonskih cijevi bilo je utrošeno oko 2000 tona olova.

[19] W. Haberey, sp. dj., 139. Ako bi se olovnoj ploči širokoj 100 palaca (= 185 cm) odredila prema Vitruviju minimalna dužina od 10 stopa (= 296 cm), takva bi ploča morala biti debela svega 6,33 mm da bi, kako navodi Vitruvije,

jevale olovne cijevi dao bi nam odgovor koliko je bio dugačak, odnosno visok, kalup za njihovo odlijevanje.

Na osnovu već poznatog metalurškog postupka o proizvodnji olovnih cijevi za antičke akvedukte, o čemu govori Vitruvije, i zadarske olovne akvizicije, koja u bitnim karakteristikama odstupa od standardnih olovnih cijevi, nastojalo se dokazati i u bitnim crtama opisati novi postupak proizvodnje rimskih olovnih cijevi, dakle a to ovdje treba posebno istaći — samo jedan novi i dosad nepoznati postupak serijske proizvodnje takvih olovnih cijevi, koje je naknadno trebalo ugraditi i međusobno spojiti.

Međusobno sastavljanje (montaža) olovnih cijevnih elemenata

Drugo je pitanje i drugi radni postupak kako su takve olovne cijevi bile međusobno definitivno spojene. Treba naglasiti da je taj monterski posao bio nezavisan o tome na koji su način bile proizvedene olovne cijevi. Važno je istaći da je montažu bilo moguće obaviti samo na licu mjesta, dakle na samoj trasi vodovodne dionice.

Iako još ne postoji dovoljno jasna predodžba na koji su način i pomoću kakvih alata takve olovne cijevi bile međusobno spajane, u tom se poslu naziru najmanje dvije radne operacije. Prva bi se odnosila na oblikovanje krajeva cijevi što ih je međusobno trebalo spojiti. Druga se radna operacija odnosi na rješavanje vodonepropusnosti na takvim spojnicama. Na ovo se posebno moralo paziti kod cijevi što su bile pod stalnim vodenim tlakom, posebno na sifonskim dionicama.

Cijevi su se većinom tako spajale da se u prošireni kraj cijevi nabio skošeni kraj druge cijevi, vidi presjek N—N na slici 3. Sastavnica se zalemila olovom ili slitinom cina i olova, a neke su sastavnice bile s vanjske strane ojačane dodatnim olovnim i također zalemljenim prstenom.[20]

Osmatranjem površinskih tragova s vanjske i s unutarnje strane naše koljenaste spojke, što je prikazano na slikama 2, 3 i 5 zapažaju se ovi sadržaji.

Na slici 3. prikazan je razvijeni plašt zadarske olovne cijevi s pogledom na unutarnju, protočnu stijenku. To je učinjeno stoga što je tragove spajanja dviju cijevi moguće objasniti na njezinoj vanj-

bila teška 1200 funti (= 392,9 kp). Cijev izrađena od takve olovne ploče s promjerom od 58 cm veoma bi se brzo deformirala pod vlastitom težinom. Stoga i taj podatak ukazuje da Vitruvijeve podatke treba uzimati s rezervom.

[20] E. Samesreuther, sp. dj., 141, sl. 62. W. Haberey, sp. dj., donosi na slici 122. uspjelu fotokopiju olovnih cijevi lionskog akvedukta s masivno oblikovanim koljenastim spojkama na sastavnicama između cijevi. Veći izbor raznih dimenzija i oblika kao i spojnica na rimskim olovnim cijevima vidi u Tubi e valvole dell'antica Roma, a cura di E. Fassitelli, Milano 1972, 43 i d.

skoj strani, dok su neki tragovi spajanja na unutarnjoj strani još uvijek zagonetni. Razvijeni plašt cijevi širok je 61 centimetar i na tu je širinu postavljena aksijalna simetrala S—S. Sitnotočkastom krivuljom 4—4—4 označeno je zadebljanje preko 20 milimetara debele stijenke cijevi što se nalazi na njezinoj vanjskoj strani. Na presjeku N—N to je zadebljanje zacrnjeno, a početak zadebljanja označen na mjestu odabranog presjeka brojem 4.

Ostali vidljivi sadržaji nalaze se na unutarnjoj, protočnoj stijenki cijevi i stoga su označeni punom crtom. Na lijevoj strani slike 3. nalazi se ostatak nasilno otrgnute cijevi, što je prikazuje nemirna krivulja 4—7—4. Slijedi veoma značajna krivulja što je na istoj slici označena brojevima 6—6. Ne nalazi se točno u ravnini okomitog poprečnog presjeka cijevi, ali je veoma pravilna. Ne može biti sumnje da se krivulja 6—6 odnosi na ostatak lijeve cijevi, od koje je ostalo svega 11,5 centimetara, ako se dužina mjeri na najširem mjestu, na simetrali S—S. To je dakle spojnica, sastavnica, gledajući unutarnju, protočnu stranu cijevi.

U smjeru dužine cijevi i paralelno sa simetralom S—S nalaze se ostaci triju unutarnjih šavova, što su na istoj slici označeni brojevima 1, 2 i 3. Ti su šavovi među sobom paralelni i praktički gotovo okomiti na unutarnju sastavnicu 6—6. Koljenasta se spojka nije u cjelini sačuvala, pa je nepoznato koliko su ti šavovi bili dugački. Ako se opisana tri šava što se nalaze na unutarnjoj strani koljenaste spojke osmatraju zajedno s veoma jasnom krivuljom 6—6 i zadebljanjem na vanjskoj strani plašta što ga uokviruje nemirna linija 4—4—4, napadna je neočekivana složenost koju inače ne bismo očekivali na svakoj od takvih koljenastih sastavnica.

Prije nego pokušamo objasniti neočekivanu složenost koljenaste spojke, zamjetno je slijedeće. Širina plohe što je zatvaraju linije 1 i 3 mjeri 24 centimetra, a to je gotovo polovina širine razvijenog plašta cijevi (vanjski opseg cijevi mjeri 61 cm). Stoga smo skloni u plohama što ih uokviruju šavovi 1, 2 i 3, zajedno s dijelom kraja cijevi označenog krivuljom 6—6, prepoznati kasniju intervenciju što je bila izvedena na tom dijelu sifonske dionice. Ovo pretpostavljajući smatramo da je nakon obavljenog spajanja ta dva cjevna elementa s unutarnje strane cijevi bila vidljiva samo sastavnica što je na slici 3. prikazuje krivulja 6—6. Iz nama nepoznatog razloga, no u svakom slučaju radi otklanjanja nekog kvara na sifonskoj dionici, olovna je cijev na tome mjestu bila isječena da bi se kvar mogao ukloniti. Isječeni su dijelovi zatim vraćeni i vjerojatno zalemljeni, a radi veće sigurnosti s vanjske strane i naknadno zaliveni. S tog je stanovišta lakše razumjeti zašto se takvo zadebljanje, što se nalazi s vanjske strane cijevi i što ga prikazuje nemirna linija 4—4—4, nalazi baš na mjestu naknadno obavljene reparature.

Indikativno je da se tragovi te po našem sudu naknadno izvedene reparature nalaze baš na spoju dviju cijevi, a to ide u prilog pretpostavci da je na tom dijelu sifonske dionice koljenasta sastavnica bila popustila. Taj je kvar možda bio zapažen već pri prvom punjenju sifona i probnom puštanju akvedukta u rad, u svakom slučaju prije zasipavanja i zatvaranja inače podzemno postavljene olovne sifonske cijevi.

Spomenimo na kraju poznatu činjenicu da su u rimskoj proizvodnji olova i olovnih predmeta bile zaposlene naročito izučene zanatlije tzv. »plumbarii«, odnosno »artifices plumbarii«, a svoj su posao obavljali u posebno opremljenim radionicama »officinae plumbariae«.[21] Zahvaljujući epigrafici zna se da se jedna takva officina plumbaria nalazila i na području stare Salone.[22] Neizvjesno je da li je ta officina, pored raznolike robe što se izrađivala iz olova (kao na primjer tesere, medalje, urne i sarkofazi), također proizvodila i visokotlačne cijevi za rimske akvedukte.

[21] M. Besnier, sp. dj., 515.
[22] CIL III 2117.

AN UNKNOWN PROCESSING OF ROMAN LEAD TUBES

S u m m a r y

On the trace of siphon of the Roman acquaeduct Biba-Jader, Picture 1. a massive lead tube was excavated late in the past Century. This tube was 98 Cm. long, due to the oblique ends the lenght of the tube averages on 95,5 cm. only. It is irregularly elyptic on the cross-section. The bigger outer diameter is 22 Cm., the smaller 16 Cm. The wall is 2 Cm. thick. Weighing 102,55 Kg. Inv. Nr. 947, in the Archaeological Museum of Zadar, Pict. 2—5.

In order to explain the difference of this tube to the standard Roman tubes this paper starts explaining the known technique of manufacturing tubes by lead plates, consisting of 5 different processing operations, Pict. 6. Owing to a certain manufacturing technique, which is by these means proved, the standard lead tubes have a characteristic longitudinal seam, which can clearly be seen on the inner, and more clearly on the outer side of the tube (Pict. 6/5).

If we neglect the cross seam on the lead-tube (Inv. Nr. 947, Pict. 3. Sign. 5—5—5 and 6—6) it is peculiar that the tube is smooth on the inner side so that no trace of a longitudinal seam can be stated. On the outer side of the tube, there are instead of one marked longitudinal seam, two less visible seams (on pict. 2, sign. 1 and 2). These little marked longitudinal seams are in reciprocal diametral position. These data prove a new up to now unknown metallurgical manufacturing technology. Due to the fact, that there is no longitudinal seam on the inner side of the tube, but two ones in opposition on the outer side it can be stated that this tube was cast in a mould composed at last by three fundamental parts (picture 7). This new processing analogous to the founding of bronze-tubes made possible the manufacturing of exactly round tubes having regularly thick walls in two processing stades only (founding and taking of the mould). The tube of Zadar had once a quite round section. The existing, slightly ellyptic section is due to the lack of water pression in the siphon (counter-pression), to the progressive layer accumulation which exerced an outer pression to the burried siphon-tube, and to the high specific weight of lead, and also by the »sliding« as a physical characteristic of lead.