

VAKUUM V VEGOVI BALISTIKI (ob 250-letnici Vegovega rojstva)

Stanislav Južnič

University of Oklahoma, Norman, Oklahoma, ZDA

POVZETEK

Ogledali smo si Vegovo raziskovanje topov v povezavi s tedanjo tehnologijo vakuumskih črpalk in parnih strojev. Prvi smo opisali Vegovo sodelovanje z grofom Rumfordom pri balističnih raziskavah. Vegovo teorijo nadtlaka med eksplozijo in vakuumu za letečim izstrelkom smo pojasnili z Vegovim razvojem Boškovičevega opisa sile in vakuumu.

Ključne besede: vakuum, Vega, Rumford, Bošković, balistika

Vacuum in Vega's Ballistic (On 250th anniversary of Vega's birth)

ABSTRACT

Vega's research of canons was described in connection with the technologies of vacuum pumps and steam engines of that time. For first time ever, we described Vega's collaboration with count Rumford on ballistics. Vega's model of the high pressure after the explosion and the vacuum behind the flying projectile was described in terms of Bošković's theory of force and vacuum.

Key words: vacuum, Vega, Rumford, Bošković, ballistic

1 UVOD

Vega se je povzpел kot topniški oficir cesarske armade. Kdo so bili njegovi sodelavci, kako je meril in računal? Kako so se Vegovi balistični poskusi prepletali z razvojem vakuumskih tehnologij pred dvema stoletjema?

2 ZUNANJA BALISTIKA

Galileo je dobro stoletje pred Vegovim rojstvom v Dveh novih znanostih dokazal, da bi telo letelo po paraboli v vakuumu. Ta načelna ugotovitev ni bila v veliko pomoč na bojišču, saj je veliki Toskanec ustrelil mimo praktičnih izkušenj topničarjev. Na bojiščih namreč ni bilo vakuumu; po navadi prav nasprotno, prava gneča.

Newton je poskušal leta 1684 upoštevati upor zrak, vendar je predvsem nakazal pot svojim naslednikom. Sledil mu je rojak, kveker Robins,¹ in dokazoval, da izstrelk iz možnarja usmerjen visoko navzgor, ne leti po paraboli. Daniel Bernoulli je izračunal, da bi domet 2524,5 m narastel na 9792 m v vakuumu, smodniku pa je pripisal deset tisočkrat večjo prožnost od zraka.²

Robins se je pri svojih meritvah dotaknil poznejšega principa nadzvočne hitrosti, ko urni izstrelk pušča vakuum za seboj. Približal se je sodobnemu opisu zvočnega zidu, ki ga je Ernst Mach objavil šele leta 1887. Tudi tu imamo Kranjci neprecenljive zasluge, saj je praški profesor Mach pogosto obiskoval svoje starše v Velikem Slatniku na Dolenjskem.

Euler je Robinsovo mnenje sprejel pri opisu hitrega gibanja, ko zrak ne more sproti napolniti prostora za hitrim telesom, tako da za izstrelkom nastaja vakuum.³ Seveda ni nihče zares znal izmeriti tlaka tega vakuumu; še danes bi to komajda zmogli. Euler je z višjo matematiko prvič izboljšal topniške tabele svojih predhodnikov⁴, tako da se tudi praktičnim topničarjem njegov trud ni zdel za lase privlečen.

Problem je bil dovolj pomemben, da je akademija znanosti v Kopenhagnu razpisala nagrado za iskanje pravih tirnic izstrelka. Upor je približno naraščal s kvadratom hitrosti izstrelka; vendar še danes ne poznamo analitične enačbe gibanja in uporabljamo predvsem tabele. Eno prvih balističnih tabel je objavil Belidor⁵ v knjigi, ki jo je med študijem v Ljubljani prebiral tudi Vega.

Vega je izmeril, da je le pri majhnih nabojih smodnika domet sorazmeren kvadratu smodniškega naboja. Pri srednjem polnjenju je sorazmeren s poldrugo potenco naboja, pri velikih polnjenjih pa pride do preme sorazmernosti. Odvisnost se je Vegi zdela prezapletena; rešitev so obetali le poskusi.⁶ Streljal je pod kotom 60°. Uporabljal je granate z masami (67, 34 in 6) kg. Naboj smodnika je spreminjal od 350 g do 2,1 kg pri granati z maso 34 kg, do 1 kg pri pol lažjem izstrelku, od 175 g do 350 g pa pri minah z masami 5,6 kg. Povprečni domet po petih streljih je bil od 399 m do 1489 m pri največjem naboju 2,1 kg pod 34-kilogramsko kroglo.

Polkrožni gorilni prostor smodnika je obsegal enaindvajsetino celotne cevi⁷ oziroma nekaj nad poldrugi premer izstrelka. Gorilna cev v obliki valja je segala do smodniškega prostora. Premer valja gorilne cevi je bil 35/61 premera granate, njena višina pa 29/64 premera granate. Z 28 kg zelo močnega smodnika je skozi lijak napolnil 32 L gorilnega prostora. Pri

¹ Benjamin Robins (* 1707 Bath v Somersetshire; † 29. 7. 1751 Madras v Indiji (Steele, 1994, 358)).

² Dollezek, 1887, 320.

³ Robins, Euler, 1777, 198; Vega, 1819, 4: 243.

⁴ Robins, Euler, 1777, dodatek: i-xlvi.

⁵ Bernard Forest de Belidor (Bélicor, * 1693 Katalonija; † 8. 9. 1761 Pariz).

⁶ Vega, 1788, 3: 117.

⁷ Vega (1788, 118) je pomotoma napisal: premera bombe.

naklonu 75° je eksplozija več kot kilograma smodniškega naboja odnesla izstrelek (355, 402 in 378) m daleč.⁸ Pri naklonu 45° je dosegal večje daljave (721, 722 in 694) m.⁹

Vega je streljal štirikrat pod enakim zračnim tlakom pri treh različnih naklonih. Vsakič je nalival po 840 g smodnika v prostor za smodnik, širok nad 83 mm. Ni opravil vseh poskusov na isti dan in ni omenil morebitnega vetra.¹⁰

Začetne hitrosti so bile zelo blizu hitrosti zvoka, vendar Vegovi izstrelki niso prebijali zvočnega zidu. Rezultate je tabeliral in raziskal razmerja med dometi pri različnih nabojih. Še pred ognjenim krstom je kot novopečeni stotnik objavil knjigo s praktičnim poukom za streljanje s topovi. Več kot pol stoletja po Belidorju je objavil svoje prve balistične tabele, odvisnost balistične krivulje od upora zraka pa je v naslednjih letih obravnaval v matematičnih predavanjih o gibanju.

Vega je let izstrelka opisal v tretjem delu svojih predavanj in ga tesno povezal z Boškovićevo silo in vakuumom. Vegova mehanika je temeljila na Boškovičevem nauku po Schöttlovih predavanjih na liceju v Ljubljani. Na prvi izmed trinajstih tabel je na osmi sliki upodobil Boškovićevo krivuljo. Zagovarjal je obstoj por in praznega prostora v vsakem telesu. Pri telesih, kot je goba, je prazen prostor viden. Pri drugih pa ga lahko dokažemo s poskusi.¹¹

Vega je znal uporabiti znameniti Boškovičev sistem elementarnih delcev materije pri trkih teles in pri balističnem nihalu.¹² Skliceval se je na razprave v Böhmovem topničarskem Magazinu. Pri fizikalnih razmišljanjih je pogosto iskal primere v topništvu. Boškovičev opis neskončno majhnega je uporabil za kritiko Eulerjevega problema gibanja telesa proti središču Zemlje. Vega je kritiziral Eulerjevo delo o teoriji gibanja iz leta 1765, ki mu je pomotoma pripisal dve leti starejšo letnico izida. Ugotavljal je, da je Euler pomotoma enačil teorijo trenja in teorijo lepenja, čeprav je lepenje trikrat večje.¹³

Vega je navajal raziskave svojih predhodnikov, vendar je Robinsa vseskozi napak imenoval "Robin".¹⁴ Poznal je Eulerjevo dopolnitev Robinsovega dela. Zanimal se je tudi za Mullerja, ki je postal namesto tekmeča Robinsa profesor topništva in utrdil na novi vojaški akademiji v Woolwichu blizu tovarne topov. Mullerjevo razpravo je za Böhmovo revijo prevedel eden njenih najmarljivejših piscev, Geuss.¹⁵ Geuss je



Slika 1: Naslovnica Böhmove topničarske revije, ki jo je s pridom študiral Vega (vir: Böhm, Andreas. 1781. *Magazin für Ingenieur und Artilleristen*. (Giessen: Johann Christian Krieger) 7: naslovnica)

bil od leta 1777 redni profesor matematike na univerzi v Kopenhagnu, matematiko pa je predaval tudi danskim kraljevim inženirskim enotam. Prav med prevajanjem angleškega profesorja Johna Mullerja iz Hannovera je leta 1779 postal član danske kraljeve družbe za znanost. Objavljal je predvsem o matematiki, leta 1784 pa je, podobno kot Vega leto poprej, izdal Briggsove logaritme do deset tisoč.

Po Mullerju končna hitrost krogle ni bila odvisna le od premera krogle, temveč tudi od razmerja med specifičnima masama krogle in zraka. Muller in pred

⁸ 355, 402 in 378 m

⁹ 721, 723 in 694 m

¹⁰ Vega, 1788, 3: 139; Güssmann, 1805, 70-71, 73.

¹¹ Vega, Vorlesungen 1788, 3: 2 (pogl. 3).

¹² Vega, Vorlesungen 1788, 3: 81--83, (pogl. 59), 298 (pogl. 216), fig. 8

¹³ Vega, 1988, 3: 194.

¹⁴ Vega, 1788, 3: 84.

¹⁵ Joachim Michael Geuss (* 23. 8. 1745 Krummendiell v Holsteinu; † 29. 11. 1786 Kopenhagen).

njim Robins sta se oprijela zgrešenega prepričanja, da nobeno nadaljnje izboljševanje orožja ne more povečati začetne hitrosti izstrelka. Menila sta, da ne pomaga podaljševanje cevi, zmanjševanje smodniškega prostora, povečevanje naboja, izboljševanje smodnika in podobno.¹⁶ Takšno stališče je bilo seveda pretirano in napačno. Robins je kljub temu menil, da mora biti cev vsaj trikrat daljša od premera svoje izstopne odprtine,¹⁷ seveda za topove in ne za možnarje.

Vegi se to ni zdelo prav. Izkušnje in mehanski zakoni so nasprotovale Mullerjevimi trditvam.¹⁸ Vega je uporabil Mullerjevo starejše delo iz leta 1768, v katerem je prebral napačne vrednosti za trajanje in hitrost gibanja v praznem prostoru. Muller je menil, da je upor fluida proti gibanju krogle enak teži stolpa fluida, Vegovi poskusi pa so kazali veliko večji upor. Muller in Robins sta mislila, da je začetna hitrost vedno manjša od tiste, ki jo lahko izstreljek pozneje doseže v zraku. Vega je seveda vedel, da ta domneva ne drži.

Vega je kritiziral Mullerja na petih straneh;¹⁹ njegovo delo je citiral v opombi v angleškem jeziku, ki ga je dobro poznal.²⁰ S tem je svojo zadnjo knjigo matematičnih predavanj končal in ji dodal še topničarske tabele na osnovi svoje enačbe. Vegove balistične tabele so bile drugačne in veliko manj obsežne od Eulerjevih, ki je upošteval posebej krivuljo dvigovanja in padanja krogle pri različnih kotih streljanja.²¹

3 CORIOLISOVA SILA

Prosto padanje z visokih cerkva je pokazalo, da vrteča se Zemlja pod ozračjem odplava nekoliko proti vzhodu. Pojav je bil pomemben tako za topničarje, kot za preučevanje vetrov in morskih tokov zaradi hitrejšega vrtenja točk na ekvatorju. Vsi so pričakovali premik, niso pa soglašali glede njegove velikosti. Zato so se lotili natančnih poskusov, ki so vplivali tudi na razvoj vakuumske tehnike. Bolonjski profesor matematike Guglielmini²² je sprva načrtoval poskuse na kupoli cerkve Sv. Petra v Rimu. Žal bi rezultate pretesno povezovali z Galileijevim procesom; zato se

je moral zadovoljiti s sto metrov visokim stolpom Asinelli v Bologni. Lalande je podprl meritve Guglielmirija in Luigija Zanottija, dokler ni zvedel, da Laplaceovi računi predvidevajo manjši vzhodni odklon in zanemarljiv južni odklon. Laplace je bil zakon; zato se je Lalande nemudoma nehal strinjati z lastnim prepričanjem. Guglielmini ni smel zaostajati in je svoje poskuse karseda urno uskladal z Laplaceovimi računi: upošteval je pač motnjo ognja ob gorenju svilene vrvice nad utežjo, tlačne razlike zaradi vetra in promet v mestu. Seveda se Parižanom ni smel zameriti tako kot njegov kolega na univerzi Luigi Galvani; Napoleonovi bajoneti so namreč preplavili njuno Bologno in kmalu tudi Ljubljano.

Podobne poskuse je postavil učitelj Benzenberg²³ v Hamburgu pod budnimi matematičnimi očesi Olbersa²⁴ in samega Gaussa. Oktobra 1804, že po Vegovi smrti, je Benzenberg obiskal Coulomba, Vegovega prijatelja Lalandeja in Laplacea v Parizu. Ostareli Coulomb je neprestano hitro blebetal, Lalande pa je imel na Collège de France včasih le po šest slušateljev; odkar je Napoleon zavrgel Lalandev ateizem, se mu je marsikdo raje previdno izognil v širokem loku. Benzenberg je nadaljeval poskuse v rudarskem jašku blizu Schlebuscha, da bi se izognil neenakomernemu segrevanju zidov stolpa. Problem je leta 1835 na sodoben način rešil šele profesor z École Polytechnique, Coriolis;²⁵ po njem še danes imenujemo silo, ki deluje na ozračje zaradi vrtenja Zemlje pod njim. Guglielminijeve in Benzenbergove meritve so pojasnile topničarjem, zakaj njihove krogle zanaša na vzhod. Napovedale so tudi znameniti Foucaultov²⁶ poskus z nihalom v pariškem Pantheonu leta 1851.

4 NOTRANJA BALISTIKA IN VEGOVI DALEKOMETNI MOŽNARJI

Hire²⁷ je leta 1702 v aktih pariške Akademije prvi pripisal eksplozivno silo smodnika prožnim plinom v delcih smodnika in med njimi. Tlak zelo naraste zaradi ognja in toplote ob eksploziji.²⁸ S podobnimi poskusi v vakuumu je Hauksbee leta 1720 meril količino plinov, ki jih smodnik sprosti med eksplozijo.²⁹ Tako je eksperimentalna tehnika pnevmatske kemije razvijala

¹⁶ Vega, 1819, 4: 301.

¹⁷ Robins, 1771, 409.

¹⁸ Vega, 1819, 4: 302.

¹⁹ Vega, 1819, 4: 301-306.

²⁰ Vega, 1819, 4: 303.

²¹ Robins, Euler, 1777, i-xlvi.

²² Giovanni Battista Guglielmini (* 1760/63; † 1817 Bologna).

²³ Johan Friedrich Benzenberg (* 1777 Schöller pri Düsseldorfu; † 1846 Bilk pri Düsseldorfu).

²⁴ Heinrich Wilhelm Matthäus Olbers (* 11. 10. 1758 Arbergen; † 2. 3. 1840 Bremen).

²⁵ Gaspard de Coriolis (* 21. 5. 1792 Pariz; † 19. 9. 1843 Pariz).

²⁶ Jean Bernard Léon Foucault (* 18. 9. 1819 Pariz; † 11. 2. 1868 Pariz).

²⁷ Philippe de la Hire (* 1640 Pariz; † 1718 Pariz).

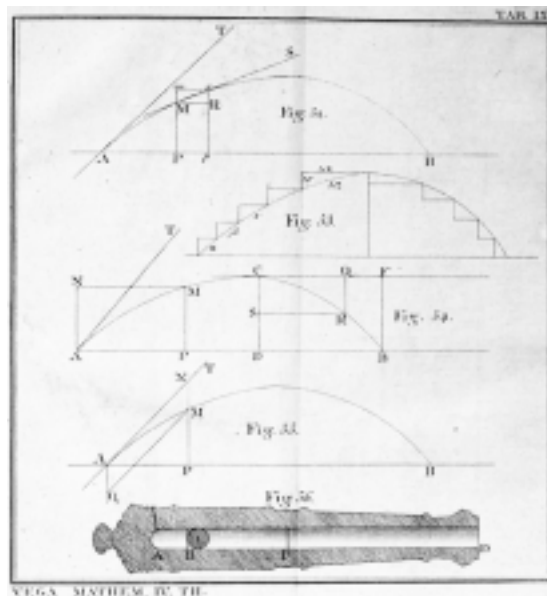
²⁸ Robins, 1771, 121.



Slika 2: Vegova zahvala polkovniku Thompsonu, poznejšemu grofu Rumfordu, za angleške tabele logaritmov (vir: Vega, Jurij. 1783. *Logarithmische, trigonometrische, und andere zum Gebrauche der Mathematik eingerichtete Tafeln und Formeln*. Wien: Johann Thomas Edlen von Trattner. Stran 419)

notranjo balistiko. Podobno tehniko merjenja plinov je na Dunaju uporabljal cesarski zdravnik Ingenhousz pri določanju produktov fotosinteze v petsto poskusih med junijem in septembrom 1779.

Robins iz londonske kraljeve družbe je prvi postavil balistiko na znanstvene matematične osnove. Eulerjeve ideje o gibanju telesa proti središču sile je leta 1739 kritiziral na podoben način kot Vega štiri desetletja pozneje. Seveda je bil Euler tedaj še dovolj neznan, da si je Robins lahko privoščil marsikatero pikro na njegov račun. Zdelo se mu je, da Euler ne nasprotuje le Evklidu, temveč celo zdravemu razumu.³⁰ Robins Eulerja ni osebno poznal,³¹ nekoliko pa mu je seveda zavidal donosno službo v Sankt Peterburgu.³² Ni slutil, da bo Euler postal največji



Slika 3: Vegove skice balistične parabole za teorijo zunanje balistike in model topa za teorijo notranje balistike (vir: Vega, Jurij. 1819. *Vorlesungen über die Mathematik*. Vierter Band. Wien: Trattner. Tabla IX, fig. 56)

matematik vseh časov; sicer bi bil pri svojih kritikah gotovo bolj previden.

Thompson, poznejši grof Rumford,³³ je leta 1797 poročal o svoji mušketi, ki izstrelila dve enako hitri krogli v istem času, kot navadna mušketa z enako cevjo. Mušketo je izboljšal zgolj tako, da je z izstrelkom natančno zatesnil cev, ki se je ožila v smodniški prostor. Tesnjenje je pospešilo izstrelak, saj se v netesnih delih ni več izgubljala energija zaradi razlike med premerom krogle in premerom orožja.³⁴ Stožčasto notranjost cevi, zoženo proti smodniškemu prostoru, je dve leti pred tem izkoristil Vega. Moža sta torej uporabljala enake ideje, saj od Vegovega Dunaja do Rumfordovega Münchna ni bilo daleč. Prijatelja znanstvenika sta izpostavljala pomembnost tesnjenja na temelju izkušenj tedanje zgodnje vakuumske tehnike, ki sta jo poznala predvsem pri parnih strojih in manj pri črpalkah.

Pomladi 1795 so Prusi izstopili iz zveze proti Francozom; ob Renu je zavladovalo zatišje. Renski armadi 92000 mož je poveljeval vojvoda Albert,³⁵ ki je ukazal Vegi, naj izdelava možnarje daljšega dosega. Končno priložnost, da Vega svoje poznanje problemov tesnjenja v vakuumski tehniki izkoristi za konstruiranje možnarskih cevi največjega dometa!

²⁹ Robins, 1771, 141.

³⁰ Robins, 1739, IV.

³¹ Robins, 1739, VI.

³² Robins, 1739, I.

³³ Benjamin Thompson grof Rumford (* 26. 3. 1753 Rumford; † 21. 8. 1814 Auteuil pri Parizu (Steele, 1994, 359)).

³⁴ Rumford, 1970, 460-461.

³⁵ Vojvoda Albert (Albrecht) Saško-Tešenski (* 1738; † 1822 (Kaučič, 1904, 26)).

Sestavil je dva možnarja za krogle z maso 16,8 kg in za dvakrat težje izstrelke.³⁶ Zgorevalni prostor je izvrtal v obliki prisekanega stožca³⁷ s koničnim dnom. Okroglo dno možnarja je že Belidor zamenjal s konusom, o tej možnosti pa je premišljal tudi Rumford. Cev v obliki stožca je bila namenjena predvsem boljšemu tesnjenju smodnika med eksplozijo, saj je Vega kroglo porinil tako globoko, da je popolnoma zaprla del smodniškega prostora v obliki konusa. Starejši avstrijski možnarji v obliki valja niso omogočali tako dobrega tesnjenja. Ob eksploziji je stožčasta posoda omogočala izredno visoke tlake na svojo osnovno ploskev, s katere so plini odprivali bombo nad sovražnika.

Vega je osebno nadzoroval ulivanje, vrtanje in končno obdelavo novega orožja. Za vajo so pri Mannheimu streljali 16,8-kilogramske krogle pod koti 45° vse do 3110 m. Komisijo so sestavljali generali in drugi visoki častniki topništva in inženircev.³⁸ Merili so tudi globino, do katere se je izstrelak zaril v tla po strelu s starim in novim Vegovim možnarjem. Bombe iz Vegovega možnarja so se zabile od 63 cm do 126 cm globoko, trzaj po strelu pa je potegnil od 5,3 mm do 7,9 mm pri naboju 0,84 kg, pri dvakrat večjem naboju pa meter ali celo pol drug meter. Vega je povečal domet predvsem zato, ker je lahko nalil do 2,25 kg smodnika, medtem ko so se starejši možnarji napolnili že pri 1,4 kg.³⁹ Poleg tega je z upoštevanjem dosežkov vakuumske tehnike znal smodnik bolje zatesniti in tako povečati izkoristek eksplozije.

Vega je izbral kaliber 22 cm in 16,8 kg bombe s premeri 234,6 mm, ki so jih uporabljali za starejše bronaste možnarje iz leta 1753. Drugega primernege streliva pač ni imel na razpolago v tistih vojnih dneh. Premer cevi je bil za 10,4 mm večji od starega možnarja. Skupaj s smodniškim prostorom je bila cev dolga 808,5 mm. Premer cevi starega možnarja je zmanjšal za 11,4 mm, cev je podaljšal za 132,5 mm, kaliber pa povečal za 33/64. Zaradi boljšega materiala je maso cevi zmanjšal za 16 kg; z možnarjem, lažjim od pol tone,⁴⁰ je bilo veliko lažje manevrirati.

Vega ni opisal svojega možnarja v četrtem delu predavanj leta 1800 in tudi ne v njihovem ponatisu leta 1819. Pri razlagi eksplozije smodnika je narisal valjasti smodniški prostor z dnom v obliki polkrogle

in ne morda prisekanega stožca, čeprav je mimogrede omenil drugačne možne oblike.⁴¹ Vegova razlaga je veljala za topove, možnarje in havbice;⁴² zato bi svoje štiriindvajset let staro odkritje gotovo lahko vključil tudi v učbenik, če bi bilo seveda splošno sprejeto. Vegov izum je bil dovolj pomemben, da ga povzemamo tudi uradne zgodovine avstrijskega topništva.⁴³

Pred ponatisom četrtega dela Vegovih predavanj so leta 1816 njegova možnarja preizkušali na Dunaju, pozneje še leta 1827 v Budimpešti.⁴⁴ Pri obeh mestih so z dragimi poskusi iskali točne oblike krivulj pri različnih nabojih in naklonih od leta 1819 do 1829. Danes težko presodimo, zakaj je Vega spremenil obliko smodniškega prostora. Prvi je primerjalno streljal z možnarji, ki so se razlikovali predvsem po obliki smodniškega prostora in z njim boljšem tesnjenju, izposojenem iz tedanje vakuumske tehnike.

Novembra 1795 je Vega uspešno uporabil možnarja pri obleganju Mannheima, ki so ga medtem zavzeli Francozi. Uspešna uporaba novih metod tesnjenja, sposojenih iz vakuumske tehnike, mu je odprla pot do medalje Marije Terezije.⁴⁵ Na bojiščih ob Renu je kapitan Coutelle pri Fleursu že uporabljal nedavno izumljene balone, Vegove enote pa so skušale njihovo poizvedovalno dejavnost prestreliti. Vegov prijatelj Ingenhousz je 6. 6. 1784 nad Dunaj spustil prvi toplozračni balon brez posadke, ki ga je opazoval tudi Vega.

Vegove nove možnarje so uvedli za redno obožitev obalne artilerije šele leta 1839. Težki možnarji so bili tedaj že v zatonu, saj so moderna industrijska mesta opuščala nekdanje utrjene obrambne zidove. Med svetovnjima vojnama so velikanske možnarje Vegove vrste nadomestili z manjšimi, ki niso več spadali k topništvu, temveč k pehoti. Od 13. 10. 1998 Američani uporabljajo 60-milimetrske možnarje FM 101-60-31, 17. 11. 1988 spremenjene 81-milimetrske FM 101-60-1 in 17. 5. 1979 spremenjene 107-milimetrske FM 101-60-70.

Vega je tik pred smrtjo napredoval v enega najvišjih častnikov v prestolnici. Čez deset let bi gotovo postal prvi general slovenskega rodu. Vegove balistične raziskave je nadaljeval nekdanji jezuit Güssmann.⁴⁶ Uporabljal je Boškovićevo teorijo kometov, vendar v balistiki ni posebej uporabil Boško-

³⁶ Dollecsek, 1887, 298.

³⁷ Kaučič, 1904, 25.

³⁸ Kaučič, 1904, 25.

³⁹ Kaučič, 1904, 26.

⁴⁰ Dollecsek, 1887, 297.

⁴¹ Vega, 1819, 4: 295, fig. 56.

⁴² Vega, 1819, 4: 298.

⁴³ Dollecsek, 1887, 298, 700.

⁴⁴ Kaučič, 1904, 26.

⁴⁵ Kaučič, 1904, 27.

⁴⁶ Franz Güssmann (Güsmann, * 30. 9. 1741 Wolkersdorf v Avstriji; SJ; † 28. 1. 1806 Seitenstetten).

vičevega opisa snovi in vakuuma. Malo pred smrtjo je Vega razpravljajal z Güssmannom o začetni hitrosti izstrelka. Güssmann je upošteval tudi pritisk teže krogle na dobro tesnjene pline v smodniškem prostoru.⁴⁷

5 SKLEP

Vegovo in Rumfordovo tesnjenje smodniškega prostora je omogočilo napredek balistike. Tehnologije tesnjenja so zanju razvili pri vakuumskih črpalkah in predvsem pri parnih strojih. Vega je uporabil stožčasti smodniški prostor, da bi preprečil uhajanje smodniških plinov iz gorilnega prostora na podoben način, kot so v vakuumski tehniki s tesnjenjem preprečevali puščanje vakuumске posode. Tako je Vega, čeprav je umrl že pred srečanjem z Abrahamom, bistveno pripomogel k razvoju sodobnih tehnologij tesnjenja, saj se je v balistiki že v njegovem času vrtelo največ denarja.

6 LITERATURA

- Dolleczek, Anton. 1887. Geschichte der österreichischen Artillerie von den frühesten Zeiten bis zur Gegenwart. Nach authentischen und grösstentheils officiellen Quellen verfasst. Wien: Selbstverlag.
- Güssmann, Franz. 1805. Über die bisherigen Versuche und derselben Berechnung in Hinsicht auf die Theorie des Stosses und Widerstandes flüssiger Körper. Wien (Leipzig): Mathias Andreas Schmidt.

- Kaučič, Fridolin. 1886. *Georg Freiherr von Vega*. Organ der Militärwissenschaftlichen Vereine (Wien) 33: 43-94. Ponatis: 1904. Wien: Selbstverlage.
- Robins, Benjamin. 1742. *New Principles of Gunnery: Containing the Determination of the Force of Gun-Powder, and an Investigation of the Difference in the Resisting Power of the Air to Swift and Slow Motions*. London: J. Nourse. Eulerjev prevod z dodatki. 1745. *Neue Grundsätze der Artillerie*. Berlin. Hugh Brownov prevod Eulerja. 1777. *The True Principles of Gunnery Investigated and Explained. Comprehending Translations of Professor Euler's Observations upon the new Principles of Gunnery, published by the late Mr. Benjamin Robins, and that celebrated Author's Discourse upon the Track described by a Body in a resisting Medium, inserted in the Memoirs of the Royal Academy of Berlin, for the Year 1753*. London: J. Nourse.
- Robins, Benjamin (ur. James Wilson). 1761. *Mathematical tracts of the late Benjamin Robins. Vol. 1. New principles of Gunnery*. London: J. Nourse. Francoski prevod Du Foy fils, pomočnik profesorja na kraljevi topniški šoli v Grenoblu. 1771. *Traite de mathématiques de Monsieur Benjamin Robins... Nouveaux Principes d'Artillerie...* Grenoble: Joseph-Sulpice Grabit.
- Rumford, grof Benjamin Thompson (ur. Sanborn C. Brown). 1970. *The Collected Works of Count Rumford. Volume IV Light and Armament*. Cambridge: Belkap Press.
- Vega, Jurij. 1788. *Vorlesungen über die Mathematik. Dritter Band, welcher die Mechanik der festen Punkte enthält*. Wien: Trattner.
- Vega, Jurij. 1800. *Vorlesungen über die Mathematik. Sowohl überhaupt zu mehrerer Verbreitung mathematischer Kenntnisse in der k. k. Staaten, als auch insbesondere zum Gebrauche des kais. königl. Artillerie=Corps. Vierter Band die Grundlehren der Hydrostatik, Aerostatik, Hydraulik, und der Bewegung fester Körper in einem widerstehenden flüssigen Mittel enthaltend. Anleitung zur Hydrodynamik. Das mathemat. Lehrb. zum Gebrauch des k. k. Artillerie=Corps. IV Theil*. Wien: Trattner. 2: 1819. *Vorlesungen über die Mathematik. Vierter Band, die Grundlehren der Hydrostatik, Aerostatik, Hydraulik, und der Bewegung fester Körper in einem widerstehenden flüssigen Mittel enthaltend*.

⁴⁷ Güssmann, 1805, 62, 67.