

# Podrijetlo i funkcija šiljatoga dna amfora<sup>1</sup>

## *The Origin and Function of the Amphora's Spike*

**Izvorni znanstveni rad**  
Antička arheologija

*Original scientific paper*  
*Roman archaeology*

UDK/UDC 904:738.8"652"  
Primljeno/Received: 29.03. 2004.  
Prihvaćeno/Accepted: 01. 06. 2004.

Mr. sc. IRENA RADIĆ ROSSI  
Hrvatski restauratorski zavod  
Odjel za podvodnu arheologiju  
Cvijete Zuzorić 43  
HR - 10000 Zagreb

Akademik IVO SENJANOVIĆ  
Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti  
Zrinski trg 11  
HR - 10000 Zagreb

Mr. sc. SMILJKO RUDAN  
Dr. sc. JANEZ INDOF  
Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet strojarstva i brodogradnje  
Ivana Lučića 5  
HR - 10000 Zagreb

*Zabijanje u zemlju ili pijesak, slaganje u slojevima u brodske potpalublje ili hvatište potrebno pri izlivanju tekućine, uobičajena su tumačenja funkcije šiljatoga dna amfora. Pitanje je, međutim, radi li se doista o dovoljno uvjerljivim argumentima koji su naveli stare keramičarske majstore na proizvodnju ovih složenijih, skupljih i ne samostojećih oblika posuda. Povećanu čvrstoću amfora koju možemo zahvaliti zamjenjivanju ravnoga dna oblim ili konično zašiljenim dnom, te u kasnijem razdoblju i dodavanju masivnoga šiljka, naslutilo je već nekoliko autora, ne pridajući joj, međutim, odgovarajuću pozornost. Analiza podrijetla oblika, a potom i praktična provjera čvrstoće amfora provedena numeričkim modeliranjem u računalnom programu SESAM, metodom konačnih elemenata, potvrdila je izuzetno značenje oblika s masivnim šiljkom za izdržljivost ambalaže, što je vjerojatno bio i glavnim razlogom proizvodnje takvih amfora. Ova pretpostavka ne isključuje ostale nabrojene funkcije šiljka, ali im oduzima primarno značenje u tumačenju njegova nastanka.*

*Ključne riječi: amfora, šiljato dno, metoda konačnih elemenata, čvrstoća, SESAM*

*The need to sink amphorae into the earth or sand, to store them in layers below ship decks or to grip them conveniently while pouring out their contents – all these are habitual explanations of the function of the amphora spikes. The question is, however, whether these arguments were sufficiently compelling to lead ancient pottery masters to manufacture more complex and costly vessels such as these, which were even unable to stand by themselves. The increased strength of amphorae resulting from the replacement of a flat bottom with a rounded or conically pointed one and, in later stages, from the addition of a massive pointed end, has already been suggested by several authors, however, without paying sufficient attention to this argument. An analysis of the origin of amphora shapes and, subsequently, empirical tests of their strength that were conducted by numerical modelling in the SESAM program using the finite element method, have confirmed the crucial importance of such massive pointed ends to the durability of containers so shaped, which was probably the main reason for the production of such amphorae. This assumption does not preclude any of the aforementioned functions of the spike, but divests it of their primary significance in the explanation of its development.*

*Key words: amphora, spike, finite elements method, strength, SESAM*

1 Ovaj rad iz praktičnih je razloga podijeljen u nekoliko poglavlja. I. Radić Rossi autorica je poglavlja I.-III. i V., u kojima je teorijski razmotren problem iz naslova., dok su I. Senjanović, S. Rudan i J. Indof autori IV. poglavlja koje predstavlja praktičnu provjeru pretpostavki iz prethodnog teksta.

## I. UVOD

Iako je tipološko proučavanje amfora znatno uznapredovalo u posljednjih nekoliko desetljeća, o uzrocima nastanka ovoga specifičnoga oblika posude, namijenjenog poglavito pomorskom prijevozu robe i njegova dugotrajnog zadržavanja u upotrebi malo se razmišljalo i pisalo. Potrebno je naglasiti da se naziv amfora u ovom slučaju pridjeljuje isključivo tzv. transportnim amforama, a nipošto grčkom i rimskom stolnom posudu ili antičkim posudama koje su primjenjivane isključivo u religiozne svrhe. Grčki naziv *αμφορεύς* ili *αμφιφορεύς* nalazimo u popisima uskladištenih namirnica već na mikenskim glinenim pločicama iz druge polovine 2. tisućljeća pr. Kr., u značenju posuda u kojima su pohranjeni vino, med ili neki drugi poljoprivredni proizvodi, a pod istim ih nazivom, u značenju posude namijenjene prijevozu vina brodom, nalazimo i u Homerovoj *Odiseji*.<sup>2</sup> Ovi nam najstariji pisani izvori potvrđuju da se naziv prvenstveno pridjeljuje posudama s dvije ručke, namijenjenima prijevozu i pohrani namirnica, pa ga u tom smislu možemo primijeniti i danas (GIANFROTTA, POMEY, 1981., 147.).

Prema *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines* osnovna su obilježja amfora “dvije ručke smještene s dviju nasuprotnih strana vrata, pričvršćene za više ili manje izdužen trbuh, ..., koji se prema dolje sužuje ili završava šiljkom, pa ih je neophodno staviti u stalak ili zabiti u pijesak kako bi stajale uspravno.” (DAREMBERG, SAGLIO, 1877., Tom I, 248., *amphora*).

Prilikom objave nalaza s atenske Agore, prema riječima D.P.S. Peacocka, Virginia Grace primijenila je najvažnije kriterije koji čine osnovu definicije amfore (PEACOCK, WILLIAMS, 1986., 5.): “Postoji mnogo razolikih oblika, ali svima su zajednička usta dovoljno uska da budu začepljena, dvije nasuprotne vertikalne ručke i na dnu obično šiljak ili čepasti završetak koji služi kao treća ručka, ispod težišta, potrebna pri okretanju teške posude kako bi se iz nje lijevalo.” (GRACE, 1979., 3.-4.), (sl. 1.). Nedostatak je ovakvoga opisa, zaključuje Peacock, da u njega nisu uključeni neki oblici amfora ravnoga dna, poput poznatih primjeraka iz južne Galije (PEACOCK, WILLIAMS, 1986., 5.).

U navedenim opisima šiljku je, dakle, pripisana isključivo funkcija pomoći pri slaganju robe u skladišta na kopnu ili brodska potpalublja te pri hvatanju i rukovanju pojedinim posudama. V. Grace obrazložila je svoje mišljenje činjenicom da bi ravno dno predstavljalo nepotrebno opterećenje, koje ne bi pružalo dovoljno čvrsto uporište za izlivanje tekućina, a dodatno bi otežavalo slaganje u potpalublje i povećavalo troškove proizvodnje (GRACE, 1979., 4.). Ovakvo se objašnjenje specifičnog oblika dna amfora zadržalo do danas u većini arheološke literature.<sup>3</sup>

U brojnim opisima i definicijama amfora na koje nailazimo u stručnim i popularnim znanstvenim radovima ponekad je, međutim, spomenuta i njihova čvrstoća, kojoj pridonosi oblik dna (PARR, 1973.; ZEMER, 1977.; WOOD, 1987; PETRIĆ, 1989.; LEONARD Jr., 1996.; GORNY, 1996.).



Sl. 1. Prikaz izlivanja vina iz amfore na antičkoj crvenofiguralnoj posudi, pri čemu je šiljak iskorišten kao uporište (iz *Archeo*, 44, 1988.)

Fig 1 A presentation of pouring wine from an amphora on an antique red-figure vase, with its pointed end used as a support (from *Archeo*, 44, 1988)

Razmotrimo li pažljivo u početku spomenute definicije, trebali bismo se zapitati mogu li uistinu lakše slaganje ili olakšani prihvati biti dovoljnim razlozima za proizvodnju posuda s kojima u svakom drugom postupku ima mnogo problema, jer zbog svojega, često zaobljenoga i nezgrapnoga tijela teško mogu samostalno stajati čak i naslonjene na zid. Istina je, doduše, da se oblo ili zašiljeno dno lakše prilagođuje neravnoj podlozi (LEONARD Jr., 1996., 239.), na kojoj se amfore mogu naći prilikom utovara, istovara, slaganja u brodskom potpalublju ili pohrane u skladištu, što svakako treba prihvatiti pri objašnjenju razloga njegova nastanka.

## II. RAZVOJ OBLIKA DNA AMFORA

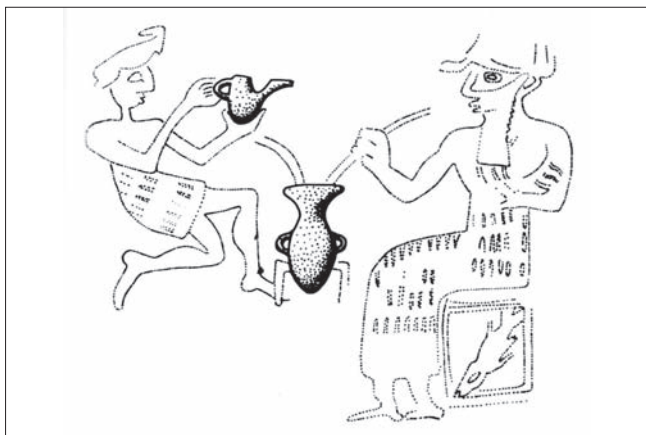
Proizvodnja posuda zaobljenoga ili zašiljenog dna tehnološki je složeniji, dugotrajniji, a time i skuplji postupak.<sup>4</sup> Umjesto da se na lončarskom kolu na ravno dno samo nadoveže trbuh posude, potrebno je zasebno proizvesti zašiljeno dno i naknadno ga dodati na već oblikovani trbuh s kojega je često potrebno ukloniti ravno dno koje je poslužilo za njegovo oblikovanje. Opisani je postupak u suprotnosti s mišljenjem o jednostavnijem i jeftinijem proizvodnom procesu proizvodnje posuda sa šiljatim dnom, na koje ponekad nailazimo u literaturi (GRACE, 1979.).

Iz amfora nije uvijek bilo potrebno izljevati, jer se tekućina mogla vaditi i pomoću pipete, za što nalazimo potvrde u reljefnim i slikanim prikazima (sl. 2.-4.), ili izljevati kroz otvor probušeni pri njihovu dnu (ZEMER, 1977., 116.; BADLER, 1996., 50.-51.), (sl. 5.). U zemlju ili pijesak mogle su se zako-

2 Homer, *Odiseja*, II., 290., 349., 379.

3 Ne navodim izrijekom opsežnu literaturu o amforama, koja je uglavnom sadržana u citiranoj literaturi na kraju članka. Spominjemo samo da na slično objašnjenje nailazimo i u novijim priručnicima o tipologiji amfora, poput npr. CARVALE, TOFFOLETTI, 1997., što ukazuje na činjenicu da ovo pitanje nije do sada temeljitije proučeno.

4 Na ovu me pojedinost upozorio iskusni keramičar, Arturo Fabbro, vlasnik tvornice keramičkih proizvoda “Ceramiche Fabbro” u Rivignanu nedaleko Udina koji je svojedobno proizvodio kopije amfora za arheološki muzej u Akvileji. Zahvaljujem gospodinu Fabbro na zanimanju s kojim me saslušao i na vrijednim podacima koje mi je, na osnovi velikog znanja i iskustva, pružio svojim odgovorima.



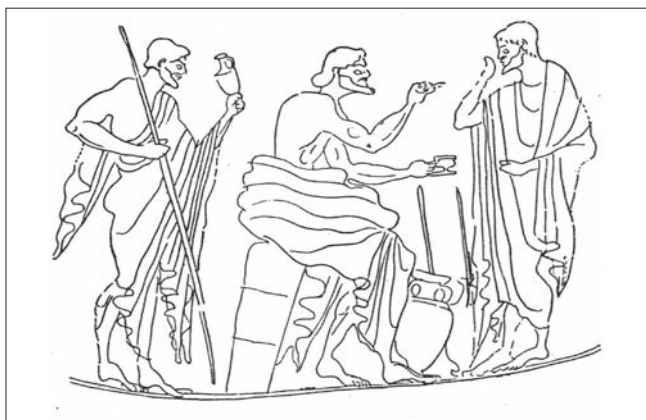
Sl. 2. Kültepe, upotreba pipete kod Hetita, prikaz na pečatu (iz GORNY, 1996. - prema MÜLLER-KARPE, 1988.)

Fig. 2 Kültepe, use of a pipette by Hittites, presentation on a seal (from GORNY, 1996; according to MÜLLER-KARPE, 1988)



Sl. 3. Hubbord Amphora, Cipar, IX. st. pr. Kr. (?), prikaz konzumiranja tekućine iz amfore (iz MCGOVERN, 2003.)

Fig. 3 Hubbord Amphora, Cyprus, 9<sup>th</sup> century BC (?), presentation of liquid consumption from an amphora (from MCGOVERN, 2003)



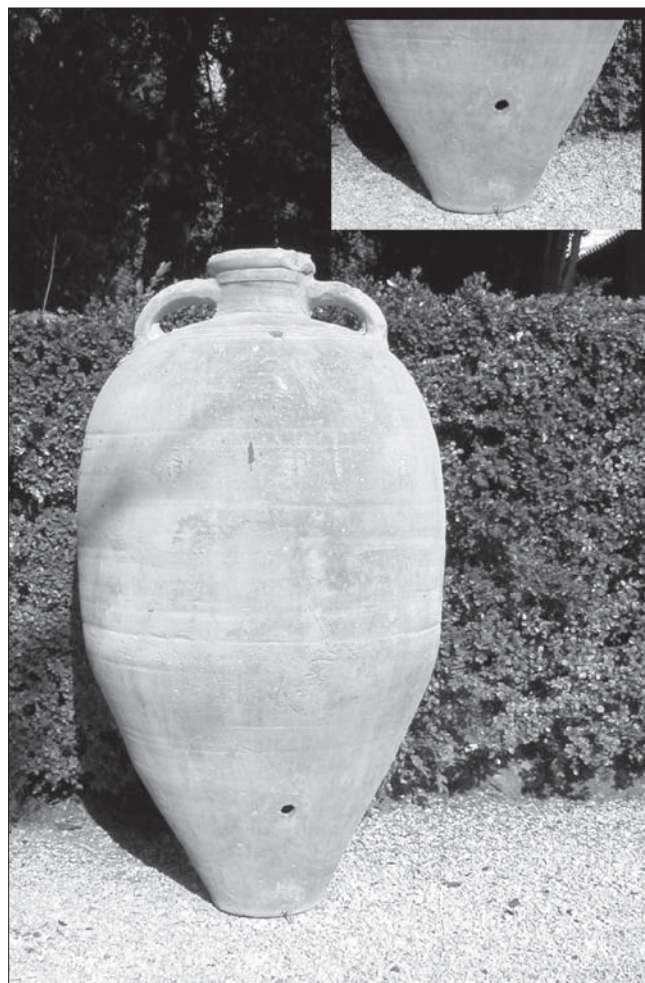
Sl. 4. Upotreba pipete u antičkoj Grčkoj (iz DAREMBERG-SAGLIO, 1877.)

Fig. 4 Use of a pipette in Ancient Greece (from DAREMBERG-SAGLIO, 1877)



Sl. 6. Magdalensberg, amfore tipa Dressel 6A *in situ*

Fig. 6 Magdalensberg, Dressel 6A amphorae *in situ*



Sl. 5. Arheološki muzej, Split, otvor za izlivanje pri dnu posude

Fig. 5 Archaeological Museum in Split, discharge opening near the bottom of a receptacle

pati i posude drukčijih oblika koje bi, ukopane kao što se ponekad nalaze amfore, također vrlo sigurno i čvrsto stajale (sl. 6.). Osim toga, i samo slaganje u nekoliko redova nije nužno zahtijevalo šiljak ili zašiljeno dno. Dovoljno je da trbuh posude bude sužen u krajnjem donjem dijelu, pa će ona jednako lako i čvrsto sjesti na svoje mjesto, bez obzira na sam završetak.

Uzimajući u obzir ove činjenice, morali su postojati itekako opravdani razlozi za proizvodnju složenijih, skupljih i ne samostojećih oblika keramičke ambalaže, koja se zadržala u upotrebi tijekom više od dva tisućljeća ljudske povijesti.

Kako smo već uvodno spomenuli, nekoliko je autora upozorilo na razliku u čvrstoći posuda s ravnim i onih sa zaobljenim ili zašiljenim dnom, ali njihova se objašnjenja ponešto međusobno razlikuju. McGovern, Leonard Jr. i Gorny prihvatili su mišljenje Parra i Wooda da je ravno dno odbačeno kako bi se izbjegla koncentracija unutarnjih sila (naprezanja)<sup>5</sup> na osjetljivom spoju stijenke i ravnoga dna (LEONARD Jr., 1996., 239.; PARR, 1973., 176.-177.; WOOD, 1987., 76., MCGOVERN, 2003., 110.). Iako je i Zemer upozorio da je riječ o načinu izbjegavanja kritičnoga spoja stijenke i ravnoga dna, on razlog pronalazi u ravnomjernom rasporedu vanjskih sila (naprezanja) duž zaobljenih stijenki posude u slučaju udaraca koji potresaju bazu (ZEMER, 1977., 114.). Od naših je autora na ulogu šiljka u čvrstoći posude usput upozorio Marinko Petrić u sažetom priručniku *Amfore Jadrana*, smatrajući da šiljak služi za što prikladnije pohranjivanje u skladišni prostor broda i zbog čvrstoće posude” (PETRIĆ, 1989., 8.).

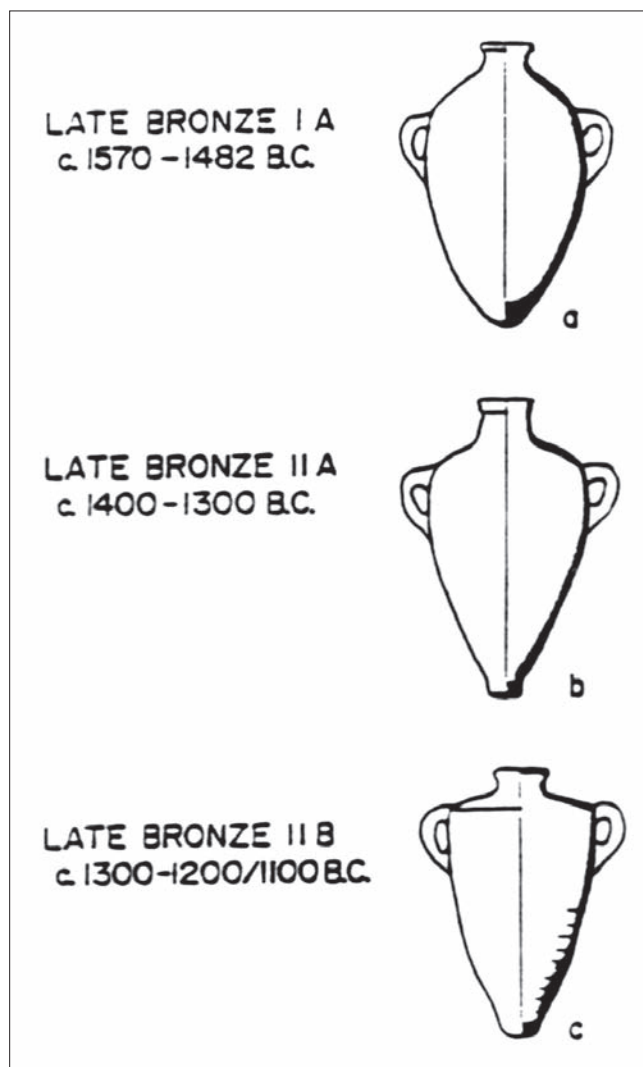
Premda zamijećena, čvrstoća je amfora u većini interpretacija njihova oblika ipak potisnuta u drugi plan, iako je vjerojatno da je riječ, uz već spomenutu prilagodljivost neravnoj podlozi, o glavnom razlogu koji je u većini slučajeva potakao odbacivanje ravnoga dna u vrijeme kada uzima maha organizirana pomorska trgovina.

Kada razmišljamo o dnu amfora pred očima su nam najčešće razvijeni rimski oblici velikih dimenzija i velike težine, često “oboružani” masivnim šiljcima. No promotrimo li oblike koji im prethode, a koje su ustvari imali u vidu autori poput Parra, Zemera, Wooda, Leonarda ili Gornyja, ustanovit ćemo da su najranije amfore, tzv. “kanaanski vrčevi”, čija masovna proizvodnja na sirijsko-palestinskom području započinje u vrijeme srednjega brončanoga doba<sup>6</sup>, visoke tek oko 50 cm i da nemaju izraženi šiljak, već je na konično suženo tijelo dodana tek lagano zaobljena baza. Tijekom kasnoga brončanoga doba II A i II B, na suženoj se bazi pojavljuje čepasto ojačanje (sl. 7.).

Prema mišljenju R. Amirana, “kanaanski vrčevi” pojavljuju se u trenutku kada politička situacija utječe na intenziviranje međunarodne trgovine, a razvoj jedrenja otvorenim morem olakšava pomorski prijevoz robe (AMIRAN, 1969., 170.-172.). Ova činjenica vrlo je važna za našu temu, jer razvoj pomorske trgovine svakako je zahtijevao poglavito izdržljivu, a tek potom i oblikom prilagođenu ambalažu.

5 Misli se na pritisak koji proizvodi sadržaj posuda.

6 Smatra se da transportne posude zaobljenoga dna potječu s područja južne Mezopotamije, odakle su na prijelazu iz ranoga u srednje brončano doba preneseni na područje Sirije i Palestine, gdje su do tada u upotrebi bile isključivo posude ravnoga dna. Ova se promjena primjećuje nešto nakon 2000. g. pr. Kr. Usp. MCGOVERN, 2003., 110 i LEONARD Jr., 1996., 239., gdje je citirana mjerodavna literatura.



Sl. 7. Razvoj kanaanskih vrčeva (iz LEONARD Jr., 1996., djelomično utemeljeno na AMIRAN, 1969.)

Fig. 7 The development of Canaanite jars (from LEONARD Jr., 1996, partially based on AMIRAN, 1969)

“Kanaanski vrčevi”, upotrebljavani u trgovini Eufratom prema Mezopotamiji, a Sredozemnim morem prema Egiptu i miken-skim svijetu, uskoro su postigli veliku popularnost, te su ih i Egipćani preuzeli za prijevoz i pohranu vina. Iz njih se početkom 1. tisućljeća pr. Kr. razvijaju feničke amfore, a tijekom 8. st. pr. Kr. ideju prihvaćaju i Grci koji ih zajedno s Feničanima prenose u zapadno Sredozemlje. U 7. st. ondje ih preuzimaju Etruščani, višestoljetni feničanski saveznici. Njihove amfore više nego ikoje podsjećaju na svoje kanaanske prethodnice, a iz grčkih se oblika razvijaju velikogrčki i masaliotski tipovi. Grčke amfore preuzima ubrzo i starosjedilačko, italsko stanovništvo, pa nastaju tzv. grčko-italski ili velikogrčki tipovi (VANDERMERSCH, 1994.), a zatim i čitav niz originalnih rimskih oblika proizvedenih na području Italije i zapadnih rimskih provincija (PEACOCK, WILLIAMS, 1986.). U istočnom Sredozemlju i dalje se zadržavaju i razvijaju grčki i fenički oblici, a njihov razvoj završava bizantskim i islamskim amforama koje već pripadaju razdoblju srednjega vijeka.

U izradi keramičkoga posuda oblik amfore zadržao se sve



Sl. 8. Tunis, 1991., amfora u suvremenoj upotrebi (foto: Ž. Sinovčević).

*Fig. 8 Tunis, 1991, amphora in contemporary use (photo by Ž. Sinovčević)*

do naših dana. U nekim krajevima takve se posude upotrebljavaju isključivo u dekorativne svrhe, a u drugim, poput južne Italije ili sjeverne Afrike, još se i danas nalaze u svakodnevnoj upotrebi (CUOMO DI CAPRIO, 1982.). Nisu to više amfore namijenjene pomorskom ili riječnom transportu, pa se i oblik prilagodio suvremenoj upotrebi (sl. 8.).

No iako su dvije nasuprotne ručke osnovno obilježje svih amfora, na što nas upućuje značenje njihova naziva, indirektno bi im prethodnice - u smislu ideje o čvršćoj posudi, otpornijoj na udarce i time prikladnijoj za prijenos ili prijevoz proizvoda - trebalo možda prepoznati u posudama zaobljenoga ili zašiljenoga dna bez drški, koje se u Egiptu pojavljuju već tijekom 4. tisućljeća pr. Kr., u preddinastičkom razdoblju (REEVES, 2001., 95.) te u vrijeme najranijih egipatskih dinastija (JAMES, 1996.), (sl. 9.).

Među objavljenim rezultatima arheoloških istraživanja brončanodobnog naselja Poliochni na grčkom otoku Lemnosu u Egejskom moru, možemo primjetiti da se u tzv. "žutom razdoblju", koje kronološki odgovara kasnoj Troji II tj. ranom brončanom dobu I i II ili vremenu nakon 2500. g. pr. Kr., pojavljuju posude zaobljenoga dna koje podsjećaju na kasnije, već spomenute, "kanaanske vrčeve" (sl. 10.a) (BERNABÒ-BREA, 1976., T. CCXIII/a), a poneke čak i na amfore u punom smislu riječi (sl. 10.b) (BERNABÒ-BREA, 1976., T. CCXIV/a). I sami su ih istraživači nazivali amforama i svrstali u nekoliko skupina (BERNABÒ-BREA, 1976., 268.-279.). S obzirom da su u istom sloju pronađene i brojne posude ravnoga dna, u obliku pitosa različitih dimenzija, namijenjene skladištenju namirnica, samo se od sebe nameće pitanje zašto je bilo potrebno proizvesti posudu koja ne



Sl. 9. Egipatski muzej, Torino, posuda iz preddinastičkog razdoblja (iz DONADONI ROVERI, 1990.)

*Fig. 9 Egyptian Museum, Turin, a vessel from the Predynastic period (from DONADONI ROVERI, 1990)*



Sl. 10. Poliochni, "periodo giallo", ranobrončanodobne amfore (iz BERNABÒ-BREA, 1976.)

*Fig. 10 Poliochni, "periodo giallo", Early Bronze Age amphorae (from BERNABÒ-BREA, 1976)*

može samostalno stajati. Voditelj iskopavanja, a ujedno i koordinator publikacije, L. Bernabò-Brea, izričito navodi da je riječ o razvojnoj fazi naglog procvata naselja u kojemu, za razliku od kraljevske rezidencije Troje, prevladava trgovačka aristokracija. Poliochni, prema njegovu mišljenju, u to vrijeme predstavlja jedno od najvažnijih središta sjeverne Egeje (BERNABÒ-BREA, 1976., 11., 13.), a kako je riječ o otoku u Egejskom moru, trgovina se nužno odvija morskim putem. Kao što znamo, svaki prijevoz robe, naročito pomorski, zahtijeva izdržljivu ambalažu, otpornu na udarce prilikom ukrcaja, iskrcaja ili samoga prijevoza (koji u slučaju nemirnoga mora postaje odista nemali problem.

Ovi nalazi, koliko je poznato, nisu do sada spominjani u literaturi u kojoj se razmatra geneza amfora, a kako su najmanje pola tisućljeća stariji od “kanaanskih vrčeva”, trebalo bi ih svakako uzeti u obzir.



Sl. 11. Teba, grobnica br. 38, XVIII. dinastija (oko 1410. g. pr. Kr.), detalj prikaza pripreme za slavlje s posudom zaobljenog dna ukrašenom viticama vinove loze (iz WESTENDORF, 1969.)

Fig. 11 Thebes, Tomb no. 38, 18<sup>th</sup> Dynasty (ca. 1410 BC), detail from a presentation of preparations for a celebration with a rounded-bottom vessel decorated with vine tendrils (from WESTENDORF, 1969)

U Egiptu, gdje je trgovina vezana uz veliku rijeku, a uzgoj loze dokazan već u preddinastičkom razdoblju, u vrijeme Novoga kraljevstva (1543.-1078. g. pr. Kr.) dosegnut je vrhunac političke moći na istoku. Tada se primjećuje i nagli razvoj vinogradarstva u području delte, te intenzivna trgovina Nilom prema ostalim dijelovima kraljevstva (sl. 11.). Zahvaljujući zidnom slikarstvu i arheološkim nalazima moguće je u detalje rekonstruirati pojedine faze proizvodnje vina. Ono što nas u ovom trenutku zanima jest završna faza proizvodnje, kad se nakon vrenja koje se zbilo u velikim posudama ravnoga dna vino pretače u “izdužene, šiljate putne žare s ručkama i uskim grlom” (MONTET, 1979., 107.) tj. praktične i već široko prihvaćene “kanaanske vrčeve” (sl. 12.).

Iz tih primjera mogli bismo zaključiti da se zaobljeno ili zašiljeno dno pojavljuje poglavito na ambalažnim keramičkim posudama namijenjenim prijevozu proizvoda morem ili unutrašnjim vodama.

### III. FUNKCIJA ŠILJATOGA DNA AMFORA

Najraniji primjerci ambalažnih posuda koje nemaju ravno dno, uključujući izravne prethodnice raznolikih grčkih i rimskih tipova amfora, još nemaju masivni izduženi završetak dna u obliku šiljka, ali on polako nastaje. Taj izum, ako se promatra samo njegov konični oblik, čini se vrlo podesnim za ugaravanje u pijesak ili za lakši prihvat posude prilikom njezina pražnjenja. Promatra li se, međutim, razvoj tijekom tisućljeća, otkriva se da je glavni razlog njegova nastanka očvršćivanje ambalažne posude, koja je morala odolijevati sve jačim opterećenjima u prijenosu i prijevozu, posebno u predjelu dna (sl. 13, 1.-7.).

Već spomenuta prilagodljivost dna neravnim podlogama također je od velikoga značenja, ne samo radi stabilnosti položaja u koji se posuda postavlja, već i radi zaštite od njezina loma. Kamenčić ili neravnina o koju bi udarilo ravno dno posude izazvali bi u mnogim slučajevima njezin lom, što je dobrim dijelom izbjegnuto optimalnim smanjenjem i zaobljavanjem površine koja dolazi u dodir s podlogom.

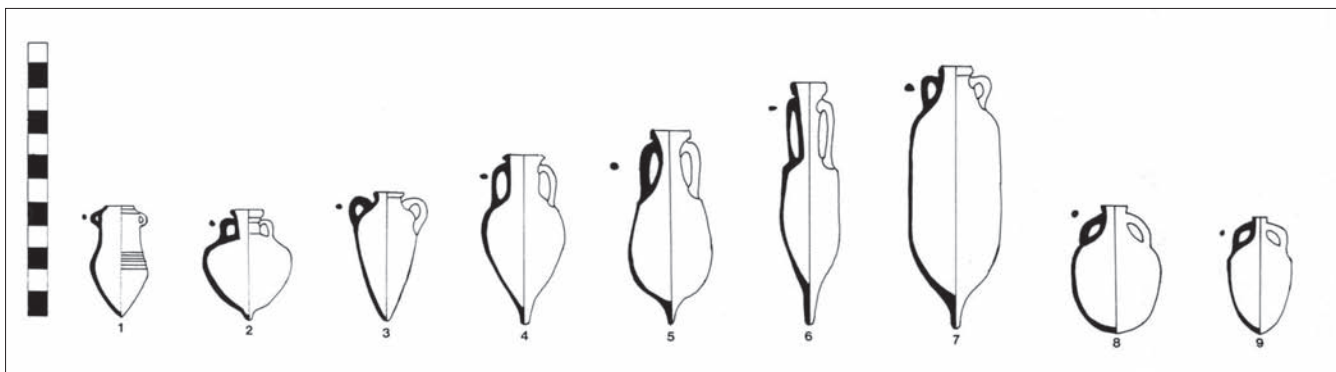
Čepasti nastavak koji se prvi put pojavljuje već na razvijenim varijantama “kanaanskih vrčeva”, a kasnije i na grčkim i masaliotskim oblicima, bio je dodatno ojačanje koje je štitiло bazu i na sebe preuzimalo glavno opterećenje prilikom udarca. Dimenzije amfora u početku ne prelaze 50-60 cm, no postupan porast njihove veličine, koji uz porast kapaciteta uzrokuje porast težine, glavni je razlog što se na dno počinje dodavati masivni izduženi šiljak radi pojačane zaštite od udara. U rano carsko doba amfore već dosižu visinu od oko 100 cm, pa je pritisak na bazu toliko pojačan, da bez odgovarajuće zaštite one više ne bi predstavljale dobru i pouzdanu ambalažu.<sup>7</sup> U slučaju jačega udarca prvi je stradavao šiljak koji se u nekoliko navrata mogao odlamati, a da sadržaj posude još uvijek ostane zaštićen. Naravno, izduženi šiljak bio je pogodan i za druge svrhe, ali vjerojatno tek sekundarno, jer je pouzdana ambalažna funkcija, tj. zaštita sadržaja posude bila na prvome mjestu.

7 Tko je ikada pokušao podići tešku i nezgrapnu amforu tipa Dressel 6A, vjerojatno je primijetio da je pri spuštanju šiljak bio od velike koristi.



Sl. 12. Teba, grobnica br. 52, XVIII. dinastija, detalj prikaza berbe i proizvodnje vina; u gornjem dijelu prikazani su "kanaanski vrčevi" (iz GRACE, 1979.)

Fig. 12 Thebes, Tomb no. 52, 18<sup>th</sup> Dynasty, detail from a presentation of grape harvest and wine production; the upper part presents "Canaanite jars" (from GRACE, 1979)

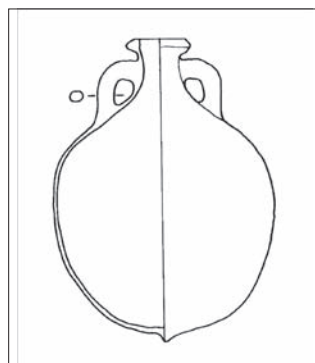


Sl. 13. Kronološki izbor oblika amfora: 1) fenička amfora, 7. st. pr. Kr.; 2) korinška amfora, VI.-II. st. pr. Kr.; 3) etruščanska amfora tipa Py 3B, 7. st. pr. Kr.; 4) grčko-italska ili velikogrčka amfora tipa MGS IV, 4.-3. st. pr. Kr.; 5) italska amfora tipa Lamboglia 2, 1. st. pr. Kr.; 6) italska amfora tipa Dressel 1b, 2.-1. st. pr. Kr.; 7) sjevernoafrička amfora tipa Africana grande (I), 2.-5. st. po. Kr.; 8) egejska amfora tipa Late Roman 2, 4.-7. st. po. Kr.; 9) istočnomediterranska amfora tipa Late Roman 1, 5.-7. st. po. Kr.

Fig. 13 A chronological selection of amphora shapes: 1) Phoenician amphora, 7<sup>th</sup> century BC; 2) Corinthian amphora, 6<sup>th</sup>-2<sup>nd</sup> century BC; 3) Etruscan Py 3B amphora, 6<sup>th</sup> century BC; 4) so called Graeco-Italic MGS IV amphora, 4<sup>th</sup>-3<sup>rd</sup> century BC; 5) Italic Lamboglia 2 amphora, 1<sup>st</sup> century BC; 6) Italic Dressel 1b amphora, 2<sup>nd</sup>-1<sup>st</sup> century BC; 7) North-African Africana Grande (I) amphora, 2<sup>nd</sup>-5<sup>th</sup> century AD; 8) Aegean Late Roman 2 amphora, 4<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> century AD; 9) East Mediterranean Late Roman 1 amphora, 5<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> century AD

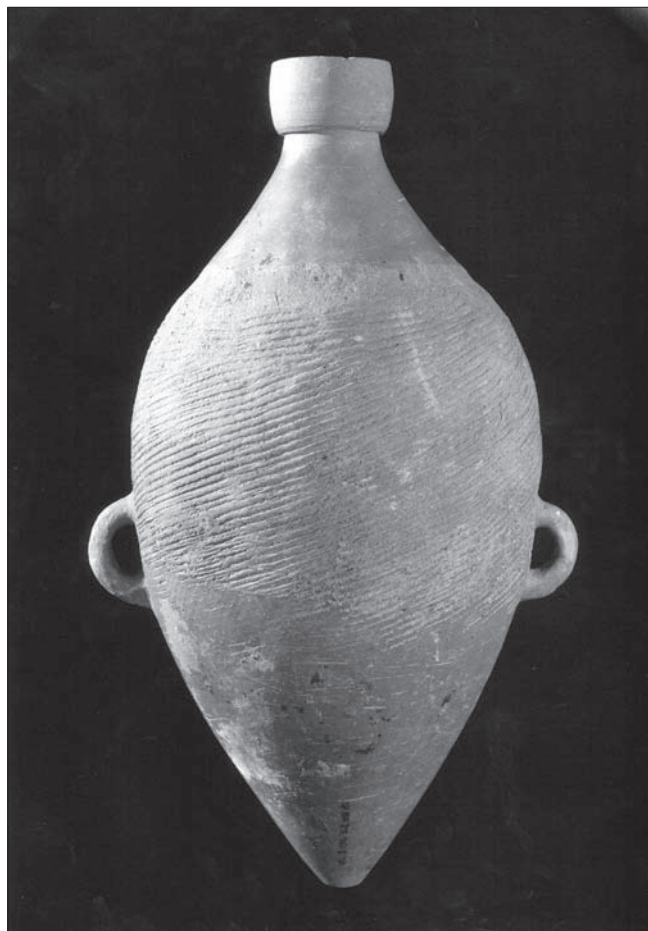
Feničke i punske amfore ostale su većinom vjerne zaobljenom ili konično zašiljenom dnu tijekom čitavog 1. tisućljeća pr. Kr., a ideja šiljka dosljedno je primijenjena tek na rimskodobnim sjevernoafričkim cilindričnim amforama (sl. 13., 7). Etruščani koji su osnovnu ideju amfore preuzeli od Feničana, također su ostali vjerni zaobljenim i konično zašiljenim oblicima, uglavnom manjih dimenzija (sl. 13., 3).

Proizvodnja rimskih globularnih amfora tipa Dressel 20 vjerojatno je predstavljala pokušaj rješavanja problema djelovanja sila u svim smjerovima novim oblikom sličnim izrazito otpornom obliku kugle (sl. 14.), na kojoj je dodatkom maleno-



Sl. 14. Globularna hispanka amfora tipa Dressel 20, vis. 75 cm (crtež preuzet iz CARAVALE, TOFFOLETI, 1997.)

Fig. 14 Globular Hispanic Dressel 20 amphora, 75 cm in height (drawing taken from CARAVALE, TOFFOLETI, 1997)



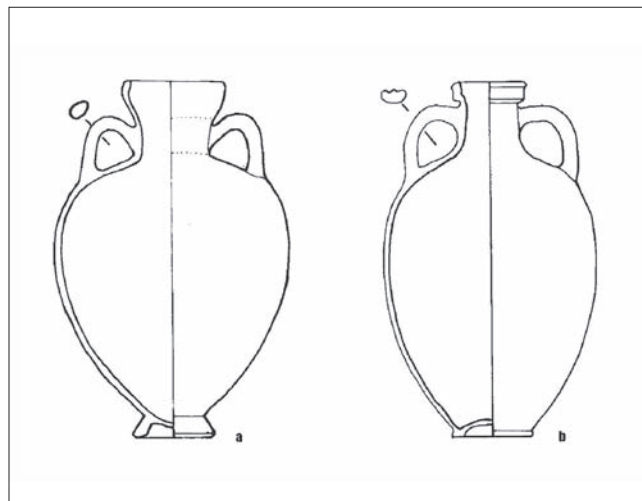
Sl. 15. Banpo, Kina, neolitička posuda ping (iz - BANPO, 1995.)

*Fig. 15 Banpo, China, a Neolithic ping vessel (from - BANPO, 1995)*

ga šiljka također izbjegnuto ravno dno sa svim svojim nedostacima. Raznoliki oblici odražavaju domišljatost proizvođača koji su amfore nastojali ne samo prilagoditi njihovu osnovnom sadržaju i rastućim potrebama na tržištu, već ih učiniti i što otpornijom ambalažom.

Da je ideja o ovom obliku znatno starija, pokazuje nam jedan zanimljiv primjer. To je posuda koja po svim svojim obilježjima odgovara nazivu amfora (sl. 15.). Sličnost je velika, čak do te mjere da je u nekoliko općenitih povijesnih pregleda i atlasa ona i nazvana tim imenom. Pravo joj je ime, međutim, ping i potječe iz kineske neolitičke kulture Yangshao, iz 6. tisućljeća pr. Kr. (BANPO, 1987.). I jedna od neolitičkih posuda iz 7. tisućljeća pr. Kr., pronađenih na nalazištu Jiahu u kineskoj provinciji Henan, koje su sadržavale ostatke najstarijega do sada pronađenoga fermentiranoga pića, također osnovnom koncepcijom neobično podsjeća na najstarije egejske primjerke (MCGOVERN, 2003., Pl. 16.). Iako, naravno, ne možemo ni na koji način povezivati kineske neolitičke nalaze s amforama Sredozemlja, ipak se može zaključiti da je riječ o vrlo staroj ideji kako proizvesti otporniju i čvršću posudu u trenutku kada se za njom pojavi potreba.

Zanimljivo je da i većina tzv. amfora ravnoga dna također na neki način poštuje opisani način zaštite od loma. U mnogim slučajevima nije ustvari riječ o ravnom dnu, već je na su-



Sl. 16. Načini zaštite od loma tzv. "ravnog dna": a) antička SOS amfora, 8.-6. st. pr. Kr.; b) amfora tipa Oberaden 74, I. st.; vis. 65 cm (crteži preuzeti iz CARVALE, TOFFOLETI, 1997.)

*Fig. 16 Methods of protecting the so-called "flat base" against fractures: a) antique SOS amphora, 8<sup>th</sup>-6<sup>th</sup> century BC; b) Oberaden 74 amphora, 1<sup>st</sup> century, 65 cm in height (drawings taken from CARVALE, TOFFOLETI, 1997)*

ženo i zaobljeno ili zašiljeno dno dodan prsten koji amforama omogućuje samostalno stajanje (sl. 16.a). U nekim slučajevima zaštita je izvedena na obrnut način – dno je uvučeno kako bi se izbjegla ravna površina koja se pri udarcu lako lomi (sl. 16.b). Na sličan način zaštićujemo i danas neke posude poput npr. staklenih boca kojima je uvlačenje dna proporcionalno kvaliteti tekućine koja se u njih puni.

Uz gred spomenimo još jednu pojedinost. Razmišljajući o konusnoj unutrašnjosti posuda nastaloj dodavanjem šiljka i nerijetko zamjećujući nakupine smole koje ne izgledaju kao da su se slile niz stijenke posude prilikom smoljenja njihove unutrašnjosti, može se pomisliti na taloženje smole, a tako i ostalih primjesa ili nečistoća iz najčešće transportiranih tekućina, vina i ulja. Talozenje u koničnom završetku, umjesto po širokom, ravnom dnu omogućuje da se maksimalno izbjegne miješanje taloga s čistom tekućinom ukoliko se tekućina vadi pomoću pipete ili na neki drugi način koji ne zahtijeva pomicanje posude. U početku su spomenuti otvori pri dnu, koje je A. Zemer uočio na brojnim amforama (ZEMER, 1977., 116.). S obzirom na nepostojanje odgovarajućeg objašnjenja njegove su pretpostavke raznolike i maštovite, no najbliža istini najvjerojatnije je ona preuzeta iz Talmuda, u kojem se spominje metoda bušenja rupe u stijenci posude ukoliko nije potrebno istočiti čitav njezin sadržaj. U tom se slučaju nakon vađenja potrebne količine tekućine otvor zatvara drvenim ili nekim sličnim čepom, pa nije potrebno ukloniti zapečaćeni poklopac i time ugroziti kvalitetu proizvoda. Slični su otvori prisutni i na našim nalazima, a pažljivijim pregledom materijala vjerojatno bi se pronašlo i više probušenih primjeraka. Kao najbolja potvrda namjene ovih otvora mogla bi poslužiti posuda koja se i dan danas proizvodi u Apuliji pod nazivom *capasone*, a koja pri dnu već u fazi izradbe posjeduje predviđeno mjesto za otvor i pričvršćivanje drvene slavine (CUOMO DI CAPRIO, 1982., 201., sl. 339.), (sl. 17.).





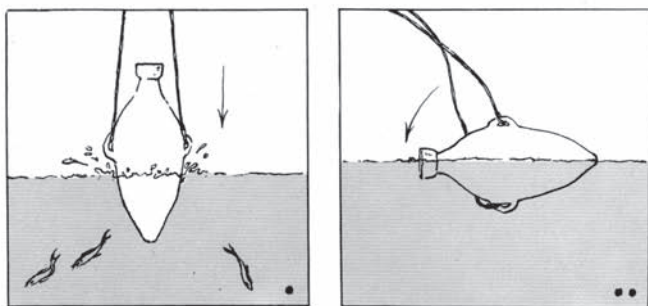
Sl. 17. Apulija, *capasone* - oblik amfore s predviđenim izljevom pri dnu (iz CUOMO DI CAPRIO, 1982.)

Fig. 17 Apulia, *capasone* – the amphoral form with a discharge opening envisaged near the bottom (from CUOMO DI CAPRIO, 1982)

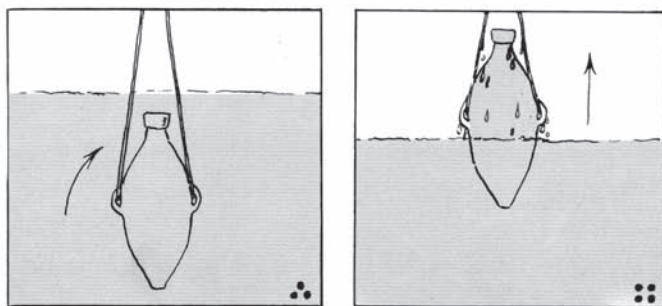


Sl. 19. Tunis, 1991., posude zašiljenog dna namijenjene hvatanju hobotnica (foto Ž. Sinovčević)

Fig. 19 Tunisia, 1991, vessels designed for octopus hunting (photo by Ž. Sinovčević)



18. Rekonstrukcija pretpostavljenog načina upotrebe kineske neolitičke posude *ping* (iz BANPO, 2001.)



18. Reconstruction of the assumed use of the Chinese Neolithic *ping* vessel (from BANPO, 2001.)

U posljednje vrijeme potvrđena je upotreba širokih posuda zašiljenoga dna u najranijoj proizvodnji vina na Bliskom istoku, pri čemu je oblik dna uvjetovan upravo taloženjem.<sup>8</sup> U svakom slučaju, ukoliko pretpostavka o taloženju vrijedi i za amfore, tada je ipak vjerojatno riječ samo o posljedici, a ne i o uzroku zašiljenoga dna amfora.

Prema kraju antike i u ranom srednjem vijeku ponovo se smanjuju dimenzije amfora, zaštitni šiljak postaje nepotreban, pa su bizantski primjerci često iznova opremljeni jajoliko zaobljenim dnom, poput brončanodobnih posuda koje stoje na samom početku njihove razvojne linije.

Još je jedna potreba već u davnoj prošlosti navela ljude na proizvodnju posuda zašiljenoga dna. Ona nema izravne veze s našom temom, ali ju spominjemo kao drugi zanimljivi primjer drevne ljudske domišljatosti, koji možemo pratiti putem arheoloških nalaza i etnoarheoloških usporedbi. Zašiljena dna posuda primjećujemo u nekim slučajevima kada je potrebno posude uranjati u vodu i iz nje ih vaditi. Nalazimo ih, na primjer, pričvršćene na konope ili štapove, namijenjene vađenju vode iz rijeka ili bunara, za što je možda korištena i već spomenuta posuda *ping* (sl. 18.), pričvršćene na vodenička kola ili nanizane na konope i korištene za lov na hobotnice (sl. 19.). Zašiljeno dno pridonosi

u ovim slučajevima hidrodinamičkom obliku posuda koji olakšava njihovo uranjanje i vađenje, a u slučaju vodeničkoga kola usmjerava vodu u sljedeću posudu, sprječavajući nastanak vrtloženja koje bi to onemogućilo. Stoga sekundarno upotrijebljeni “kanaanski vrčevi” na koje je upozorio Leonard Jr., prikazani na egipatskoj zidnoj slici (LEONARD Jr., 1996., 251.) možda ipak ne predstavlja ju puko recikliranje oštećenih recipijenata, već namjerno odabranu posudu koja pri vađenju vode pruža najmanji otpor, zahtijevajući tako i najmanju energiju.<sup>9</sup>

Željeli bismo na kraju istaknuti da smo znanstvenu potvrdu značenja oblika amfora za njihovu čvrstoću dobili u Zavodu za brodogradnju i pomorsku tehniku Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu, gdje su akademik Ivo Senjanović, voditelj Katedre za konstrukciju plovniha objekata i njegov asistent mr. sc. Smiljko Rudan, uz pomoć dr. sc. Janeza Indofa koji je odredio fizikalne značajke keramičkoga materijala, kompjutorskim modeliranjem u programu SESAM, zorno prikazali raspored naprezanja i posljedice koje izazivaju opterećenja različitog intenziteta i usmjerenja na nekoliko karakterističnih tipova. Ovaj je pokušaj bio tek početak proučavanja čvrstoće amfora koji će, nadajmo se, potaknuti buduće, složenije analize.

8 Usmeni podatak M. R. Belgiorno.

9 Pokušaj rekonstrukcije upotrebe već spomenute kineske neolitičke posude *ping* i ovom bi predmetu mogao pružiti slično objašnjenje.

#### IV. ANALIZA ČVRSTOĆE AMFORA NUMERIČKIM MODELIRANJEM U PROGRAMU SESAM<sup>10</sup>

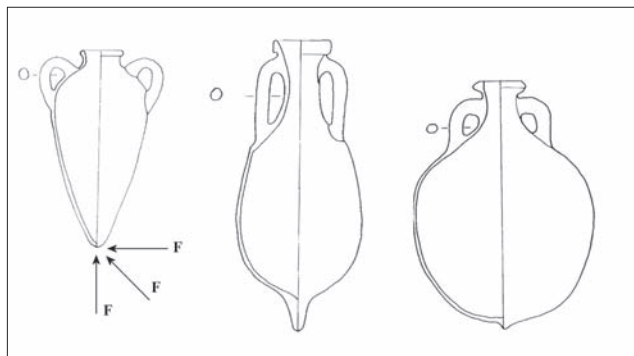
##### IV.1. Ispitivanje materijala

Za potrebe provođenja analize čvrstoće potrebno je poznavati fizikalne značajke materijala. Amfore su izrađene od keramike različitoga mineralnog sastava, ovisno o mjestu proizvodnje (SLOVENEC et al., 1991.) pa su stoga fizikalne značajke materijala ovisne o vrsti keramike od koje su izrađeni pojedini primjerci.

U nedostatku već gotovih podataka u razmatranje je uzet uzorak amfore tipa Lamboglia 2 iz Jadranskoga mora (sl. 2.).<sup>11</sup> Iz njega su izrezane dvije skupine od po tri epruvete. Prva skupina, s oznakom epruveta 1, 2 i 3, odnosi se na dio uzorka amfore koji je čitavo vrijeme bio zabijen u pijesak, dok je druga skupina, s oznakom epruveta 4, 5 i 6, izrezana iz dijela koji se nalazio izvan pijeska (sl. 3.).

Fleksijska čvrstoća  $R$  i fleksijski modul elastičnosti  $E$  (Youngov modul) određeni<sup>ms</sup> su prema DIN 53452 odnosno DIN 53457 normama. Ispitivanje je provedeno pomoću univerzalnog stroja za ispitivanje polimera, unutar područja ispitne sile od 0 do 1000 N, dok je odgovarajuće narinuto opterećenje određeno proračunom. Koncentrirana sila  $F$  na sredini raspona opteretila je mjernu epruvetu kao slobodno oslonjenu gredu. Razmak oslonaca epruvete iznosio je 160 mm. Dimenzije epruvete, tj. njena debljina  $a$  i širina  $b$  izmjerene su na mjestu prijeloma.

Rezultati ispitivanja navedeni su u tablici 1. za svaku epruvetu posebno. Izračunata je također i prosječna vrijednost  $R$  i  $E$  za svaku skupinu epruveta, izrezanih iz dijela amfore<sup>ms</sup> odležanog u pijesku i izvan njega. Može se uočiti da je debljina dijela amfore izvan pijeska nešto veća zbog obrastanja školjkama. Unatoč tome fleksijska čvrstoća i modul elastičnosti ovog dijela amfore reducirani su za 8 posto odnosno 4 posto. Također, veće rasipanje izmjerenih rezultata može se uočiti za dio amfore koji se nalazio izvan pijeska. Ova činjenica zahtijeva provođenje pomnije analize. Međutim, iz postojeće raščlambe može se izvući opći zaključak da je materijal amfore mnogo bolje očuvan, ako je ona većinu vremena provela u pijesku.



Sl. 1. Izbor iz tipologije sredozemnih amfora (1. etrušćanska amfora tipa Py 3B; 2. rimska vinska amfora tipa Lamboglia 2; 3. rimska uljna amfora tipa Dressel 20)

Fig. 1 Selection from the typology of Mediterranean amphorae (1: Etruscan Py 3B amphora; 2: Roman Lamboglia 2 wine amphora; 3: Roman Dressel 20 oil amphora)



Sl. 2. Ispitni uzorak amfore

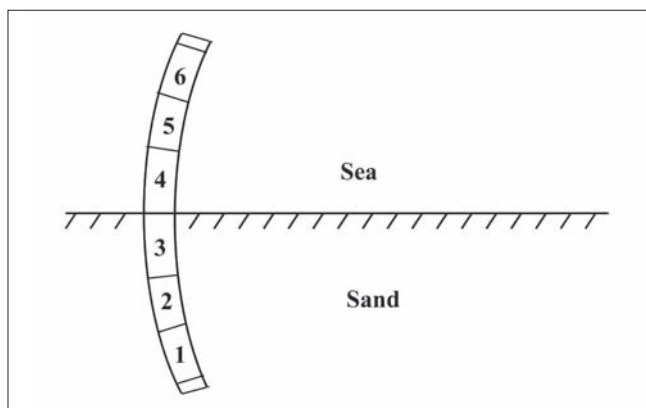
Fig. 2 The tested amphora specimen

Stanje	Epruveta	Debljina $a$ [mm]	Širina $b$ [mm]	Sila $F_{\max}$ [N]	Čvrstoća $R_{ms}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Youngov modul $E$ [N/mm <sup>2</sup> ]
U pijesku	1	13.4	24.9	152	8.16	8689
	2	13.3	24.2	164	9.19	6443
	3	14.5	23.4	163	7.95	9570
	Prosjek				<b>8.44</b>	<b>8234</b>
Izvan pijeska	4	16.6	25.5	214	7.31	6279
	5	17.1	25.0	240	7.88	5623
	6	14.0	24.2	160	7.09	11792
	Prosjek				<b>7.76</b>	<b>7898</b>

Tablica 1. Mehaničko ispitivanje materijala amfore

<sup>10</sup> Engleska verzija ovoga dijela članka, popraćena kraćim arheološkim napomenama, predana je u prosincu 2003. g. u tisak u časopis *Brodogradnja*.

<sup>11</sup> Zahvaljujemo ravnateljici Arheološkog muzeja Istre u Puli, dr. sc. Kristini Mihovilić, na ustupljenom ulomku amfore iz muzejskog depoa.



Sl. 3. Izrezivanje ispitnih epruveta

Fig. 3 Test sample cutting

#### IV. 2. Proračun čvrstoće

Kao što je navedeno, načinjen je proračun čvrstoće triju originalnih amfora i jedne hipotetički modificirane amfore. Tipične amfore različitih oblika odabrane su iz literature (PEACOCK, WILLIAMS, 1986.; CARVALE, TOFFOLETTI, 1997.), u dogovoru s I. Radić Rossi koja je svojim proučavanjem podrijetla šiljatoga dna amfora potakla našu analizu. Debljina njihovih stijenki određena je približno na osnovi raspoloživih skica. U svim razmatranim slučajevima uzete su u obzir sljedeće vrijednosti fizikalnih značajki:

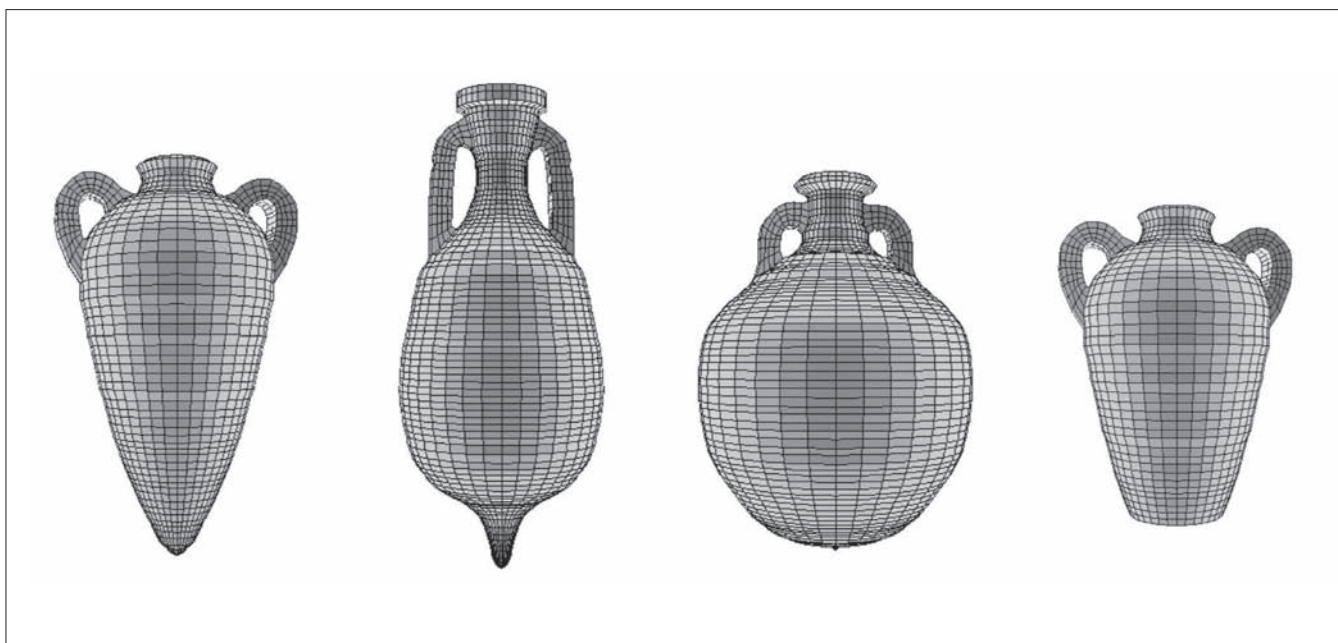
Youngov modul	$E = 8000 \text{ N/mm}^2$
Poissonov koeficijent	$\nu = 0.2$
Fleksijska čvrstoća	$R_{ms} = 8 \text{ N/mm}^2$
Gustoća keramike	$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$

U stvarnosti amfore se uglavnom oštećuju tijekom rukovanja, udarcem o kruti predmet. S gledišta mehanike, ovakav problem razmatra se u okviru prolaznih vibracija uzrokovanih impulsnom uzbudom i mehanikom loma. U ovom članku, kao prvi pokušaj, provedena je samo statička analiza čvrstoće zbog svoje jednostavnosti. Primijenjena je vrlo dobro poznata metoda konačnih elemenata (ZIENKIEWICZ, 1971.; BATHE, 1996.; SENJANOVIĆ, 1998.), pri čemu je upotrijebljen programski paket SESAM (SESAM, 2003.).

Metoda konačnih elemenata je numerički postupak rješavanja fizikalnih problema u kojem se kontinuum diskretizira u male, ali konačne elemente. Pripadne diferencijalne jednačbe koje opisuju promatranu fizikalnu pojavu na području kontinuum, svode se na sustav algebarskih jednačbi pogodnih za rješavanje na računalo.

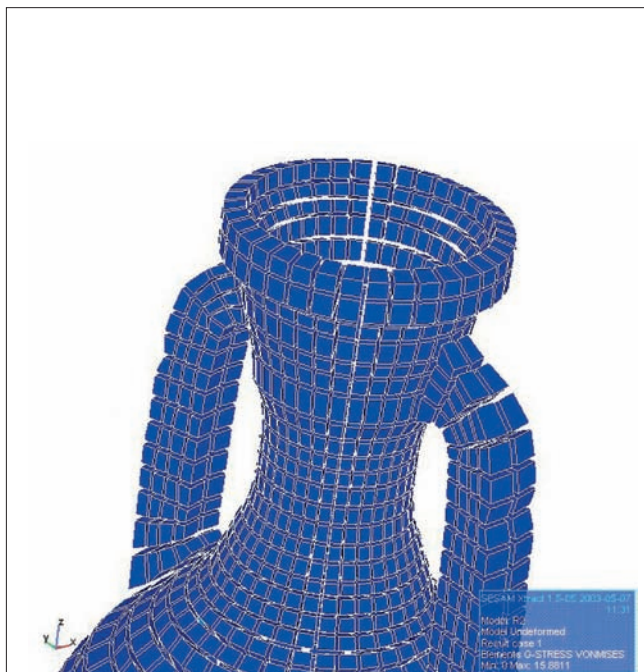
Sva svojstva konačnih elemenata prenose se na njegove čvorove, uz uvjet očuvanja energije. Nadalje se konačni elementi spajaju, tj. njihove jednačbe se međusobno sprežu uz zadovoljenje uvjeta ravnoteže čvornih sila i jednakosti pomaka (kompatibilnosti) čvorova, ako je promatrani kontinuum neka konstrukcija. Nakon rješavanja sustava algebarskih jednačbi koji predstavlja pomake čvorova konstrukcije, na razini konačnih elemenata određuju se komponente naprezanja u svakom elementu.

Svoju primjenu metoda konačnih elemenata pronašla je u svim granama tehnike: građevinarstvu, strojarstvu, brodogradnji, zrakoplovstvu i elektrotehnici. Osnovna ideja potekla je od matematičara, a inženjeri su je razvijali u praktičan alat paralelno s razvojem računala. Neki od primjera primjene metode konačnih elemenata su određivanje naprezanja u konstrukcijama (mostovi, brodovi, zrakoplovi, zgrade), određivanja valnog opterećenja na brodske i pomorske konstrukcije, strujanja tekućina u cjevovodima, širenje topline u termodinamici i magnetskih polja u elektrotehnici i dr.



Sl. 4. Modeli konačnih elemenata amfora (1. tip Py 3B; 2. tip Lamboglia 2; 3. tip Dressel 20; 4. hipotetički tip Py 3B s ravnim dnom)

Fig. 4 Models of finite amphora elements (1. Py 3B type; 2. Lamboglia 2 type; 3. Dressel 20 type; 4. hypothetical Py 3B type with a flat bottom)



Sl. 5. Detalj mreže volumenskih konačnih elemenata, model 2

*Fig. 5 A detail from the finite volume element grid, Model 2*

Budući da amfore imaju relativno debele stijenke korišteni su volumenski, odnosno heksaedronski i prizmatični elementi. Nadalje, razmatrana su tri slučaja opterećenja, tj. koncentriranom silom od 2000 N na šiljku dna amfore u vertikalnom smjeru, zatim silom istoga intenziteta u horizontalnom smjeru, okomitom na ravninu ručki i kosom silom pod kutom od 45°. U pogledu rubnih uvjeta pretpostavljena je upetost ručki amfore.

Mreža konačnih elemenata razmatranih amfora prikazana je na sl. 4., dok se detaljan uvid u volumenske konačne elemente može steći na sl. 5. Značajke modela konačnih elemenata amfora navedene su u tablici 2.

Značajke	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Visina amfore, mm	500	900	780	400
Debljina stijenke, mm	8	12	11	8
Broj konačnih elemenata	2200	3552	2932	1912
Heksaedronski	2164	3120	2860	1876
Prizmatični	36	432	72	36
Broj čvorova	4352	6262	5744	3776
Broj stupnjeva slobode	13056	18786	17232	11328
Specifični (fiksni)	1530	1440	990	1530
Unutarnji (slobodni)	11526	17346	16242	9798

Tablica 2. Značajke modela konačnih elemenata amfora

Numerički proračun čvrstoće metodom konačnih elemenata obuhvaća generiranje mreže i svojstava konačnih elemenata, oblikovanje modela sustava s matricom krutosti i vektora opterećenja, određivanje pomaka čvorova i povratak na razinu konačnih elemenata za određivanje komponenata naprezanja, tj. normalnih i smičnih naprezanja. Za potrebe korelacijske analize naprezanja određuje se poredbeno von Misesa naprezanje za vanjsku i unutarnju plohu stijenke amfore. Raspodjela naprezanja von Misesa za svaki promatrani model amfore i svaki slučaj opterećenja prikazana je na slikama 6., 7., 8. i 9. U svakom od promatranih modela vertikalna sila uzrokuje visoka naprezanja u okolišu točke djelovanja. Horizontalna sila inducira visoka naprezanja na vrhu dna i u okolini upetih ručki kao posljedice rezultirajućeg momenta savijanja. Raspodjela naprezanja u slučaju djelovanja kose sile predstavlja u biti linearnu kombinaciju rezultata iz prethodne dva slučaja opterećenja.

Za potrebe korelacijske analize, navedene su u tablici 3. maksimalne vrijednosti naprezanja von Misesa za svaki model amfore i svaki slučaj opterećenja.

Opterećenje	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Primjedba
$F_v$	4.92	5.40	5.84	8.68	dno
$F_h$	9.48	9.68	5.40	6.56	ručke
$F_{45}$	10.00	8.00	6.12	5.92	

Tablica 3. Maksimalne vrijednosti naprezanja von Misesa,  $\sigma_{eq}$  [N/mm<sup>2</sup>]

Razvidno je da je u slučaju vertikalnog opterećenja najniže naprezanje dobiveno u amfori konusnog oblika dna (model 1). Horizontalna sila uzrokuje manje naprezanje u ovalnoj amfori, (model 3). Međutim, ravno dno hipotetičke amfore, (model 4), pokazuje se kao najnepovoljnije u slučaju djelovanja vertikalne sile. S druge strane, šiljak dna uspješno štiti amfore veće zapremnine od oštećenja (model 2).

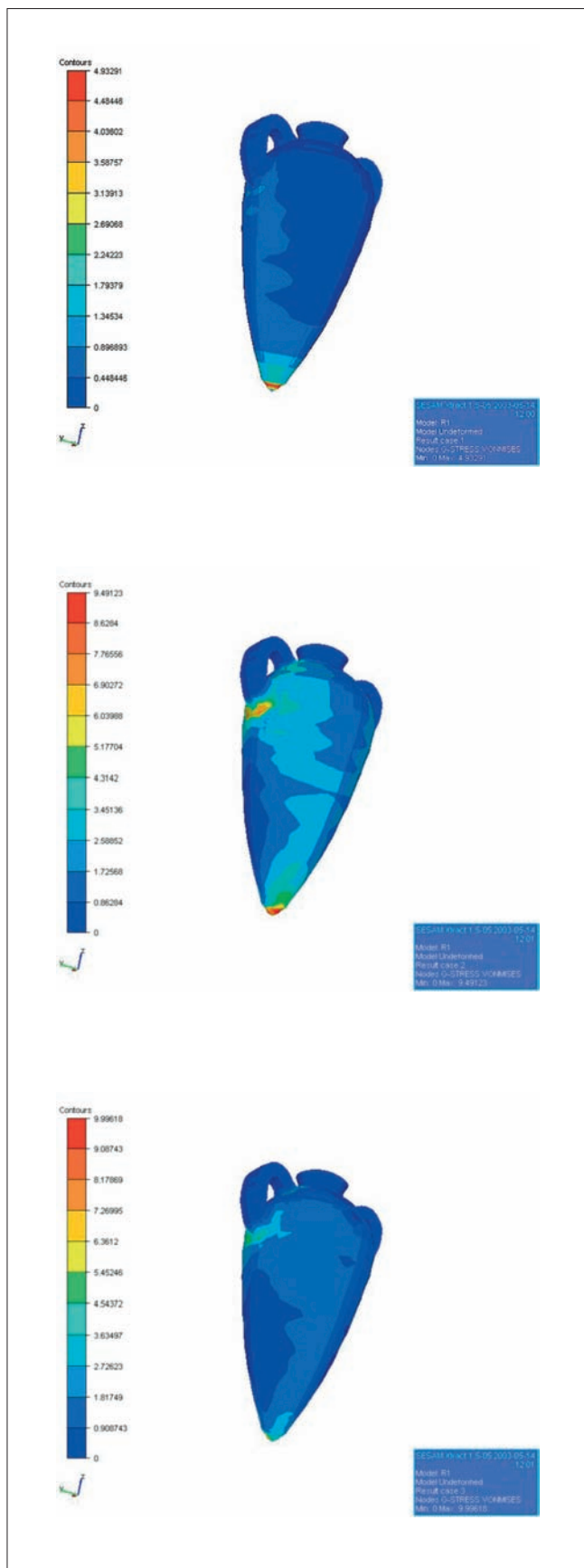
#### IV. 3. Zaključak analize čvrstoće

Analiza čvrstoće amfora pokazala je da primjerci s koničnim dnom mnogo bolje podnose vertikalno opterećenje (sl. 6. a-c). Šiljak koji se kasnije dodaje na dno amfora povećanih dimenzija, a time i težine i zapremnine, dodatno štiti amforu od vertikalnog opterećenja (sl. 7. a).

Amfore kuglastoga oblika pokazuju se znatno boljima u preuzimanju horizontalnog opterećenja (sl. 8. a-c).

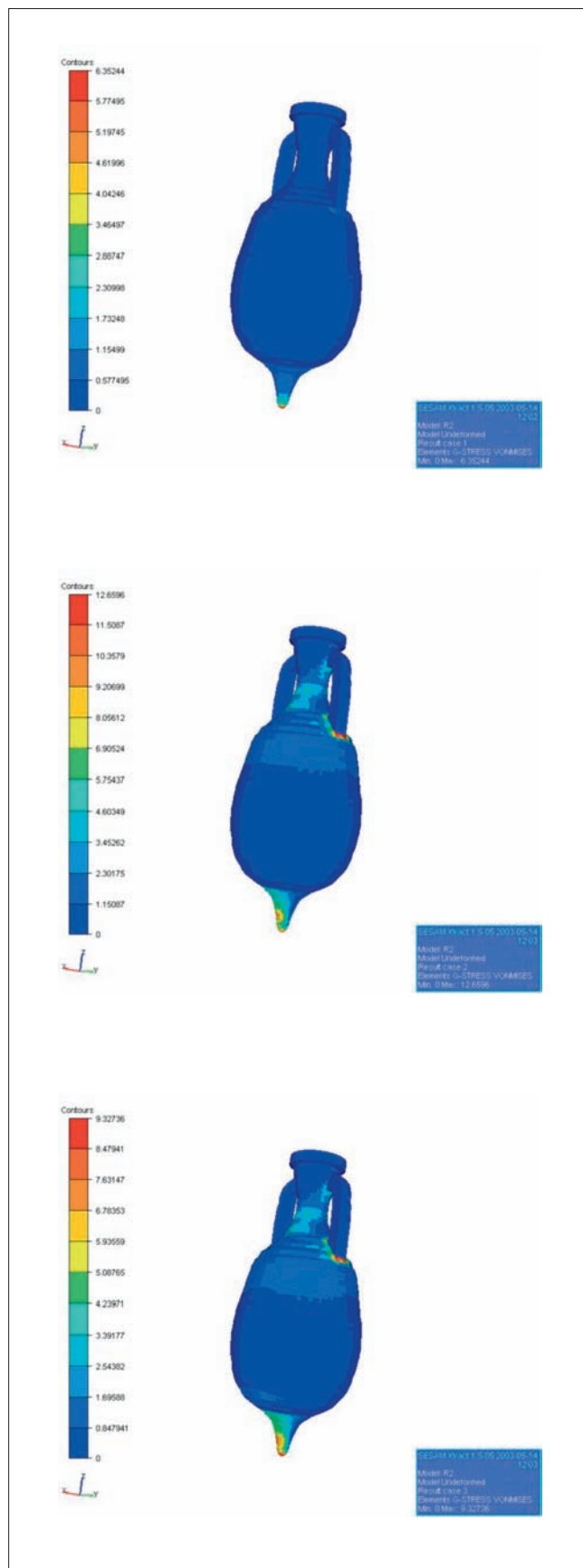
Hipotetički model, kod kojega je konično zašiljeno dno zamijenjeno ravnim, postao je gotovo dvostruko osjetljiviji na vertikalno opterećenje od originalnoga oblika (sl. 9. a; tablica 3.).

Provedena statička analiza čvrstoće i korelacijska analiza dobivenih naprezanja predstavlja prvi pokušaj vrednovanja otpornosti amfora. One su, u stvari, bivalne najviše izložene oštećenjima prilikom transporta, što uz statičku zahtijeva i dinamičku analizu. Dinamički odziv zbog impulsnog opterećenja potrebno je odrediti u vremenskom području numeričkom integracijom korak po korak, a sljedeći korak predstavlja analiza mehanike loma.



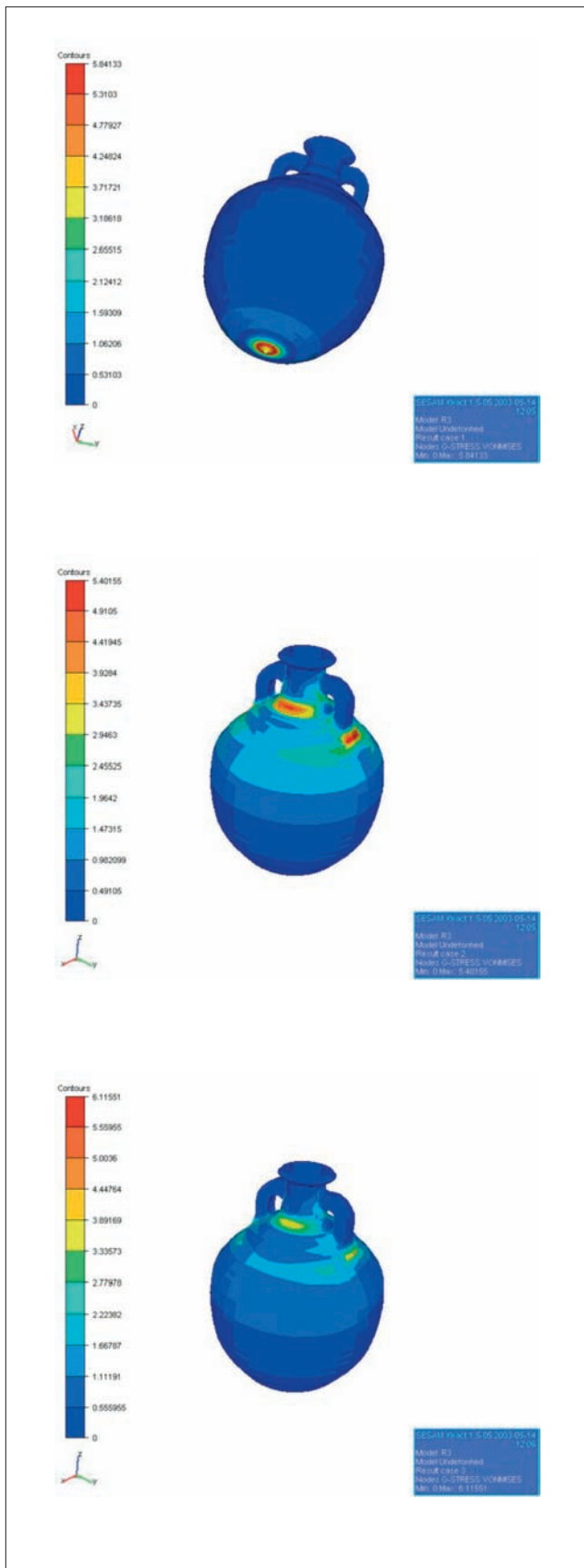
Sl. 6. a-c Naprezanja von Misesa, model 1  
a – vertikalna sila, b – horizontalna sila, c – kosa sila

Fig. 6 a-c The von Mises stresses, Model 1  
a – vertical force, b – horizontal force, c – oblique force



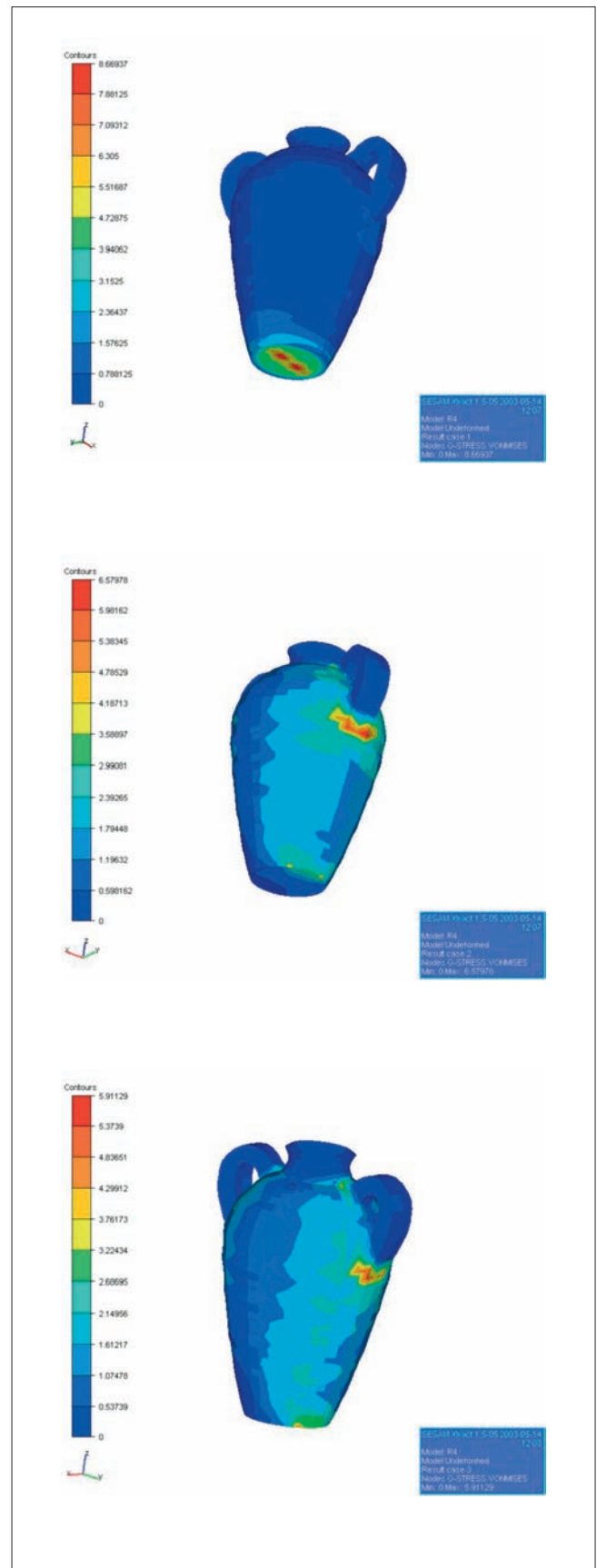
Sl. 7. a-c Naprezanja von Misesa, model 2  
a – vertikalna sila, b – horizontalna sila, c – kosa sila

Fig. 7 a-c The von Mises stresses, Model 2  
a – vertical force, b – horizontal force, c – oblique force



Sl. 8. a-c Naprezanja von Misesa, model 3  
a – vertikalna sila, b – horizontalna sila, c – kosa sila

Fig. 8 a-c The von Mises stresses, Model 3  
a – vertical force, b – horizontal force, c – oblique force



Sl. 9. a-c Naprezanja von Misesa, model 4  
a – vertikalna sila, b – horizontalna sila, c – kosa sila

Fig. 9 a-c The von Mises stresses, Model 4  
a – vertical force, b – horizontal force, c – oblique force

## V. ZAKLJUČAK

Uobičajeno tumačenje karakterističnog šiljka na dnu grčkih i rimskih amfora obuhvatilo je tek njegove dopunske funkcije. Zabijanje u pijesak, olakšani prihvat posuda prilikom pražnjenja njihova sadržaja ili prikladnije i pouzdanije slaganje u više redova u skladišta ili trgovačke brodove, nisu dovoljno uvjerljivi razlozi za proizvodnju ambalaže tako (naoko) nespretnog oblika.

Istražujemo li, međutim, razvoj amfora sa stajališta funkcionalnosti konačno oblikovanoga šiljka, otkrit ćemo na njegovu početku posude zaobljeno ili konično dno, na čiju su čvrstoću i otpornost na udarce već upozorili neki autori.

Porast veličine amfora radi povećavanja njihova kapaciteta, što je uzrokovalo bitni porast težine, zahtijevao je dodatnu zaštitu. To je ostvareno ingenioznim tehnološkim rješenjem izduženoga šiljka. On višestruko očvršćuje posudu u odnosu prema najvažnijim unutrašnjim i vanjskim silama koje djeluju na stijenke posude: iznutra po prirodi tereta, a izvana predvidivim i nepredvidivim vanjskim učincima transportnih postupaka, među kojima su najčešći i najvažniji udarci u dno.

Šiljkom očvršćeno dno čini posudu i znatno prilagodljivijom neravnoj podlozi na koju se polaže, smanjujući na optimum ugroženu površinu koja s podlogom dolazi u dodir.

Zaključak je dosadašnjih istraživanja da je povećavanje čvrstoće amfora kao ambalaže i njihove pouzdanosti tj. otpornosti na sile koje djeluju u transportu bilo osnovnim razlogom proizvodnje njihovoga zašiljenoga dna.

## LITERATURA

- AMIRAN, R., 1969., *Ancient Pottery of the Holy Land, from Its Beginnings in the Neolithic Period to the End of the Iron Age*, Jerusalem: Massada
- BADLER, V. R., 1996., The Archaeological Evidence for Winemaking, Distribution and Consumption at Proto-Historic Godin Tepe, Iran, u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 45.-56.
- BANPO, 1995., *Banpo, The Pick of Prehistoric Cultural Relics of Ban Po Museum*, Hong Kong
- BANPO, 2001., *Banpo Site - A well-preserved Site of a Neolithic Village*, katalog muzeja
- BASS, G. F., 1967, Cape Gelidonya: A Bronze Age Shipwreck, *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series 57, Philadelphia: American Philosophical Society
- BASS, G. F., 1976., Sheytan Deresi: preliminary report, *International Journal of Nautical Archaeology* 5, 292.-303.
- BASS, G. F., 1986., A Bronze Age Shipwreck at Ulu Burun (Kaş): 1984 Campaign, *AJA* 93, 1.-29.
- BASS, G. F., PULAK, C., COLLON, D., WEINSTEIN, J., The Bronze Age Shipwreck at Ulu Burun: 1986 Campaign. *AJA* 93, 1.-29.
- BATHE, K. J., 1996., *Finite Element Procedures*, Prentice Hall
- BERNABÒ-BREA, L. (a cura di), 1964., *Poliochni I, Città preistorica nell'isola di Lemnos*, Monografie della Scuola Archeologica di Atene e delle Missioni Italiane in Oriente, Roma
- BERNABÒ-BREA, L. (a cura di), 1976., *Poliochni II, Città preistorica nell'isola di Lemnos*, Monografie della Scuola Archeologica di Atene e delle Missioni Italiane in Oriente, Roma
- CARAVALE, A., TOFFOLETTI, I., 1997., *Anfore antiche, conoscerle e identificarle*, Formello
- CASSON, L., 1971., *Ships and Seamanship in the Ancient World*, Princeton - New Jersey
- CUOMO DI CAPRIO, N., 1982., *Ceramica rustica tradizionale in Puglia*, Galatina (Lecce)
- DAREMBERG, M. C., SAGLIO, E., 1877., *Dictionnaire des Antiquités Grecques et Romaines*
- DONADONI ROVERI, A. M., [1990.], *Museo Egizio*, katalog muzeja, Torino
- EMERY, W. B., 1961., *Archaic Egypt*, Harmondsworth, Penguin, reprint ed. 1987.
- GIANFROTTA, P.A., POMEY, P., 1981., *Archeologia subacquea. Storia, tecniche, scoperte e relitti*, Milano
- GORNY, R. L., 1996., Viticulture and Ancient Anatolia, u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 133.-174.
- GRACE, V., 1956., The Canaanite Jar, *Aegean and the Near East*, Studies Presented to Hetty Goldman, Locust Valley, 80.-109.
- GRACE, V., 1961., *Amphorae and the Ancient Wine Trade, Excavations of the Athenian Agora*, Picture book no 6, Princeton
- JAMES, T. G. H., 1996., The Earliest History of Wine in Ancient Egypt, u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 197.-213.
- KOEHLER, C. G., MATHESON, Ph. M. W., 1993., AMPHORAS: Computer-Assisted Study of Ancient Wine Jars, *Accessing Antiquity. The Computerization of Classical Studies*, Tucson and London, 90.-107.
- KOEHLER, C. G., 1996., Wine Amphoras in Ancient Greek Trade, u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 323.-337.
- LAUBENHEIMER, F., 1990., *Le temps des amphores en Gaule, Vins, huiles et sauces*, Paris.
- LEONARD JR., A., 1996., "Canaanite Jars" and the Late Bronze Age Aegeo-Levantine Wine Trade, u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 233.-254.
- LESKO, L. H., 1996., Egyptian Wine Production During the New Kingdom, u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 215.-230.
- MATTHIAE, P., PINNOCK, F., SCANDONE MATTHIAE, G., 1995., *Ebla, Alle origini della civiltà urbana*, katalog izložbe, Roma
- MCGOVERN, P., 2003., *Ancient Wine. The Search for the Origins of Viniculture*, Princeton and Oxford
- MONDET, P., 1979., *Egipat u doba Ramzesa*, Zagreb. (Naslov originala: *La vie quotidienne en Égypte au temps des Ramsès*, 1946.)
- MÜLLER-KARPE, A., 1988., *Heititische Töpferei der Oberstadt von Hattusa: Beiträge zur Kenntnis spät-grossreichzeitlicher Keramik und Töpferbetriebe*. Marburg: Hitzeroth
- PARR, P., 1973. The Origin of the Canaanite Jar, u: *Archaeological Theory and Practice: Studies Presented to W. F. Grimes*, ed. D. E. Strong, London: Seminar, 173.-181.
- PEACOCK, D. P. S., WILLIAMS, D. F., 1986., *Amphorae and the Roman economy*, London and New York
- PETRIĆ, M., 1989., *Amfore Jadrana*, Split
- REEVES, N., 2001., *Ancient Egypt, The Great Discoveries*, London
- SENJANOVIĆ, I., 1998., *Metoda konačnih elemenata u analizi brodskih konstrukcija*, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- SESAM, 2003., *User's manual*, Høvik
- SLOVENEK, D., SONDI, I., CRNKOVIĆ, B., 1991., Mineralogical characteristics of amphorae from the Middle Adriatic, *Geoves* 44, Zagreb
- SONDI, I., SLOVENEK, D., 2003., The Mineralogical Characteristics of the Lamboglia 2 Roman-age Amphorae from the Central Adriatic (Croatia), *Archaeometry* 45, part 2, 251.-262.
- TROIA, 2001., *Troia - Traum und Wirklichkeit*, katalog izložbe, Stuttgart
- VANDERMERCH, C., 1994., Vins et amphores de Grande Grèce et de Sicile, IV-III s. avant J.-C., Études I, Centre Jean Bérnard, Naples, (1995.)
- WESTENDORF, W., 1969., *L'arte egizia*, Milano
- WOOD, B., 1987., Egyptian Amphorae of the New Kingdom and Ramesside Periods. *Biblical Archaeologist* 50, 75.-83.
- ZEMER, A., 1977., *Storage Jars in Ancient Sea Trade*, The National Maritime Museum, Haifa
- ZETTLER, R. L., MILLER, N. F., 1996., Searching for Wine in the Archaeological Record of Ancient Mesopotamia of the Third and Second Millennium B.C., u: *The Origins and Ancient History of Wine* (ed. by P. E. McGovern, S. J. Fleming, S. H. Katz), Gordon and Breach Publishers, 123.-131.
- ZIENKIEWICZ, O. C., 1971., *The Finite Element Method in Engineering Science*, McGraw-Hill

## SUMMARY

### The Origin and Function of the Amphora's Spike

While the typological study of amphorae has made significant advances over the past few decades, little has been discussed and reflected on the causes for the emergence of this specific vessel shape designed primarily for the marine transportation of goods, as well as its long-lasting survival in practical use. We should note that, for the purposes of this discussion, the term 'amphora' pertains solely to the so-called transport amphorae and excludes the Greek and Roman tableware or antique vessels used exclusively for religious purposes.

Most of the current definitions describe the characteristic pointed end at the bottom of amphorae merely as a convenience for storing goods in warehouses on land or below ship-decks and for gripping or handling individual vessels. Sometimes, however, they also refer to their strength, which is enhanced by such a bottom shape.

If we carefully consider the aforementioned purposes of the pointed bottom, we should ask ourselves whether the increased ease of storing or handling could really be sufficient grounds for producing vessels of a shape that would create a host of problems in any other type of use, because – due to their frequently rounded and awkward body – they can hardly stand on their own, even when leaned against a wall. Indeed, it is true that a rounded or pointed bottom conforms more easily to uneven surfaces on which such amphorae were usually placed while being loaded, unloaded or stored below ship decks or in warehouses, which should certainly be taken into account when explaining the reasons for their emergence.

While reflecting on amphora bottoms, we most frequently visualise the developed Roman forms of large dimensions and weights, often "armed" with massive points. Yet, if we consider the forms of their antecedents, we notice that the earliest amphorae – the so-called "Canaanite jars", whose mass production in the area of Syria and Palestine commenced during the Middle Bronze Age – are only 50 cm in height and do not feature a prominent pointed bottom, but only a slightly rounded base added to a conically narrowed body. In the Late Bronze Age (II A and II B), a stopper-like reinforcement starts to appear on the narrowed base. (Fig. 7).

In the opinion of R. Amiran, the "Canaanite jars" emerge at the time when the political situation increased the volume of international trade, and the development of high sea sailing facilities led to the marine transportation of goods. This fact is of particular importance to our topic because the development of seafaring trade certainly necessitated primarily durable and, only then, conveniently shaped containers.

However, although two opposing handles constitute a basic feature of all amphorae (which is, after all, suggested by the very meaning of the term), their indirect antecedents – in the context of the idea of a stronger vessel resistant to shocks and, accordingly, more convenient for the conveyance or transportation of goods – should perhaps be recognised in vessels lacking handles with rounded or pointed bottoms, which appeared in Egypt as early as the fourth millennium BC, during the Predynastic period (REEVES, 2001, 95), and in the period of the earliest Egyptian dynasties (JAMES, 1996), (Fig. 9).

The earliest examples of packaging containers without flat bottoms, including the direct antecedents of diverse types of Greek and Roman amphorae, still do not have a massive elongated pointed end, but it began to emerge slowly. This invention, if we consider its conical shape only, appears to be very appropriate for sinking into sand or for easier gripping of the vessel while emptying its contents. However, if we follow its evolution over millennia, we notice that the main reason for its emergence was to reinforce a containing vessel that had to endure increasing pressure during conveyance and transportation, particularly in its bottom area.

The knobbed base, that first appeared already on developed versions of "Canaanite jars" and, later, on Greek and Massaliot forms, represents an additional reinforcement that protected the base and assumed the major shock load. The dimensions of amphorae would initially never exceed 50 to 60 cm, but a gradual increase in their size – which, together with capacity growth, caused an increase in their weight – constitutes the main reason for the emergence of a massive elongated pike added to the bottom in order to enhance protection against blows. In the Early Empire period, amphorae already reach some 100 cm in height and the pressure on the base is so increased that, without adequate protection, they would no longer constitute good and reliable containers<sup>1</sup>. In the event of heavier impact, the pointed end was always first exposed to damage and it could break off several times leaving the contents of the vessel still protected. Of course, the elongated pointed bottom was also convenient for the other aforementioned purposes, but probably only as a secondary function, because the functionality of a reliable container, that is, protecting the vessel's contents, was in first place.

Another interesting fact is that most of the so-called flat-bottom amphorae, in a way, also follow the described method of fracture protection. In many cases, their bottoms are not actually flat in the proper sense of the word, but have rings added to narrowed and rounded or pointed bottoms, enabling them to stand on their own (Fig. 16a). In some cases, protection is provided in the opposite manner: the bottom is concave thus avoiding a flat surface that could easily fracture under impact (Fig. 16b). In a similar manner we still protect certain containers such as glass bottles whose bottom shows a concavity that is proportionate to the quality of liquid they contain.

Toward the end of antiquity and in the Early Middle Ages, the dimensions of amphorae once again decreased, the protective spike was no longer needed and the Byzantine specimen often re-emerged with a rounded base, just like the Bronze Age vessels that stand at the very beginning of their evolutionary line.

Scientific confirmation of the significance of amphora shapes for their resilience has been obtained in the Shipbuilding and Marine Technology Institute of the Mechanical Engineering and Naval Architecture Faculty in Zagreb, where – by applying computer-aided modelling in the SESAM program and using finite element method, we clearly demon-

<sup>1</sup> Anyone who has ever tried to lift a heavy and awkward Dressel 6A amphora probably noticed that its pointed end was of much use while placing it back on the ground.



strated strain distribution and the consequences caused by differing load levels and directions with respect to several characteristic types.

The analysis of amphora strength has shown that specimens with conical bottoms demonstrate better resistance to vertical loads (Fig. 6a-c). The pointed end, which was in later stages added to the bottom of amphorae of increased size and, accordingly, higher weight and capacity, provides additional protection against vertical loads (Fig. 7a). Spherically shaped amphorae prove to be much better at absorbing horizontal loads (Fig. 8a-c).

The hypothetical model, whose conically pointed bottom has been replaced with a flat one, has become almost twice as sensitive to vertical loads as the original form (Fig. 9a; Table 3).

The static analysis of amphora strength and correlation analysis of derived stress levels constitute the first attempt to evaluate the resilience of amphorae. In fact, they were most exposed to damage during transportation, which – in addition to such a static analysis – also requires a dynamic one. Their dynamic response to impulse loads should be determined within a specific time-frame by using numerical integration on a step-by-step basis, the next step being a fracture mechanics analysis.