

Tridimenzionalni model kot orodje za računanje prostornine posod

A 3D model as a tool for measuring a vessel's capacity

© Manca Vinazza

Univerza v Ljubljani, Filozofska fakulteta, Oddelek za arheologijo, manca.vinazza@ff.uni-lj.si

Izvleček: V prispevku predstavljamo način uporabe tridimenzionalnega modela kot orodja za računanje prostornine posod. Po zaslugi različnih računalniških programov lahko s pomočjo vektorske risbe notranjosti posode hitro in preprosto izdelamo 3D model, na osnovi katerega izračunamo prostornino. Glede na primerjave z drugimi metodami izračuna prostornine je obravnavan način dovolj hiter in natančen ter kot tak primeren za uporabnika.

Ključne besede: lončenina, prostornina, tridimenzionalni model, AutoCAD program

Uvod

Prostornina posode je ena izmed številnih tem znotraj raziskav keramične produkcije. V preteklosti se je izdelava in uporaba lončenine večkrat interpretirala in razlagala brez natančnega poznavanja in razumevanja posameznih postopkov znotraj keramične operacijske sekvence. Prav zato ima v zadnjih letih prostornina posod v okviru raziskav namembnosti lončenine precejšno vlogo (Skibo 2013, 27). S pomočjo izračuna prostornine posod se lahko približamo odgovorom na različna vprašanja, vezana npr. tako na produkcijo, distribucijo ali porabo preteklih družb kot tudi na posledice njihove ekonomske organizacije (Velasco, Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 1). Če je bila pot do izračuna prostornine posamezne posode še do nedavnega zapletena in dolgotrajna (prim. Senior, Birnie 1995), nam različna digitalna orodja danes celoten postopek neprimerljivo poenostavijo in pohitijo. V prispevku predstavljamo postopek izračuna prostornine posamezne posode, izveden na osnovi tridimenzionalnega modela, izdelanega s pomočjo AutoCAD 2017 programa.

Možnosti računanja prostornine posode

Danes poznamo tri osnovne načine računanja prostornine posod: neposredno merjenje, dvoravninsko geometrično metodo izračuna in računanje prostornine na osnovi 3D modela notranjosti posode.

Neposredno merjenje prostornine

Neposredno merjenje izvajamo neposredno na samem predmetu opazovanja, pri čemer napolnimo posodo z določenim materialom, kot so npr. destilirana voda, manjši plastični delci, različna zrna/žita itd. (Senior, Birnie 1995, 321–322). Neposredno merjenje prostornine je

Abstract: In this contribution, we are presenting the method of using a 3D model as a tool for measuring a vessel's capacity. Thanks to a variety of computer programs, we can form a 3D model based on a vector drawing of the interior of the vessel, and quickly and easily measure its capacity. Compared with other methods, the presented method is quick and precise enough to measure capacity, and as such convenient for the user.

Keywords: pottery, capacity, 3D model, AutoCAD programme

najbolj natančna metoda, vendar je problematična z vidika stopnje ohranjenosti keramičnega zbira, saj imamo le izjemoma na voljo v celoti ohranjene posode (Velasco Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 1–2). Obenem lahko z uporabo različnih materialov za polnjenje posode original poškodujemo ali ga celo kontaminiramo, kar je z vidika potencialnih nadaljnjih analiz ter dejstva, da gre za muzejski predmet, odsvetovano.

Dvoravninska geometrična metoda izračuna prostornine

Dvoravninska geometrična metoda je najbolj razširjen način računanja prostornine. Vse od 50. let 20. stoletja je doživela veliko nadgradenj ter številna preverjanja in primerjave. Osnovna ideja tega načina je segmentacija profila risbe na različna geometrijska telesa in računanje prostornine posameznih teles s pomočjo posameznih matematičnih formul. Končni rezultat predstavlja seštevek vseh posameznih prostornin. Slednje lahko izvajamo ročno, vendar so bili kasneje razviti tudi posamezni računalniško podprti izračuni (prim. Juhl 1995, 48–68). V začetnih študijah so posodo razdelili na več različnih geometrijskih teles, npr. krogla, polkrogla, elipsa, valj, stožec itd., ter sešteli posamezne prostornine (Shepard 1956, 233–234). Kot pomanjkljivost tovrstnega pristopa se je izkazalo dejstvo, da gre za idealizirane približke (Senior, Birnie 1995, 322; Velasco Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 2). Sledila je nadgradnja metode, in sicer segmentacija profilov posod na posamezne enako visoke oblike, tj. valje (*stackes cylinder*) (Rice 1987, 221–222), ter kasneje še ključna nadgradnja, tj. segmentacija profilov posod na posamezne priskeane valje (*bevel-walled cylinder*) (Senior, Birnie 1995, 324–330; Thalmann 2007, 431–432). Končni seštevek je pri teh metodah natančnejši, saj se z obliko priskekanega valja bistveno bolj približamo profilu posode. Ne glede na število segmentacij gre vedno

za približek, saj obliko potisnemo do roba profila risbe posode. Od vseh geometričnih računskih metod pa je ta najbolj natančna. Na začetku je terjala veliko časa, vendar so to pomanjkljivost odpravili s pomočjo računalniško podprtih izračunov (Velasco Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 2–3).

Računanje prostornine na osnovi 3D modela notranjosti posode

Izračuni na osnovi 3D modela notranjosti posode so danes na določenih točkah avtomatizirani, njihove lastnosti delovanja pa so testirane s pomočjo metode končnih elementov (*Finite Element Method simulations*) (Heim *et al.* 2007; Vila Socias *et al.* 2007; Velasco Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 1). Za izračun prostornine lahko uporabimo različne programe, kot so npr. AutoCAD (Sopena Vicién 2006), Rhinoceros (Zapassky *et al.* 2006) ali odprtokodni program Blender (Sánchez Climent, Cerdeño Serrano 2014). Vsem tem programom je skupna potreba po vektorski risbi, ki jo uporabimo za izpeljavo 3D modela notranjosti posode, iz katerega izračunamo prostornino (Velasco Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 3). Čas, ki ga potrebujemo za izračun prostornine v teh programih, je primerljiv oz. gre za minimalne razlike.

Velasco Felipe in Celdrán Beltrán sta tako na podlagi dvoravninske geometrične metode kot na osnovi 3D modelov notranjosti posod izračunala prostornine 40 posodam, ki so bile izdelane prostoročno, na lončarskem kolesu ali industrijsko, ter jih medsebojno primerjala. Izkazalo se je, da so povprečna odstopanja vrednosti izračunov pri obeh načinih zanemarljiva, pri čemer je malen-

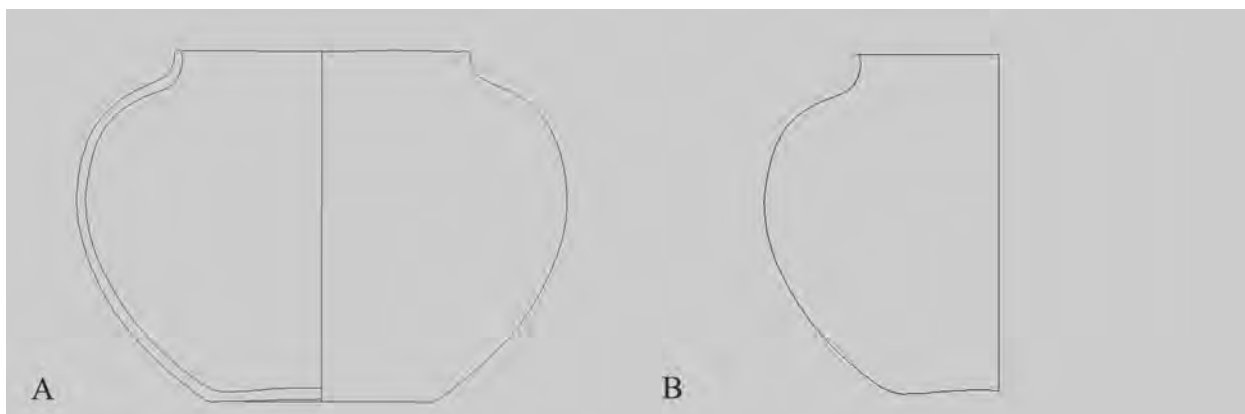
kost natančnejši izračun na osnovi 3D modela. Ključno razliko je odigral potreben čas, pri čemer se je izračun na osnovi 3D modela izkazal za 4- do 5-krat hitrejšega (Velasco Felipe, Celdrán Beltrán 2019, 5, 8, 10).

Stanje v Sloveniji

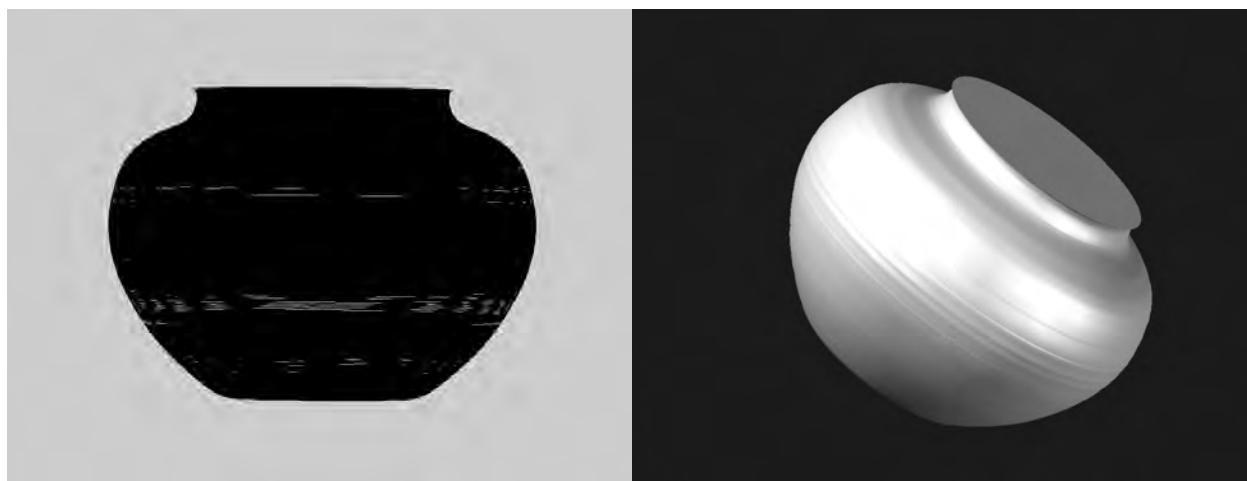
Zanimanja za izračun prostornine posod ter študije, izpeljane na osnovi prostornine posod, so pri nas le redki. Poudariti velja primer funkcionalnih raziskav neolitskega posodja na Ljubljanskem barju (Mlekuž *et al.* 2013, 138–139) ter analizo pitosov in skled na osnovi segmentacije profilov posod, deljenih na posamezne enako visoke valje na primeru Monkodonje (Hellmuth Kramberger 2017, 314–315). Večji poudarek na prostornini posod srečamo v študijah Andreja Pleterskega (Pleterski 2008, 101), ki uporablja program za izračunavanje prostornine posod z izvihanim ustjem. Slednjega je razvil Vid Pleterski in je prosto dostopen na spletni strani Inštituta za arheologijo Slovenske akademije znanosti in umetnosti (Splet 1). Program izračuna prostornino po formuli za izračun volumna vrtenine. Ta deluje po principu seštevanja prostornin vrtenin posameznih manjših odsekov krivulje. Gre za dele od ene do druge izračunane točke. Z interpolacijo po vseh delih krivulje profila izračunamo še vmesne točke, potrebne za izračun volumna (Pleterski 2010, 185). Program je uporaben le za posode z izvihanim ustjem.

Postopek izvedbe 3D modela in izračun prostornine

Ker so rezultati raziskave, ki sta jo izvedla Velasco Felipe in Celdrán Beltrán, pokazali na številne prednosti in visoko zanesljivost metode izračuna prostornine posode v



Slika 1. Vektorska risba posode (a) in notranji profil leve polovice posode, ki jo potrebujemo za izdelavo 3D modela (b).



Slika 2. Vrtenina notranjosti posode (levo) in 3D model (desno), ki predstavlja osnovo za izračun prostornine.

AutoCAD okolju, smo se odločili, da predstavimo izvedbo postopka. Samo metodo je sicer razvila María Cruz Sopena Vicién (Sopena Vicién 2006). Postopek je deljen na tri korake.

Priprava vektorske slike

Osnovo za izvedbo postopka predstavlja vektorska dvodimenzionalna risba posode. Vektorsko risbo izvedemo v AutoCAD programu¹ (slika 1a), lahko pa jo tudi preprosto uvozimo (preuporabimo) PDF format, če smo vektorizacijo že izvedli v drugem programu (npr. *Adobe Illustrator*², *CorelDRAW*, *Inkscape*). Pri tem moramo biti pozorni, da so mere vektorskega zapisa uvoženega predmeta iste ter da so vse linije polilinijske (*polyline*). Če ni tako, uporabimo ukaz `_PEDIT` za pretvorbo v polilinije (*polyline*).

Za izdelavo 3D modela notranjosti posode potrebujemo notranjo linijo preseka in zgornjo linijo, ki jo narišemo od roba ustja do sredine in povežemo z dnom (slika 1b).

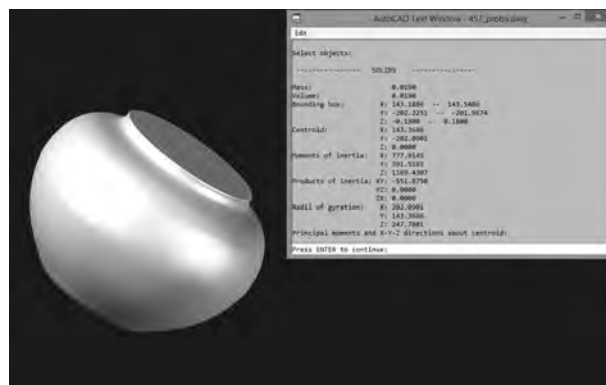
Izdelava 3D modela

Pri tem koraku uporabimo dva ukaza. Najprej `_REVOLVE`, s katerim zavrtimo predmet za 360° in dobimo vr-

tenino, ter `_SOLID`, da ustvarimo 3D telo (slika 2). Če linije niso povezane, nam 3D modela ne bo uspelo izdelati, zato je pred ukazom `_SOLID` potrebno uporabiti ukaz `_JOIN`.

Izračun prostornine

3D model je izdelan, sledi le še izračun prostornine. Pri tem uporabimo ukaz `_MASSPROP`. V novo odprtem oknu se nam prikaže poročilo (slika 3). Podatek o prostornini, ki je naveden v kubičnih metrih, le še pretvorimo v litre ($0,001 \text{ m}^3 = 1000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ l}$) in dobimo končni izračun. V našem primeru znaša prostornina lonca 19 litrov.



Slika 3. Izračun prostornine na osnovi 3D modela.

1 Za študente in učitelje je program AutoCAD prosto dostopen na osnovi registracije na njihovi spletni strani (Splet 2).
2 V programu Adobe Illustrator lahko vektorsko risbo neposredno izvozimo kot .dwg file.

Prednosti in slabosti

Glavna prednost predstavljenega postopka je potreben čas, v katerem pridemo do končnega rezultata. Na ta način lahko hitro in preprosto izpeljemo izračune tudi na bistveno večjem številu posod, kar nam posledično omogoča vzpostavitev baze podatkov za nadaljnje študije tako na mikro kot na makro ravni.

S potrebo po vektorskem izrisu risbe predmeta dodajamo vrednost in raznolikosti uporabe arheološke vektorske risbe predmetov v primerjavi z rastrskim prikazom.

Obenem lahko na isti način izdelamo tudi 3D model celotne posode in ga uporabimo za potrebe prezentacije kulturne dediščine v okviru muzejske dejavnosti ali drugih izobraževalnih vsebin ter kot nadomestek za izdelavo rekonstrukcij in replik. S tem se izognemo vključenju originalnih odlomkov posod za dopolnitev rekonstrukcije. Ena izmed konservatorsko-restavratorskih pravil veleva, da manj kot polovice ohranjenega predmeta ne dopolnjujemo (Šubic Prislan 2003, 10). Samo repliko lahko izdelamo tudi iz drugih materialov, npr. mavca, ki ga kasneje s pomočjo različnih barv približamo originalnemu izdelku (slika 4).

Glavno slabost izračuna prostornine na osnovi 3D modela predstavlja dejstvo, da pri izdelavi vrtenine program deluje tako, da dobimo pravilno okroglo obliko. S tem predpostavimo, da je bila posoda v osnovi pravilne okro-



Slika 4. Rekonstrukcija pekve, izdelane iz mavca (izdelava: J. Lorber, Posavski muzej Brežice, foto: M. Vinazza, 2019).

gle oblike, kar za prostoročno izdelane posode le redko velja. Znotraj debate o računanju prostornine posod je ta problematika prisotna že vse od predstavitve dvoravninske geometrične metode izračuna. To velja tako za segmentacijo profilov posod na različne geometrične oblike kot za segmentacijo profilov posod na enako velike prisekane valje. Rodriguez in Hastorf sta na primeru prostoročno izdelanih posod pokazali, da dobimo pri računanju prostornine manjšo napako, če predpostavimo, da je posoda elipsasta (Rodriguez, Hastorf 2013, 1183–1184). Med seboj sta primerjali dvoravninsko metodo računanja prostornine na osnovi segmentacije profilov posod na različne geometrične oblike in na osnovi segmentacije profilov posod na posamezne enako visoke valje (*stackes cylinder*) (Rodriguez, Hastorf 2013, 1186). Presenetljivo je bil natančnejši prvi način izračuna s 15–18 % odstopanjem, medtem ko je pri drugem odstopanje znašalo kar 26–29 % (Rodriguez, Hastorf 2013, 1186).

Poudariti velja, da avtorici pri izračunu nista uporabili načina, pri katerem profil posode razdelimo na prisekane valje in za katerega velja, da je najbolj natančen. Zato je končni rezultat pomanjkljiv in zavajajoč. To nas ponovno privede do potrebe po predstavitvi metodologije dela.

Ta primer nam lahko služi tudi v premislek o tem, kolikšna napaka je za raziskovalca še dopustna. Kolikšna natančnost je potrebna za računanje prostornine posod? Ali nam npr. končni rezultat dopušča deset oz. dvajsetodstotno napako? Desetodstotna napaka pri loncu s prostornino 16 litrov pomeni, da se prava prostornina giblje med 14,4 in 17,6 litri, medtem ko znaša razpon pri skledi s prostornino 2 litrov med 1,8 in 2,2 litra.

Obenem pa je potrebno poudariti, da dejanska prostornina posode ni enaka uporabljeni prostornini posode, zato se dejanska izraba prostornine posode lahko spreminja v več odstotkih (Pleterski 2010, 186).

Zaključek

Namen prispevka je predstaviti način računanja prostornine posod na osnovi 3D modela notranjosti posode in ga zaradi preproste računalniške izpeljave poskušati približati uporabnikom. Danes so na voljo številna računalniška orodja, ki nam omogočajo različne obdelave, izpeljave, izračune itd. S preprostimi rešitvami lahko nadomestimo potreben čas in posledično analiziramo večje število vzorcev.

Z večjim številom vzorcev lahko vzpostavimo osnovno izhodišče za nadaljnje študije in klasifikacije, na podlagi katerih lahko prepoznamo vedenjske vzorce. Slednji so lahko posledica preteklih dejavnosti, s tem pa se lažje približamo nematerialnim vidikom preteklih družb (Arnold 1985, 234).

V zadnjih 50 letih je prišlo do številnih dopolnitev in nadgrajenij načina računanja prostornine posod. Na voljo so številne razprave o primerljivosti in primernosti računanja prostornine. Izkazalo se je, da so odstopanja minimalna, zato se nam zdi predstavljen način računanja prostornine na osnovi 3D modela notranjosti posode primeren in uporaben. Dobljeni rezultati ustrezajo potrebam za primerjalne študije in nadaljnje interpretacije.

Literatura / References

ARNOLD, D. E. 1985, *Ceramic theory and cultural process*. – Cambridge; New York, Cambridge University Press.

HELLMUTH KRAMBERGER, A. 2017, *Monkodonja. Knjiga/Teil 2/1. Istraživanje protourbanog naselja brončanog doba Istre. Knjiga 2/1. Keramika s brončanodobne gradine Monkodonja – Tekst / Forschungen zu einer protourbanen Siedlung der Bronzezeit Istriens. Die Keramik aus der bronzezeitlichen Gradina Monkodonja – Text*, Monografije i katalozi / Monographien und Kataloge 28/1. – Pula, Arheološki muzej Istre.

JUHL, K. 1995, *The Relation between Vessel Form and Vessel Function. A Methodological Study*, AmS-Skrifter 14. – Stavanger, Arkeologisk museum i Stavanger.

MLEKUŽ, D., N. OGRINC, M. HORVAT, A. ŽIBRAT GAŠPARIČ, M. GAMS PETRIŠIČ, M. BUDJA 2013, Pots and food: uses of pottery from Resnikov prekop. – *Documenta Praehistorica* XL, 131–146.

PLETERSKI, A. 2008, *Kuhinjska kultura v zgodnjem srednjem veku / Küchenkultur im Frühen Mittelalter*. – Ljubljana, Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC.

PLETERSKI, V. 2010, Program za izračun prostornine loncev. – V / In: Pleterski, A. (ur. / ed.), *Zgodnjesrednjeveška naselbina na Blejski Pristavi: tafonomija, predmeti in čas / Frühmittelalterliche Siedlung Pristava in Bled: Taphonomie, Fundgegenstände und zeitliche Einordnung*, Opera Instituti Archaeologici Sloveniae 19. – Ljubljana, Inštitut za arheologijo ZRC SAZU, Založba ZRC.

RICE, P. 1987, *Pottery analysis. A sourcebook*. – Chicago; London, The University of Chicago Press.

RODRIGUEZ, E. C., C. A. HASTORF 2013, Calculating ceramic vessel volume: an assessment of methods. – *Antiquity* 87/338, 1182–1191.

SÁNCHEZ CLIMENT, A., M. L. CERDEÑO SERRANO 2014, Propuesta metodológica para el estudio volumétrico de cerámica arqueológica a través de programas free-software de edición 3D: el caso de la necrópolis celtibérica del área meseteña. – *Virtual Archaeology Review* 5/11, 20–33.

SENIOR, L. M., D. P. BIRNIE 1995, Accurately estimating vessel volume from profile illustrations. – *American Antiquity* 60/2, 319–334.

SHEPARD, A. O. 1956, *Ceramics for Archaeologist*. – Washington D. C., Carnegie.

SKIBO, J. M. 2013, *Understanding pottery function*. – New York, Springer.

SOPENA VICIÉN, M.C. 2006, La investigación arqueológica a partir del dibujo informatizado de cerámica. – *SALDVIE* 6, 13–27.

ŠUBIC PRISLAN, J. 2003, Keramika. – V / In: Milić, Z. (ur. / ed.), *Priročnik. Muzejska konservatorska in restavratska dejavnost*. – Ljubljana, Skupnost muzeje Slovenije.

THALMANN, J. P. 2007, A seldom used parameter in pottery studies: the capacity of pottery vessels. – V / In: Bietak, M., E. Czerny (ur. / eds.), *The Synchronization of Civilizations in the Eastern Mediterranean in the Second Millennium B.C. III*. Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, 431–438.

VILA SOCIAS, L., A. HEIN, V. KILIKOGLU, J. BUXEDA GARRIGÓS 2007, Disseny amforal i canvi tecnològic al voltant del canvi d'era: L'aportació de l'Anàlisi d'Elements Finitis. – *Empúries*, 27–38.

VELASCO FELIPE, C., E. CELDRÁN BELTRÁN 2019, Towards an optimal method for estimating vessel capacity in large samples. – *Journal of Archaeological Science* 27, 101966.

ZAPASSKY, E., I. FINKELSTEIN, I. BENENSON 2006, Ancient standards of volume: Iron Age pottery (Israel) as a case study in 3D modelling. – *Journal of Archaeological Science* 33, 1734–1743.

Spletna vira / Web sources:

Splet 1 / Web 1: <http://iza.zrc-sazu.si/prostornine.html> (2. 10. 2019).

Splet 2 / Web 1: <https://www.autodesk.com/education/free-software/autocad> (2. 10. 2019).
