

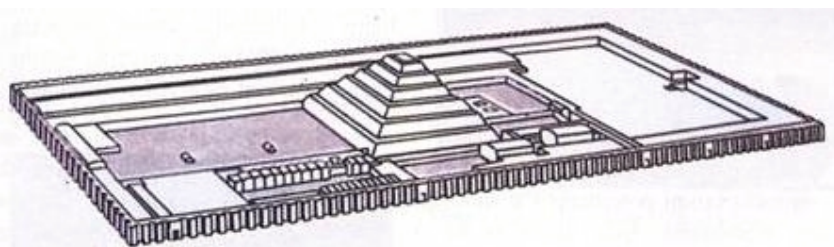
Iz povijesti graditeljstva

KAKO JE IZGRAĐENA VELIKA PIRAMIDA U GIZI

Gradnja piramida u Egiptu bila je usko povezana s religijom. U vjeri starih Egipćana život i smrt, vidljivost i nevidljivost nisu bile nespojive i razdvojene pojave, a smrt je zapravo bila prijelaz u drugi, trajni oblik postojanja. Na tom je shvaćanju još u prapovijesnim vremenima nastao običaj da se na podzemnom grobu izgradi simbolična kuća. Postupno ta nadzemna gradnja dobiva oblik mastabe. To je izdužena građevina s ravnim ili plitko zasvođenim krovom,

HOW WAS BUILT THE GREAT PYRAMID OF CHEOPS IN GIZA

The Cheops pyramid is the greatest edifice of its kind in ancient Egypt and one of the biggest and best known buildings ever constructed in the world. Due to its immense size, this pyramid does not cease to attract interest of experts and general public alike. Most frequent questions relating to its construction concern construction time, the number of workers used, and the way in which big and heavy stone blocks were built into the pyramid. Recently, a group of Egyptian history experts, in conjunction with the team of experienced managers of major present day construction projects, investigated the way in which this big pyramid was built. After thorough analysis of all appropriate portions of this great undertaking, the experts determined that the pyramid was built in ten years, rather than in thirty years as was claimed by the Greek historian Herodotus. It was also determined that, on an average, more than 12 thousand workers participated in the construction.



Skica rekonstrukcije kompleksa faraona Đosera u Sakari

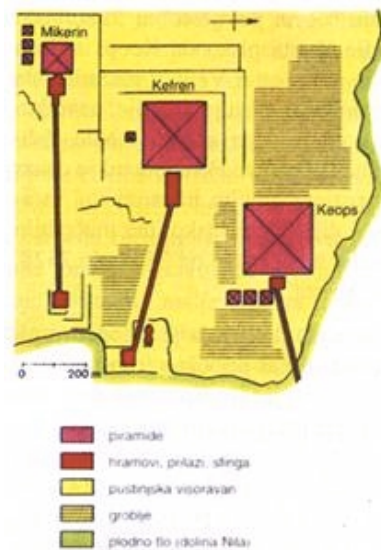
te s ravnim ili ukošenim zidovima od glinenih opeka. Monumentalnu izvedbu mastabe mogli su si priuštiti samo ugledni i bogati pokojnici, a one koje su gradili kraljevi I. dinastije počinju dostizati dimenzije velikih građevina. S vremenom se kult pokojnika mijenjao i transformirao, ali geometrijski stilizirane mastabe ostaju oblikom grobnica za uglednike koji se pokapaju na kraljevu groblju pokraj piramida.

Prva izgrađena piramida je ona stepenasta faraona Đosera u Sakari, koja je zapravo nadograđena četvrtasta mastaba, jer dotadašnja nije više bila primjerena kralju podignutom na razinu božanstva. Sve su piramide, koje se potom redovito nastavljaju graditi, samo dio velikog kompleksa hramova, manjih piramida, zidanih grobova i mastaba. S vremenom se piramide mijenjaju i s kraljevima IV. dinastije dobivaju pravilan geometrijski izgled. To su građevine jednostavnih

oblika, s kvadratnom bazom i sa stranama koje su pravilni istokračni trokuti. Piramide koje su u Gizi izgrađene za faraone Keopsa, Kefrena i Mikerina zahvaljujući nešto strmijem nagibu (od $51^{\circ}52'$) dobivaju na monumentalnosti i visini te tako poprimaju prave klasične dimenzije. Najveća od njih, zvana i Velika piramida, jest ona Keopsova, kojoj je visina 146,64 m (katedrala u Strasbourgu visoka je 142 m), duljina baze 230,3, a zauzima površinu od 5,3 ha. U nju je ugrađeno 2,6 milijuna m^3 kamenog materijala.

Velika piramida u Gizi oduvijek je privlačila pozornost istraživača i znatiželjnika, a stari su je Grci svrstavali na prvo mjesto među onovremenih sedam svjetskih čuda. Piramida je ujedno postavljala i mnoštvo pitanja. To je, primjerice, jedina piramida od osamdesetak sačuvanih koja uz silazne ima i uzlazne unutrašnje prolaze. Kao i sve ostale i Keopsova je pira-

mida pravilno i točno postavljena prema stranama svijeta, no ovdje je postignuta točnost naprosto zapanjujuća. U naše je vrijeme najtočniju orijentaciju prema sjeveru postigao Pariški opservatorij koji odstupa od točnog sjevera 6 minuta jednog stupnja. Velika piramida, inače smještena na prilično neravnom terenu, odstupa samo tri minute, ali i to je, kako se pretpostavlja, posljedica micanja zemljinog pola ili afričkog kontinenta u protekla 4,5 tisućljeća. A sve je to postignuto bez ikakvih laserskih pomagala. Nadalje, Kraljeva i Kralji-



Polje piramida u Gizi



Pogled na Keopsovu piramidu

čina kripta u tijelu piramide imaju osiguran dovod zraka koji očigledno nije trebao pokojnicima, a misteriju pojačava i činjenica da ni u Kraljevoj ni u Kraljičinoj kripti nisu pronađene ni mumije niti bilo kakvi posmrtni ostaci, čak ni hijeroglifi uobičajeni u takvim odajama. Prvi su nasilno u Keopsovu piramidu prodrli Arapi 820. godine za kalifa Al Mamouna i nisu pronašli ništa osim praznih granitnih boksova, nazvanih poslije "prazni ljesovi".

Doduše još je i Herodot, kojega nazivaju "ocem povijesti", u 5. stoljeću prije Krista pisao da Keops nikada nije pokopan u Velikoj piramidi, da je pokopan negdje drugdje, navodno i na potopljenom otočiću u Nilu. Zahvaljujući upravo Herodotu mi se danas koristimo grčkim imenom tog faraona, čije je egipatsko ime inače bilo Kufu, a vladao je od 2551. do 2528. pr. Krista.

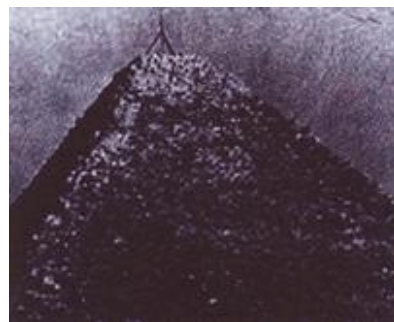
Valja još dodati da je Keopsova piramida danas približno 9 metara niža (137,2 m) jer joj nedostaje sam vrh. Taj vrh, nazivan i završnim kamenom, bio je vrlo važan dio svake piramide, obično izrađen od specijalnog kamena (čak i zlata) i posebno dekoriran.

Je li Velika piramida bila izgrađena bez tog završnog kamena ili je pak ukraden ili uništen, nije poznato. Zna se jedino da su o nepostojanju vrha svjedočili brojni posjetitelji i u antičkim vremenima. Ipak danas se na Velikoj piramidi može vidjeti nešto što je nalik na jarbol ili stup za zastavu. To su postavila dva astronoma 1874. godine da pokažu gdje bi bio vrh da je piramida cjelovita ili potpuno izgrađena.

Još je mnogo misterija vezanih uz tu građevinu koja je jedna od najvećih ikad izgrađenih na svijetu. Neki, primjerice, dokazuju da se iz visine piramide i polumjera u bazu upisane kružnice može vrlo lako izračunati vrijednost broja π , dakle gotovo dvije tisuće godina prije nego sto su ga Grci utvrdili. No ipak najveću znatiželju stoljećima izaziva pitanje kako su stari Egipćani s tolikom preciznošću izrađivali i ugrađivali goleme kamene blokove, od kojih neki teže i do 20 tona, te kako su oni uopće i s kojim alatom, a da nisu poznavali ni kotač ni koloturnik, uspjeli izgraditi tako veliku građevinu.

Zna se da je gradnja tako velike građevine velik graditeljski pothvat i da

zahtijeva složene i dugotrajne pripreme, da uključuje konstrukciju složenih skela i rampa te organizaciju transporta i utrošak materijala iz gotovo svih krajeva ondašnjega egipatskog kraljevstva. Zna se da je za to gradilište potrebno osigurati hranu, smještaj i naknade za tisuće radnika te izraditi složene rasporede svih radova koji usto moraju biti dovršeni prije faraonove smrti. Stoga je nedavno napravljen zanimljiv projekt, u suradnji s vodećim svjetskim egiptolozima u Egiptu i SAD-u, a pod vodstvom Marka Lehnera, egiptologa iz Semitskog muzeja s Harvarda, u istraživanje je uključena međunarodna tvrtka *Daniel, Mann, Johnson & Mendelhall (DMJM)*, specijalizirana za vođenje najsloženijih graditeljskih projekata širom svijeta te za upravljanje i nadziranje izrade projekata na arhitektonskim, konstruktorskim i građevinskim radovima. Odlučeno



Vrh Keopsove piramide

je naime da se napravi temeljita stručna analiza koja će prepoznati metode građenja i vođenja gradilišta te primijenjene tehnike pri izgradnji ove velike piramide. Primjenjujući suvremene programe upravljanja projektima i metode vođenja velikih i složenih gradilišta, taj je zajednički tim stručnjaka pokušao s nizom temeljitih uvida razriješiti stoljećima stari misterij, vezan uz radnu snagu, trajanje izgradnje te izradu i veličinu graditeljske rampe. Valja dodati da su mnogi članovi *tima iz DMJM*, kojima je na čelu bio ing. Craig B. Smith, imali veliko iskustvo u nadziranju radova u Saudijskoj Arabiji, a koji

su uključivali desetke tisuća radnika, te da su imali iskustva s radno intenzivnim graditeljskim radovima u zemljama Trećeg svijeta, koji uključuju ručno podizanje materijala i ručnu ugradnju betona.

Poznato je da je upravljanje projektima znanost i praksa vođenja teških i složenih projekata za privatne i javne naručitelje. Problemi vođenja takvih projekata zahtijevaju zajedničko vođenje svih radova da bi oni mogli završiti u točno predviđenom vremenu, da bi se osigurala najmanja potrebna količina ugrađenog materijala i da bi bila dostignuta najveća moguća kvaliteta. Dakako, da se sve to ostvaruje uz pomoć suvremene tehnike i mehanizacije, no osnovni principi i planovi vođenja jednog složenog i velikog projekta nisu se značajno mijenjali još od početaka civilizacije. Stoga su stručnjaci iz *DMJM* sa zadovoljstvom prihvatili izazov da pokušaju stručno procijeniti trajanje i način izgradnje Keopsove piramide. Posebno što odavno među onima koji upravljaju izgradnjom velikih projekata kruži jedna dosjetka: "Ako misliš da je vođenje suvremenog projekta složeno, pokušaj izgraditi Keopsovu piramidu!"

Povjesničar Herodot napisao je kako je u izgradnju rampe i piramide kroz trideset godina bilo uključeno 100.000 ljudi. Broj koji navodi Herodot čini se previsokim u svjetlu naših današnjih spoznaja, ali prije proučavanja i utvrđivanja točnih planova i metoda građenja nije bilo moguće osporiti točnost te brojke potrebne da se završi jedan tako golemi pothvat. Ipak je



Presjek kroz Keopsovu piramidu



Ostaci nastambi nekadašnjih graditelja

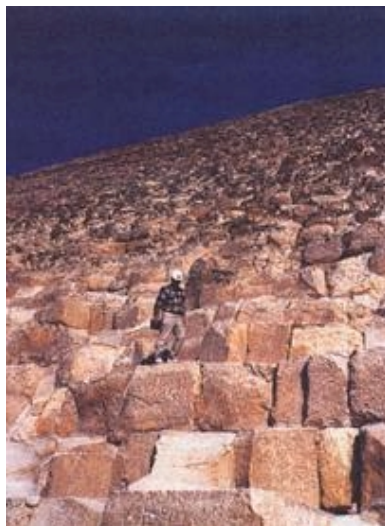
ocijenjeno da broj uključuje i dio sezonske radne snage, prvenstveno mnoštvo poljoprivrednika koji su na piramidi radili u vrijeme poplava Nila, u vrijeme dok nisu mogli raditi u svojim poljima. Sigurno je da bi toliki broj zaposlenih ljudi u punom radnom vremenu i toliko dugo vremena značajno opteretio i zakočio ondašnje egipatsko gospodarstvo. Procijenjeno je, naime, da je 2550. godine kada je, kako se pretpostavlja, započela izgradnja piramide (svaki bi faraon počeo graditi svoju grobnicu odmah nakon stupanja na prijestolje), Egipat imao od milijun do milijun i pol stanovnika. Uostalom nije možda slučajno da se nedugo nakon izgradnje Keopsove piramide, iako se to najčešće tumači vjerskim razlozima, prestalo s izgradnjom toliko velikih piramida i da su grobovi kasnijih faraona znatno manji, iako nerijetko mnogo raskošniji.

Kupina arheologa i voditelja velikih građevinskih projekata najprije je temeljito proučila sva egipatska znanja i alate tog doba te mjesto na kojem je piramida izgrađena. Matematičko i inženjersko znanje, znanosti neophodne da se precizno izgradi tako velika građevina, bili su vrlo razvijeni u starom Egiptu. Egipćani su mogli predviđati poplave Nila, prepoznavali su glavne zvijezde i po položaju zvjezdanih tijela mogli su vrlo točno i relativno jednostavno izračunati površinu i obujam i najsloženijih građevina. Imali su i razvijeno pismo, a upotrebljavali su osnovne alate izrađene od bakra, uključujući pile, dljetka, čekiče i svrdla. Egipatski su radnici usavršili tehniku izrade rupa u kamenu ručnim svrdlima. U te su rupe potom uglavljivali klinove u koje su udarali maljevima pa su kamene ploče bile lako i jednostavno rasječene, a te su ploče otkidane postupno do željenih dimenzija.

Zna se i da su Egipćani razumijevali djelovanje poluge te upotrebu kosina. Posjedovali su, dakle, i sposobnosti i mogućnosti da se prihvate i najsloženijih mogućih projekata, što su uostalom potpuno i dokazali.

Nisu pronađeni nikakvi zapisi koji bi utvrdili planove izgradnje te velike piramide. Ipak neke su se spoznaje dobile analizom grobova kasnije generacije. Nepobitno je utvrđeno da su Egipćani u Keopsovo doba znali izračunavati ne samo obujam, površinu i kutove, već da su znali određivati ravnine te izraditi prave kutove. Mogli su izračunati i upotrijebiti sunčana (slavljenje Sunca bila je jedna od glavnih značajki egipatske religije) i astronomska opažanja za određivanje položaja konstrukcije, znali su koliko materijala moraju upotrijebiti te su prepoznavali potrebu za odgovarajućim temeljenjem svojih građevina.

Stručnjaci su najprije ustanovili koji je kameni materijal ugrađen u Veliku piramidu. Zaključili su da je s ostacima od klesanja najveći dio kamenog materijala ugrađenog u unutraš-



Veličina blokova na najnižim dijelovima piramide

njost piramide vađen na samom platonu Gize, što je možda, uz blizinu kraljevskih palača i bio jedan od razloga izgradnje piramida na tome mjestu. No svi su veliki bijeli blokovi vapnenca za vanjske plohe piramide (prosječno od 2,5 do 6 tona) vađeni u kamenolomu u Turi i morali su se prevoziti niz Nil i prebacivati na drugu stranu rijeke. Procjenjuje se da je ukupno u piramidu



Jedna od manjih piramida namijenjenih kraljicama

ugrađeno više od 2 milijuna kamenih blokova, od kojih iz kamenoloma u Turi nešto više od 50.000. U nju su ugrađeni i teški blokovi granita iz Asuana, koji su se upotrebljavali za gradnju Kraljeve kripote te za zatvaranje ulaza.

Odmah je zaključeno da su se teški blokovi za vanjsku ugradnju morali pripremati u samom kamenolomu i da je njihova priprema započela vjerojatno prije gradnje piramide. Za dopremanje blokova na gradilište sigurno su se koristili Nilom u vrijeme poplave, jer tada voda dolazi gotovo do samog platoa na kojem se piramide nalaze.

Mnogo je teorija razvijeno o tome kako su Egipćani podizali velike blokove.

Neizbježni Herodot pretpostavlja da su se blokovi podizali polugama, čak tvrdi da su upotrebljavane dugačke drvene grede za podizanje blokova s jedne razine piramide na drugu. Stručni je *tim* zaključio kako bi to bilo izrazito nepraktično i sporo te kako bi bilo mnogo jednostavnije blokove podizati uz pomoć nagnute rampe, za koju se zna da se upotrebljavala u gradnji drugih piramida. Ali kada se počelo računati koliku bi rampu trebalo izraditi shvatilo se da bi za konstrukciju takve rampe za tako veliku piramidu trebalo više rada negoli za samu građevinu.

Na kraju je zaključeno da je najvjerojatnije rađena rampa do pedesetog sloja blokova, a blokovi su prosječno visoki po jedan metar. Do te se razine inače ugrađuje više od dvije trećine svih blokova. Tu bi rampa nagnuta 15 stupnjeva bila od velike pomoći, a njezine su dimenzije bile podređene svrhovitosti i uštedi materijala. Morale su biti što uže i pridržavane uz samu piramidu. Na pedesetom sloju blokova bila je, pretpostavlja dalje stručna skupina, izgrađena još jedna rampa koja se penjala do sedamdeset petog sloja, a na toj razini broj se blokova još više smanjivao. Blokovi do vrha morali su

se, vjerojatno, ugrađivati ručno, uz pomoć posebnih i provizornih stuba. Pretpostavlja se da je na kraju sam

vrh, ako je uopće bio ugrađen, podignut posebnom rampom. Takvo je

rješenje ocijenjeno najracionalnijim i najbržim.

GLAVNE MJERE VELIKE PIRAMIDE

Vanjske mjere		
Visina	146,64 m, sada približno 137,2	
Duljine stranica u tlocrtu	sjeverna 230,25 m južna 230,25m istočna 230,39m zapadna 230,36 m	Sada približno 227,29 m
Kutovi uglova u tlocrtu	sjeveroistočni 90° 3' 2'' sjeverozapadni 89° 59' 58'' jugoistočni 89° 56' 27'' jugozapadni 90° 0' 33''	
Ulazi i prolazi (hodnici)		
Ulaz	Visina iznad površine tla	16,97 m
	Istočno od osi piramide	7,29 m
Silazni hodnik	ukupna duljina	105,23 m
	visina 1,19 m; širina 1,05 m	
Uzlazni hodnik	Započinje u silaznom hodniku 28,29 m od ulaza	
	duljina	39,29 m
	visina	1,20 m
	širina na donjem kraju	0,97 m
	izvorna duljina 5,15 m; sada	4,9 m
Podzemne prostorije		
Ulazni hodnik	na sjevernom kraju 30 m ispod površine tla, a na ulazu 29,92 m	
	duljina s predsobljem 8,79 m	
	širina 0,82 m	
	visina - na sjevernom kraju	0,96 m
	- na ulazu	0,91 m
Glavna prostorija	strop 26,82 m ispod površine tla	
	visina glavnog dijela 3,94 m; širina	14,07 m
Kripta		
Ulazni hodnik	sjeverno od stube 21,74 iznad površine ta, a južno od stube 21,2	
	ukupna duljina	38,71 m
	visina - sjeverno od stube	1,18 m
	- južno od stube	1,72 m
	širina	1,06 m
Kripta	duljina	5,23 m
	visina - uz zidove	4,69 m
	- pod tjemenom	6,23 m
	širina	5,75 m
Kraljeva kripta		
Prvi hodnik	42,99 m iznad površine tla	
	duljina od velike stube	2,88 m
	visina 1,05 m; širina	1,06 m
Predsoblje	duljina	2,95 m
	visina 1,65 m; širina	3,79 m
Drugi hodnik	duljina	2,56 m
	visina 1,05 m; širina	1,06 m
Kripta	duljina	5,24 m
	visina 5,85 m; širina	10,47 m
Velika galerija		
ukupna duljina 47,84 m; do velike stube 46,11 m		
visina 8,74 m; širina između zidova 2,09 m, na vrhu 1,05m		

Stručnjaci su uz pomoć egiptologa izračunali sve moguće aspekte građenja, a posebno su računali utrošeni materijal, vrijeme transporta i ugradnje. Zaključili su, primjerice, da je podizanje piramide zahtijevalo postojanje posebnoga graditeljskog sela u čije se kuće moglo smjestiti približno 5000 ljudi, dakle muškaraca i žena. Ako se tome pridodaju oni koji su pripremali, održavali i skladištili oruđa te radnici iz brojnih radionica, ispada da je na gradilištu bilo stalno 4000 do 5000 radnika. U to nisu bili uključeni radnici koji su



Detalj koji pokazuje način rezanja kamena

radili na obradi kamena u udaljenim kamenolomima, njihovu prijevozu od Gize i dopremi do mjesta ugradnje. Navedeni broj također ne uključuje administrativno i pomoćno osoblje koje je potrebno da bi se prehranio i opskrbio toliki broj radnika te oni koji su se brinuli o opskrbljenosti gradilišta raznovrsnim građevnim materijalom, posebno drvom za skele i vuču blokova. Na kraju su proračunali, računajući koliko je rada potrebno za svaku pojedinu radnu operaciju, uključujući dakako i izgradnju unutrašnjih prolaza i galerija, da je ukupno utrošeno 36,7 milijuna radnih dana ili da je približno radilo 131.200 ljudi na godinu. Ako se pret-

postavi da je minimalno trajanje gradnje 10 godina, to znači da je na gradilištu prosječno radilo 13.200 radnika.

Pokušali su procijeniti i koliko je radnicima plaćeno u žitu, prvenstveno rabljenom za pečenje kruha i proizvodnju piva, te koliko je bilo potrebno ulja, druge hrane i odjeće. Gotovo je sigurno da su se drukčije plaćali različita znanja i vještine te rang koji je neki radnik u radu zauzima. Stari zapisi upućuju kako je glavni nadzornik dobivao svaki dan 8 vrčeva piva i 16 kruhova. Po tome su se pokušali procijeniti troškovi svih ostalih radnika kako bi se mogla odrediti ukupna cijena građevine, a procjene su ujedno uključivale tadašnje

gospodarstvo zasnovano isključivo na razmjeni te vrlo dugo trajanje radnog dana. Tako je izračunano da ukupni troškovi rada za cijelu građevinu iznose 111 milijuna vrčeva piva i 126 milijuna kruhova za deset godina trajanja izgradnje. Proizvodni kapaciteti staroga poljoprivrednog Egipta u to vrijeme govore da je to sasvim prihvatljivo i da je gospodarstvo moglo podržati taj složeni pothvat u desetogodišnjem vremenskom razdoblju. To ujedno znači da je izgradnja najveće egipatske piramide trajala mnogo kraće negoli što se to dosad pretpostavljalo, no kraće trajanje izgradnje još više ističe sposobnost i organiziranost starih egipatskih graditelja.

IZVORI

- [1] Smith, C. B.: *Program management B. C.*, Civil Engineering 6/1999.
- [2] Muller, W., Vogel, G.: *Atlas arhitekture I*, Gooden marketing, Institut građevinarstva Hrvatske, Zagreb, 1999.
- [3] Hudec, M.: *Slike iz povijesti drevnih gradnji*, Građevni godišnjak '98, HDGI, Zagreb, 1998. str. 145-219
- [4] Internet: <http://www.gizapyramid.com>; <http://rostau.webprovider.com>

Pripremili: B. Nadilo,
S. Komljenović