Dr Novica Dorđević,
general-major, dipl. inž.
Mornaričkotehnička uprava
GŠ VJ, Beograd

Saša Dorđević,
dipl. inž.
Brodogradilište Beograd

PRIMENA RAČUNARA U BRODOGRADNJI

UDC: 629.12:681.322

Rezime:

Primena računara u brodogradnji vrlo je specifična. Naime, brod je teško matematički definisati, jer je složene konstrukcije, kompleksno opremljen i vrlo skup proizvod. Pored toga u njegovoj izgradnji, koju treba realizovati u relativno kratkom roku, učestvuje mnogo kooperanata. Zbog toga primena računara doprinosi konkurentnosti na svetskom tržištu, odnosno, pojeftinjuje realizaciju izgradnje broda. U ovom članku je opisana primena računara koja se odnosi na definisanje brodske forme i konstrukcije.

Ključne reči: personalni računar, projektovanje, brodogradnja, dokumentacija brodske linije.

COMPUTER APPLICATION IN SHIPBUILDING

Summary:

Computer application in shipbuilding is very specific. A vessel is hard to define mathematically because of its complex structure and equipment. Besides, it is a very expensive product. Many subcontractors take part in its construction which should be realized in a relatively short period of time. Computer application contributes to being competitive at the worldwide market by lowering the price of ship building. This paper describes the computer application in defining a ship form and its construction.

Key words: personal computer, design, shipbuilding, documentation, ship lines.

Uvod

Primena računara u industriji uopšte, pa i u brodogradnji, vezuje se za period od sredine sedamdesetih godina. U to vreme pojavili su se prvi sistemi koji su, zahvaljujući razumnoj ceni, postali rentabilni, ali su imali relativno male mogućnosti, naročito u pogledu grafike. Prema tome, korišćeni su, uglavnom, za proračune, dok se većina poslova vezanih za projektovanje obavljala na klasičan način. Međutim, za dosadašnji razvoj računarske tehnike karakterističan je nagli razvoj, tako da je u veoma kratkom periodu,

do sredine osamdesetih godina, računarska grafika znatno uznapredovala. Tada su se pojavile prve kompleksnije radne stanice koje su preuzele znatan deo pripreme tehničke dokumentacije. Praktično, snažna računarska grafika omogućila je da se trasiranje broda, u skoro svim svojim fazama, obavlja na računaru. Taj proces odvijao se u nekoliko faza. Idejni projekat linija, sa doteranom hidrostatikom, unosio se u računar gde se uglašivala forma. U nju su se smeštali, dobrim delom automatski, elementi konstrukcije: rebrnice, rebra, spone itd. Računar je, zatim, trasirane elemente automatski

slagao na table limova, čime se postizala maksimalna ušteda u materijalu. Konačan rezultat bila je bušena traka na kojoj su se nalazile sve neophodne informacije za numerički vođenu — NC mašinu za sečenje lima.

U istom periodu pojavljuju se daleko jeftiniji računari sa drugačijom, jednostavnijom arhitekturom. To su bili PC XT, a kasnije PC AT i tada praktično počinje konkurentski odnos između personalnih računara i radnih stanica koji se u današnje vreme završava definitivnom pobedom računara. Sa ove distance mogu se sagledati i neki razlozi zbog kojih su personalni računari potisnuli radne stanice.

Prvi razlog je svakako cena, što se može sagledati pomoću parametra koji izražava odnos ukupnih mogućnosti i cene sistema. Naime, u trenutku kada se pojavio personalni računar, radne stanice bile su blizu vrhunca svojih moći i desetak puta skuplje od računara koji je imao nekoliko puta skromnije mogućnosti. Danas, personalni računari najnovije generacije imaju gotovo iste mogućnosti kao i radne stanice, ali se odnos cena nije promenio.

Drugi razlog je tehničke prirode. Naime, moglo se zaključiti da su radne stanice bile više okrenute proizvodnji, dakle, pripremi tehničke dokumentacije. Prema tome, njihovo korišćenje u idejnom projektovanju, preprojektovanju, izradi ugovorne i klasifikacione dokumentacije bilo je svedeno na minimum. Upravo te aktivnosti su vremenski vrlo ograničene, a tehnički veoma široke. Jer, pri izradi idejnog projekta potrebno je uraditi niz analiza i varijanti koje se moraju brzo pripremiti. Za tu vrstu aktivnosti personalni računar se pokazao kao idealan alat i tu je, praktično, počela njegova ozbiljna primena u brodogradnji. Daljim razvojem, računari su počeli da preuzimaju jednu po jednu ulogu radnih stanica tako da se danas računa sa tim da je budućnost u brodogradnji upravo u primeni personalnih računara.

U skladu s tim pojavili su se i brojni programski paketi specijalizo-

vani za primenu u brodogradnji. Neki od tih programskih paketa su toliko usavršeni i integrisani da omogućuju da se kompletan tok dokumentacije, od izrade idejnog projekta pa do sečenja limova i pripreme montaže, radi na personalnom računaru, čime je proces projektovanja zaokružen u svim fazama.

Proces projektovanja

U tradicionalnom maniru, jedan projektantski biro za brodogradnju, u zavisnosti od vrste i složenosti objekta, u procesu projektovanja treba da izvrši sledeće faze:

- idejno rešenje uz ponudu,
- preprojektat i ugovornu dokumentaciju,
- glavni projekat (klasifikaciona dokumentacija),
- trasiranje,
- radioničku dokumentaciju,
- ažuriranje dokumentacije,
- ispitivanja.

Međutim, vreme koje je na raspolaganju za izvršenje svih ovih faza projekta gotovo je uvek veoma ograničeno. Retka su preduzeća koja mogu, kao svoj sopstveni razvoj, unapred i za svoj račun da vrše ispitivanja i razrađuju varijante koje dovode do usavršavanja konačnog proizvoda.

Upravo u tom trenutku, kada u kratkom vremenskom roku treba analizirati nekoliko varijanti po pitanju linija broda, hidrostatičke, preliminarne stabilite, čvrstoće struktura, brodske arhitekture i ostalog, računari pružaju veliku pomoć.

S obzirom na stanje na tržištu brodova i brodske opreme, brodogradilišta moraju veliki deo opreme da nabavljaju u inostranstvu, u različitim delovima sveta, pa je pomoć računara gotovo nezamenjiva, u razvrstavanju i izboru najboljih ponuđača, zatim u prijemu i slanju dokumentacije, što se

već vrši putem modema, disketa i globalnih svetskih mreža. Najzad, s obzirom na to da se cela baza podataka nalazi u elektronskom obliku, olakšana je manipulacija, kao i ažuriranje dokumentacije koja se tiče specifikacija opreme kao i njeno praćenje.

Svakako najveću promenu u odnosu na klasičan sistem doživelo je trasiranje broda. Jer, tačnost postupka, geometrije i položaja elemenata, kao i povezanost sa ostalim fazama gradnje broda kod elemenata koji su trasirani računarom mnogo je veća. Sa druge strane, u uslovima široke upotrebe računara veliki deo poslova trasernice seli se u projektne biroa, odnosno uspostavlja se jedan sasvim novi sistem protoka informacija. Jer, sada projektni biro direktno snabdevaju pogone u kojima se vrši predmontaža i montaža, dok trasernica učestvuje samo u izradi prostornih šablona za neke veoma komplikovane elemente. Prema tome, nova uloga projektnog biroa mogla bi se slobodno nazvati »informacionim centrom proizvodnje«, s obzirom na to da sada veliki broj informacija vezanih za čistu proizvodnju kreće upravo iz projektnih biroa.

CAD u projektnom birou

Upotreba CAD-a u projektnom birou može se podeliti u nekoliko kategorija:

- idejno rešenje — ponuda,
- osnivanje linija,
- osnivanje linija nadgrađa,
- glavno rebro,
- razvoj oplata,
- brodski sistemi,
- projekat elektrike i elektronike,
- oružni sistemi,
- dokumentacija za odobravanje (preprojekt — klasifikaciona dokumentacija).

Svaka od pobrojanih aktivnosti čini osnovu za izradu detaljne dokumentacije. Treba naglasiti da je ovde

prednost računara u tome da se razmena informacija između pojedinih grupa vrši mnogo lakše i brže, s tim što je i obim posla manji, za pojedine grupe, jer su obično izlazni podaci jedne grupe ulazni podaci za drugu i slično. Štaviše, mnogi proizvođači brodske opreme nude dokumentaciju za jedan deo svog proizvodnog programa, takođe u elektronskom obliku, kao crteže ili baze podataka.

Osnivanje linija, na tradicionalan način, obično je obavljano tako što se u najranijoj fazi uzimalo u razmatranje jedna do dve moguće varijante linija, zbog ograničenosti vremena, koje je potrebno za iscrtavanje na tabli i osnovne proračune hidrostatičke. Precizno definisanje linija, kao i njihov konačan oblik, utvrđivao bi se tek u kasnijem procesu projektovanja. Uz korišćenje računara, projektant je u mogućnosti da veoma brzo, u roku od nekoliko sati, za potrebe analize, promene u projektnom zahtevu ili iz drugih razloga, razradi novu varijantu linija.

U sledećoj fazi, kada od idejnih linija treba izraditi konkretan plan vodnih linija u dve i tri dimenzije (2D i 3D), zadatak se svodi samo na doradu idejnih linija. Pomoću 3D modela linija može se, zatim, numeričkim mašinama izraditi model u razmeri, u svrhu hidrodinamičkih ispitivanja, ispitivanja čvrstoće pomoću konačnih elemenata ili za prezentacije naručiocima.

Nije neobično da se u toku razvoja neke forme, napravi i do desetak različitih varijanti. Obično, hidrostatika se rešava u prvom ili drugom koraku, dok se varijante svode na promenu krmenog dela ili pramca kod ratnih brodova i, na primer, uvođenjem bulba ili slično, kod trgovačkih brodova.

Najzad, svakim sledećim uspešno rešenim projektom upotpunjuje se biblioteka gotovih formi koje u nekom narednom projektu služe kao gotova polazna osnova, te se automatski, pri rešavanju nekog novog problema, štedi vreme.

Na slici 1 prikazan je trodimenzionalan izgled trupa broda u fazi osnivanja linija.

Međutim, potpuno kompjutersko projektovanje i proizvodnja za sada je još uvek nemoguće, odnosno neisplativo, jer je brodska forma, u osnovi, veoma složena površina koju je teško matematički u potpunosti definisati. Zbog toga se tradicionalne metode još

uvek koriste, naročito pri trasiranju u punoj razmeri. Za određene brodove postoje mesta složene geometrije ili konstrukcije, gde je tradicionalan metod mnogo efikasniji nego određene računarske metode, kao kod trodimenzionalnih šablona za savijanje limova. Ovakav pristup, pored ostalog, doprinosi većoj integraciji u okviru predu-

Sl. 1 — Brodske linije u fazi osnivanja

zeća, jer, recimo, projektanti koji rade na računarima tesno sarađuju sa traserima.

Ugladivanje linija

Ugladivanje linija je faza u projektovanju broda u kojoj od definisanih teoretskih rebara, sa doteranom hidrostatikom, treba razraditi sva građevna, dakle, stvarna rebra na brodu, zajedno sa svim detaljima. Nekad je to bio dugotrajan postupak, koji se sastojao od iscrtavanja linija u punoj razmeri na podu trasernice, pomoću dugačkih traserskih letvi. Na taj način su, praktično, ispravljane greške projekta vodnih linija i dobijala konačna forma broda.

Prvi programski paketi za ugladivanje linija koristili su model kubnog splajna, što je u osnovi sasvim prirodno. Jer, metod kubnog splajna, u suštini, predstavlja matematički model traserske letve (splajn — »letva«). Međutim, uskoro se pokazalo da pomenuti metod nije dovoljno produktivan. Sedamdesetih godina ovog veka francuski matematičar Bezije (Besiere) postavio je matematičke osnove novog metoda koji je po njemu dobio ime Bezijeov splajn ili B-splajn. Veliki nedostatak pomenutih metoda sastoji se u tome da je njihov rezultat bio takozvani »žičani model«, što znači da je forma trupa predstavljena sistemom linija: rebara, vodnih linija i uzdužnja-

ka. Forma se ugladivala tako što bi se prvo unosili u računar podaci za, recimo, rebra, a zatim bi se u preseku rebara na određenim visinama dobijale vodne linije. Međutim, u procesu dobijanja vodnih linija na bazi unetih rebara uvek je bilo potrebno definisati i neke dodatne uslove koje bi vodne linije morale ispunjavati, a koji se odnose, uglavnom, na pramčani i krmeni deo broda. Mada, i pored toga, ponekad nismo bili u mogućnosti da, naročito kod komplikovanih formi, budemo sasvim sigurni u to šta se događa sa formom na mestima gde se ona naglo menja i gde podela rebara i vodnih linija svojom prirodnom gustoćom ne može da nam pruži jasnu sliku o tome. Napredak u tom smislu ostvaren je uvođenjem novog modela, takozvanog metoda površi. Suština ovog metoda sastoji se u tome da se kroz povučene kontrolne linije, obično u tri dimenzije, povlači trodimenzionalna površ, koju možemo zamisliti kao oplatu koja najbolje definiše formu broda. Površ dobijena na ovaj način je glatka u meri u kojoj su kvalitetne linije na osnovu kojih je formirana. Osnovna prednost površi jeste u tome što, s obzirom na to da po definiciji ne prolazi striktno kroz zadate linije ili tačke, vrši upravo onaj deo posla koji se obavljao u trasernici, a to je fino ugladivanje i otklanjanje sitnih grešaka. Na slici 2 prikazane su »uglađene« linije broda.

Sl. 2 — Ugladene linije broda

Razvoj oplata, je svakako, jedan od najznačajnijih crteža u celokupnoj dokumentaciji broda. Pošto masa oplata čini najveći deo mase čelika broda, koja je jedna od važnih stavki pri projektovanju broda, mogućnost brzog i preciznog dobijanja crteža razvoja oplata je od velike važnosti. Zatim, u ranim fazama projektovanja, iz crteža razvoja oplata, dobijaju se specifikacije za narudžbine limova. Dobijanje crteža razvoja oplata na računaru lakše je od tradicionalnog metoda. Praktično, sa definisanim rebrima i vodnim linijama dobijanje crteža razvoja oplata veoma je jednostavno.

Metodi koji se koriste za dobijanje crteža razvoja oplata nisu posebno razvijani za korišćenje na računaru, već su prilagođeni iz tradicionalnih metoda.

Pošto se izvrši uglađivanje rebara i napravi projekat glavnog rebra, podrazumevajući da je crtež razvoja oplata završen, pristupa se detaljnom definisanju konstruktivnih elemenata trupa. Ovde postoji nekoliko mogućnosti za primenu računara koje zavise od opremljenosti brodogradilišta. Na primer, postoji mogućnost da se linije uglađuju jednom od pomenutih metoda, a da se elementi konstrukcije unose »ručno« za svaki pojedini element. Savršeniji programi, kojima raspolažu i naša brodogradilišta, rade na drugim principima. Većim delom, unos konstrukcije je poluautomatski. Recimo, pri definisanju rebrenica dovoljno je uneti njihovu visinu, položaj i geometriju eventualnih izreza za olakšanje, prodora uzdužnih elemenata konstrukcije i slično, a zatim ih program sam umeće na odgovarajuće mesto. Najmoderniji programi ove vrste u moguć-

Sl. 3 — Trodimenzionalni izgled jedne faze u definisanju brodske konstrukcije

nosti su da na osnovu pravila po kojima se gradi brod i na osnovu glavnih dimenzija broda sami definišu i umetnu na odgovarajuće mesto elemente konstrukcije. Na slici 3. prikazan je trodimenzionalni pogled na elemente konstrukcije, u jednoj od faza, koji su definisani pomoću računara.

Sledeća aktivnost u nizu, pošto su elementi konstrukcije definisani i uneti u računar je slaganje elemenata na table lima. U interesu je da elementi budu složeni, tako da procenat iskorišćenosti površine lima bude što veći. Na slici 4 prikazan je crtež table lima sa složenim elementima koji bi trebalo da budu isečeni. Procenat iskorišćenja površine table lima, pri automatskom slaganju elemenata, dakle onom koji izvršava računar unapred zadatim programom, pored velike uštede u vremenu, kreće se u proseku oko 80%.

S obzirom na to da se veliki deo projektovanja broda sastoji u usaglašavanju potreba naručioca, kao i pravila i propisa, uz mnoštvo izmena od kojih neke dolaze u poslednji čas, vreme utrošeno na definisanje i unošenje konstruktivnih elemenata, kao i na eventualne izmene, zavisi od organizacije samog projektovanja i unošenja elemenata konstrukcije. Ukoliko je or-

ganizacija loša, uz mnogo nejasnoća oko protoka informacija od projektnog dela do proizvodnje, upotreba računara će samo uneti dodatnu zabunu. Prema tome, pojava računara, pored ostalog, nameće i drugačiju organizaciju unutar projektnog biroa. Na žalost, dolazi i do gašenja mnogih radnih mesta, uglavnom manje stručnih. Ipak, primena računara u brodogradnji pomoći će dobrim projektantima da brže i tačnije obavljaju svoj posao. Nijedan program i računar ma kakve moći neće pomoći projektantima koji nemaju dovoljno znanja da naprave dobar projekat.

Zaključak

U ovom prikazu načinjen je osvrt na primenu računara u brodogradnji, i to samo prilikom definisanja brodske forme i konstrukcije.

U delu projektovanja računari se uspešno primenjuju pri definisanju pogonskog kompleksa i pripadajućih sistema, elektroenergetskog sistema, elektronike, oružnih i drugih sistema.

Sl. 4 — Priprema dela konstruktivnih elemenata broda za sečenje na numeričkoj mašini

Zahtev da se u najmanjoj zapremini funkcionalno smesti što više raznovrsne opreme može se kvalitetno ispuniti samo uz upotrebu računara.

Kako je brod veoma složen i kompleksan industrijski proizvod, a uz to i veoma skupa investicija, ovaj prikaz primene računara u brodogradnji odnosi se samo na početni deo realizacije

broda. Konkurentna realizacija projektovanja i gradnje brodova može se provesti samo uz kompletnu primenu računara u svim fazama.

Pre uvođenja sankcija brodograđevinska industrija Jugoslavije raspolagala je hardverom i softverom koji se mogao svrstati među najmodernije u svetu, ali je danas u izvesnom zaostajanju.