



1.1 Uvodna razmatranja o upravljivosti broda

1.1.1 Što je to upravljivost broda?

Pojam “upravljivost” broda obuhvaća više različitih gledišta na svojstva upravljanja brodom putanjom, brzinom i orijentacijom na otvorenom moru kao i na ograničenim plovnim putevima pod različitim uvjetima akvatorija.

Upravljivost razmatra niz međusobno ovisnih svojstva; pokretanja, ubrzavanja, usporavanja, zaustavljanja, sporog napredovanja, vožnje krmom, držanja kursa, promjene kursa, zaokreta, prekida kruženja, u nekim slučajevima i pozicioniranja i držanja zadane pozicije, a kod podmornica i uranjanja i izranjanja. U svojstvo upravljivosti često se uključuju i razmatranje vidljivosti akvatorija s mosta.

Pojedina svojstva upravljivosti treba razmatrati i u otežanim uvjetima akvatorija (vjetar, morska struja, valovi, plitka voda, plovidba kanalom i sl.)

Neka od ovih navedenih svojstava, nadalje, treba razmatrati i u specifičnim uvjetima oštećenog broda, pogotovo u slučaju kvara na kormilarskom uređaju ili ispada pogonskog stroja. (Mogućnost zaustavljanja broda bez pogonskog stroja, na primjer, je očito vrlo važno svojstvo upravljivosti broda).

1.1.2 Što je to dobro upravljiv brod?

Svojstva upravljivosti broda, očito, ovise o glavnim dimenzijama i obliku trupa broda, rješenju pramca i krme broda te izdanaka i privjesaka trupa. Jasno je, isto tako, da će upravljivost ovisiti i značajkama kormilarsko-propulzijskog sustava broda primjenom kojeg se postiže željeni manevar broda.

Međutim, dizajn luke u koje brod pristaje, smještaj opreme za navigaciju, uređenje plovnih kanala, utjecaji blizine obale i plitkih voda, utjecaj morskih struja i vjetra, te međusoban utjecaj s drugim brodovima u prometu, sve to utječe na trenutni stupanj upravljivosti broda.

Zapovjednik, peljar, kormilar i strojar daju, dodatno, vrlo važnu ljudsku dimenziju odzivu broda u manevru.

Prema tome, za svaki brod bi se moglo reći da posjeduje:

- urođena svojstva upravljivosti, koja ovise o izvedbi i stanju trupa i kormilarsko-propulzijskog sustava broda,
- upravljivost u eksploataciji, koja ovisi o svojstvima rute plovidbe, prirodnih prolaza i kanala, luka u koje brod pristaje, i sl.,
- upravljivost u kriznim situacijama (izbjegavanje sudara, kvar na propulzijsko-kormilarskom sustavu, čovjek u moru, ekstremno teški uvjeti akvatorija, tegljenje i sl.) u kojima ishod često ovisi i o različitim vanjskim neočekivanim faktorima, odlukama zapovjednika broda i stroja te uvježbanosti posade.

Dobro upravljiv brod treba imati takva “dovoljno dobra” svojstva upravljivosti, koja osiguravaju “potrebna” svojstva upravljivosti i u uvjetima eksploatacije i krizne situacije.

Na žalost, termine “dovoljno dobra” i “potrebna svojstva” vrlo je teško izraziti u kvantitativnim vrijednostima.

Neke međunarodne organizacije (o čemu će kasnije biti više govora), s ciljem zaštite ljudskog života na moru, zaštite mora od zagađivanja, i, dakako, smanjenja troškova zbog brojnih nesreća na moru od kojih je dobar dio u uskoj vezi s upravljivosti, uvele su određene kriterije za ocjenu i procjenu svojstava upravljivosti broda.

U nedostatku boljeg odgovora, na postavljeno pitanje može se dati formalni odgovor da dobro upravljiv brod zadovoljava sve međunarodne kriterije za procjenu njegove upravljivosti.

Svi ti kriteriji odnose se na urođena svojstva upravljivosti broda koja se više-manje mogu kvantitativno izraziti skupom parametara koji opisuju odziv broda u standardiziranim pokusima upravljivosti broda na mirnoj vodi, bez vjetera i u neograničenom akvatoriju (npr. promjer kruga okretanja, vrijeme i prevaljeni put kod zaustavljanja, odstupanja kod plovidbe u ravnom kursu i sl.).

1.1.3 Kako projektirati brod dobre upravljivosti?

Tri osnovna pravila:

1. Poštivati ulogu upravljivosti u projektnoj spirali, dakle:

- s procjenama i ocjenama svojstava upravljivosti projekta treba početi što ranije (bez obzira što će u najranijim fazama to biti tek grube procjene)
- upravljivost treba provjeravati u svim fazama projekta, od ideje do pokusne plovidbe broda

2. Temeljito razmotriti transportni zadatak broda te uočiti projektne varijable koje bitno utječu na izvršenje tog zadatka.

3. Pravovremeno pokrenuti detaljnu analizu upravljivosti projekta, korištenjem stručnih suradnika i (poželjno) modelskih ispitivanja.

Brodске forme i uvjeti eksploatacije broda su se u zadnja dva-tri desetljeća doživjeli vrlo velike promjene, koje su dovele do toga da se više pažnje mora posvetiti postizanju odgovarajuće upravljivosti novoga broda. International Maritime Organization (IMO) prepoznao je problem i sastavio upute za razvoj kvantitativnih standarda performansi upravljivosti. IMO Resolution A601 preporučio je da se upravljivost predvidi prije konstruiranja, a provjeri nakon.

Slijedeći primjer pokazuje praktičnu važnost analize upravljivosti i posebno potrebu za njenim ranim razmatranjem u fazi projektiranja sa primjenom odgovarajućih alata za analizu i kompromis s ostalim projektnim zahtjevima:

Sagrađena je serija relativno brzih jednovijčanih brodova za prijevoz opasnih tereta. Zbog uočenih problema s vibracijama na jednom prethodno analiziranom brzom jednovijčanom brodu za prijevoz kontejnera, izabrana je konfiguracija s otvorenom krmom. U toj fazi projektiranja bilo je nekih rasprava o utjecaju otvorene krme na upravljivost, osobito na dinamičku stabilnost (kursu) broda, ali nisu predviđeni nikakvi planovi za procjenu upravljivosti u toj ranoj fazi projektiranja. Prije potpisivanja ugovora o gradnji broda provedeni su samo modelska ispitivanja propulzije koja su potvrdili prikladnost projekta sa stanovišta brzine i vibracija. Kasnija modelska ispitivanja upravljivosti pokazala su da će brodovi biti vrlo nestabilni. Kad su brodovi izgrađeni i pušteni u promet, nakrcani brodovi su povremeno, bez pravilnosti i upozorenja, činili okret za 360 stupnja. Ovakvo ponašanje izazvalo je zabrinutost za sigurnost posade i akvatorija i što je dovelo do toga

daje brodovima zabran ulaz u neke luke.

Očito je da je u ovom primjeru upravljivosti broda trebalo posvetiti jednako pažnje kao i vibracijama krme broda. Projektant i vlasnik su već u najranijoj fazi trebali trebali naći odgovarajući kompromis između karakteristika vibracija i upravljivosti projekta.

Budući da je projektiranje odgovarajuće upravljivosti samo jedan od mnogih zadataka s kojim se inženjeri brodogradnje i projektanti suočavaju, često su potrebni kompromisi s tradicionalno "važnijim" brodskim karakteristikama.

Nekad se rješenje postiže već samim usporedbama sa projektnim karakteristikama sličnih uspješnih plovila.

U drugim slučajevima, međutim, bez detaljnijih analiza upravljivosti, a ponekad i modelskih ispitivanja, nije moguće ostvariti uspješan projekt.

1.1.4 Klasifikacija osnovnih svojstava upravljivosti broda

Upravljivost je ranije definirana kao sposobnost kontrole gibanja broda pomoću njegovih sredstava upravljanja (kormilarsko-propulzijskih uređaja). Određeni podskup tih svojstava, koji se odnose na svojstva broda bez uzimanja u obzir ograničenja ljudskog faktora kod kormilarenja, te ostalih ograničenja plovnog puta, naziva se urođenim svojstvima upravljivosti

U većini slučajeva će peljar (pilot) iskoristiti manje nego što brod sam po sebi ima. Čovjek dopušta kašnjenja u primjeni sredstava upravljanja, raznoliko ovisno o uvjetima okoline i subjektivne procjene što dovodi do većih odstupanja od idealne putanje koju bi brod sam po sebi mogao ostvariti. Kao rezultat tih "dopuštanja" može se reći da brod ima manju upravljivost kad se njime (ručno i/ili elektronički) upravlja. Razlika se naziva dodatkom zbog kormilarenja (engl.: piloting margin).

Zadatak projektanta, dakle, je da osigura dovoljna urođena svojstva upravljivosti koja će osigurati dobra svojstva upravljivosti i u realnim uvjetima korištenja upravljanog broda.

Pri projektiranju većine klasičnih trgovačkih broda najčešće se razmatraju samo osnovna urođena svojstva upravljivosti broda.

Osnovna svojstva upravljivosti sačinjavaju slijedeće tri grupe:

- a) Dinamička stabilnost. Svojstva održavanje ravnog kursa sa željom da brod može održavati kurs bez obzira na utjecaje okoline.
- b) Okretljivost. Kontrolirana promjena smjera gibanja (okret ili manja promjena kursa) sa željom jednostavnog i točnog postizanja krajnjeg kursa plovidbe u što kraćem vremenu i što manjem prostoru akvatorija.
- c) Zaustavljivost Kontrolirano zaustavljanje broda sa željom da to bude jednostavno, brzo i na prihvatljivom putu i to bez (većeg) gubitka kontrole smjera gibanja.

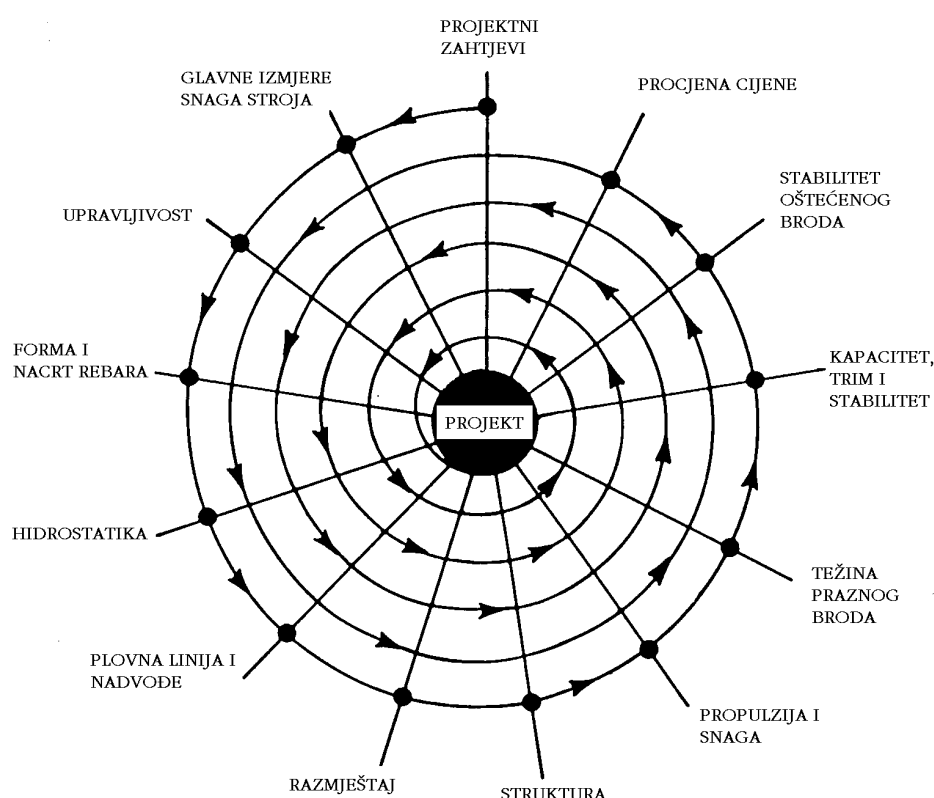
Dinamička stabilnost i okretljivost su svojstva koja naročito ovise o geometriji trupa i trimu broda. Kod konvencionalnih brodova sposobnost održavanja kursa i okretljivost su načešće međusobno suprotstavljena svojstva broda. Jako okretljivi brodovi često teško održavaju ravni kurs plovidbe, a brodovi koji lako drže kurs mogu imati problema pri promjeni kursa i okretanju. Na sreću, kompromis je u većini slučajeva moguć.

1.1.5 Upravljivost u projektnoj spirali

Sve do nedavno analize upravljivosti su izvođene kasno u procesu projektiranja, samo kako bi se provjerila konačna prihvatljivost. Kao što je ranije raspravljeno, važno je shvatiti nužnost uključivanja upravljivosti u najranim fazama projektiranja.

Izabrana forma trupa, glavne dimenzije i karakteristike trupa, tip i veličina kormila te rješenje propulzijskog sustava direktno određuju i glavnu svojstva upravljivosti broda. Iako su neke modifikacije moguće i kasnije, a ponekad do njih i dolazi tijekom detaljnijeg razrade projekta i izgradnje broda, one su obično vrlo male i ne previše bitne za upravljivost projektiranog broda. Naravno, upravljivost je samo jedan od mnogih projektnih zahtjeva i može se očekivati da će se do najboljeg rješenja doći postupno kompromisom s ostalim projektnim zahtjevima.

Dakle, upravljivost treba biti jedna od ravnopravnih točaka u projektnoj spirali koja predviđa odgovarajuće analize na samom početku, tijekom svake faze procesa projektiranja broda, sve do pokusne plovidbe i isporuke broda. Tipičan primjer prikazan je u tablici 1.1.



sl.1.1 Upravlјivost u projektnoj spirali

Tablica 1.1

FAZA PROJEKTA	FAZA RAZRADE SVOJSTAVA UPRAVLJIVOSTI
Ideja	Pregled i analiza uspješnosti rješenja postojećih brodova Usporedba glavnih dimenzija
Prvi koncept	Razrada projektnih zahtjeva na upravljivost
Razrađeni koncept	Tip i veličina kormila Prognoza svojstava upravljivosti Potvrđivanje glavnih dimenzija i forme
Preliminarni	Usporedba s postojećim brodovima
Ugovorni	Modelska ispitivanja i/ili detaljne prognoze upravljivosti, Projekt kormila i kormilarskog uređaja Projekt poprečnih propulzora

Detaljni	Projekt mosta, kormilarnice i sustava navigacije. Izrada knjižice upravljivosti
Pokusna plovidba	Ispitivanje upravljivosti na pokusnoj plovidbi Ažuriranje knjižice upravljivosti
Isporuka	Izrada postera upravljivosti i kartice za pilota

1.1.6 Projektne varijable

U tablici 1.2 su navedene mnoge projektne varijable koje imaju utjecaj na upravljivost broda.

Najveću pažnju treba posvetiti:

- glavnim izmjerama i obliku forme trupa,
- izboru (tipa, i veličine) kormila,
- razmještau sustava trup-vijak-kormilo.

Ponekad se, radi osiguravanja dobre upravljivosti u lukama i skućenim akvatorijima, treba razmotriti i

- prednosti dvovijčanog pogona broda
- primjena poprečnih propulzora
- primjena azimutskih (okretnih) pomoćnih propulzora

Položaj mosta utječe na vidljivost akvatorija i može također imati važnu ulogu u efektivnosti upravljanja brodom.

1.1.7 Projektni alati

U najranijim fazama projektiranja koriste se iskustvena pravila (vidi tablicu 1.2).

Svaki projekt ima svoje osobite probleme o kojima će ovisiti da li će se u detaljniju analizu upravljivosti ući u ranijim ili nešto kasnijim fazama projekta. Strategija projektiranja upravljivosti ovisi o nizu faktora: od tipa broda, njegove veličine, odstupanja od uobičajenih izmjera i/ili oblika trupa, primjene novih formi, tipu tereta, trgovačkom putu ili zadatku, luci, načinima rada posade i raznim drugim mogućim kriterijima.

Tablica 1.3 daje popis alata za analize upravljivosti pri projektiranju broda s fazama projekta u kojima se pojedini alat koristi.

Modelska ispitivanja za prognoze upravljivosti još uvijek se pokušavaju, kad je to moguće i prihvatljivo, zamijeniti detaljnim simulacijama na računalu, budući da su prilično skupa (reda veličine 100 000 USD) i dugotrajna (3-4 mjeseca).

Ako se projektiranje bazira na prototipu s poznatim karakteristikama upravljivosti, projektant će iskoristiti poznata svojstva upravljivosti te serije. Na te karakteristike će utjecati promjene u geometriji trupa, kontrolnim površinama, tipu propulzije i razmještau broda. Iako i umjerene promjene u projektu mogu imati veliki utjecaj na upravljivost broda, komparativan pristup (tj. procjena promjene svojstva) u kombinaciji s detaljnim numeričkom analizom daje pouzdanije rezultate od čiste prognoze po teorijsko-statističkim formulama (apsolutnih vrijednosti pojedinog svojstva).

Tablica 1.2

PROJEKTNE VARIJABLE	ISKUSTVENA PRAVILA
GLAVNE IZMJERE BRODA	<ul style="list-style-type: none"> Manje vrijednosti B/L, B/T, C_B te krmeni trim poboljšavaju svojstva stabilnosti kursa i pogoršavaju svojstva okretljivosti Povećanjem broda smanjuje se brzina odziva broda i pogoršavaju svojstva zaustavljanja
FORMA PRAMCA	<ul style="list-style-type: none"> Vitke linije mogu poboljšati stabilnost kursa Punoća pramca može izazvati pramčani trim na plitkoj vodi Bulb s velikom lateralnom površinom može smanjiti stabilnost kursa Pramčani bulb može smetati kod pristajanja i sidrenja Izbačena forma može otežati rad remorkera
FORMA KRME	<ul style="list-style-type: none"> Vitke linije poboljšavaju sliku strujanja na krmi te time i efikasnost kormila Smanjenje lateralne površine na krmi smanjuje stabilnost kursa Skeg povećava stabilnost kursa i smanjuje okretljivost broda Veliko krmeno zrcalo s U-rebrima može jako smanjiti stabilnost kursa
SILUETA BRODA	<ul style="list-style-type: none"> Velika lateralna površina uzrokuje velike aerodinamičke sile i momente pri plovidbi u jakom vjetru Položaj mosta i kormilarnice utječu na preglednost akvatorija Nadgrađe na sredini broda daje najmanje aerodinamičke momente u vjetru
PRAMČANA SILUETA	<ul style="list-style-type: none"> Pramčanu siluetu treba naročito razmotriti u slučaju krmenog trima (plovidba u balastu) Veličina vjetru izloženih površina na pramcu jako utječe na aerodinamičke sile na brod Oblik pramca utječe na vidljivost akvatorija
KORMILO	<ul style="list-style-type: none"> Veća površina kormila povećava svojstva kormilarenja i povećava brzinu odziva broda Veća brzina preokretanja kormila povećava brzinu odziva broda Kormila izvan mlaza propelera imaju drastično malu učinkovitost. Za smještaj kormila izvan mlaza propelera treba imati vrlo jake razloge. Kod dvovijčane propulzije treba koristiti konfiguraciju s dva kormila. Zakretni moment, dimenzije osovine i snaga kormilarskog stroja ovisni su o veličini, tipu i rasporedu ploha (balansu) lista kormila, brzini broda i smještaju kormila iza propelera.
PROPELER	<ul style="list-style-type: none"> Dvovijčani brodovi imaju znatno bolja svojstva manevra pri niskim brzinama Vijci s prekretnim krilima daju bolja svojstva manevra pri niskim brzinama i zaustavljanja broda (prekretom krila na vožnju krmom) Propeler treba projektirati i sa stanovišta željenih svojstava pri vožnji krmom
POMOĆNI PROPULZORI	<ul style="list-style-type: none"> Pramčani poprečni propulzor treba osigurati dovoljnu okretljivost broda pri niskim brzinama plovidbe Krmeni poprečni propulzor (ili neko drugo aktivno sredstvo na krmi) uvijek se koriste u kombinaciji s pramčanim poprečnim propulzorom Okretni (azimutni) pomoćni propulzori koriste se za osiguravanje dobrih svojstava pozicioniranja broda, kontrolirane plovidbe niskim brzinama u uvjetima morske struje i vjetra
PORIVNI STROJ	<ul style="list-style-type: none"> Pouzdanost stroja pri promjeni brzine vrtnje i/ili u režimu promjenjivih opterećenja u manevru. Povećavanje snage stroja, općenito, povećava svojstva upravljivosti broda Strojevi s visokom minimalnom brzinom vrtnje mogu dati prevelike minimalne brzine plovidbe (Vremenske) karakteristike odziva stroja kod preokretanja na vožnju krmom bitno utječu na svojstva zaustavljanja broda Mali broj mogućih uzastopnih pokretanja stroja može dovesti do ispada stroja u kritičnom (opasnom) trenutku manevra

Tablica 1.3

Projektni alati	faza projekta			
	koncept	preliminarni	ugovorni	detaljni
ISKUSTVENA PRAVILA Upute temeljene na iskustvu i neosporne teorijske	DA	TREBA IZBJEGAVATI		
PRIRUČNICI ZA PROJEKTIRANJE BRODA Formule, tablice i dijagrami s preporukama za proračun te upozorenja o potencijalnim problemima temeljeni na iskustvu s postojećim brodovima, modelskim ispitivanja serija pojedinih tipova formi s variranim odnosima glavnih	DA	DA	DA	

izmjera, teorijskim istraživanjima i sl.				
KATALOZI, TEHNIČKI PODACI I UPUTE PROIZVOĐAČA OPREME Literatura dostupna samo za projekt stroja, propulzora, kormila i sl.		DA	DA	DA
PROGNOZE POMOĆU RAČUNALA Prognoza svojstava upravljivosti simulacijom putanje broda pri standardnim pokusima upravljivosti broda. Numerička simulacija provodi se s više ili manje složenim matematičkim modelima (ovisno o količini hidrodinamičkih podataka o sustavu trup-vijak-kormilo).		PREPORUKA	DA	DA
POKUSI SA SLOBODNIM MODELIMA Eksperimentalno određivanje (mjerenje) putanje modela pri standardnim pokusima upravljivosti broda. Naknadnom analizom, često primjenom matematičkih modela, izmjereni rezultati se prenose u mjerilo i ostale uvjete broda. Često se modelski ispituje samo skraćeni program pokusa upravljivosti, ili se ispituje samo poneko izabrano svojstvo upravljivosti broda, te se dobiveni rezultati koriste za izradu pouzdanijeg matematičkog modela pomoću kojega se provodi simulacija kompletnog standardnog programa pokusa.		DA	DA	DA
POKUSI S VOĐENIM MODELIMA Koriste se pri ispitivanjima serija modela ili u slučaju detaljnog istraživanja hidrodinamičkih značajki svih elemenata u sustavu trup-vijak-kormilo (pri sanaciji težih problema s upravljivosti, projektiranja brodova sa specifičnim zahtjevima na pojedina svojstva upravljivosti, i sl.). Prognoza svojstava upravljivosti broda provodi se primjenom matematički modela i simulacije na računalu.		DA	DA	DA
POKUSI SA SLOBODNIM MODELOM U HIDRAULIČKOM MODELU AKVATORIJA Pokusima se utvrđuju svojstva upravljivosti u uvjetima ograničenog akvatorija, plitke vode, mimoilaženja s drugim brodovima i sl. Pokusi su vrlo složeni, skupi i dugotrajni, pa se provode samo u posebnim prilikama.		DA	DA	DA
SIMULACIJA S ČOVJEKOM U PETLJI Simulacijom se utvrđuje svojstva putanje broda pri kormilarenju u ograničenom akvatoriju. Simulacija se temelji na složenim matematičkim modelima hidrodinamičkih i aerodinamičkih svojstava broda, propulzora i kormila, dinamičkih svojstava strojeva i uređaja, elektroničkih kontrolera uređaja, hidrodinamičkih i geometrijskih svojstava akvatorija i obale i td. Upravljanje matematičkim modelom kontrornilarsko- propulzijskog sustava provodi čovjek pomoću stvarne opreme za upravljanje iz kormilarnice i strojarnice. Zbog toga se ovi simulatori nazivaju terminom "Bridge simulator".			DA	DA