



1.4 Ispitivanje upravljivosti broda u naravi

Prvi međunarodni standard pokusa upravljivosti donesen je na 14 konferenciji hidrodinamičkih bazena, poznat je pod nazivom **1975 ITTC Manoeuvring Trial Code**.

Standard definira postupak i uvjete za provedbu pokusa upravljivosti praktički svih pokusa koji su se do danas primjenjivali u praksi.

Na pokusnim plovidbama brodova provode se uvijek slijedeći pokusi

- manevar okretanja
- pokusi zaustavljanja
- ispitivanje efikasnosti poprečnog propulzora

Često se u program pokusnih plovidbi uključuju:

- Z-manevar
- Man-overboard manevar (čovjek u moru)
- Manevar izvlačenja iz kruženja (pull-out)

U slučaju problema s dinamičkom stabilnošću kursa broda provode se specijalistički pokusi:

- direktni spiralni pokus
- obrnuti spiralni pokus

Svi pokusi provode se na punom gazu i u stanju balasta, što su, sa stanovišta upravljivosti, dva drastično različita stanja broda.



Pokusi upravljivosti trebaju se provesti na dubokoj vodi, bez značajnog utjecaja vjetra, morske struje i morskog valovlja.

Svi pokusi počinju s ustaljenim ravnostranim gibanjem s jednom od manevarskih brzina broda

Uvjeti akvatorija mjere se (ili procjenjuju) neposredno prije početka svakog pokusa:

- dubina vode
- stanje mora
- brzina i smjer vjetra

Tijekom pokusa kontinuirano se mjere i prikupljaju slijedeći podaci:

- vrijeme
- kurs broda
- položaj broda
- odklon kormila
- brzina vrtnje vijka (ili uspon vijka)
- brzina broda prema brodskom brzinomjeru

1.4.1 POKUSI ZAUSTAVLJANJA

Pokusima zaustavljanja ispituje se karakteristike gibanja broda nakon prebacivanja stroja iz neke

početne manevarske brzine na naređenu manevarsku brzinu.

Tipičan program ispitivanja zaustavljanja sastoji se od po 4 pokusa na punom i balastnom gazu broda:

Početna manevarska brzina	Naređena manevarska brzina
Full Sea Speed	Full Astern
Full Ahead	Full Astern
Full Sea Speed	Stop
Full Ahead	Stop

Pokusi prebacivanja na punu snagu krmom nazivaju se CRASH-STOP manevrima.

Pokusi kod kojih je naređena manevarska brzina STOP nazivaju se COASTING-STOP manevrima i simuliraju gibanje broda nakon ispada pogona.

Pokusi počinju tako da se brod dovede u ustaljeno ravno gibanje konstantnom brzinom prema zadanim početnim uvjetima. Kurs plovidbe izabire se tako da brod plovi s pramcem u vjetar.

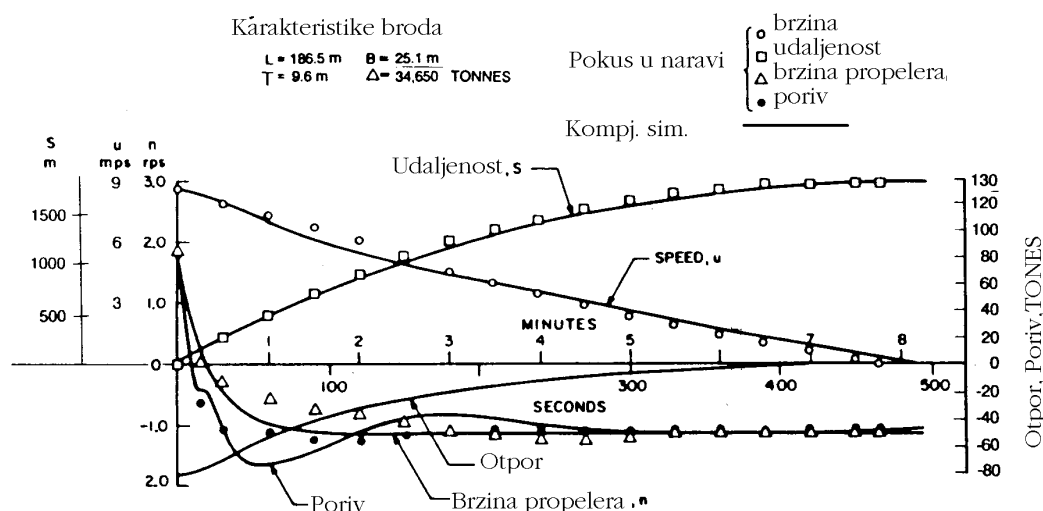
Započinje snimanje podataka. Manevar započinje izdavanjem naredbe za prebacivanje stroja u naređenu manevarsku brzinu. Snaga krmom mora se postići što je moguće brže, koliko to dozvoljava stroj i ljudstvo.

Kormilo se koristi što je moguće manje i to samo s ciljem održanja kursa broda što je to moguće duže.

Pokus se prekida dok brod postigne brzinu 0.25 m/s unatrag (kod crash-stop manevara), odnosno sve dok brzina broda ne padne ispod 0.5 m/s naprijed (kod coasting-stop manevara).

Tijekom pokusa mjeri se putanja broda, kurs i brzina broda, brzina vrtnje propelera i kut otklona kormila.

Izrađuju se dijagrami koji prikazuju brzinu, osovinski RPM i udaljenost u odnosu na vrijeme, te tablica rezultirajućih vrijednosti parametara.



Slika 1.3.3. Odziv zaustavljanja Esso Suez sa pokusa i kompjutorske simulacije. Brzina propelera je aproksimirana eksponencijalnom krivuljom

1.4.2 MANEVAR OKRETANJA

Manevri se izvode za stanje punog krcanja i balastno stanje koristeći maksimalni otklon kormila u lijevo i desno, bez promjene režima motora kod slijedećih početnih brzina:

- punom brzinom naprijed,
- pola brzine naprijed,
- malom brzinom naprijed.

To je ukupno 12 pokusa.

Manevar se izvodi za oba stanja krcanja i maksimalan otklon kormila u lijevo i desno, pri početnoj punoj brzini i zaustavljanjem motora na početku zakretanja (4 manevra).

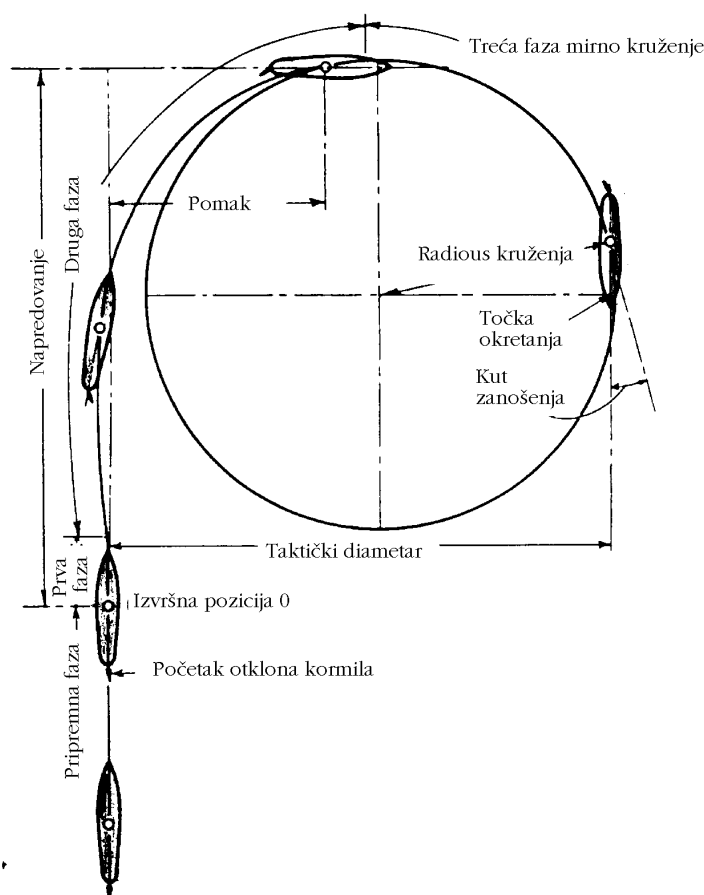
Ako je moguće, maksimalan kut otklona kormila trebao bi biti 35° . Ako je kormilo takvo da može koristiti veći otklon, preporučuje se izvođenje odvojenih manevara koristeći i taj veći kut otklona.

1.1.1. Opis manevara kružnog okreta

Brod se dovodi u ustaljeni kurs i ustaljenu brzinu prema zadanim početnim uvjetima. Započinjemo snimanje podataka.

Manevar počinje postavljanjem kormila u propisani kut. Režimi kormila i stroja drže se konstantnim tijekom okreta.

Kad izvodimo manevar sa zaustavljanjem stroja, stroj dobiva naredbu za zaustavljanje istovremeno kad i kormilo za otklon. Na punoj brzini okret se izvodi dok se kurs ne promjeni za 540° .

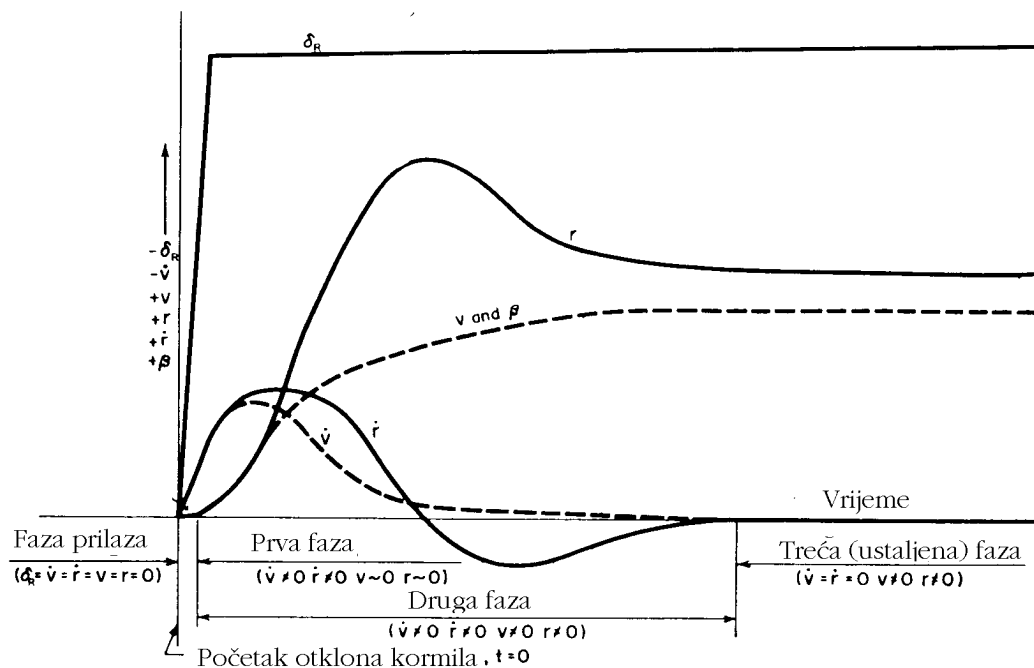


Slika 1.4.1. Putanja okretanja broda

Kad izvodimo manevar okretanja po inerciji, manevar se može prekinuti kada je brzina ispod 1 m/s. Snimanje podataka se završava i manevar se prekida.

1.1.2. Prikaz podataka manevara kružnog okreta

Za svaki manevar kružnog okretanja bilježi se slikovna putanja centra broda i kurs broda u diskretnim intervalima vremena tijekom manevara. Za svaki manevar izrađuje se dijagram promjene kursa, brzine broda, brzine vrtnje propelera, kutne brzine broda u ovisnosti o vremenu.



Slika 1.4.2. Karakteristike faza okretanja

1.1.3. Prikaz karakteristika okretanja

Rezultati nekoliko manevara kružnog okretanja prikazuju se na snimci po uobičajenom rasporedu osi, grupiranih posebno za stanje krcanja, a posebno za balastno stanje.

1.2. ZIG-ZAG MANEVAR (Z TEST)

1.2.1. Uvod

Za stanje punog opterećenja i za balastno stanje, mora se izvesti jedan manevar s punom snagom naprijed (2 pokusa).

Preporuka je i izvesti jedan manevar s pola snage naprijed.

1.2.2. Opis manevra

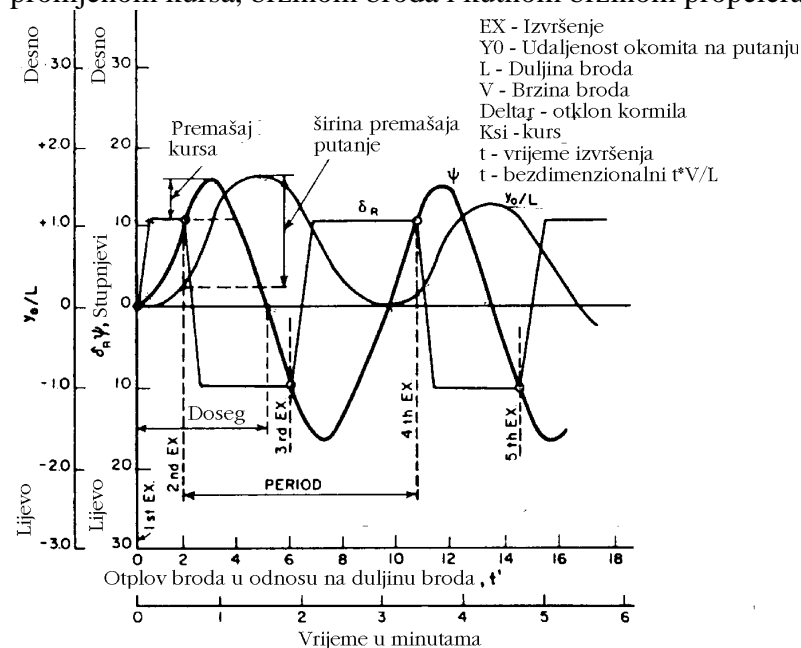
Brod se kreće punom brzinom naprijed i konstantnim kursom, s vjetrom u pramac. Režim rada motora je konstantan tijekom cijelog manevra. Počinje bilježenje podataka.

Manevar počinje otklonom kormila 10^0 udesno. Kad se kurs promjeni za 10^0 , kormilo se okrene za 10^0 ulijevo. Manevar se ponavlja sve dok brod ne presječe osnovni kurs 5 puta. Tada prekidamo snimanje podataka i manevar je time završen.

1.2.3. Prikaz rezultata "Z-testa"

Za svaki manevar mora se napraviti krivulja putanje broda. Centar broda i kurs broda moraju biti ubilježeni na dijagramu u diskretnim vremenskim intervalima.

Za svaki manevar, dijagrami moraju biti dani za kut otklona kormila i kut kursa broda, zajedno s promjenom kursa, brzinom broda i kutnom brzinom propelera kao funkcija vremena.



Slika 1.6.1 Rezultati zigzag manevra

Tablični prikaz rezultata daje vrijeme za svaki otklon kormila. Promjena kursa i nulti kurs moraju biti dani zajedno s vrijednostima kutnog premašaja, premašenog vremena i vremenskim periodima.

1.3. MANEVAR IZVLAČENJA IZ KRUŽENJA

1.3.1. Broj manevra

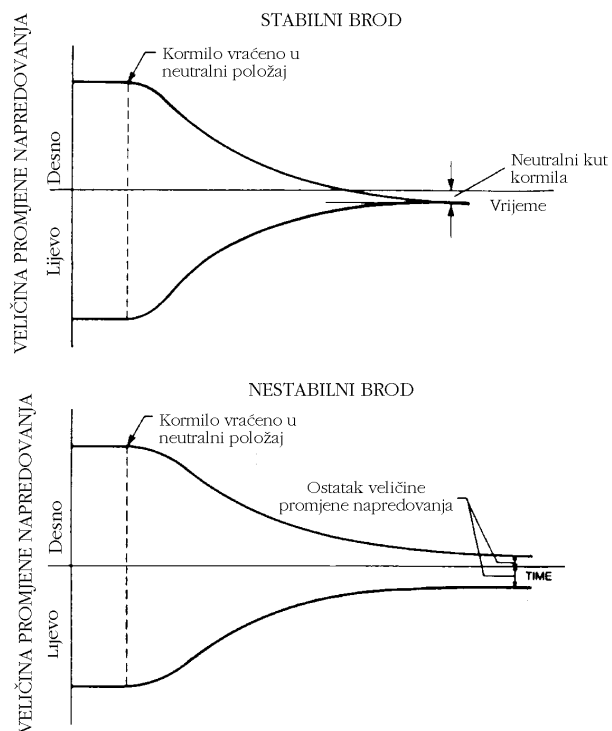
Manevar se izvodi i za stanje punog opterećenja i za balastno stanje s punom brzinom naprijed. Svaki manevar sastoji se od dvije vožnje: jedna na desnu i jedna na lijevu stranu.

Kad se izvodi zajedno s manevarom kružnog okretanja, preporuka je izraditi manevar izvlačenja i za srednju i za malu brzinu.

1.3.2. Opis manevra

Brod se nalazi u stabilnom kursu, s otklonom kormila za kut između $15 - 35^{\circ}$. Režim rada motora drži se konstantnim tijekom cijelog manevra. Počinje snimanje podataka.

Kad se postigne stabilno stanje, uključujući brzinu, kormilo se vraća u središnji položaj. Manevar se nastavlja dok promjena kursa ne postigne konstantnu vrijednost, nulu ili različitu od nule. Kad se postigne stabilno stanje ono se drži dvije minute i tada završava snimanje podataka.



Slika 1.7.1. Prikaz rezultata manevra izvlačenja

1.3.3. Prikaz rezultata manevra izvlačenja

Za svaki manevar, koji se sastoji od dviju vožnji (na lijevu i desnu stranu) moraju se dati odgovarajući podaci. Prikaz rezultata mora sadržavati dijagram promjene kursa kao funkciju vremena za obje vožnje, dijagram brzine broda i brzine vrtnje propelera kao funkcija vremena za obje vožnje i tablični prikaz za početno stabilno stanje broda i konačno stabilno stanje broda, uključujući i dodatnu promjenu kursa i petlju nestabilnosti.

1.4. SPIRALNI MANEVAR

1.4.1. Uvod

Spiralni manevar je sastavljen od većeg broja stabilnih stanja okretaja koji se postižu konstantnim režimima rada motora. Manevar se izvodi u balastnom stanju i pri punom opterećenju, pri punoj brzini naprijed. Rezultati manevra kružnog okretanja s punom brzinom naprijed mogu se koristiti pri spiralnom manevaru, pa se taj kut otklona kormila ne mora ponavljati u spiralnom manevaru.

1.4.2. Opis direktnog spiralnog manevra

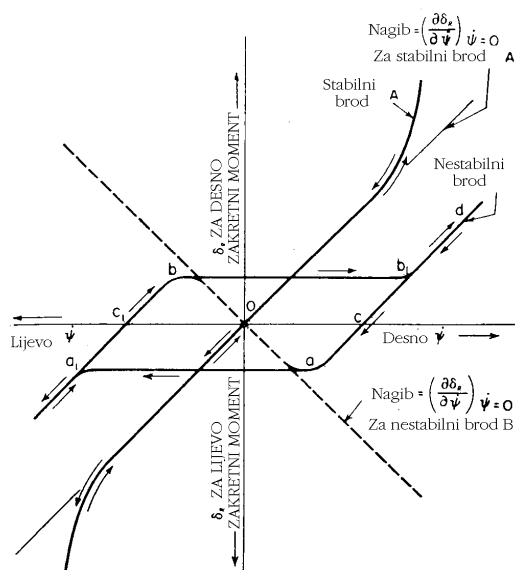
Brod se drži na ravnom kursu s punom brzinom naprijed i s konstantnim režimom rada motora. Tada počinje bilježenje podataka.

Kormilo se otkloni za kut od 25^0 desno, i tako se drži sve dok se promjena kursa i brzina ne ustale na konstantnu vrijednost. Tada se kut kormila smanji za 5^0 i tako se drži sve dok se ne postigne konstantna brzina i konstantna promjena kursa (stabilno okretanje). Ovaj postupak se ponavlja dok kut kormila ne pokrije područje od 25^0 udesno do 25^0 lijevo i opet natrag.

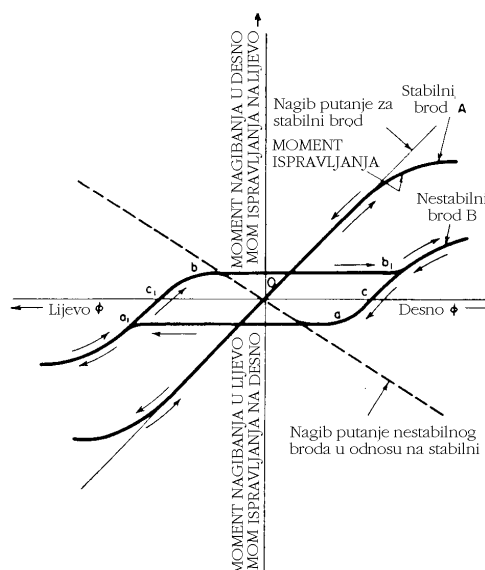
Za brodove sa stabilnim kursom (rezultat slobodnog otplova) raspon kuteva otklona kormila je od 10^0 desno do 10^0 lijevo, s pomakom od 2^0 .

Za brodove s nestabilnim kursom, pomak kormila od 5^0 pri izvođenju manevra daje kursu izgled nestabilne petlje, pa se za takve brodove koristi povratni spiralni test.

Kad su svi kutevi kormila 2 puta otklonjeni, snimanje podataka prestaje.



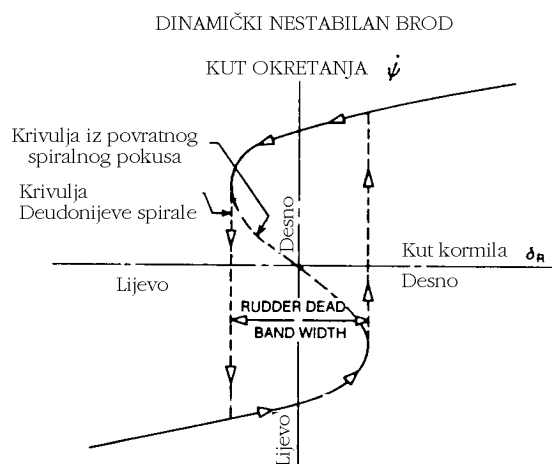
Slika 1.8.1 . Odnos između kutne brzine i kuta otklona kormila za stabilni i nestabilni brod



Slika 1.8.2 Odnos između kuta nagibanja i momenta nagibanja (ispravljanja) za stabilne i nestabilne brodove

1.4.3. Opis povratnog spiralnog manevra

U povratnom spiralnom manevru brod se vozi tako da ima konstantni zakret, i mjeri se srednja vrijednost kuta otklona kormila kod kojeg se to postiže. Oscilacije kormila oko srednje vrijednosti kuta otklona moraju biti unutar $\pm 4^0$. U praksi je normalno $\pm 2^0$. Ta mala odstupanja oko srednje vrijednosti kuta otklona, mogu se pojaviti zbog promjene brzine. Budući da je potrebno neko vrijeme da se brzina ustali, mjerenje srednjeg kuta otklona kormila počinje kad se postigne konstantna brzina.

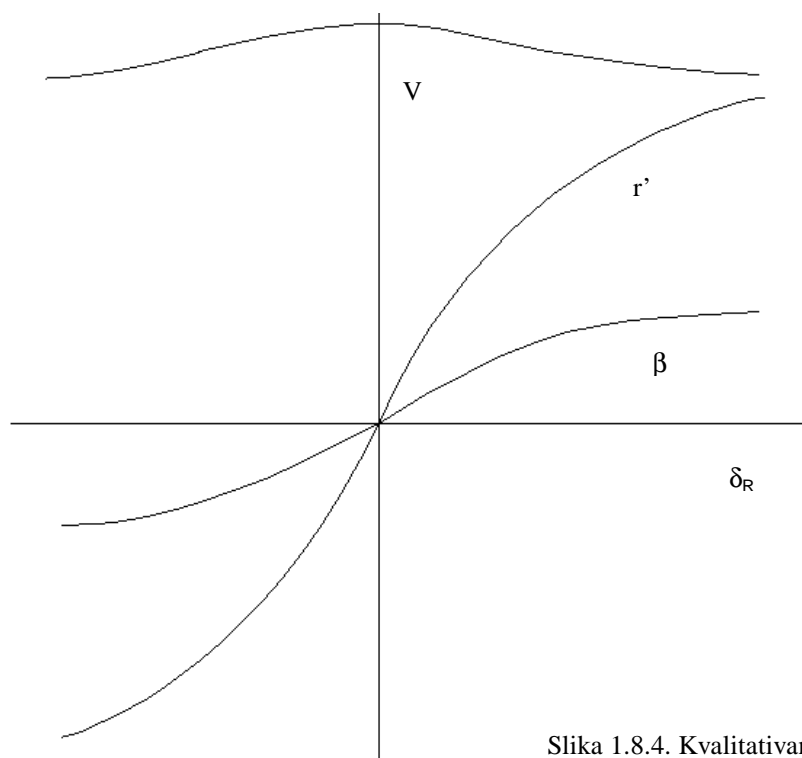


Slika1.8.3 . Obrnuti spiralni test

1.4.4. Prikaz rezultata spiralnog manevra

Tablični prikaz mora sadržavati kurs i brzinu broda, kutnu brzinu te kut zanošenja broda kao funkciju kuta otklona kormila.

Dijagram koji prikazuje ove zavisnosti zove se dijagram upravljivosti (vidi točku 5. Rezultati spiralnog manevra)



Slika 1.8.4. Kvalitativni prikaz dijagrama upravljivosti

I.