

Predgovor

Ne postoji *ništa jednostavnije* od eksperimenta isto kao što *nema zamjene* za pažljivo eksperimentiranje u mnogim područjima bazičnih istraživanja kao i projektiranja nekih objekata.

Navedena činjenica je povod za provedbu mjerenja kako u prirodi tako i na modelima, a ovaj rukopis je napravljen sa željom da se pomogne istraživačima u provođenju mjerenja.

Ovaj tekst je pisan prvenstveno za potrebe slušača diplomskog studija na Građevinskom fakultetu u Zagrebu sa ciljem da ih upozna sa metodama eksperimentalnog istraživanja te da im pomogne u provođenju nastavnim planom predviđenog eksperimenta. Prilikom opisivanja mjerne opreme objašnjeni su principi rada pojedinih vrsta mjerača a detaljnije je opisana oprema koja je u vlasništvu Građevinskog fakulteta te je na raspolaganju studentima u nastavne svrhe. Planom predviđeni eksperimenti su rađeni sa ciljem da se studenti upoznaju sa organizacijom i provedbom pokusa te obradom rezultata mjerenja. Kroz nastavu je dan i pregled problema koji su rješavani u modeliranjem u hidrotehničkom laboratoriju u proteklih 60-tak godina.

U prvom poglavlju (uvodu) je istaknuta važnost odnosno potreba za mjerenjima. Mjerenja su podloga za definiranje fizikalnih zakonitosti, pomagalo pri projektiranju ali i kontrola funkcioniranja nekog hidrotehničkog sustava. Također je opisana i kratka povijest mjerenja u hidrotehnici.

U drugom poglavlju su prikazane osnove modeliranja tj. uvjeti sličnosti i fizikalni modeli. Prikazani su zakoni na osnovu kojih se mogu raditi fizikalni (hidraulički) modeli.

U trećem je opis mjerenja u prirodi.

U četvrtom je opis mjerne tehnike koja se koristi u hidrotehnici. Prikazane su metode mjerenja razina, protoka, tlakova, brzina i drugih fizikalnih veličina kojima se opisuje strujanje fluida. Pri tome su pokazani principi mjerenja od najjednostavnijih do složenijih, te prednosti i mane svakog od načina mjerenja.

U petom je opis prikupljanja i obrade rezultata mjerenja. Prikupljanje i obrada podataka se danas zasniva na korištenju elektronike, te se principi opisani u ovom poglavlju mogu koristiti i u drugim područjima u kojima je potrebno mjeriti karakteristične parametre te upravljati procesom.

1. Uvod

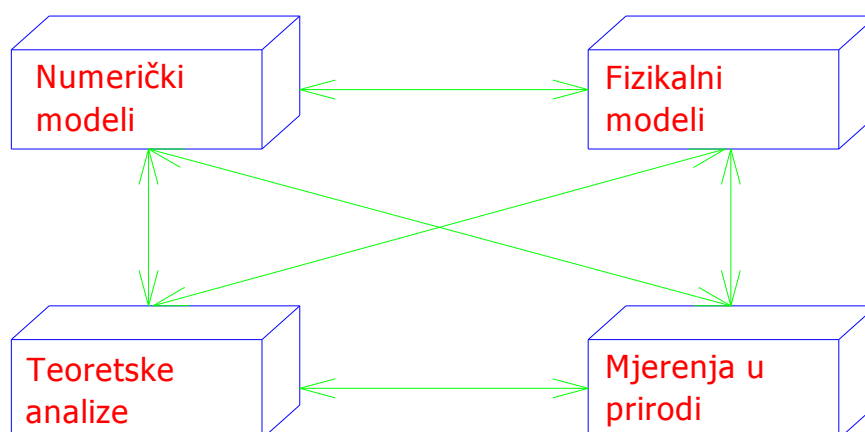
Hidrotehničari se često susreću s problemom opisivanja (predviđanja) niza pojava kao što su pronos nanosa, erozija dna vodotoka (pokretno dno), djelovanja vode i vjetra na pojedine građevinske konstrukcije, visina valova u akvatoriju marina i luka, pronos zagađivala tokom podzemnih i površinskih voda..... Mjerenja imaju važnu ulogu u sagledavanju i rješavanju navedenih problema.

Za sagledavanje strujanja i pronosa tvari tokom vode inženjeri se koriste *mjerenjima i opažanjima u prirodi, mjerenjima i opažanjima u laboratoriju i matematičkim modelima*. (Slika 1.1)

Od navedenih inženjerskih metoda, mjerenja u prirodi daju najbolje podatke, ali su ona obično skupa te ih često nije moguće kontrolirano ponavljati.

Za razliku od mjerenja u prirodi, na fizikalnim modelima se odvijaju isti dominantni procesi a sami modeli su manji, jeftiniji te se mjerenja mogu kontrolirano provoditi i ponavljati. Fizikalni modeli u hidrotehnici se često nazivaju i hidraulički modeli. Pri analizi rezultata dobivenih na fizikalnim modelima je poželjno koristiti i ostale metode istraživanja kao što su teoretske analize, numerički modeli i mjerenja u prirodi.

Razvoj relativno jeftinih računala je omogućio razvoj matematičkih (numeričkih) modela koji su u zadnjim dekadama zabilježili značajni porast korištenja kao i povećanje pouzdanosti proračuna.



Slika 1.1::1 Metode istraživanja strujanja fluida

Teoretske analize mogu znatno smanjiti zablude koje bi mogle nastati prilikom neodgovarajuće provedbe mjerenja.

U posljednje vrijeme se sve više koriste hibridni modeli, pri čemu se rezultati dobiveni fizikalnim modelom koriste kao ulazni podaci ili rubni uvjeti za matematički model šireg područja. Kao alternativa se i rezultati matematičkog modela mogu koristiti kao ulazni podaci (rubni uvjet) na fizikalnom modelu.

	prednosti	nedostaci
Mjerenje u naravi	Uvid u stvarni proces; zbirni efekt svih postojećih utjecaja (izražena složenost);	Nekonzistentnost mjerenja, teško ostvarivo generaliziranje, visoki troškovi; često puta manjkava točnost
Fizikalni modeli	Kontrolirani uvjeti ; ponovljivost ; mogućnost opažanja i vizualizacije	Mogući efekti mjerila i efekta modela ; upitna reprezentativnost
Analitički modeli	Prikladni kod razrade idejnih rješenja i vrlo važni za verifikaciju i razvoj numeričkih modela.	Visoki stupanj idealizacije ; teško dodavanje nove razine kompleksnosti;
Numerički modeli	Razvijeni za široki spektar problema; Mogućnost uzimanja u obzir više fizikalnih procesa za koje je poznat njihov međusobni odnos	Zahtijeva iskustvo modelatora. Nemogućnost opisivanja procesa za koje nisu poznate vladajuće jednačbe i odgovarajući parametri.

Tablica 1.2 – prednosti i nedostaci pojedinog izdvojenog pristupa istraživanju (prema HYDROLAB, 2004)

1.1 Kratka povijest hidrauličkog modeliranja

Leonardo da Vinci (1452-1519) je ostavio važan trag na području cijele hidrotehnike te je prvi promovirao metodu „promatranja“ i eksperimenata te je poznat njegov zapis:

Zapamtite, kada se raspravlja o vodi, prvo se treba voditi rezultatima eksperimenata a onda rezultatima promišljanja i razuma.

Smatra se da je postavio i prvi koncept hidrauličkog modeliranja koji kaže: *Ukoliko napravimo kanal od drva sa jednom staklenom stranom, te u njega pustimo vodu u koju su umiješani komadići papira ili proso, moći ćemo dobro osmotriti fiziku toka vode i sve pojave koje su miješaju u okviru tečenja.*

Galileo Galilei (1564-1642) se uz astronomiju bavio i istraživanjima vezanim uz tok vode. Poznata je njegova izreka da će se prije riješiti pitanje kretanja zvijezda nego doći do potpunog objašnjenja i razumijevanja kretanja vode i nanosa u običnom planinskom potoku.

Počeci hidrauličkog opažanja sa znanstvenog stanovišta se mogu pripisati Leonardu da Vinci-u koji je oko 1500-te godine počeo opisivati niz pojava vezanih za strujanje vode (oblik strujnica u vrtlogu, profil brzina u hidrauličkom mlazu,...).

Počeci teoretskog razmatranja se pripisuju Isaac-u Newtonu (1642-1728) koji je definirao odnos brzine i ubrzanja gravitacije.

Prvi hidraulički model u mjerilu je napravio Englez John Smetaton (1724-1792) godine istražujući mogućnosti vodenog kola i vjetrenjača. Pri tome nije koristio matematičke odnose između modela i prototipa ali je ukazao na potrebu njihovog definiranja.

1870. godine je Froude započeo ispitivanja na modelima brodova. Froudovi testovi nisu u potpunosti zadovoljavali kriterije koje danas poznajemo pod pojmom Froudov kriterij hidrodinamičke sličnosti, koji danas nosi njegovo ime.

Osborn Reynolds je 1885. na Manchester University postavio fizikalni hidraulički model za analizu strujanja uslijed djelovanja varijacije morskih razli kod Upper Mersey. Nedugo zatim (1898.god) je Hubert Engels u Dresdenu formirao prvi laboratorij za istraživanje riječne hidraulike.

U svijetu se prvi hidrotehnički laboratoriji formirani krajem 19 stoljeća (u Americi) i početkom 20. stoljeća u Europi. Nakon 1920 godine diljem svijeta otvaraju se laboratoriji i centri hidrauličkih istraživanja sa osnovnom orijentacijom ka istraživanju na hidrauličkim fizikalnim modelima. U Hrvatskoj su prva ispitivanja provedena 1947. godine pod rukovodstvom prof. dr. Mladena Žugaja sa ciljem optimalizacije slapišta na brani Bajer (u sklopu HE Nikola Tesla – današnji Novi Vinodol). Drugi model je izrađen za potrebe određivanja optimalne zaštite HE Zavrle od djelovanja valova na donju vodu. Šezdesetih godina prošlog stoljeća je provedeno niz ispitivanja za potrebe projektiranja hidroelektrana u tadašnjem projektnom birou Elektroprojekta a dio fizikalnih modela je bio sagrađen u krugu toplane u Zagrebu. Nakon toga su ispitivanja rađena u Hidrotehničkom laboratoriju građevinskog fakulteta u Zagrebu, IGH-u te Brodarskom institutu. Može se reći da u Hrvatskoj postoji bogato iskustvo u izradi fizikalnih modela.

Fizikalni eksperimenti su ultimativni testovi za mnoge teorije. U nekim slučajevima se na osnovu rezultata eksperimenata (kad se utvrdi da su rezultati pouzdani) mijenja ili dopunjava teorija.

Obzirom da su eksperimenti izuzetno važni u svim poljima tehnike, inženjeri trebaju biti upoznati sa osnovama modeliranja i mjernom tehnikom te interpretacijom dobivenih rezultata.

Pri organizaciji eksperimenta inženjer treba moći definirati fizikalne veličine koje će se istraživati i ulogu koje će te veličine imati u daljnjem analitičkom radu.

Da bi se moglo projektirati (odabrati) ili nabaviti instrumenti za eksperiment, inženjer treba imati znanja o principima rada niza instrumenata, te o prednostima i manama pojedine metode mjerenja i uređaja.

U prošlosti je bilo niz inženjera koji su prvenstveno rabili eksperimente tj: dizajnirali su po principu pokušaja i pogrešaka sa vrlo malo pripreme za eksperiment. U novije vrijeme se sve više istraživanja zasniva na kombinaciji teorije i eksperimenta.

Suvremena istraživanja zahtijevaju kombinaciju analitičkog i eksperimentalnog rada. Teoretska nastojanja za objašnjenjem ili predviđanjem rezultata eksperimenta na osnovi analitičkog modela koji je u sukladnosti sa osnovnim fizikalnim principima koji su postavljeni pred niz godina.

Eksperimentalni rad se bitno promijenio sa razvojem elektronskih (mjerača) senzora za praćenje fizikalnih parametara i kontrolu procesa te računala koji su omogućila prikupljanje niza podataka i njihovu brzu obradu.

Nekoć su hidrauličke studije bile zasnovane uglavnom na rezultatima fizikalnih modela, kojima su oponašane prirodne pojave u umanjenom mjerilu na osnovu principa dinamičke sličnosti.

Danas se hidrauličke studije sve više zasnivaju na rezultatima numeričkih modela, koji mogu dati dobre rezultate na relativno jeftin i atraktivan način. Pri analizi numeričkim modelom dobivenih rezultata treba voditi računa da rezultati modeliranja ovise o iskustvu modelatora koji mora definirati ulazne podatke u numerički model. Modeli mogu biti verificirani ili nadopunjeni na osnovu podataka iz prirode za ispitivani slučaj. Jedna od značajnijih prednosti fizikalnih modela leži u mogućnosti ponavljanja mjerenja u poznatim i definiranim uvjetima.

Fizikalni modeli mogu poslužiti i u edukativne svrhe, za pokazivanje osnovnih fizikalnih procesa kako bi se u vrlo složenim prirodnim uvjetima često ne mogu dobro uočiti.

1.2 Planiranje mjerenja

Za uspjeh eksperimenta treba kontinuirano postavljati pitanja:

- Što me zapravo interesira - što mjerim?
- Zbog čega ja mjerim baš to - da li će mjerenja stvarno odgovoriti na moja pitanja?
- Što će mi mjerenje reći (što ću dobiti kao rezultat)?

U početnoj fazi eksperimenta treba postaviti neka osnovna pitanja:

- koje su fizikalne veličine koje treba istraživati
- koje uvjete treba postići (zadovoljiti) pri provedbi pokusa
- u kojem rasponu su osnovne varijable koje treba zadovoljiti prilikom pokusa
- koliko treba izmjeriti mjernih točaka da bi se postigla vjerodostojnost pokusa
- koja je potrebna točnost mjerne tehnike (svakog pojedinog instrumenta)
- u slučaju dinamičkih mjerenja koja je potrebna frekvencija uzimanja uzoraka
- da li su instrumenti dostupni na tržištu ili ih je potrebno raditi za predviđeni pokus
- koje su potrebne mjere sigurnosti na modelu
- koja su raspoloživa sredstva za izradu modela
- koja oprema se može koristiti za snimanje podataka

1.3 Procedura provedbe mjerenja

Mjerenja se dosta razlikuju po obimu i sadržaju ali se procedura provedbe mjerenja može svesti na slijedeće korake

- 1) Utvrditi potrebu za mjerenjem, sagledati raspoloživa financijska sredstva, formirati ekipu i predvidjeti vrijeme potrebno za provedbu mjerenja (po potrebi modificirati eksperiment prema raspoloživim sredstvima, vremenu i ljudstvu)
- 2) Jasno definirati ciljeve eksperimenta i izraditi detaljni plan mjerenja. Pri tome treba koristiti iskustva sa sličnih mjerenja koja su provedena ranije te ne zaboraviti provjeriti da istovjetan eksperiment nije proveden ranije, a rezultati objavljeni u literaturi.

- 3) Izrada plana mjerenja uz slijedeće korake:
 - a) utvrditi koje fizikalne veličine treba mjeriti (npr. sile, protok, tlak, brzina,..),
 - b) utvrditi točnost s kojom se treba mjeriti i broj mjernih mjesta koji su potrebni za odgovarajuću analizu pokusa te odabrati mjernu tehniku
 - c) prije provedbe mjerenja ustanovi da li će se eksperimentom dobiti dovoljno podataka da bi se postigao cilj
 - d) sagledati mogućnost grešaka u rezultatima mjerenja prije nego što su pokusi provedeni tako da se po potrebi može povećati točnost mjerenja.
- 4) Izraditi model i ugraditi mjernu tehniku
- 5) Nakon što se prikupe prvi rezultati pokusa treba provjeriti da li su rezultati u očekivanim (mogućim) granicama
- 6) Po potrebi provesti izmjene na modelu na osnovu rezultata prethodne točke
- 7) Prikupiti niz rezultata te provesti njihovu analizu
- 8) Na osnovu rezultata modela po potrebi izmijeniti (korigirati) projekt
- 9) Objaviti rezultate

Popis literature

Grčić: Skripta iz Hidraulike,

Hughes,S.A, Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering, World Scientific, Singapore, 568 str.,1993.