

LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO (LFT) NA FAKULTETI ZA STROJNIŠTVO (FS) UNIVERZE V LJUBLJANI OD ZAČETKA DO DANES

Anton Stušek, Jožef Pezdirnik, Franc Majdič

Laboratorij za fluidno tehniko (LFT) na Fakulteti za strojništvo (FS) Univerze v Ljubljani (UL) se je po šestinštiridesetih letih delovanja preselil v nove večje prostore. Svečano odprtje sta 21. novembra preteklega leta opravila dekan prof. dr. Mitjan Kalin in vodja laboratorija doc. dr. Franc Majdič ob prisotnosti številnih sodelavcev fakultete in gostov iz industrije. Primerno je, da se ob tej priliki spomnimo zgodovine razvoja laboratorija, njegove dosedanje dejavnosti in načrtov za prihodnost.

V nadaljevanju tega prispevka podajamo tri obdobja delovanja LFT-ja. Vsak od treh vodij opisuje delo in aktivnosti v svojem obdobju.

Zasnova, oblikovanje in delovanje LFT-ja so seveda neposredno povezani s področjem fluidne tehnike ter pedagoškim in razvojnoraziskovalnim delom na tem področju na FS UL in v slovenski strojni industriji.

mag. Anton Stušek (v tistem času viš. pred./doc.)

Začetki uvajanja fluidne tehnike – hidravlike, pnevmatike in fluidike – na FS segajo nazaj v petdeseta in šestdeseta leta prejšnjega stoletja, ko je prof. dr. F. Lobe v okviru predmetov s področja obdelovalnih strojev že predaval o hidravličnih pogonih in krmiljih s poudarkom na izvedbah črpalk, motorjev, valjev in nekaterih krmilnih ventilov. V začetku sedemdesetih je bil ob prizadevanju prof. dr. J. Hlebanje uveden v okviru višješolskega študija konstrukterstva predmet Hidravlika in pnevmatika (HiP). V š. l. 1972/73 ga je predaval zunanji sodelavec mag. Stane Grčar, u. d. i. str. (iz Iskre – Zavoda za avto-

mag. Anton Stušek, univ. dipl. inž., upokojenec UL, FS;

dr. Jožef Pezdirnik, univ. dipl. inž. str., upokojenec UL, FS;

Doc. dr. Franc Majdič, univ. dipl. inž. str., Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo



Hidravlično didaktično preizkuševališče v starem prostoru

matizacijo). S š. l. 1973/74 pa je bil kot redni predavatelj za ta predmet izvoljen mag. Anton Stušek. Že v naslednjem letu 1974 smo izdelali skromno zasnovo LFT, najprej z osnovnim učnim pripomočkom za pnevmatiko firme Festo Didactic, najprej kar v predavalnici za izvajanje vaj pri predmetu HiP. S tem smo lahko prikazovali delovanje in lastnosti osnovnih sestavin, kot so valji, motorji, tlačni in tokovni ventili in potrebne pomožne sestavine. Pozneje pa smo to opremo razširili s kompletom za demonstracijo značilnih pnevmatičnih vezij za pogon in krmil-

ljenje, predvsem naprav za avtomatizirano strego in manipulacije.

Sočasno z laboratorijskimi vajami za področje pnevmatike pa smo za hidravliko sami zasnovali učni pripomoček UPH 1, ki nam ga je izdelalo podjetje Kladivar Žiri. Uspešno rešitev je podjetje pozneje izdelovalo za številne laboratorije oziroma šolske centre v tedanji Jugoslaviji.

Leta 1979, po izvolitvi mag. A. Stuška, smo tudi na univerzitetni ravni študija pričeli s predavanji predmeta Fluidna tehnika (FT), kar je sočasno intenziviralo tudi razvojnoraziskovalno delo na področju in pogojevalo nujno razširitev LFT-ja. Zasnovali smo univerzalno preskuševališče za hidravliko SUPH-1. Konstrukcijsko dokumentacijo smo izdelali v sodelovanju s podjetjem Pirnar in Savšek iz Trbovelj, izdelali pa so ga v mehanskih obratih podjetja Pionir Novo mesto in dobavili leta 1990. Tik pred tem so nam na FS dodelili ustrezen prostor v pritličju nove zgradbe. V tem prostoru je LFT deloval 29 let – do sedanje preselitve (november 2019).

Osnovni komplet potrebne merilne opreme smo pridobili v letih 1990–1993 z lastnimi sredstvi FS ob sofinanciranju tedanje Raziskovalne skupnosti Slovenije. Obsegal je dajalnike in merilnike za merjenje hidravličnih in mehanskih veličin, kot so pretvorniki za merjenje tlaka in toka, sile, navora, pospeška, hitrosti, pomika, zasuka in vrtilne frekvence ter temperature in onesnaženosti hidravličnega olja, z ustreznimi merilniki in zapisovalniki.

V letih do 1994, ko je vodenje prevzel dr. Jožef Pezdirnik, je LFT poleg vaj pri predmetih HiP in FT omogočal tudi številna sodelovanja z industrijo. Opravljeni so bili številni seminarji v okviru dopolnilnega izobraževanja, predvsem v sodelovanju z Zavodom za tehnično izobraževanje Ljubljana, ter izdelane številne zaključne in diplomske ter razvojnoraziskovalne naloge v sodelovanju z industrijskimi podjetji. Posebej pristno smo sodelovali s podjetji: Kladivar Žiri, TIO Lesce, Iskra Zavod za avtomatizacijo Ljubljana, Fluidika Ljubljana, Hypos Muta, SIP Šempeter, Litostroj Proizvodnja preoblikovalnih strojev Ljubljana, Slovenske železarne (Jesenice, Ravne, Štore), LIV Postojna, Vozila Gorica, Cementarna Anhovo, Tajfun Planina idr. Dobre stike pa smo imeli tudi z univerzami in visokimi šolami v tujini, predvsem v Zagrebu, Beogradu in Subotici ter v Aachnu, Trondheimu, Pragi, Bratislavi in Budimpešti. Na področju dopolnilnega izobraževanja pa smo sodelovali z ustreznimi službami, oddelki podjetij Festo-Pnevmatik, Rexroth-Hydraulik, Vickers-Hydraulik (v Nemčiji in Angliji) ter Herion-Fluidtechnik.

dr. Jožef Pezdirnik (v tistem času docent)

Na Fakulteti za strojništvo (FS) Univerze v Ljubljani (UL) sem se zaposlil v novembru 1994 in kmalu za tem prevzel vodenje Laboratorija za fluidno tehni-

ko (LFT) od svojega predhodnika mag. Antona Stuška. Leta 1997 sem uspešno zagovarjal doktorsko disertacijo s področja pogonsko-krmilna hidravlika (PKH) – tribologija.

V tem letu (1994) se je ukinjala Višja šola na FS in ustanavljala Visoka strokovna šola. Poleg predavanj iz že obstoječega predmeta Fluidna tehnika na univerzitetnem študiju in predmeta Hidravlika in pnevmatika, ki je bil z višješolskega študija prenesen na Visoko strokovno šolo, je bilo uvedenih še 5 novih predmetov za področje vzdrževanja. Zanje sem moral sestaviti učne programe – predmetnike za predavanja in vaje. Številne nove vaje so močno obremenile laboratorij.

Izvolitev v naziv docenta leta 2000 mi je omogočila kvalitetnejše vodenje laboratorija in nosilstvo predmetov na univerzitetnem študiju ter intenzivnejše sodelovanje s tujimi laboratoriji.

Glede na razmere na FS in razpoložljiv predavateljski kader smo področje pnevmatike za več let prepustili laboratoriju LASIM in mu oddali učne pripomočke za pnevmatiko. Izr. prof. dr. Noetova (vodja lab. LASIM) je izvajala predavanja za področje pnevmatike. Ta leta smo v LFT delovali skoraj izključno le na področju hidravlike in za LFT uporabljali naziv *Laboratorij za pogonsko-krmilno hidravliko (LPKH)*, vendar uradno naziva nismo spremenili. Naziv LPKH poudarja področje hidravlike, ki izključuje t. i. vodne turbine, vodne črpalke ipd. Za nekatere strokovne kadre je bilo treba poudariti različnost teh dveh področij hidravlike. V nadaljnjem zapisu analogno kot v industriji uporabljamo za *pogonsko-krmilno hidravliko (PKH)* skrajšani termin *hidravlika*.

Ob teh reorganizacijah je laboratorij zaradi nesrečnega dogodka ob mojem prevzemu LFT-ja izgubil dotedanjega asistenta, kar je seveda zmanjšalo učinkovitost laboratorija. Takšne razmere so za nekaj let zelo zmanjšale laboratorijsko delo v sodelovanju z industrijo. Kljub temu je bilo v mojem obdobju izdelanih približno 70 diplomskih nalog univerzitetnega in visokošolskega strokovnega študija, vse s področja PKH in vzdrževanja. Nekatere so bile izvedene v industrijskih podjetjih (Acroni Jesenice, Kladivar Žiri, Elektrarna Brestanica, Kolektor Idrija, LIK Kočevje, Gorenje Velenje, Tajfun Planina, nekaj s. p. podjetij, . . .), številne pa v LFT za potrebe in uporabo v gospodarstvu. Rezultat nekaterih diplomskih nalog je bila tudi izdelava nekaj manjših preskuševališč. Na njih smo izvajali laboratorijske vaje za večje število predmetov (s področja hidravlike in vzdrževanja) ter meritve parametrov in lastnosti hidravličnih sestavin za nekaj industrijskih podjetij.

Raziskovalno smo delali (ob danih skromnih možnostih) na področju dinamike strojev, upravljanih s pogonsko-krmilno hidravliko (PKH), aplikativno pa

predvsem z železarstvom, iz katerega sem izviral. Začetek raziskav na področju dinamike velikih hidravličnih sistemov (HS) je bil v tedanji Železarni Jesenice, nadaljevanje pa nato še več let v LFT. Značilnosti velikih HS so velike količine hidravlične kapljevine (HK) (tudi do 25 m^3 in celo 60 m^3), vgrajenih veliko število črpalk, hidravličnih valjev (HV), hidravličnih akumulatorjev (HA) in premikanje velikih mas (do več deset ton). Stisljivost kapljev in elastičnost tokovodnikov, predvsem gibkih cevi, ob tem lahko povzroča nesprejemljiva in uničujoča nihanja mas in konstrukcij. Razvili smo razmeroma enostaven matematični model, uporaben za projektante tovrstnih, pa tudi manjših HS. S tem modelom predvidimo vplivne parametre in jih ustrezno upoštevamo in prilagajamo v projektu. Omogoča ustrezno nastavitve »odpiralne rampe« proporcionalnih potnih ventilov, da se izognemo nesprejemljivemu nihanju.

Rezultate raziskav smo s sprejetimi prispevki predstavljali na znanih znanstveno-strokovnih konferencah v tujini, predvsem v Aachnu in Dresdnu, kar se uspešno nadaljuje tudi ob novem (od oktobra 2012 dalje) vodstvu LFT.

V velikih HS je pogosto vgrajenih veliko hidravličnih akumulatorjev (HA), kar je še posebej značilno za železarstvo. V LFT (LPKH) smo razvili matematični model za določitev ustrezne skupne prostornine HA za obravnavani HS. V praksi se v velikih HS največkrat uporabljajo 50-litrski. Žal se takšni HS zelo redko projektirajo v SLO, ker so dobavljeni v sklopu celotnih postrojenj. Ta model pa omogoča tudi »recenzijski nadzor« nad dobavljeno opremo, kar smo v SIJ Acroni že uporabljali. V enem delu ta matematični model omogoča nadzor (meritev) notranjega puščanja celotnega ali delov HS in to samo z enostavnim merjenjem nekaterih pa-



Novi prostori LFT

rametrov – tlakov in časov sprememb ob znanih prostorninah HA. To je pomemben pripomoček pri preventivnem vzdrževanju HS, in sicer vzdrževanju glede na stanje.

Zgleden primer aplikativnega uspešnega projekta LFT je tudi izvedba hidravličnega sistema (HS) hidrostaticnega ležaja teleskopa Vega na Golovcu (LJ). Ta HS smo projektirali v LFT, izdelalo pa ga je podjetje Kladivar, večinoma s sestavinami iz svoje proizvodnje. Tako tega zelo specifičnega HS ni bilo treba uvoziti iz Švedske. Celoten projekt je v FS vodil prof. dr. Janez Kramar. Mehanski del je bil izdelan v Litostroju. Uspešen začetek delovanja (brez problemov) je bil spomladi 2004.

Leta 2004 sem na srečo pridobil novega asistenta. To je bil Franc Majdič (sedanji vodja laboratorija), ki je kljub zahtevnemu delu na doktorski disertaciji močno intenziviral tudi delo v samem laboratoriju. Raziskovalno delo na doktorski disertaciji je skoraj v celoti potekalo v LFT. Uspešno je doktoriral in hitro nato pridobil izvolitev za docenta leta 2012. V času najinega skupnega dela do oktobra 2012, ko sem se upokojil, sva v nekaj letih pospešila raziskovalno delo v LFT in zelo povečala sodelovanje z gospodarstvom, za katero so bili izdelani številni, predvsem zahtevni projekti HS in visoko strokovne naloge s področja PKH. Znanje, pridobljeno ob delu na doktorski disertaciji, na področju vodne hidravlike je rezultiralo v (vodnem) proporcionalnem potnem ventilu, ki je opravil 10 milijonov prekrmljenj pri tlaku 160 bar in bil po tem še vedno polno uporaben. Nadalje se je pridobljeno znanje odrazilo v uspešno izvedenem projektu za podjetje Tajfun za vodno hidravliko gozdarskega vitla. Pitna voda, uspešno uporabljena kot hidravlična kapljevina (HK) na področju PKH, je redkost v svetovnem merilu. Ob »nesrečnem« izlitju v ze-



Nagovor dekana, prof. dr. Mitjana Kalina ob otvoritvi novih prostorov LFT

mljo, predvsem na področju podtalnice, je to seveda neškodljivo za razliko od mineralnega hidravličnega olja, ki ima katastrofalno škodljiv učinek. Prihodnost vodne hidravlike je stvar ekologije in predpisov. Več o tem pa prepuščam doktorandu in sedanemu vodji LFT.

Z uvedbo bolonjskega študija je bila v letu 2011 ukinjena študijska smer Vzdrževanje, s čimer je bilo zame in za LFT izgubljenih pet predmetov. Velik »pedagoški urni potencial«, ki se je sprostil, je doc. dr. Majdič preusmeril v še intenzivnejše znanstvenoraziskovalno delo in še več sodelovanja z industrijo in ostalim gospodarstvom. Rezultat je viden tudi zdaj ob odprtju novih prostorov LFT.

Doc. dr. Franc Majdič (po letu 2012 do danes in pogled v prihodnost)

Po mojem prevzemu vodenja LFT v oktobru 2012 smo nadaljevali z delom, kot sva ga začrtala že z mojim predhodnikom doc. dr. Jožefom Pezdarnikom. V zadnjih osmih letih smo še povečali sodelovanje z industrijo ter se povezovali s številnimi zunanjimi partnerji.

Laboratorij za fluidno tehniko je v zadnjih letih sodeloval s številnimi industrijskimi partnerji z različnih področij – od gozdarstva, farmacije, avtomobilske industrije, kmetijstva, mobilne hidravlike itd.

V okviru industrijskih projektov smo snovali, razvijali, simulirali in trajnostno testirali ter optimirali hidravlični motor, različne izvedbe hidravličnih valjev, različne hidravlične agregate, cevovode, tlačni sekvenčni ventil, varnostni ventil, delilnik toka, zavorni ventil, potni ventil in sile znotraj njega, hidravlična prijemala, ojačevalnik tlaka, napravo za dvigovanje – sanacijo razpokane hiše, sodelovali smo pri razvoju hidravličnega dela novega magneto- in elastokaloričnega hlajenja, pri razvoju vodnega hlajenja električnih pogonov, hidravlične naprave tračne žage za hlodovino, razvili smo posebno testno napravo za testiranje hidravličnih filtrov po standardu, sodelovali smo pri razvoju zavornega sistema turističnega električnega vlaka, pri razvoju krmiljeno-vodene lebdeče cevi s pomočjo vodnega curka, izvedli smo nekaj rekonstrukcij hidravličnih preš – med njimi kompletno obnovo 500-tonske preše, sodelovali smo pri razvoju 3D rotorja polimerne črpalke za avtomobilsko industrijo, sodelovali smo pri odpravljanju napake na hidravličnem sistemu ladje, pri razvoju namenskih hitrih spojk za farmacijo, izvajali smo meritve in diagnostiko hidravlične opreme v papirni industriji. Sodelovali smo z več inovatorji, jim izvedli prototipe, meritve in ovrednotenje izumov. Razvili smo namensko preizkuševališče za farmacijo. Trajnostno smo testirali serijsko izdelane potne hidravlične ventile zaradi

nezagotavljanja varnostne funkcije na strojih. Izvedli smo trajnostni test hidravličnega akumulatorja zaradi prezgodnjih odpovedi pri industrijski uporabi. Zasnovali in izdelali smo namenski hidravlični valj za globoki vlek pločevine ter hidravlično krmiljenje. Izvedli smo številne statične in dinamične tlačne teste različne industrijske opreme, ... Glede na novejša določila (GDPR) ni bilo časa pridobiti dovoljenja za objavo imen sodelujočih.

Trenutno še s tremi drugimi laboratoriji na Fakulteti za strojništvo sodelujemo pri razvoju namenske črpalke za črpanje nafte v globini do 3.000 m pod zemljo. Prav tako razvijamo hidravlično napravo za tlačno litje aluminija. Za avtomobilsko industrijo razvijamo posebno filtrirno napravo za kvalitetno filtracijo večjih količin hidravličnega olja. Merilna oprema predstavlja pomemben del naprave, ki bo omogočala stalno spremljanje čistoče in še štirih drugih pomembnih parametrov hidravličnega olja.

Pri razvoju in raziskavah se ukvarjamo predvsem z uporabo mineralnih olj, fosfatnih estrov (letalska hidravlika), biološko razgradljivih hidravličnih olj, vodnih emulzij, ionskih tekočin ter z uporabo vode kot hidravlične kapljevine. Te raziskave nas v svetovnem merilu uvrščajo med prepoznavnejše laboratorije na tem področju. V zadnjih letih smo izvedli tudi več industrijskih izobraževanj iz hidravlike, ki so se jih udeležili številni strokovni kadri iz vse Slovenije z različnih področij.

V okviru Laboratorija za fluidno tehniko je v času od začetka delovanja do danes diplomiralo preko tristo študentov, ki so zaposleni predvsem v industriji. Od leta 2017 dalje se vsako leto konec maja srečamo vsi trije, oba prejšnja in sedanji vodja LFT-ja, ter številni naši diplomanti.

Strategija laboratorija je postati in ostati med prepoznavnejšimi v Evropi na področju hidravlike.

Na tem mestu bi se kot sedanji vodja LFT rad zahvalil obema predhodnikoma, vodstvu katedre KTV in Fakultete za strojništvo UL za opravljeno delo ter podporo pri našem razvoju. Industriji in drugim našim partnerjem se zahvaljujemo za upanje in se jim še naprej priporočamo za sodelovanje.

