

UDK 62-76:621.43

Računalniško podprt razvoj pri uvajanju tesnilk glave motorjev

JOŽE LOČNIŠKAR — IGOR JANEŽIČ

Sodobnejše metode razvoja in uvajanja tesnilk glave motorja (TGM), podprte z računalniško obdelanimi rezultati mikroprocesorsko vodenih laboratorijskih preizkušanj, nadomestijo draga, težko ponovljiva motorska preizkušanja (laboratorijska in eksploatacijska). Takšen način preizkušanja skrajša in poceni razvoj, načrtovanje ter uvajanje TGM pri enaki ali še boljši kakovosti in daljši dobi trajanja tesnilk.

Primerni računalniški programi za krmiljenje preizkušanj in vrednotenje rezultatov preizkušanj dobijo informacije iz banke podatkov o lastnostih tesnilnih materialov, rešitvah tesnilnih sklopov in tesnilk, vgradnih razmerah, obnašanju tesnilk v laboratorijskih in eksploatacijskih razmerah obratovanja in testnih programih. Banko podatkov sprotno polnimo s pridobljenimi informacijami in novimi zahtevami.

0 UVOD

Motorji z notranjim zgorevanjem so vse lažji, specifično bolj obremenjeni, ekološko manj oporečni, zmogljivejši, kakovostnejši z daljšo dobo trajanja pri poenostavljenem vzdrževanju, gospodarnější (višje temperature in tlaki zgorevanja v motorju) in razmeroma cenejši. Zato pa je pogoj, da so vsi sestavni deli motorja izdelani iz primernih materialov in se morajo medsebojno dopolnjevati ter imeti vsaj približno enako dobo trajanja. Zmožni morajo biti prenašati skrajne obremenitve, do katerih lahko pride zaradi izjemnih obratovalnih razmer.

Zaradi tehnoloških in ekonomskih razlogov bi bilo težko izdelati delovni prostor motorja v enem samem kosu. Zato je razdeljen na blok motorja in glavo motorja. Med oba dela vstavimo tesnilko in vse skupaj pritrdimo z vijaki v funkcionalno celoto. Tako nastane tesnilni sklop **BLOK MOTORJA — TESNILKA — GLAVA MOTORJA**.

Tesnilka glave motorja (TGM) je med kompleksno najbolj obremenjenimi mirujočimi deli na motorju z notranjim zgorevanjem in hkrati tudi med najbolj vitalnimi deli motorja.

Za dobro in trajno funkcionalnost tesnilnega sklopa morajo bili izpolnjeni nekateri osnovni pogoji, in sicer:

- natančno dimenzioniranje tesnilnega sklopa in tesnilke [2];
- pravilen izbor tesnilnega materiala ali kombinacija materialov [3];
- zelo kakovostno izdelana tesnilka;
- kakovostni vijaki, nepoškodovane dotikajoče se tesnilne površine bloka in glave motorja [4];
- določitev najprimernejše izvedbe tesnilke in vgradnih pogojev.

1 NAMENI RAČUNALNIŠKO PODPRTEGA UVAJANJA TGM

Preizkušanje motorjev z notranjim zgorevanjem, zlasti v uporabniških razmerah obratovanja, je drago, dolgotrajno, težko ponovljivo in tudi nelzvedljivo, zlasti pri motorjih, ki so še v razvojni fazi. Zato si pomagamo z laboratorijskimi preizkušnji, ki naj dajo dovolj podatkov o tesnilnem sklopu, o potrebnih lastnostih tesnilk in o vgradnih pogojih, ki omogočajo z zadostno verjetnostjo načrtovati trajno tesen tesnilni sklop.

Sodobnejše razvojne metode za uvajanje TGM so podprte z rezultati laboratorijskih nemotorskih preizkušanj. S preizkuševališčem vodenim z mikroprocesorjem simuliramo uporabniške razmere obratovanja in računalniško ovrednotimo rezultate meritev. Z računalniškim programom in banko podatkov analiziramo obnašanje in lastnosti tesnilnih materialov ter tesnilk. Z ustreznimi metodami preizkušanja in primerjalno dobo trajanja tesnilk lahko močno skrajšamo in pocenimo uvajanje TGM pri enaki ali še boljši kakovosti in daljši dobi trajanja tesnilk iz sodobnih, zdravju neškodljivih materialov.

Banko podatkov stalno dopolnjujemo z novimi spoznanji iz tekočega dela, ki jih pridobimo v času preizkušanja.

2 METODA DELA

Blok shema na sliki 1 prikazuje način sodobnejšega razvoja in uvajanja TGM z uporabo rezultatov nemotorskih preizkušanj, mikroprocesorske tehnike in banke podatkov.

2.1 Zbiranje informacij, eksploatacijske zahteve

Informacije zberemo s primernim vprašalnikom, ki zajema:

- splošne podatke (izdelek, tip motorja, leto izdelave, predvideno usmeritev in trajanje izdelave),

- splošne podatke o motorju: (vrsta motorja, izvedba, način hlajenja, oblika motorja, prostornina, premer in glib bata, število valjev, moč motorja, vrtiljaji, stopnja kompresije, tlak olja, temperatura vode in olja, gorivo, sesalni, turbo-kompresorski),

- podatke o valjih (bloku motorja): (število, material puše, vzdignjenost puš, obdelava tesnilne površine),

- podatke o glavi motorja: (za koliko valjev ena glava, material, višina in premer vijaknih izvrtin, obdelava tesnilne površine, vrsta in število ventilov, predvidena deformacija glave),

- podatke o vijakih za pritrditev glave motorja: (vrsta, dimenzije, kakovost, izvedba, elastična konstanta, želeni način privijanja, število vijakov, razporeditev),

- podatke o tesnilki glave motorja: (izvedba z dodatnim privijanjem vijakov ali brez njega, debelina v vgrajenem stanju, toleranca debeline, skica ali načrt obveznih odprtih v tesnilki s tolerancami, dimenzija in toleranca reže med glavno in batom, navedba medijev, ki jih moramo tesniti),

- potrebne načrte, tesnilke glave motorja: bloka motorja, glave motorja, prerez skozi pušo, valj, vijakov za pritrditev glave,

- morebitne pripombe, opozorila, posebne zahteve,

- želeni način vgradnje,

- uporabniške pogoje— zahtevana doba trajanja, kriterij tehnične tesnosti,

- predvideni način usklajevanja tesnilke glave motorja.

2.2 Nemotorska preizkušanja

Iz zbranih podatkov izberemo najprimernejši način nemotorskega preizkušanja, ki omogoči projektiranje kakovostne tesnilke iz ustreznega materiala in sprejemljivo ceno.

Obstajajo predvsem trije načini razvoja:

- razvoj in uvajanje TGM za motor v razvoju (načrtujemo celotni tesnilni sklop),

- razvoj in uvajanje TGM za izdelovani motor (načrtujemo samo tesnilko),

- razvoj in uvajanje TGM ter glede na način vgradnje v motor po potrebi načrtujemo rekonstrukcija vijakov.

2.3 Razvoj in uvajanje tesnilk za motor v razvoju

Glede na podatke o novem motorju in uporabniških zahtevah izberemo primerni testni program (povprečni notranji tlak, največji notranji tlak, velikost razbremenilne sile F_r , temperatura tesnilnega sklopa, hitrost sprememb razbremenilne sile F_r , dodatne obremenitve predvsem zaradi toplotnih deformacij glave motorja [6], čas trajanja preizkusa, razmere pri toplotnem udaru [6]), določimo grobo konstrukcijo preizkušanca (vrsto in debelino tesnilnega materiala; debelino, obliko in kakovost obroba; nadmero prek obroba) in definiramo vgradne pogoje (specifični tlak na tesnilko) [2]. Pri tem si pomagamo z banko podatkov (o tesnilnih materialih, izvedbah tesnilk [3], o vgradnih pogojih, testnih programih, obnašanju tesnilk v laboratorijskih in eksploatacijskih razmerah obratovanja) in primernim računalniškim programom.

Na podlagi izbranega testnega programa krmlimo nemotorsko preizkuševališče in spremljamo kot funkcijo časa in vsiljenih sprememb (temperature, tlaka, itn.), predvsem naslednje značilnosti:

- spremembo debeline tesnilke,
- minimalno debelino tesnilke v vgrajenem stanju,
- prepustnost tesnilnega sklopa:
 - pri obremenjevanju s toplotnim udarom,
 - med normalnim obremenjevanjem,
- dinamično trdnost cilindrkega obroba.

Izmerjene in registrirane vrednosti računalniško ovrednotimo in primerjamo s podobnimi rešitvami iz banke podatkov. Tako lahko z dovolj veliko natančnostjo sklepamo o obnašanju TGM v eksploataciji glede na trajanje obratovanja.

Po tako zbranih informacijah določimo po glavitne lastnosti tesnilke glave motorja:

- debelino vgrajene tesnilke,
- fizikalno-kemijske in mehanske lastnosti tesnilke,
- najprimernejšo izvedbo cilindrkega obroba,
- potrebni povprečni specifični tlak na tesnilko,
- vgradne pogoje
- tip tesnilke (z dodatnim privijanjem ali brez njega vijakov v uporabi),
- izvedbo vijakov.

2.4 Razvoj in uvajanje tesnilk v izdelovani motor

Glede na tip, izvedbo in značilnosti motorja, uporabniške zahteve in vgradne pogoje izberemo ustrezen testni program za nemotorsko preizkušanje tesnilk, ki naj čim bolj stvarno simulira poostrene eksploatacijske zahteve in definiramo poglobitve značilnosti tesnilke, ki jo preizkušamo.

Iz rezultatov meritev in vzrokov za morebitne netesnosti simuliranega tesnilnega sklopa, z banko podatkov, sklepamo o potrebnih fizikalno-kemičnih in mehanskih lastnostih nove tesnilke, izvedbi tesnilke in o lastnostih novega tesnilnega materiala. Preizkus ponovimo z novim preizkušancem in upoštevamo spoznanja iz prejšnjih dognanj.

2.5 Razvoj, uvajanje tesnilk in način vgradnje za izdelovani motor

Načrtujemo novo TGM in po potrebi še spremembo kakovosti in konstrukcijo vijakov.

Glede na tip, izvedbo motorja, uporabniške zahteve, značilnosti tesnilk in montažne razmere, izberemo ustrezen testni program za nemotorsko preizkušanje tesnilk. Preizkušanje mora čim bolj stvarno simulirati poostrene uporabniške zahteve.

Iz rezultatov meritev, banke podatkov in vzrokov morebitnih netesnosti simuliranega tesnilnega sklopa, sklepamo o potrebnih lastnostih tesnilk, materiala in vgradnih pogojih. Iz napekostnega diagrama tesnilnega sklopa [2], [4], [5] sklepamo o potrebnih spremembi kakovosti in izvedbi vijakov, kakor tudi o spremembi vgradnih pogojev tesnilk. Preizkus ponovimo z novim preizkušancem in upoštevamo spoznanja iz prejšnjih preizkusov.

2.6 Načrtovanje tesnilk glave motorja

Po zbranih informacijah o tesnilki, lastnostih tesnilnega materiala, potrebnih dodelavah in izvedbi tesnilk se lahko lotimo načrtovanja tesnilk po naslednjih načelih [2]:

- ugotovimo vse obremenitve tesnilk, do katerih lahko pride v eksploataciji,
- izberemo ustrezen material, glede na poglobitve obremenitve in zahteve, ki so odvisne od tipa motorja,
- določimo izvedbo tesnilk in izberemo potrebne dodelave,

— določimo geometrijsko obliko tesnilk (hkratno sliko odprtin na tesnilnih površinah na bloku in glavi motorja),

- predpišemo način vgradnje tesnilk,
- izdelamo skico tesnilnega sklopa z napekostnim diagramom,
- določimo debelino tesnilk pred vgradnjo in v vgrajenem stanju ter definiramo mere prek obrobov,
- izdelamo tehnično-tehnološko dokumentacijo o tesnilki,
- izdelamo tehnične predpise o uporabljenih materialih za tesnilko.

Tako so izpolnjene zahteve za trajno funkcionalnost tesnilnega sklopa, in sicer:

- pravilen izbor tesnilnega materiala in
- natančno dimenzioniranje tesnilke glave motorja.

2.7 Izdelava tesnilk

Kakor vse dosedanje aktivnosti je tudi izdelava tesnilk zelo pomembna, saj mora zagotoviti funkcionalnost tesnilnega sklopa.

Način izdelave tesnilk mora zadostiti naslednjim zahtevam:

- konstrukcijski izvedbi,
- predelovalnim zmožnostim uporabljenih materialov,
- pogostosti naročil,
- tehnološki opremljenosti izdelovalca,
- obsegu dodelav in
- velikosti serije.

Pri izdelavi tesnilke moramo zagotoviti:

- upoštevanje tehnološko-tehnične dokumentacije (material, dimenzije, izvedbo, dodelave),
- kakovostno izdelavo,
- obvezno vizualno in dimenzijsko preverjanje (občasno tudi fizikalno-kemične in mehanske lastnosti),
- preprečitev poškodbe tesnilke med transportom in pri skladiščenju.

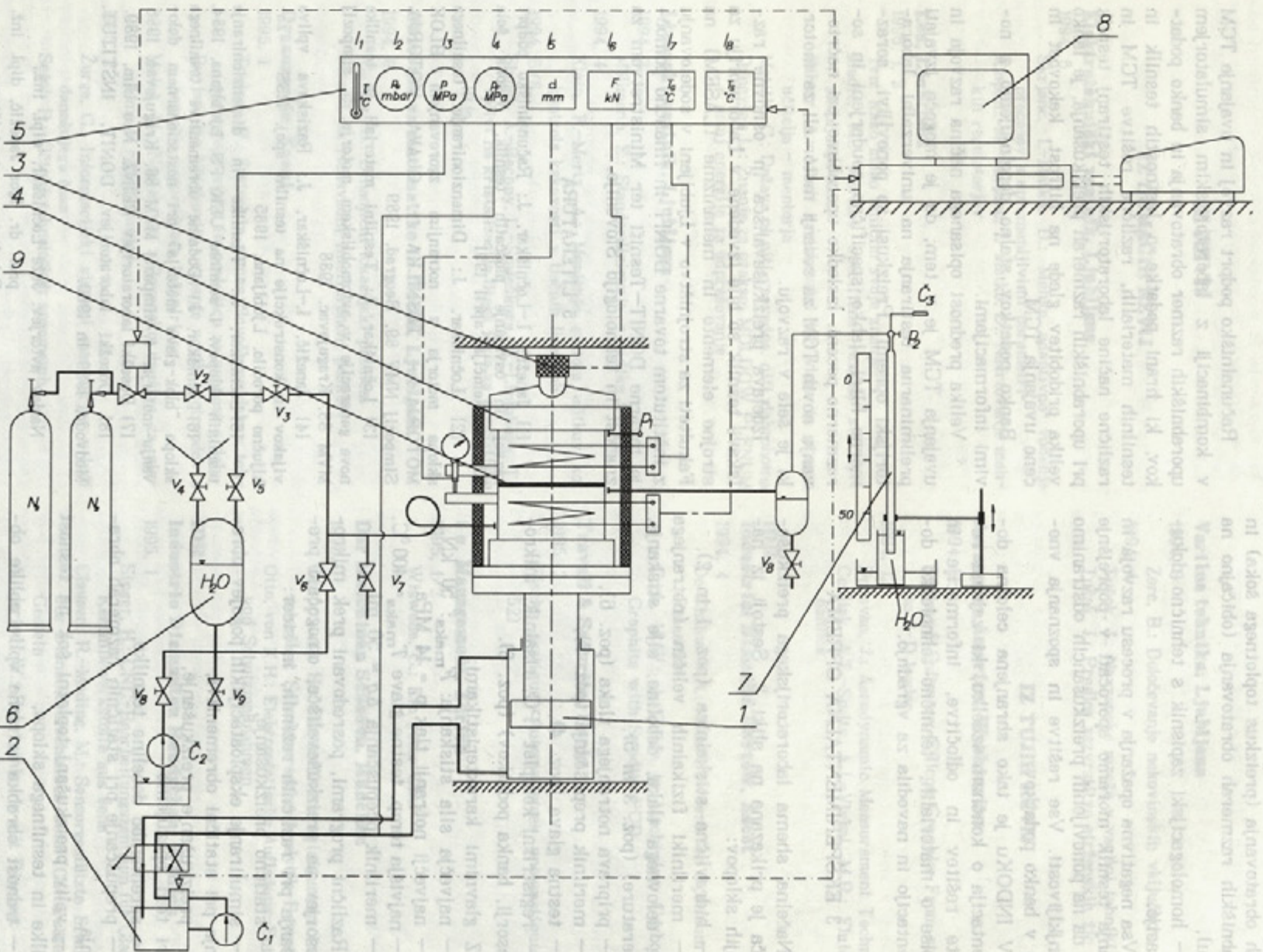
Tesnilk neposredno pred vgradnjo ne dodelujemo.

2.8 Homologacije tesnilk

Pred pričetkom serijske proizvodnje se mora TGM uskladiti. Način, obseg, mesto homologacije in ovrednotenje rezultatov so usklajeni s standardi.

Homologacija praviloma zajema:

- testiranje vseh materialov po tehničnem predpisu,
- dimenzijski in slikovni nadzor,
- nadzor debeline tesnilk v vgrajenem stanju;
- nadzor tesnosti,



Sl. 2. Shema naprave za nemotorska preizkušanja tesnilk glave motorja

— funkcionalni nadzor v laboratorijskih razmerah obratovanja (preizkus toplotnega šoka) in uporabniških razmerah obratovanja (običajno na vozilu),

— homologacijski zapisnik s tehnično dokumentacijo.

Vsa negativna opažanja v procesu razvoja in uvajanja tesnilk moramo sporočati v poprejšnje faze, da na ponovljenih preizkušanjih odstranimo pomanjkljivosti. Vse rešitve in spoznanja vnesemo v banko podatkov.

V INDOKu je tako shranjena celotna dokumentacija o končnem izdelku, ki zajema rezultate rešitev in odločitve, informacije in predpise o materialih, tehnično-tehnološko dokumentacijo in navodila za vgradnjo.

3 EKSPERIMENTALNA OPREMA

Načelna shema laboratorijskega preizkuševališča je prikazana na sliki 2. Sestoji iz naslednjih sklopov:

- hidravlična stiskalnica (poz. 1 in 2),
- merilniki fizikalnih veličin (notranjega tlaka, delovnega tlaka, debeline, sile stiskanja, temperature) (poz. 3 in 5),
- priprava notranjega tlaka (poz. 6),
- merilnik prepuščanja (poz. 7),
- testna glava (poz. 4),
- registrirni komplet (PC, risalnik, mikroprocesorji, banka podatkov) (poz. 8).

Z glavnimi karakteristikami:

- največja sila stiskanja: F_{maks} : 50 kN,
- največji notranji tlak p_0 : 14 MPa,
- najvišja temp. testne glave T_{maks} : 400 °C,
- merilnik prepuščanja Δq : 50 ml.

Različni programi, posredovani prek mikroprocesorjev na preizkuševališče, omogočajo preizkušanje pri različnih režimih, in sicer:

- statično preizkušanje,
- simuliranje eksploatacijskih pogojev obratovanja pri statični obremenitvi,
- preizkušanje preizkušanje,
- in pri tem opazujemo
- spremembo debeline tesnilke,
- prepuščanje pri statičnih razmerah obratovanja,
- vpliv preizkušanj toplotni šok na tesnost tesnilke in tesnilnega sklopa,
- trdnost obrobka oziroma vpliv oblike obrobka na trdnost tesnilke,
- odvisnost posedanja tesnilk pri toplotnih obremenitvah
- minimalno potrebno silo stiskanja, da je tesnilni sklop še tesen.

4 SKLEP

Računalniško podprt razvoj in uvajanje TGM v kombinaciji z laboratorijskim simulatorjem uporabniških razmer obratovanja in banko podatkov, ki hrani podatke o lastnostih tesnilk in tesnilnih materialih, različne rešitve TGM in različne načine laboratorijskih testiranj tesnilk pri uporabniških razmerah preizkušanja, je lahko velika pridobitev glede na hitrost, kakovost in ceno uvajanja TGM.

Banko podatkov stalno dopolnjujemo z novimi informacijami.

Velika prednost opisanega načina razvoja in uvajanja TGM je v tem, da je mogoče izvajati preliminarne testiranja na univerzalni laboratorijski opremi. Preizkusi so ponovljivi, sorazmerno hitri, lahko specifično poudarjeni in sorazmerno poceni. Izsledke uporabimo pri načrtovanju novih TGM za sedanji motor ali za motor, ki je še v razvoju.

Izdelava preizkuševališča in osnovne raziskave tesnilk so bile izvedene v Laboratoriju za strojne elemente in mehanizme (LASEM) na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani v sodelovanju z inštitutom tovarne DONIT in finančno pomočjo tovarne DONIT-Tesniti ter Ministrstvom za znanost in tehnologijo Slovenije.

5 LITERATURA

- [1] Janežič, I.-Ločniškar, J.: Računalniško podprt razvoj in osvajanje ploščatih tesnilk. Visoka šola Köthen, Nemčija, april 1991
- [2] Ločniškar, J.: Dimenzioniranje tesnilnega sklopa motorja z notranjim zgorevanjem BLOK MOTORJA - TESNILKA - GLAVA MOTORJA. Simpozij NMV 89, Beograd, 1989
- [3] Ločniškar, J.: Tesnilni materiali in tesnilke nove generacije v avtomobilskem motorju. 5. simpozij MVM 88, Kragujevac, 1988
- [4] Janežič, I.-Ločniškar, J.: Raziskava vpliva vijakov in konstrukcije na tesnilni spoj. RSS - zaključno poročilo, Ljubljana, 1985
- [5] Ločniškar, J.: Tesnilke in dimenzioniranje tesnilnih sklopov. 1. seminar UEK. FS, Ljubljana, 1984.
- [6] Ločniškar, J.: Dodatne obremenitve tesnilnega sklopa "blok-glava motorja" pri nestacionarnem delovanju motorja. 4. simpozij MVM 86, Kragujevac, 1986
- [7] Dosežki laboratorijev REINZ, Neu Ulm, 1989.
- [8] Dosežki laboratorijev DONIT, INŠTITUT, Medvode, 1989 in 1990.

Naslov avtorjev: Jože Ločniškar, dipl. inž.,
prof. dr. Igor Janežič, dipl. inž.
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6, Ljubljana