

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/98



ZAKLJUČNO POROČILO RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROJEKTU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem projektu

Šifra projekta	L2-4082
Naslov projekta	Modeliranje tokovnih in temperaturnih razmer v rotirajočih elementih
Vodja projekta	6428 Leopold Škerget
Tip projekta	L Aplikativni projekt
Obseg raziskovalnih ur	8430
Cenovni razred	B
Trajanje projekta	07.2011 - 06.2014
Nosilna raziskovalna organizacija	795 Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo
Raziskovalne organizacije - soizvajalke	1995 CIMOS d.d. Avtomobilska industrija
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.13 Procesno strojništvo 2.13.02 Prenosnost v trdninah in tekočinah
Družbeno-ekonomski cilj	06. Industrijska proizvodnja in tehnologija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.11 Druge tehniške in tehnološke vede

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROJEKTA

2. Povzetek raziskovalnega projekta¹

SLO

Namen raziskovalnega projekta je bil razvoj numeričnega modela za simulacijo toplotno-tokovnih razmer pri zračno hlajenih zavornih diskih z namenom natančnejšega napovedovanja učinkovitosti hlajenja diska med zaviranjem vozila oziroma vožnjo. S sodobnim pristopom, kot je RDT (Računska dinamika tekočin) je tako možno v naprej, brez izdelave prototipa oziroma eksperimenta, oceniti primernost posamezne oblike

zavornega diska, določiti primerno obliko lopatic oziroma hladilnih kanalov, število le-teh oziroma sam pretočni presek. Vendar je to možno le ob primernem numeričnem modelu, kateri zajame fiziko obravnavanega pojava. Ker so tokovne razmere znotraj, kot tudi zunaj hladilnega diska močno turbulentne je potrebno izbrati tudi primeren turbulentni model oziroma pristop modeliranja, kot je RANS, URANS in LES. Prenos toplote oziroma hlajenje diska je močno povezano s samimi tokovnimi razmerami oziroma so toplotno-tokovne razmere medsebojno odvisne, zaradi česar je postavitve primernega oziroma natančnega numeričnega modela zahtevno. Ker se zavorni disk med močnim zaviranjem močno segreje, je pri tem potrebno upoštevati tudi spremenljive snovne lastnosti, tako materiala diska kot tudi okoliškega zraka. Zaradi zahtevnosti numeričnega modeliranja oziroma postavitve primernega numeričnega modela, izbire računskega območja, primernih robnih pogojev, je potrebno model tudi validirati. Tokovne razmere v hladnem so bile validirane s PIV (Particle Image Velocimetry) metodo, pri čemer je bila validirana porazdelitev izstopne radialna hitrost iz hladilnih kanalov, kot tudi hitrostna porazdelitev znotraj hladilnega kanala. Temperaturno obnašanje oziroma ohlajanje posameznega diska pa je bila ovrednotena iz strani podjetja Cimos d.d. na dinamometru, kjer lahko simulirajo realno vožnjo vozila. Tako smo lahko zagotovili podobnost obnašanja ohlajanja zavornega diska v realnem primeru in virtualni simulaciji.

Takšen pristop ovrednotenja učinkovitosti ohlajanja zavornega diska je za avtomobilsko industrijo še kako pomemben, saj nadomesti in preseže bolj robusten in manj natančen pristop z določitvijo koeficientov prestopa toplote, ki v sodobnem inženirstvo odpove.

V zadnjem delu raziskovalnega projekta je bila predlagana tudi izboljšana verzija zračno hlajenega zavornega diska, s spremenjenimi simetričnimi hladilnimi kanali. Omenjeni prototip se je izkazal za nekoliko boljšega od testiranega originalnega oziroma izvornega diska, tako v numerični simulaciji, kot potem v realnem testiranju na dinamometru. Tako lahko sklenemo, da je postavljeni izboljšani numerični model uspešno napovedal učinkovitost ohlajanja zavornega diska.

ANG

The aim of this research project was to develop the new numerical model for simulating the fluid flow and heat transfer of ventilated brake disc and to estimate the cooling efficiency of the disc during the vehicle breaking or driving. With contemporary approach as CFD (Computational Fluid Dynamics), it is possible to estimate the cooling efficiency of the brake disc in advance, without the prototype or experiment. This way it is possible to change the disc design, the shape of the cooling channels or how many channels there should be, and evaluate the efficiency of that design. However this is possible only if the numerical model can correctly describe the physics of the observed phenomena. Because the velocity field inside the cooling channels and outside of the disc is turbulent it is also important to choose the correct approach of simulating turbulence like RANS, URANS or LES. The connection between the heat transfer and velocity is strong, for which to develop new numerical model to evaluate cooling efficiency of the disc is hard. The disc heats up enormously during the breaking, for which the temperature gets up quite high, therefore it is needed to take into consideration the temperature dependence of disc material as well as the surrounding air. Due to the newly developed numerical model we had to evaluate its accuracy and correctness, if the computational domain or mesh, boundary conditions was correctly chosen. This has been done with comparing the results of numerical simulation and experiment. The velocity field has been compared with the results of PIV (Particle Image Velocimetry) measurement in cold. The validation of numerical model has been done on the radial exit velocity from

the cooling channels as well as on the velocity field inside the channel. The validation of temperature distribution and cooling efficiency of the disc has been done on the dynamometer, owned by Cimos d.d., where they can simulate the real driving of the vehicle. This way we could assure the similarity between the real world data or cooling efficiency of the disc with virtual one.

The described approach of evaluating the cooling efficiency of the ventilated brake disc is very important for automotive companies as Cimos d.d., because it can outstand the less accurate but more robust method of evaluating the cooling efficiency based on the engineering coefficients as heat transfer coefficient.

In the last part of this research project we also propose the new and improved version of ventilated brake disc with changed symmetrical cooling channels. This prototype has proven to be more efficient as its predecessor, in numerical simulation, as well as in real testing conditions on dynamometer. This also shows that the newly developed numerical model is capable to predict the cooling efficiency of ventilated brake disc in the design stage.

3.Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem projektu²

NUMERIČNI DEL

V prvem delu smo izvedli pregled strokovne in znanstvene literature na tem področju, na osnovi katerih smo lahko začeli graditi izboljšani numerični model za simulacijo toplotno-tokovnih razmer v zračno hlajenem zavornem disku. V prvem numeričnem modelu smo upoštevali tri hladilne kanale zavornega diska, skupaj s pestom in premnikom. Tako smo prišli do prvih stacionarnih numeričnih simulacij, pri katerih smo upoštevali konstantne snovne lastnosti materiala in zraka, toliko da smo lahko validirali primernost uporabljenih robnih pogojev (simetrija in odprt robni pogoj), fizike, RANS turbulentnih modelov, računskega območja in računske mreže. Pri tem smo prišli do ugotovitev, da ima največji vpliv računski mreža, katero smo primerno zgostili v okolici zavornega diska, zlasti v območju hladilnih kanalov, ter da je SST turbulentni model oziroma RANS SST pristop primeren, saj primerneje opiše separacijo toka znotraj hladilnih kanalov, kot tudi samo turbulenco.

V nadaljevanju smo numerični izračun nadgradili s časovno odvisnim. Cilj nadgradnje je bil simulirati oziroma napovedati temperaturo diska oziroma vroča območja pri standardiziranem testu večkratnega zaviranja, ki se izvaja na dinamometru. Numerični model je bil v prvem delu nadgrajen s predpisom vnesenega toplotnega toka med zaviranjem, kot povprečna ali časovno linearna funkcija. Zaradi časovne obravnave problema je bilo narejenih kar nekaj različnih kombinacij časovno odvisnih izračunov hlajenja zavornega diska za čas enega cikla zaviranja. Prva kombinacije je bila stacionarna obravnava tokovnega polja okoliškega zraka (konstantna kotna hitrost diska) in časovno odvisna obravnava prenosa toplote tako v disku kot v zraku s ciljem doseganja čim krajšega računskega časa, ki je v industrijski praksi še kako pomemben. Naslednja kombinacija je bila časovna obravnava tako toplotnih kot tokovnih razmer v disku in zraku. Model je bil pri tem tudi nadgrajen z upoštevanjem sevanja zavornega diska preko sevalnega koeficienta prestopa toplote, kot tudi ob upoštevanju spremenljivih snovnih lastnosti materiala diska (siva litina) in okoliškega zraka kot idealnega plina.

Rezultati so pri tem pokazali, da hitrostna odvisnost vnesenega toplotnega toka nasproti konstantni vrednosti močno vpliva na temperaturo diska in njeno porazdelitev v disku

zaradi česar jo je smiselno upoštevati. Podobno vplivajo tudi temperaturno odvisne snovske lastnosti materiala diska. Prav tako se je izkazalo, da časovna obravnava tokovnega polja oziroma spreminjanje le-tega zaradi spreminjanje vrtilne frekvence diska v večji meri ne vpliva na spremembo temperature diska ampak le na toplotno-tokovne razmere v njegovi okolici. Zato je poenostavitev obravnave simuliranja zaviranja diska s stacionarnim hitrostnim poljem in časovno odvisnim temperaturnim poljem primerno, saj daje kvantitativno dobre rezultate pri neprimerno krajših računskih časih. Upoštevanje sevanje pa se je izkazalo za pomembno le pri visoki temperatura diska. Še vedno pa prenos toplote s konvekcijo predstavlja bistveni mehanizem ohlajanja zračno hlajenega zavrnega diska.

Z željo po čim boljšem opisu toplotno-tokovnih razmer v okolici zavrnega diska oziroma znotraj hladilnih kanalov, je potrebno numerični model nadgraditi z naprednimi turbulentnimi modeli oziroma pristopi, kot je URANS in LES. Prej testirani RANS modeli so primerni le za stacionarne oziroma kvazi-stacionarne izračune.

Zaradi zahtevnosti LES in URANS simulacij je bilo potrebno izvesti detajlnejšo analizo vpliva območja reševanja in mreže. Tako so bile izdelane različne RANS numerične simulacije, z upoštevanjem različnega števila hladilnih kanalov, različnih velikosti območja in različne računske mreže. Pri tem smo prišli do celovitega vpogleda na vpliv in stabilnost numeričnih simulacij in do računske mreže, primerne tako za URANS kot LES simulacijo. Analiza je pri tem pokazala, da pri mreži, ki numerično ne duši turbulence, so rezultati toplotno-tokovnih razmer znotraj hladilnih kanalov neodvisni od števila hladilnih kanalov. Zato lahko modeliramo le en hladilni kanal. Drugačne pa so razmere na izstopu iz kanalov, kjer ima število modeliranih hladilnih kanalov velik vpliv.

Izvedene detajlnejše RANS analize smo tudi primerjali z eksperimentalnim delom oziroma PIV meritvijo izstopnega profila hitrosti iz hladilnih kanalov. Primerjava je pokazala dobro ujemanje v primeru primerljive računske mreže s PIV diskretizacijo in čim večjim številom modeliranih hladilnih kanalov. V primeru bolj goste računske mreže pa numerični rezultati detajlnejše opišejo recirkulacijo na izstopu, kot jo zazna PIV in posledično pride do večjega odstopanja. Tako smo potrdili primernost numeričnega modela oziroma pristopa. Pri tem se je uporabljen SST-RANS turbulentni model pokazal za primernega.

Na osnovi omenjenih analiz in ugotovitev smo izvedli podobne numerične analize tudi za druge izvedbe hladilnih diskov, ki jih je podjetje CIMOS d.d. testiralo na zavornem dinamometru z željo potrditve primernosti numeričnega pristopa. Tako je podjetje CIMOS d.d. izvedlo testiranje ohlajanja diskov pri različnih konstantnih vrtilnih hitrosti, s čimer smo pridobili ohlajevalne karakteristike posameznega diska. Primerjava ohlajevalnih krivulj in rezultatov izvedenih numeričnih simulacij je pokazala, da je numerični pristop dober, vendar ne opiše konvektivnega prestopa toplote najboljše. Tako je bilo potrebno nadgraditi fiziko numeričnega modela, tj. na upoštevanje zraka s spremenljivimi snovnimi lastnostmi v odvisnosti od temperature. Z ekspanzijo zraka v hladilnem kanalu, ki poglavito vpliva na tokovno-tokovne razmere smo prišli do dobrega ujemanja numeričnih rezultatov z eksperimentom za različne izvedbe zavornih diskov. Tako numerični model upošteva več fizike in boljše napove ohlajevalno karakteristiko posameznega dizajna zavrnega diska.

V zadnjem delu so bile izvedene tudi URANS simulacije saj LES simulacije potrebujejo neprimerno gostejšo računsko mrežo kar neprimerno poveča sam računski čas. Pri URANS-SST pristopu smo testirali vpliv računske mreže in primernost časovnega koraka

za konstantno temperaturo diska in vrtilno frekvenco. Kot kažejo rezultati je izbira primerne časovnega koraka pogojena z računsko mrežo oziroma Courantovim številom, ki mora biti blizu ena. Tako je možno opisati časovno nihanje prestopa toplote oziroma odlepljanje turbulentnih struktur znotraj hladilnega kanala, dobljena povprečna vrednost prestopa toplote pa se giblje blizu povprečne vrednosti kvazi-stacionarnih izračunov pri najbolj gosti mreži, s katero smo lahko zajeli manjše turbulentne strukture. Seveda se tukaj postavlja tudi vprašanje primernosti oziroma veljavnost URANS pristopa, zaradi zelo majhnih časovnih korakov oziroma statistike.

S tako postavljenim SST-RANS modelom smo raziskali tudi možnosti izboljšanja oblike hladilnih kanalov, od prizmatičnih pa do novo spremenjenih simetričnih kanalov. Pri tem smo prišli do nove boljše oblike hladilnih kanalov z višjim koeficientom konvektivnega odvoda toplote, ki imajo predvsem prednost pri višjih vrtilnih frekvencah diska. Omenjena oblika se je tudi izdelala v praksi in potrdila izsledke numerične simulacije na dinamometru, zaradi česar je izdelan numerični model še kako pomemben za industrijo kot je Cimos d.d.

EKSPERIMENTALNI DEL

V prvem delu je bilo izvedenih nekaj eksperimentov oziroma spremljanje temperature na izvornem disku med večkratnim zaviranjem in ohlajanjem oziroma vožnji vozila iz strani Cimos d.d. na njihovem dinamometru, na katerem lahko simulirajo realno vožnjo vozila. Tako smo prišli do preliminarne rezultate porazdelitve temperature v disku oziroma časovnega poteka med segrevanjem/zaviranjem in vožnjo/ohlajanjem ter s tem do nekaj okvirnih podatkov za nadaljnje delo na numeričnem modelu.

Med tem časom se je tudi postavil PIV sistem za merjenje izstopne hitrosti zraka iz hladilnih kanalov diska in sicer v hladnem stanju. Pri tem je bilo potrebno razviti sistem za nastavitve časovnega zamika med prožilnim signalom in proženjem sistema PIV zaradi zajemanja slik na istem položaju diska oziroma hladilnega kanala. Prav tako je bil sistem PIV nameščen na koordinatni merilni sistem, ki omogoča krajevno pozicioniranje in s tem tudi sestavljanje slik.

V nadaljevanju so se izvajale tudi meritve koeficienta emisivnosti za material oziroma ali je možno natančno meriti temperaturo diska s termokamero, pri čemer so bile meritve izvedene v laboratorijskem okolju. Izkaže se, da se koeficienta emisivnosti spreminja s temperaturo oziroma z oksidacijo površine, kar vpliva na določitev temperature diska s termokamero.

Na dinamometru v podjetju Cimos d.d., Koper je bilo izvedeno testiranje originalnega diska in dveh prototipnih diskov po standardu SAE J2522. Pokazalo se je, da prototipna diska ne pomenita izboljšanja. Ker testiranje ne poteka pri konstantni vrtilni frekvenci, omogoča samo kumulativno oceno. Zato smo izvedeli serijo testiranj pri katerih smo diske hladili pri konstantni vrtilni frekvenci (ekvivalentni hitrosti vozila 40, 60, 80 in 100 km/h).

Na UM-FS se je naredila analiza podatkov iz dinamometra in razvoj programa v LabVIEW za samo analizo. Večina aktivnosti je bila namenjena meritvam hitrostnih profilov s PIV in analizi pridobljenih meritev. Vse meritve s PIV so bile izvajane v hladnem in pri konstantni vrtilni frekvenci diska 15,7 Hz. Rezultat enega PIV posnetka je hitrostno polje v določenem trenutku, zaradi česar je bilo potrebno posneti več posnetkov in jih povprečiti. Iz pristopa je možno določiti volumski pretok zraka, kar je uporabno orodje za primerjavo različnih izvedb zavornih diskov. Na ta način smo primerjali originalno izvedbo in oba prototipa. Pokazalo se je, da ima originalna izvedba enakomerno porazdelitev

hitrosti po kanalu, prototipni izvedbi pa imata volumski tok zgoščen na sredini kanala. S tem smo tudi določili vzrok za slabšo učinkovitost prototipnih diskov.

Originalni disk smo predelali tudi za meritve hitrostnega profila znotraj kanala. Določili smo povprečni profil hitrosti in definirali območje recirkulacije. Izvedeli smo tudi vizualizacijo toka ob vpihu megle, pri čemer se je pokazalo dobro ujemanje med vizualizacijo in poljem recirkulacije. Meritve so pri tem pokazale podobno porazdelitev tokovnega polja, kot sam numerični model – veliko recirkulacijsko območje na sesalni strani hladilnega kanala in močno obtekanje s tanko mejno plastjo na tlačni strani.

Na področju meritev je bila tudi izdelana metoda za zaznavanje deformacij pri vlivanju zavornih diskov oziroma zaznavanje nesimetrije s pomočjo mikrofona, ki deluje kot miniaturno tlačno tipalo. Tako je možno zaznati primernost izdelanega zavornega diska oziroma njegovo točnost.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem projektu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

Delo je potekalo v skladu s cilji. Izdelali smo numerični model zračno hlajenega zavornega diska za oceno njegove učinkovitosti hlajenja ob uporabi naprednih turbulentnih modelov. Z njim je možno simulirati tako RANS kot URANS simulacije z napovedjo konvektivnega odvoda toplote, sevanja, kot tudi temperature diska pri standardiziranem testu zaviranja. Med tem se je pokazalo, da ima mreža največji vpliv na pridobljene rezultate tako za RANS kot URANS pristop, saj je z manjšimi elementi možno opisati manjše turbulentne tokovne strukture. SST turbulentni model je pri tem primeren, pri čemer je potrebno izbrati dovolj majhne elemente ob trdi površini za upoštevanje low-Re modela obravnave mejne plasti. Le-ta boljše opiše separacijo toka, kot zidne funkcije. Za dobro in bolj natančno simulacijo toplotnih-tokovnih razmer v kanalih zavornega diska pa je zelo pomembno upoštevanje spremenljivih snovnih lastnosti (od temperature), saj se temperatura diska močno poveča med samim zaviranjem. Tako je možno opisati ekspanzijo zraka v samih hladilnih kanalih, kar pa močno vpliva na tokovne kot tudi toplotne razmere. Numerični model je bil pri tem validiran s pomočjo PIV meritev izstopne hitrosti in tokovnega polja v notranjosti hladilnega kanala in sicer v hladnem ter kvantitativno z meritvijo temperature diska med ohlajanjem na dinamometru oziroma učinkovitost ohlajanja različnih diskov. Za potrebe industrije pa se izkaže, da je za oceno učinkovitosti hlajenja posameznega diska v razvojni fazi že dovolj SST-RANS simulacija pri dovolj fini računski mreži. Takšen pristop je neprimerno hitrejši od URANS ali LES pristopa, ljub temu pa daje zadovoljive kvazi-stacionarne rezultate. V zadnjem delu smo prav tako predlagali novo simetrično obliko hladilnih kanalov, katera se po numeričnih simulacijah izkaže za nekoliko boljše od standardne oziroma originalne oblike. Omenjen dizajn je bil prototipno izdelan in tudi potrjen s testiranjem na dinamometru, kar samo še poveča vrednost postavljenega numeričnega modela.

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega projekta oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine⁴

/

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati projektne skupine⁵

	Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	16303894
		Vir: COBISS.SI

	Naslov	SLO	Simulacije tokovno-toplotnih razmer v zavornem disku
		ANG	Simulations of flow and heat conditions in a disc brake
	Opis	SLO	V članku so predstavljene simulacije tokovno-toplotnih razmer v zavornem disku. Skozi simulacije so bili analizirani različni parametri, ki vplivajo na tokovno polje zraka v okolici zavornega diska: velikost računskega območja, numerična mreža, robni pogoji in turbulentni model. Zraven tega so bili preizkušeni tudi različni načini vključevanja časovno odvisnega toplotnega izvora. Simulacije s stacionarnim tokovnim in nestacionarnim temperaturnim poljem so bile primerjane s celotno nestacionarno simulacijo. Rezultati kažejo, da se tokovne (in posledično toplotne) razmere v zraku v primeru stacionarnega in nestacionarnega izračuna relativno dobro ujemajo, vendar pa v stacionarnem izračunu ni vidno nastajanje in odlepljanje različnih vrtincev, do katerega prihaja v realnosti in zaradi katerega je dejanski prenos toplote z diska na zrak večji.
		ANG	Simulations of flow and heat conditions in a disc brake are presented in the article. Through simulations different parameters that influence the air flow field were analysed: the size of calculated domain, mesh, boundary conditions and turbulent model. In addition, different ways of applying time-dependent heat source were tested. Simulations with stationary flow field and transient temperature field were compared to a totally transient simulation. Results show that flow (and consequently heat) conditions in air in case of stationary and transient flow field calculation match relatively well. However in stationary calculation the formation and separation of vortices, that is happening in reality and because of which the actual heat transfer is greater, cannot be seen.
	Objavljeno v	Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2012; Str. 9-16; Avtorji / Authors: Brglez Špela, Škerget Leopold	
	Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	
2.	COBISS ID	17432086	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Iskanje vzrokov za cviljenje zavornih bobnov
		ANG	Research into the possible causes of squealing brake-drums
	Opis	SLO	Prispevek predstavlja inženirski pristop k iskanju rešitve problema cviljenja zavornih bobnov. Postopek je bil izveden v časovni stiski, kasneje pa so mu sledili tudi ukrepi za preprečitev podobnih težav v prihodnosti. Cimos TAM Ai je član skupine Cimos, ki je proizvajalec komponent za avtomobilsko industrijo. Proizvodnjo zavornih bobnov smo prevzeli v produkcijski fazi (prenos proizvodnje). Kmalu po zagonu proizvodnje je kupec sporočil, da ima težave s cviljenjem bobnov. Prejeli smo samo podatek, da do cviljenja prihaja na novih avtomobilih pri vsakodnevni uporabi. Naša naloga je bila, da odkrijemo glavni vzrok, ga odpravimo in sprejmemo nekatere preventivne ukrepe. Raziskava je temeljila na primerjavi Cimosovih bobnov (B) z bobni prejšnjega proizvajalca (A). Težišče raziskave je bilo na primerjavi lastnih frekvenc bobnov, za katero smo sklepali da ima največji vpliv na cviljenje. Najprej smo določili lastne frekvence bobnov A in B. Sledila je numerična analiza za določitev kritičnega mesta kjer prihaja do vibracij, ki povzročajo cviljenje. Odkrili smo pomanjkljivost v obliki, kjer na kritičnem mestu ni bila definirana debelina materiala. Na tem mestu so se pojavile velike razlike v debelini med posameznimi kosi, ker je na eni strani neobdelana površina. Problem smo odpravili s premaknitvijo obdelave glede na mere odlitka. Dodatno smo izvedli tudi detajlno analizo posvečeno modulu elastičnosti za sivo litino, da smo eksperimentalno določili vrednosti, ki nastopajo pri majhnih deformacijah značilnih za probleme v povezavi z zvokom. Pokazalo se je, da vrednost modula elastičnosti za majhne deformacije večja kot pri deformacijah, ki se upoštevajo pri trdnostnih preračunih.
		ANG	

			<p>This paper presents a problem-solving procedure regarding brake-drum noise issues performed by engineers within a short time period and additional measures to be taken for avoiding similar issues in the future. Cimos TAM Ai company is a member of Cimos Group, which is a component producer in the automotive industry. We have taken the production of the rear brake-drums during the phase of the car manufacturing (transfer of production). Soon after the instigation of this production, the customer reported squealing issues with the brake-drums. No detailed information was received about the issue except that it occurred on new cars during everyday operation. It was our goal to find the root cause, fix the issue and take some preventive actions. Research was based on comparing the Cimos brake-drum (B) with the brake-drum of previous supplier (A). The research was focused on resonant frequency of the brake-drum as the most likely parameter connected to the squealing. First the natural frequency of drums A and B was determined by impact-hammer test. Then a numerical simulation was carried out with the goal of detecting the most problematic surface of the drum for causing the squealing. A weakness was found in the brake-drum design where no thickness or tolerance was specified at the critical area, and large deviations existed between the finished brake-drums. The problem was solved by changing the machining parameters. Besides solving the noise problem, an in-depth investigation was conducted into the gray cast-iron modulus of elasticity, in order to find a representative value for those small deformations occurring in cases dealing with noise-emission issues. This value proved to be higher than in the case of larger deformations as considered during mechanical and temperature behavior simulations.</p>
		ANG	
	Objavljeno v		Sage Science Press; Journal of vibration and control; 2013; Vol. 20, no. 9; str. 1271-1278; Impact Factor: 4.355; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.275; A": 1; A': 1; WoS: AA, IU, PU; Avtorji / Authors: Bombek Gorazd, Pevec Miha, Vranešević Darko
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
3.	COBISS ID	15259158	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izbira turbulentnega modela za vtočne bazene črpalk
		ANG	Choice of a turbulence model for pump intakes
	Opis	SLO	<p>Članek je osredotočen na izbiro ustreznega turbulentnega modela za numerične simulacije industrijskih primerov vtočnih bazenov vertikalnih črpalk, in sicer z vidika natančnosti ter delno tudi porabljenega CPU časa. Narejenih je bilo dvanajst stacionarnih in nestacionarnih simulacij na gosti računski mreži. Uporabljeni so bili naslednji turbulentni modeli: model transporta strižne napetosti (shear stress transport, SST), model s prilagajanjem skal (scale-adaptive simulation, SAS), model Reynoldsovih napetosti (Reynolds stress model, RSM), eksplicitni algebrajski model Reynoldsovih napetosti (Explicit algebraic Reynolds-stress model, EARSM), simulacija odlepljenih vrtincev (detached eddy simulation, DES) ter simulacija velikih vrtincev (large eddy simulation, LES). Ocenjena je bila uporaba korekcije ukrivljenosti (curvature correction, CC) v povezavi z modeloma SST in SAS. Rezultati so bili primerjani z LES in z razpoložljivimi eksperimentalnimi podatki za obravnavani primer. Čeprav so vsi obravnavani turbulentni modeli napovedali pojavljanje talnega vrtinca, so nekatere napovedi precej odstopale od drugih. Na podlagi izračunov lahko zaključimo, da se za tovrstne izračune lahko uporabi model SST-CC zaradi majhnega računskega časa in bolj točnih rezultatov, kot so bili dobljeni z modelom SST, ali pa model SAS-CC zaradi rezultatov, ki so primerljivi z LES. V drugem delu članka je prikazano dobro ujemanje daljšega izračuna z modelom SAS-CC z eksperimentalnimi rezultati.</p>
			This article is focused on the choice of a suitable turbulence model for

		ANG	simulations of an industrial pump's intake, from the perspective of accuracy and, partially, also the CPU time. Twelve steady-state and transient simulations were made on a fine computational mesh, using turbulence models such as: the shear stress transport (SST), the scale-adaptive simulation (SAS), the Reynolds stress model, the explicit algebraic Reynolds-stress model, the detached eddy simulation and the large eddy simulation (LES). The curvature-correction (CC) option was assessed for the SST and SAS turbulence models. The results were compared with the LES and with published experimental results. Although all the models could predict the main floor vortex, there were still some substantial differences. It can be able to conclude that it is better to use either the SST-CC turbulence model, due to its low-computational resources and far better results than the SST model, or the SAS-CC turbulence model, since its predictions are quite similar to the LES results. In the final step, good agreement with experimental results was shown for a longer simulation with the SAS-CC turbulence model.
	Objavljeno v		Mechanical Engineering Publications; Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Proceedings Part A, Journal of power and energy; 2011; Vol. 225, iss. 6; str. 764-778; Impact Factor: 0.700; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.056; WoS: IU; Avtorji / Authors: Škerlavaj Aljaž, Škerget Leopold, Ravnik Jure, Lipej Andrej
	Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek
4.	COBISS ID	18125590	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Izboljšan numerični model zračno hlajenega zavornega diska
		ANG	Improved numerical model of ventilated brake disc
	Opis	SLO	V članku je predstavljen izboljšani numerični model za stacionarno simulacijo toplotno-tokovnih razmer (RDT) pri zračno hlajenem zavornem disku z namenom ocenitve konvektivnega odvoda toplote oziroma njegove učinkovitosti hlajenja. Model je nadgrajen z upoštevanjem realnih snovnih lastnosti zraka, kar se izkažejo za pomemben faktor, saj imajo velik vpliv na toplotno-tokovne razmere. V članku je narejena primerjava dveh različnih diskov, pri čemer rezultati odražajo realno stanje oziroma ugotovitve eksperimentalnega dela iz strani podjetja Cimos d.d. Tako je numerični model primeren za validacijo posameznega dizajna diska, kar je za inženirsko prakso še kako pomembno v začetni oziroma razvojni fazi diska.
		ANG	This article represents the improved numerical model for steady-state simulation of heat transfer and fluid flow (CFD) at ventilated brake disc. The purpose of the model is to evaluate the convective heat flux and also the efficiency of the disc cooling. The model is upgraded with real air material properties, which shows to have a great impact on the result like heat flux etc. In this study we compare two different disc designs and the results showed the realistic conditions, got from the experimental work made by the company Cimos d.d. This way the numerical model is suitable to evaluate different disc designs, which is very important for the industry in the early stage of the new disc design.
	Objavljeno v		Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2014; Str. 71-78; Avtorji / Authors: Iljaž Jurij, Bombek Gorazd, Škerget Leopold
	Tipologija		1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci
5.	COBISS ID	16304150	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Eksperimentalno raziskovanje nestacionarnega tokovnega polja v aksialnem ventilatorju
		ANG	Experimental investigation of unsteady flow field in an axial fan

Opis	SLO	V članku je predstavljena eksperimentalna analiza delovanja aksialnega ventilatorja v širšem obratovalnem območju. Eksperimentalni podatki so bili zajeti s pomočjo tlačnih senzorjev in PIV (Particle Image Velocimetry) merilnega sistema. Dušilno krivuljo oziroma karakteristiko delovanja ventilatorja smo na podlagi opravljenih meritev razdelili na stabilno (stacionarno) področje in nestabilno (nestacionarno) področje. V nestabilnem področju smo določili mejo vrtljivega zastoja. Prav tako smo določili področje nenadnega in globokega zastoja ter področje histereze. Delovanje aksialnega ventilatorja v karakterističnih obratovalnih točkah in pripadajoča tokovna polja v medlopatici kanalu in tik pred lopatico smo posneli s PIV merilnim sistemom.
	ANG	An experimental study of an axial fan in different operating regimes was performed. The experimental data were acquired using pressure sensors and PIV (Particle Image Velocimetry). The axial fan characteristic curve was divided into its stable and unstable part area. In the unstable area, the rotating stall regime was determined. The location of sudden and deep stall on the characteristic axial fan's curve and the hysteresis area was also determined. Flow fields upstream of the axial fan's rotor and blade passage on three different spans were measured using PIV system.
Objavljeno v	Slovensko društvo za mehaniko; Zbornik del; 2012; Str. 33-40; Avtorji / Authors: Fike Matej, Bombek Gorazd, Hriberšek Matjaž, Hribernik Aleš	
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci	

7. Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati projektne skupine⁶

Družbeno-ekonomski dosežek			
1.	COBISS ID	17522966	Vir: COBISS.SI
Opis	Naslov	SLO	Numerična in eksperimentalna študija zračno hlajenega zavornega diska
		ANG	Numerical and experimental study of ventilated brake disc
		SLO	Prispevek prikazuje numerično in eksperimentalno delo na področju napovedovanja toplotno-tokovnih razmer pri zračno hlajenih zavornih diskih. Želja je izdelati zavorni disk z učinkovitim hlajenjem (čim nižjo temperaturo diska po zaviranju) in s tem podaljšati življenjsko dobo letga. V prispevku je predstavljena sama tematika oziroma problematika in cilji, postavljen numerični model za simuliranje toplotno-tokovnih razmer, PIV eksperiment in rezultati meritev ter primerjava numeričnih rezultatov z eksperimentalnimi. Pri numeričnem modelu se modelira le periodičen odsek diska, zanimajo pa nas stacionarne toplotno-tokovne razmere pri konstantni vrtilni frekvenci diska. Tako so bile izvedene RANS simulacije z upoštevanim SST turbulentnim modelom s čimer smo prišli do ocene konvektivnega odvoda toplote in samega tokovnega polja. S časovno povprečenim PIV eksperimentom smo prišli do izstopnega hitrostnega profila iz hladilnih kanalov, katerega smo kasneje primerjali z numeričnimi rezultati. Analiza pri primerjavi je pokazala dobro ujemanje v primeru modeliranja čim večjega števila hladilnih kanalov pri primerljivi računski mreži z PIV diskretizacijo. Tako smo pokazali da je metodologija simuliranja primerna in da je postavljen numerični model dober.
			The study shows the numerical and experimental work on the field of ventilated brake discs for the reason of predicting the thermal as well as velocity field of the disc and the surrounding cooling air, with the aim to design the most cooling efficient disc with lowest temperature as possible after the breaking, which helps to prolong the life time of the disc. In this study we are dealing with disc problematic, aims, how to build up the

			numerical model for simulating the thermal-velocity field of the disc, PIV experiment, the measurement results, as well as the comparison of the numerical and experimental results to validate the numerical approach. At numerical simulation we are dealing with the steady state RANS simulation, using the SST turbulence model, where we are modelling only the periodical section of the disc. This way we get the velocity field through and around the disc and the convective heat flux which is dominant in the cooling process. With the time average of the PIV experimental result of the velocity field we retrieve the velocity profile only for the exit section of the cooling channel, which we compare with the numerical results. The analysis for the comparison shows that the best fitting is achieved with modelling as much cooling channels as possible and at the comparing computational mesh with the PIV discretization field. This shows that the methodology for simulating velocity and thermal field of ventilated brake disc is appropriate and that the proposed numerical model is correct.
	Šifra	B.06	Drugo
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Škerget Leopold, Iljaž Jurij	
	Tipologija	3.15 Prispevek na konferenci brez natisa	
2.	COBISS ID	17522454	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Modeliranje tokovnih in temperaturnih razmer v rotirajočih elementih
		ANG	Numerical modelling of the velocity and temperature field for the rotating elements
	Opis	SLO	Gre za predavanje na predstavitvi izjemnih znanstvenih dosežkov za leto 2012 na področju tehniških ved, ki je potekalo na Gospodarski zbornici Slovenije. Predstavljeno je bilo raziskovalno delo na področju modeliranja toplotno-tokovnih razmer pri zračno hlajenih zavornih diskih ter eksperimentalnega dela namenjenega ovrednotenju numeričnih rezultatov oziroma numeričnega modela. Gre za raziskovalni projekt, katerega je sofinancer podjetje CIMOS d.d.
		ANG	This was a given lecture on the show of the exceptional scientific achievement for the year 2012 on the mechanical engineering field, which take place on the Chamber of Economy for Slovenia. The presentation covers the research work on the field of numerical modelling of thermal and velocity field for the air cooled ventilated brake disc, as well as the experimental work needed to estimate the correctness of the numerical results, as well as the simulation model. This is a research project which is so financed by the company CIMOS d.d.
	Šifra	E.01	Domače nagrade
	Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Iljaž Jurij	
	Tipologija	3.25 Druga izvedena dela	
3.	COBISS ID	17159958	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Raziskovalni projekti Inštituta za Energetiko, Procesno in Okoljevarstveno inženirstvo, Fakultete za strojništvo, Maribor
		ANG	Research projects at the Institute of Power, Process and Environmental Engineering of the Faculty of Mechanical Engineering, Maribor
	Opis	SLO	Gre za vabljen predavanje na A.N. Podgorny Inštitutu za strojništvo, kjer smo predstaviti naše raziskovalno delo na področju RDT (računske dinamike tekočin), zlasti zadnje raziskovalno delo na temo toplotnih-tokovnih razmer v rotirajočih elementih. Cilj je bil vzpostavitev sodelovanja.
			This was invited lecture on A.N. Podgorny Institute for Mechanical Problems, where we present our research work on the field of CFD

	ANG	(Computational Fluid Dynamics), especially our latest research work on the heat transfer and fluid flow of rotating elements. The aim was to attain some collaboration.
Šifra	B.05	Gostujoči profesor na inštitutu/univerzi
Objavljeno v	2013; Avtorji / Authors: Iljaž Jurij	
Tipologija	3.14	Predavanje na tuji univerzi

8. Drugi pomembni rezultati projektne skupine²

--

9. Pomen raziskovalnih rezultatov projektne skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Novi numerični model za določitev učinkovitosti ohlajanja zavornega diska omogoča ocenitev dizajna oziroma hladilnih kanalov že v razvojni fazi, s čimer se izognemo izdelavi nepotrebnih prototipov in eksperimentov. Ker pa so toplotne-tokovne razmere v takšnih rotirajočih elementih zelo kompleksne je tudi njih zelo težko modelirati oziroma simulirati. Kot prvo je potrebno poznati fiziko problema oziroma vezanost toplotnih-tokovnih razmer, katero želimo zajeti z numeričnim modelom. Tako na prvem mestu predstavlja pomemben prispevek na področju znanosti, razumevanje fizike oziroma dogajanja znotraj hladilnih kanalov, pri čemer je potrebno vzeti v obzir ekspanzijo zraka, katerega disk črpa zaradi razlike v obodni hitrosti oziroma tlaku skozi hladilne kanale, saj se zrak pri tem močno segreje zaradi visoke temperature diska. To pa pomembno vpliva tako na tokovne kot toplotne razmere, ki jih želimo zajeti. Prav tako je tokovno dogajanje močno turbulentno, zlasti v okolici diska, katerega pa je možno opisati le s primernim turbulentnim modelom. Intenzivnost turbulence je neprimerno večja v območju na izstopu iz zavornega diska oziroma hladilnih kanalov kot znotraj njih. Kljub temu pa prihaja znotraj kanalov do separacije toka oziroma recirkulacije, katero je za dober opis toplotnih razmer oziroma stopnjo konvekcije potrebno zajeti. Pri tem klasični inženirski k-ε RANS turbulentni model odpove. Za opis takšnega režima je ustrezneje izbrati SST model s primerno obravnavo mejne plasti. Kljub temu pa je turbulentni tok v takšnih rotirajočih elementih izrazito nestacionaren, kar se odraža v stabilnosti RANS izračuna z zgoščevanjem računske mreže. Za natančnejši opis toplotnih-tokovnih razmer znotraj hladilnih kanalov je potrebno problem obravnavati nestacionarno oziroma z naprednejšimi turbulentni modeli kot je URANS, LES ali hibridni. Tako predstavlja obravnava te problematike nov prispevek k razvoju znanosti, tako na področju zračno hlajenih zavornih diskov, kot tudi na širokem področju rotirajočih elementov, kot so radialno-aksialne črpalke.

Prispevek k razvoju znanosti predstavlja tudi meritev kvazi-stacionarnega hitrostnega polja, tako na izstopu iz hladilnih kanalov, kot tudi znotraj njega s pomočjo PIV merilne metode (Particle Image Velocimetry) oziroma optičnega merjenja hitrosti. Rezultate meritev je pri tem potrebno primerno obdelati oziroma nastaviti PIV napravo, z željo po čim manjšem raztrosu meritev. Prednost PIV metode pa je v tem, da je možno zajeti hitrostno polje tekočine v določenem trenutku po celotni opazovani površini oziroma preseku in ne samo v določeni točki. Meritve hitrostnega polja so bile primerjane tudi s hitrostnim poljem numeričnih simulacij za samo validacijo modela in tako predstavlja pomemben prispevek na tem področju.

Novejši pristop k reševanju problema z uporabo RDT (računska dinamika tekočin) omogoča detajlnejši vpogled v samo dogajanje toplotno-tokovnih razmer znotraj rotirajočih elementih in tako vpogled v fiziko problema. Omenjeni pristop predstavlja tudi prispevek znanosti na področju določitve kumulativnega odvoda toplote, saj je pristop natančnejši od starejšega analitičnega določevanja koeficientov prestopa toplote, ki v takem primeru za natančnejšo določitev učinkovitosti ohlajanja odpove.

ANG

With newly developed numerical model for estimation of cooling efficiency of ventilated brake disc it is possible to estimate the efficiency of the cooling channels in the development stage.

This way it is possible to avoid of making expensive and unnecessary disc prototypes and experiments. Because the fluid flow and heat transfer in rotating elements is very complex, it is also very complex to simulate these phenomena virtually. As first we had to know the physics of the problem or the connection between the fluid flow and heat transfer, which we would like to capture in our numerical simulation. Therefore, at first the scientific contribution represents the knowledge and understanding of physics or phenomena inside the ventilated brake disc, especially to incorporate the air expansion inside the cooling channels due to the high temperature of the disc. The ventilated disc pumps the cool air through the cooling channels, where it heats up, due to the difference between the circumferential velocity or pressure. Also we are dealing with strong unsteady turbulent flow, especial around the disc or at the exit of the cooling channels, which we had to describe it with appropriate turbulence model. The intensity of the turbulence is greater on the outside of the cooling channels than inside. However there is a separation of the flow inside of the cooling channel, which we had to simulate it to get good results on heat convection. At this the classical engineering approach with $k-\epsilon$ turbulence model gives up. To describe this behaviour it is more appropriate to choose SST turbulence model incorporating low-Re approach of dealing with boundary layer. Because the fluid flow in such rotating elements is very unstable and therefore time dependent, this can be also seen from the convergence of RANS simulations using finer meshes. To describe the fluid flow and heat transfer more accurately it is needed to treat problem as time dependent with advance turbulence models like URANS, LES and other hybrid models. Therefore one scientific contribution can be also found in dealing or threating the described problem of modelling turbulence, not only on the field of ventilated brake disc but also on the field of other rotating elements as radial-axial pumps, ventilators etc.

The scientific contribution also represents the experimental work of measuring semi-stationary velocity field on the exit region, as well as inside the cooling channel, using PIV (Particle Image Velocimetry) measurement technique, which is one of the optical methods. The results of this kind of measurement had to be treated adequately to achieve low scatter of the values. The advantage of this PIV method is that you can get the velocity values or velocity field in the observation plane at once not only in one point. The measurement of the velocity field has also been compared with numerical simulations to validate the model and therefore represents a high contribution in this field.

The new approach of threating the problem using CFD (Computational Fluid Dynamics) can give the detail description of physics and phenomena inside the rotating elements like brake discs. This approach also represents the contribution to the science on the field of determination the cumulative heat transfer from the ventilated break disc, especially the convection part, because it is more accurate than the old analytical approach using a heat transfer coefficient, which gives up in the determination of the efficiency of the ventilated brake disc.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Raziskovalni projekt z razvojem novega numeričnega modela in eksperimentalno podprtega razvoja ima tako neposreden kot posreden vpliv na razvoj Slovenije.

Neposredni vpliv je viden v direktni podpori avtomobilski industriji na področju zavornih sistemov, saj je mogoče z novim numeričnim modelom oceniti učinkovitost hlajenja zračno hlajenih zavornih diskov že v razvojni fazi. Ena izmed takšnih industrij v Sloveniji je podjetje Cimos d.d., ki je tudi sofinancer projekta, saj je del raziskovalne skupine Cimos d.d. usmerjena v razvoj novih zavornih diskov za različne avtomobilске proizvajalce. Tako predstavlja uspešnost raziskave tudi možnost novih zaposlitev iz strani podjetja.

Neposreden vpliv je tudi viden v prilagoditvi optičnih merilnih metod, kot je PIV za merjenje hitrostnega polja, tako na področju zavornih diskov, kot tudi na širokem področju rotirajočih elementov, ko so ventilatorji, črpalke itd. in s tem možnost uporabe omenjenih metod tudi v drugih industrijskih panogah.

Posreden vpliv pa predstavlja prenos ustvarjenega novega znanja tako na študente dodiplomskega in podiplomskega študijskega programa Strojništva, kot tudi na raziskovalce znotraj omenjenih industrij.

ANG

This research project with development of the new numerical model and experimental support has the direct as well as indirect impact on the development of Slovenia.

Direct impact is visible with support to an automotive industry, especially on the field of ventilated brake disc, because it is possible to determine the cooling efficiency of design ventilated brake disc in the development stage using this newly developed numerical model. One of these companies in Slovenia is Cimos d.d., which is also a co-financer of this project. One part of the Cimos d.d. is focused on the development and testing of new brake discs for a different car manufacturers. This can also have an impact on the new free jobs offered from the company.

Direct impact can also be found in the field of optical measurement techniques, like PIV for measuring velocity fields, and their adaptability. Not only on the field of brake disc but also on the wide field of rotating elements like ventilators, pumps etc. This opens the doors not only in automotive companies, but in other industry as well.

And the indirect influence is visible in transferring the knowledge not only to students of mechanical engineering in Slovenia but also to the researchers inside the mentioned industries.

10. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!

Označite, katerega od navedenih ciljev ste si zastavili pri projektu, katere konkretne rezultate ste dosegli in v kakšni meri so doseženi rezultati uporabljeni

Cilj		
F.01	Pridobitev novih praktičnih znanj, informacij in veščin	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.02	Pridobitev novih znanstvenih spoznanj	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.03	Večja usposobljenost raziskovalno-razvojnega osebja	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.04	Dvig tehnološke ravni	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen <input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	V celoti <input type="text"/>
F.05	Sposobnost za začetek novega tehnološkega razvoja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.06	Razvoj novega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.07	Izboljšanje obstoječega izdelka	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE

	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.08	Razvoj in izdelava prototipa	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	Dosežen
	Uporaba rezultatov	V celoti
F.09	Razvoj novega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.10	Izboljšanje obstoječega tehnološkega procesa oz. tehnologije	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.11	Razvoj nove storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.12	Izboljšanje obstoječe storitve	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.13	Razvoj novih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.14	Izboljšanje obstoječih proizvodnih metod in instrumentov oz. proizvodnih procesov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.15	Razvoj novega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	
	Uporaba rezultatov	
F.16	Izboljšanje obstoječega informacijskega sistema/podatkovnih baz	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	

	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.17	Prenos obstoječih tehnologij, znanj, metod in postopkov v prakso	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.18	Posredovanje novih znanj neposrednim uporabnikom (seminarji, forumi, konference)	
	Zastavljen cilj	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value="Dosežen"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value="V celoti"/>
F.19	Znanje, ki vodi k ustanovitvi novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.20	Ustanovitev novega podjetja ("spin off")	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.21	Razvoj novih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.22	Izboljšanje obstoječih zdravstvenih/diagnostičnih metod/postopkov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.23	Razvoj novih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.24	Izboljšanje obstoječih sistemskih, normativnih, programskih in metodoloških rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>
F.25	Razvoj novih organizacijskih in upravljaljskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text" value=""/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text" value=""/>

F.26	Izboljšanje obstoječih organizacijskih in upravljavskih rešitev	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.27	Prispevek k ohranjanju/varovanje naravne in kulturne dediščine	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.28	Priprava/organizacija razstave	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.29	Prispevek k razvoju nacionalne kulturne identitete	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.30	Strokovna ocena stanja	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.31	Razvoj standardov	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.32	Mednarodni patent	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.33	Patent v Sloveniji	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.34	Svetovalna dejavnost	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE
	Rezultat	<input type="text"/>
	Uporaba rezultatov	<input type="text"/>
F.35	Drugo	
	Zastavljen cilj	<input type="radio"/> DA <input checked="" type="radio"/> NE

Rezultat	<input type="text"/>
Uporaba rezultatov	<input type="text"/>

Komentar

11. Samo za aplikativne projekte in podoktorske projekte iz gospodarstva!
Označite potencialne vplive oziroma učinke vaših rezultatov na navedena področja

	Vpliv	Ni vpliva	Majhen vpliv	Srednji vpliv	Velik vpliv	
G.01	Razvoj visokošolskega izobraževanja					
G.01.01.	Razvoj dodiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.01.02.	Razvoj podiplomskega izobraževanja	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.01.03.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02	Gospodarski razvoj					
G.02.01	Razširitev ponudbe novih izdelkov/storitev na trgu	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.02.	Širitev obstoječih trgov	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.03.	Znižanje stroškov proizvodnje	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.04.	Zmanjšanje porabe materialov in energije	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.05.	Razširitev področja dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.06.	Večja konkurenčna sposobnost	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.07.	Večji delež izvoza	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.08.	Povečanje dobička	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	
G.02.09.	Nova delovna mesta	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.10.	Dvig izobrazbene strukture zaposlenih	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.11.	Nov investicijski zagon	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.02.12.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03	Tehnološki razvoj					
G.03.01.	Tehnološka razširitev/posodobitev dejavnosti	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.02.	Tehnološko prestrukturiranje dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.03.	Uvajanje novih tehnologij	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.03.04.	Drugo: <input type="text"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04	Družbeni razvoj					
G.04.01	Dvig kvalitete življenja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.02.	Izboljšanje vodenja in upravljanja	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.03.	Izboljšanje delovanja administracije in javne uprave	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.04.	Razvoj socialnih dejavnosti	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.04.05.	Razvoj civilne družbe	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

G.04.06.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.05.	Ohranjanje in razvoj nacionalne naravne in kulturne dediščine in identitete		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.06.	Varovanje okolja in trajnostni razvoj		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07	Razvoj družbene infrastrukture						
G.07.01.	Informacijsko-komunikacijska infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.02.	Prometna infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.03.	Energetska infrastruktura		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.07.04.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.08.	Varovanje zdravja in razvoj zdravstvenega varstva		<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
G.09.	Drugo:		<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Komentar

--

12.Pomen raziskovanja za sofinancerje¹¹

Sofinancer		
1.	Naziv	Cimos d.d. Avtomobilska industrija
	Naslov	Cesta Marežganskega upora 2, 6000 Koper, Slovenija
	Vrednost sofinanciranja za celotno obdobje trajanja projekta je znašala:	113.107 EUR
	Odstotek od utemeljenih stroškov projekta:	30 %
	Najpomembnejši rezultati raziskovanja za sofinancerja	Šifra
	1.	BOMBEEK, Gorazd, PEVEC, Miha, VRANEŠEVIĆ, Darko. Research into the possible causes of squealing brake-drums. Journal of vibration and control, ISSN 1077-5463. [Tiskana izd.], Jul. 2014, vol. 20, no. 9
	2.	PEVEC, Miha, POTRČ, Iztok, BOMBEEK, Gorazd, VRANEŠEVIĆ, Darko. Prediction of the cooling factors of a vehicle brake disc and its influence on the results of a thermal numerical simulation. Internationa
	3.	PEVEC, Miha, ODER, Grega, POTRČ, Iztok, ŠRAML, Matjaž. Detailed analysis of drum brake squeal using complex eigenvalue analysis. Journal of vibroengineering, ISSN 1392-8716, Sep. 2013, vol. 15, iss. 3
	4.	PEVEC, Miha, VRANEŠEVIĆ, Darko, ODER, Grega, POTRČ, Iztok, ŠRAML, Matjaž. Analysis of thermal and deformation behaviour of the passenger car front brake disc. V: EuroBrake 2012, 15-17 April
		PEVEC, Miha, VRANEŠEVIĆ, Darko. Predlog ventiliranega zavornega diska z izboljšanimi

	5.	termalnimi in deformacijskimi lastnostmi. 10. konferenca in razstava Inovativna avtomobilska tehnologija, Novo Mest	B.03
Komentar		Raziskave vezane na projekt so dopolnjevale razvojno raziskovane aktivnosti v zvezi z zavornimi sistemi in aktivnosti vezane na doktorat mladega raziskovalca iz gospodarstva. V laboratorijih Cimos d.d. smo nudili eksperimentalno podporo (testiranja na dinamometru, določanje materialnih lastnosti na MTS, nekatere meritve vibracij, izdelava prototipov...) in v sklopu tega osvojili tudi nekatere postopke merjenja.	
Ocena		Rezultati projekta so uporabni za sofinancerja. Vzporedno smo razvili in validirali nove oblike zavornih diskov in bobnov z izboljšanim hlajenjem. Načrtujemo, da bo ta zasnova uporabna pri pridobivanju novih kupcev, saj še ni objavljena ali patentirana. Z objavo članka v Journal of Vibration and Control ($A''=183,7$) smo pokazali, da lahko rešujemo tudi kompleksne probleme na visokem strokovnem nivoju.	

13. Izjemni dosežek v letu 2014¹²

13.1. Izjemni znanstveni dosežek

13.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja ter obdelavo teh podatkov za evidence ARRS
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v pisni obliki
- so z vsebino zaključnega poročila seznanjeni in se strinjajo vsi soizvajalci projekta

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
raziskovalne organizacije:*

in

vodja raziskovalnega projekta:

Univerza v Mariboru, Fakulteta za
strojništvo

Leopold Škerget

ŽIG

Kraj in datum:

Maribor,

13.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROJ-ZP-2015/98

¹ Napišite povzetek raziskovalnega projekta (največ 3.000 znakov v slovenskem in angleškem jeziku) [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, kjer boste predstavili raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega projekta in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi

partnerji. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa raziskovalnega projekta, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega projekta oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave projektne skupine v zadnjem letu izvajanja projekta, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, to navedite. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke, ki so nastali v okviru tega projekta. Družbeno-ekonomski rezultat iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A" ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat projekta ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega projekta iz obdobja izvajanja projekta (do oddaje zaključnega poročila) v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ni voden v sistemu COBISS). Največ 2.000 znakov, vključno s presledki. [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://sicris.izum.si/> za posamezen projekt, ki je predmet poročanja [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov, vključno s presledki [Nazaj](#)

¹¹ Rubrike izpolnite / prepisite skladno z obrazcem "izjava sofinancerja" <http://www.arrs.gov.si/sl/progproj/rproj/gradivo/>, ki ga mora izpolniti sofinancer. Podpisan obrazec "Izjava sofinancerja" pridobi in hrani nosilna raziskovalna organizacija – izvajalka projekta. [Nazaj](#)

¹² Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega projekta v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROJ-ZP/2015 v1.00a

6F-BE-0D-4B-B6-7D-F8-1B-0E-B0-40-20-1A-5D-19-A4-33-FC-DA-87