

Laboratorij za vodne in turbinske stroje

Laboratorij za vodne in turbinske stroje predstavlja skupina (slika 1), v kateri so poleg vodje rednega profesorja dr. Braneta Široka še dva docenta, raziskovalec z doktoratom in dva mlada raziskovalca. Razvil se je iz Oddelka za aerodinamiko Turboinštituta in je od ustanovitve leta 1998 del Katedre za energetska strojništvo na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani, v kateri danes nastopa skupaj z Laboratorijem za termoenergetiko in Laboratorijem za toplotne batne stroje. Poleg tega smo tudi člani ERCOFTAC-a, združenja Glass technology in Slovenskega društva za mehaniko.



Slika 1. Člani Laboratorija za vodne in turbinske stroje

V delu skupine se zrcalijo temeljne in aplikativne raziskovalne in pedagoške aktivnosti, ki vsebinsko obsegajo numerično in eksperimentalno modeliranje snovnih in energijskih pretvorb v turbinskih strojih, konstruiranje turbinskih strojev in eksperimentalno modeliranje proizvodnih procesov. Močno je poudarjeno sodelovanje z domačo in tujo industrijo, kjer se

LVTS pojavlja pri reševanju zahtevnih tehničnih problemov, razvoju opreme in izobraževanju.

Za LVTS je značilno prepletanje na eni strani med raziskovalnim in pedagoškim delom ter na drugi strani med eksperimentalnim, analitičnim in numeričnim delom. Bazične raziskave se preko aplikativnih pretvorijo v konkretne projekte, ki jih izvajamo v sodelovanju z industrijo, kjer so naši glavni partnerji v slovenskem prostoru Hidria, korporacija Knauf Insulation, Gorenje in Geoplin Plinovodi. Izhajajoč iz referenc na EU projektih, kot je bilo vodenje 5. okvirnega

projekta na področju kavitacije, pa se raziskovalna skupina vključuje v nove raziskovalne in izobraževalne projekte v evropskem prostoru.

Na pedagoškem področju je LVTS prisoten tako na dodiplomskem kot tudi na podiplomskem študiju. V okviru obstoječih programov se študentje srečajo s predmeti Črpalke, Dinamika tekočin v turbinskih strojih, Hidravlični stroji, Hidroenergetski sistemi, Preizkušanje energetskega strojev in Teorija turbinskih strojev, kjer jih predvsem skušamo usposobiti za samostojno delo pri raziskavah, uporabi, vodenju in razvoju obstoječih strojev in sistemov na področju energetike, kjer bodo lahko kompetentno presojali procese in skrbeli za njihovo trajnostno delovanje. V ta namen študente še posebej spodbujamo k samostojnemu kreativnemu delu, ki jih vodi v realni tehnični svet. Izkaz tega so tudi podatki, da je bilo v obdobju zadnjih petih let pod okriljem LVTS opravljenih 5 doktoratov (in še eden s somentorstvom), 2 magisterija in kar 32 diplom (in še 8 s somentorstvom).

LVTS izvaja pedagoške aktivnosti tudi na Univerzi v Mariboru v sklopu predmetov Ekoinženirstvo za program Tekstilstvo na Fakulteti za strojništvo in Tehniške meritve na Fakulteti za kmetijstvo.

S prepletanjem raziskovalno-pedagoških aktivnosti pa se Laboratorij

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo

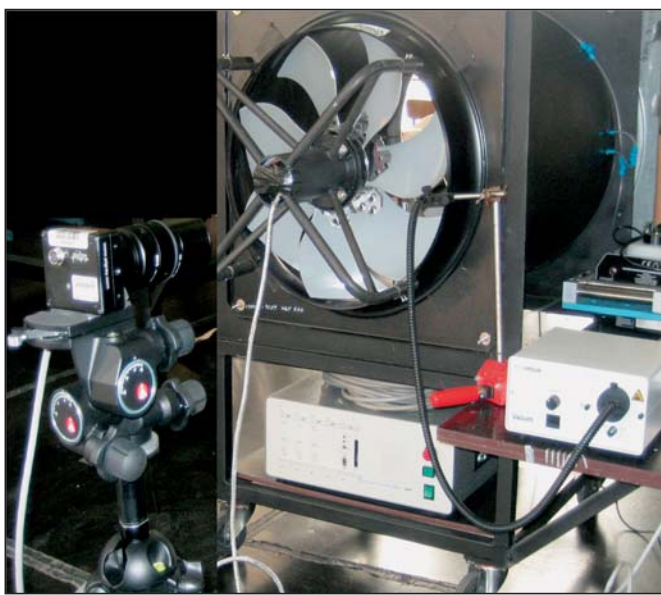


za vodne in turbinske stroje povezuje še s tujimi inštitucijami, kot so University of Hertfordshire (Velika Britanija), SRH Hochschule Heidelberg (Nemčija), TU Darmstadt (Nemčija), E.N.S.A.M. Lille (Francija), Tehnična univerza v Bitoli (Makedonija) in Center for Supercomputing Applications St. Petersburg (Rusija).

Na področju raziskovalnega dela velik del še vedno izhaja iz tradicije, ki pokriva vodne in turbinske stroje, kamor sodijo npr. vizualizacijske diagnostične metode kavitacije v turbinskih strojih in razvoj simulatorjev turbopropelerskih letalskih motorjev za letalo IL-114, precejšen del aktivnosti pa se je že prenesel tudi na druga področja. Aktualno delo je podrobneje predstavljeno v nadaljevanju.



Slika 2. Laboratorij s preizkuševališčema za kondenzatorje in aksialne ventilatorje



Slika 3. Hibridni aksialni turbinski stroj z votlimi lopaticami

analizator moči in sistem za regulacijo merilne postaje. Sodelovanje s Hidria Inštitutom Klima iz Godoviča pa omogoča uporabo tudi preostale najnoveše eksperimentalne opreme, ki zagotavlja maksimalno kakovost opravljene dela.

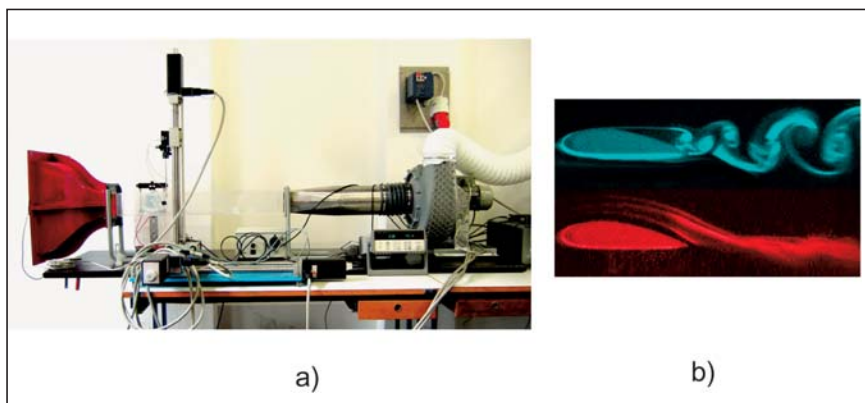
Poleg tega na področju ventilatorjev raziskuje-

mo vpliv deformacij lopat aksialnega ventilatorja, kar merimo s pomočjo vizualizacije s hitro kamero. Razvili in izdelali smo prototipni hibridni aksialni turbinski stroj z votlimi lopaticami, ki izkorišča notranji – radialni tok za zmanjšanje odlepljanja mejne plasti po profilu lopatice (slika 3).

V novozgrajenem vetrovniku lahko profile lopatic tudi preizkušamo. Poleg tega smo z uporabo vizualizacijskih metod posneli tokovne razmere na profilu, razvijamo pa tudi metodo za določevanje hitrostnega polja s pomočjo računalniško podprte vizualizacije (slika 4).

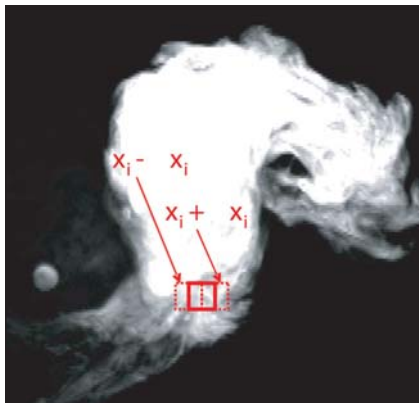
Kvantifikacija kinematičnih lastnosti toka predstavlja eno izmed pomemb-

Na področju turbinskih strojev je laboratorij močno povezan z industrijo, kjer poteka sodelovanje pri izdelavi prototipnih radialnih in aksialnih ventilatorjev (slika 2). Izvedenih je bilo več numeričnih modeliranj in eksperimentalnih analiz na integralnem in lokalnem nivoju. Za tovrstne meritve je na voljo oprema za lasersko merjenje hitrosti z laserskim Dopplerjevim anemometrom, merjenje hitrosti z vročo žičko, petlunknična sonda in hitrotekoča kamera. Na voljo imamo sodobno merilno opremo, ki vsebuje natančne merilnike pretoka, tlaka,



Slika 4. Vetrovnik z opremo za vizualizacijo toka (a) in primer vizualizacije tokovnih razmer na profilu (b)

nih področij dela skupine. Metoda, ki smo jo razvili, omogoča oceno hitrostnega polja preko polja koncentracij polutanta v toku brez uporabe drugih merilnih metod (slika 5). Vizualizacija tokovnih struktur neposredno omogoča vpogled v kvalitativno sliko toka na osnovi skalarnega polja koncentracij. Adveksijska enačba omo-



Slika 5. Določevanje kinematičnih lastnosti toka z vizualizacijo

goča določitev kinematičnih lastnosti toka preko polja koncentracij, ki ga z metodami računalniško podprte vizualizacije lahko merimo preko jakosti sivin na slikah. Poznavanje kinematičnih lastnosti toka ima ključno vlogo v dinamiki tekočin.

Tako kot na področju ventilatorjev se s tokom zraka ukvarjamo tudi na eksperimentalni postaji za merjenje lastnosti prenosnikov toplote. V prostorih laboratorija v sodelovanju z Gorenjem izvajamo študije in meritve prenosnikov toplote in kondenzatorjev za sušilne stroje (slika 2). S preteklimi raziskavami smo ugotovili, da je s stališča emisije hrupa ugodno, da imajo kondenzatorji sušilnikov perila porozno strukturo. Trenutno potekajo raziskave keramičnih kondenzatorjev, ki bi bili izdelani iz enega kosa.



Slika 6. Vizualizacija kavitacije in merjenje hitrostnega polja s PIV-metodo

Na področju vodnih strojev se ukvarjamo predvsem s turbinami, v sodelovanju z industrijo pa v zadnjem času tudi z ventili. Tu predstavlja pomembno raziskovalno področje kavitacija (slika 6), saj nastanek kavitacije v hidravličnih strojih vodi k problemom, kot so vibracije, povečanje hidrodinamskega upora, pulzacije tlaka, spremembe kinematike toka, hrup in kavitacijska erozija trdnih površin.

V laboratoriju intenzivno preučujemo vse vidike kavitacije – od dinamike posameznega mehurčka do vpliva kavitacije na integralne karakteristike stroja. Poseben poudarek je na razvoju novih simulacij, s katerimi bi lahko natančno napovedali nastanek

Razvili smo tudi model za napovedovanje erozijskih poškodb zaradi kavitacije, rezultati numeričnih simulacij pa so bili večkrat tudi eksperimentalno potrjeni z vrhunsko opremo (PIV-merjenje hitrosti, vizualizacija s hitro kamero). Dosedanje izredno obsežno raziskovalno delo je zaradi svoje kakovosti privedlo tudi do izdaje monografije Kavitacija, ki je prva takšna publikacija s tega področja v slovenskem jeziku.

Kavitacijo pokrivamo tudi z bazičnimi raziskavami, kjer smo s hitro IR-kamero posneli temperaturna polja, ki so posledica ultrazvočno vzbujevane kavitacije, v zadnjem času pa nam je uspelo numerično simulirati kolaps kavitacijskega mehurčka

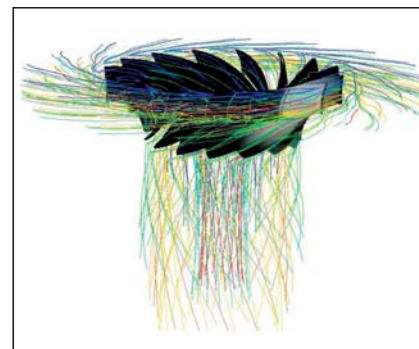


Slika 7. Merilna postaja za raziskovanje hidrodinamične kavitacije

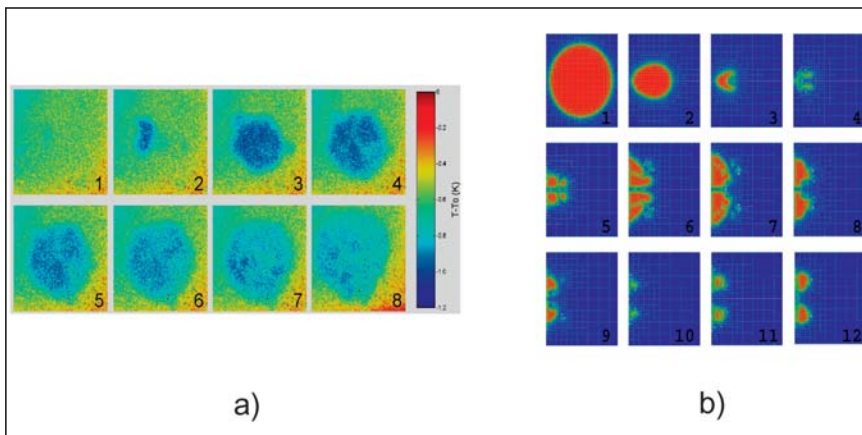
kavitacijske erozije. Od lanskega leta dalje pa lahko za eksperimentalno delo na področju kavitacije uporabljamo raziskovalno kavitacijsko postajo, ki smo jo sami postavili in je locirana v prostorih Hidria Inštituta Klima v Godoviču (slika 7).

Naše znanstvenoraziskovalno delo pa ne obsega le eksperimentalnega, ki večinoma v nadaljevanju vodi k industrijskim rešitvam, temveč smo zelo aktivni tudi na področju numeričnega modeliranja (slika 8). Numerično modeliranje je namenjeno študijskim raziskavam kompleksnejših tokovnih razmer, npr. izboljšanje napovedi vpliva kavitacije na izkoristek turbine.

(slika 9). Kot osnovni mehanizem za večino negativnih posledic kavitacije predstavlja to nov prispevek k boljšemu razumevanju pojava.

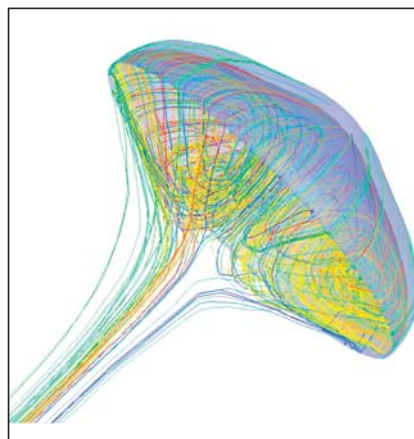


Slika 8. CFD-analiza tokovnic v Francisovi turbini



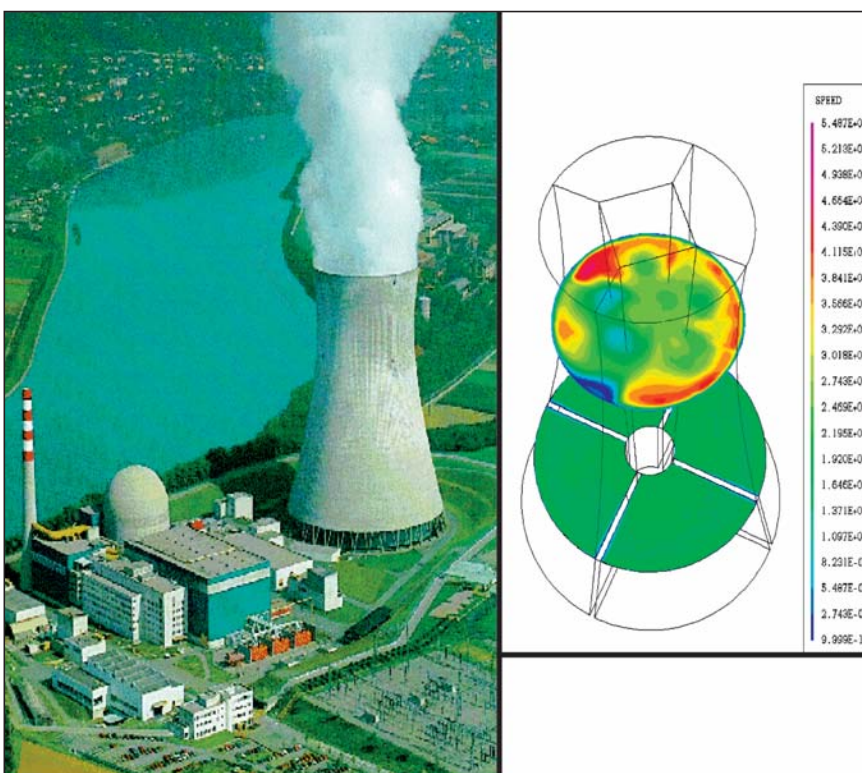
Slika 9. Merjenje temperaturnih polj ultrazvočno vzbujevane kavitacije s hitro IR-kamero (a) in numerično modeliranje kolapsa kavitacijskega mehurčka (b)

Na področju dinamike tekočin pa se ne ukvarjamo le s stroji. V sodelovanju z Morsko biološko postajo v Piranu (Nacionalni inštitut za biologijo) raziskujemo plavanje meduz. Na podlagi predhodnega eksperimenta nam je uspelo numerično simulirati premikanje meduze (slika 10). S strojniškega vidika je problem zanimiv predvsem zaradi kompleksnosti simulacij in tokovnih razmer, počasi pa se odpirajo tudi možnosti prenosa nekaterih spoznanj na strojniške aplikacije.



Slika 10. CFD-analiza gibanja meduze

LVTS sodeluje tudi pri diagnostiki hladilnih stolpov. Na podlagi nume-

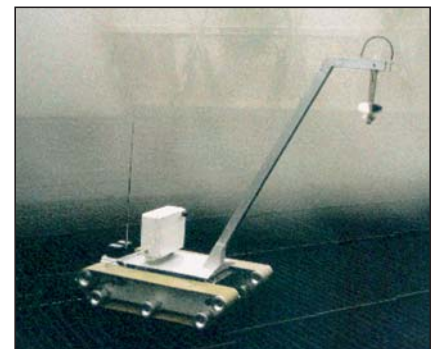


Slika 11. Diagnostika delovanja hladilnih stolpov

ričnih in eksperimentalnih metod je bil razvit postopek določanja lokalnih termodinamskih lastnosti, na podlagi katerih se lahko izboljša delovanje hladilnega stolpa in s tem dvigne izkoristek termoelektrarne (slika 11).

Pri tem je bila za eksperimentalno delo v zahtevnem okolju hladilnega stolpa razvita tudi mobilna enota (slika 12).

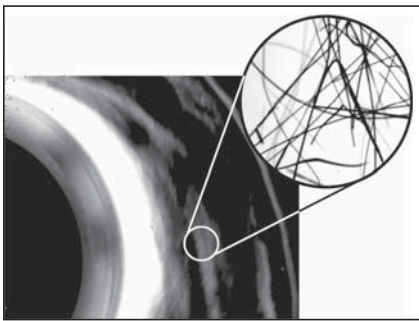
Pomembno področje dela LVTS je povezano s proizvodnjo kamene volne. Na področju nastanka kamene volne je bilo opravljenih več prvenstvenih raziskav v proizvodnem procesu, ki vodijo do končnega produkta v obliki izolacijskih plošč. Na sliki 13 je predstavljen nastanek kamene volne z razvlaknjenjem taline na centrifugi in tvorjenjem kosmov, posnet s hitro IR-kamero. V okviru laboratorija se razvijajo diagnostične metode v proizvodnem procesu kamene volne in fenomenološki modeli razvlaknjenja, ki zajemajo procese soli-



Slika 12. Mobilna enota za eksperimentalno delo v hladilnih stolpih

difikacije taline, oblikovanje osnovne vlaknaste strukture in oblikovanje primarne plasti kamene volne v turbulentnem zračnem toku.

Delo na tem področju obsega tudi meritve proizvodnega procesa od nastanka taline do razreza izolacijskih plošč: meritve pretoka taline, meritve in analiza razvlaknjenja taline, CFD-analizo komor, poleg tega pa še meritve, analizo in konstruiranje centrifug, merilnih sistemov za tehtanje primarne plasti, polimerizacijskih komor itd. V laboratoriju imamo na voljo merilno postajo za simulacijo procesa polimerizacije v trdilni komori. Merilna oprema omo-



Slika 13. Tvorjenje vlaken kamene volne, posneto s hitro IR kamero

goča merjenje pretokov, temperatur in dovedene električne in termične energije.

Na podlagi obsežnega znanja s področja kamene volne je bila prav pred kratkim pri priznani mednarodni založbi CRC izdana monografija. Znanstvenoraziskovalno delo uspešno združujemo z industrijo, saj na področju proizvodnje kamene volne sodelujemo s partnerji v Sloveniji, Hrvaški, Avstriji, Nemčiji, Rusiji, Veliki Britaniji itd.

Med aktualna področja, ki jih s svojim delom pokriva LVTS, spada tudi analiza tveganja na cevovodih za zemeljski plin. To področje je tudi v širšem evropskem prostoru zelo mlado, obravnava pa neželene izpuste in vžige plina in posledice teh dogodkov na ljudi in okolico. V LVTS smo razvili lasten model za ugotavljanje in določevanje oz. oceno

pričakovanih dogodkov na izbranih odsekih cevovoda, njihovih posledic na ljudi ter njihove pogostosti, s čimer je mogoče neposredno oceniti individualno tveganje v odvisnosti od oddaljenosti od plinovodnega sistema. Model se opira na statistične podatkovne baze, posledice nesreč pa so modelirane na podlagi iztoka plina iz cevovoda in toplotnega sevanja gorečega plina. Model nadgrajujemo z izboljšanjem napovedi posledic nesreč, ki jih določimo s pomočjo numeričnega modeliranja, in z razvojem novih metod za ugotavljanje vpliva zunanjih dejavnikov na pogostost nesreč, kot so npr. zemeljska dela, naravne nesreče itd.

Naj na koncu omenimo še eno zanimivo področje aktivnosti LVTS. Na podlagi mednarodnega projekta Razvoj robotskega sistema za ciljni nanos fitofarmaceutskih sredstev v sadovnjakih in vinogradih izvajamo študijo kinematike toka v sadovnjakih in vinogradih, katere namen je zmanjšanje porabe fitofarmaceutskih sredstev pri škropljenju, na kar cilja okvirna uredba EU o trajnostni rabi fitofarmaceutskih sredstev. Pri delu smo v sodelovanju s partnerji razvili robotizirani pršilnik, ki na podlagi vizualizacije s kamero meri delež zelenih delov rastlin in glede na to vklaplja in usmerja šobe pršilnika.

Lahko rečemo, da se člani LVTS ukvarjamo s pestro paletto raziskovalnih področij, ki jih tudi uspešno ob-

ladujemo. Visok dosežen znanstveni nivo se kaže v tem, da je bilo v zadnjih petih letih objavljenih več kot 50 izvirnih znanstvenih člankov in več konferenčnih prispevkov, ob tem pa ne smemo spregledati sočasnega uspešnega sodelovanja z industrijo, ki je v tem času privedlo do 8 patentov v Sloveniji in EU.

Res pa je tudi, da je zadovoljevanje potreb industrije precejšnjega pomena za laboratorij, saj finančni prilivi na osnovi uspešno izpeljanih industrijskih projektov predstavljajo dobršen del sredstev.

Za delo v prihodnosti imamo jasno začrtane smernice. Na pedagoškem delu želimo uspešno izvesti prehod na bolonjski študij, pri tem pa ohraniti dosedanje kakovost študija. Krepi želimo povezovanje z industrijo med študijem, na raziskovalnem področju in pri reševanju konkretnih problemov, ki se pojavljajo v praksi. V ta namen želimo nadgraditi obstoječe sisteme in metode, kar vključuje tudi posodabljanje merilne opreme in povečevanje računske moči računalnikov za izvajanje numeričnih simulacij. Če nam to uspe vsaj deloma izpolniti, potem ne dvomimo, da bo naše delo uspešno tudi po znanstvenih kriterijih.

*Aljaž Osterman, univ. dipl. inž.,
Fakulteta za strojništvo Ljubljana*

nadaljevanje s strani 225

■ Making Virtual A reality VR 2009 (Svetovna konferenca o virtualni realnosti - VR 2009)

25. in 26. 02. 2009

Francija

Organizator: ASME Europe

Tematika:

- Smeri razvoja VR – nizkocenovni pristop
- Inovativna VR – razvoj in uporaba
- Sistemi VR – tehnologija in metode

- Napredni vmesnik
- Človeški faktorji in aplikacije VR
- Sodelovalna VR
- Investicijski menedžment sistemov VR
- VR pri izobraževanju in usposabljanju

Informacije:

- internet: www.asmeconferences.org/WINVR09 (tudi informacije o aktivnem sodelovanju – prispevki, sponzoriranju in razstavi)

nadaljevanje na strani 274