

STROJNIŠKI VESTNIK 9

JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING

strani - pages 591 - 656

ISSN 0039-2480 . Stroj V . STJVAX

cena 800 SIT

1. Razsipanje moči curka vode v umirjevalni posodi z iglastim zasunom
Dissipation in a Vertical Needle Valve Induced Jet in a Pressure Chamber
2. Vpliv natančnosti numeričnih metod na rezultate simuliranj mešalne faze parne eksplozije
The Influence of the Accuracy of Numerical Methods on Steam-Explosion Premixing-Phase Simulation Results
3. Uporaba referenčnih arhitektur pri gradnji informacijsko integriranega podjetja
The Use of Reference Architectures in Creating an Information-Integrated Enterprise
4. Modeliranje ponavljajoče se prevozne poti cestnega vozila
Modelling of the Repeated Transport Route of a Road Vehicle
5. Računalniško simuliranje postopka kovanja
Computer Simulation of Forging Process



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 46, (2000), številka - number 9

Uvodnik

Kegl, B., Pehan, S.: Formula S

Razprave

Jelić, N., Kolšek, T., Bergant, A., Duhovnik, J.:
Razsipanje moči curka vode v umirjevalni posodi
z iglastim zasunom

Leskovar, M., Marn, J., Mavko, B.: Vpliv
natančnosti numeričnih metod na rezultate
simuliranj mešalne faze parne eksplozije

Vujica-Herzog, N., Polajnar, A.: Uporaba referenčnih
arhitektur pri gradnji informacijsko integriranega
podjetja

Kolenc, J.: Modeliranje ponavljajoče se prevozne
poti cestnega vozila

Razprave v slovenščini

Stupan, J., Potrč, I.: Računalniško simuliranje
postopka kovanja

Poročila

Strokovna literatura

Osebnosti

Navodila avtorjem

Editorial

592 Kegl, B., Pehan, S.: Formula S

Papers

595 Jelić, N., Kolšek, T., Bergant, A., Duhovnik, J.: Dis-
sipation in a Vertical Needle Valve Induced Jet
in a Pressure Chamber

607 Leskovar, M., Marn, J., Mavko, B.: The Influence of
the Accuracy of Numerical Methods on Steam-
Explosion Premixing-Phase Simulation Results

622 Vujica-Herzog, N., Polajnar, A.: The Use of Refer-
ence Architectures in Creating an Information-
Integrated Enterprise

632 Kolenc, J.: Modelling of the Repeated Transport
Route of a Road Vehicle

Papers in Slovenian

641 Stupan, J., Potrč, I.: Computer Simulation of For-
ging Process

Reports

Professional Literature

Personal Events

Instructions for Authors

Uvodnik

Editorial

Formula S

Kar se strojništva tiče zna dandanes skoraj vsak narediti vse. No, vsaj občutek je takšen, saj je na primer vsak avto, ki ga dobite na tržišču, dober avto. Mar ni tako? Najsi bo narejen sredi Daljnega vzhoda, kje v Ameriki ali pa v Evropi, vsak je dober.

Morda se še malo razlikujejo po miselnosti gradnje, a teh razlik je vedno manj. Ves svet je postal eno samo veliko tekmovališče, kjer vsi tečejo skoraj enako hitro. Tržišča so sicer nekako razdeljena, in zdi se, da ponekod prevladuje ta, drugod oni, toda to je samo zaradi tega, ker so vsi enako dobri in je prav vseeno, kdo ima lokalno prednost. Obstali so le veliki, največji proizvajalci. Svet sprejema le vrhunsko znanje. Ni časa za počasno učenje. Na pol narejenih stvari, polnih nekih napak, nihče ne mara. Tako, kakor vsa tehnika okoli nas, mora tudi avtomobil biti delček našega ponosa, naše radosti. Avtomobil mora biti dober po vseh merilih, potem ga družba sprejme.

Smo tudi Slovenci v tej svetovni tekmi? Če na stvar pošteno pogledamo, komajda. Lastna avtomobilska industrija je stvar preteklosti. Nekoč smo govorili: naša katrca, naš tamič, naš spaček, naša stoenka, naš fičo. Danes? Kaj je še sploh dobesedno našega? No, saj še imamo bistrih glav. A teh je kvečjemu dovolj, da razumemo, kaj delajo giganti okoli nas. Resnici na ljubo priznajmo, da nas je svet posrkal vase. Smo kvečjemu kar dobri hlapci drugim gospodarjem. Nismo si znali ohraniti svojega avtomobila, vrhunskega izdelka, ki bi bil naš ponos. Če priznamo, ali ne, svet nas počasi potiska na obrobje svojega tekmovališča. Precej tudi po zaslugi naše lastne neumnosti. Saj, kdo nam je vendar rekel, naj pokopljemo TAM, kdo nam je naročil naj se sramujemo mopedov, ki so osvojili svet? Kdo nam je vzel zavest, da lahko le z delom in znanjem tekmujejo s svetom? Kdo vzpodbuja mlado in staro, da le trgovina nekaj velja? Oj, sam Slovenec, sam si tako pameten, da si pozabil vse dobro, kar si se učil desetletja in si postal trafikant na pragu Evrope, brez upanja na boljše čase.

Marsikje po svetu je slovenski izdelek pojem kakovosti. In na to preprosto dejstvo prepogosto pozabljamo. Spomin so izgubili politiki.

Where mechanical engineering is concerned, nowadays almost everyone can do everything. Well, at least it feels that way, for example, every automobile you can find on the market is a good one. Isn't that the case? Whether it is manufactured in the middle of the Far East, somewhere in America or in Europe, any automobile is a good automobile.

Perhaps they still vary a bit in design philosophy, but the differences are increasingly fewer. The entire world has become one large racetrack, in which everyone is running almost equally fast. Well markets are, in a way, divided and it seems that one manufacturer prevails in one area and another somewhere else, but this is only because they are all equally good and it makes absolutely no difference who prevails locally. Only the largest manufacturers have survived. The world accepts only peak-level knowledge; there is no time for slow learners, nobody likes things that are done halfway and are loaded with problems. As is the case for all the technology around us, automobiles must also be part of our pride and our joy. An automobile must be good at fulfilling all criteria well; only then will society accept it.

And are the Slovenes participating in this international race? Looking at it honestly: hardly at all. Our own automotive industry is a thing of the past. Once we could say: look at our Katrca (Renault Four), our Tamič (Tam truck), our Spaček (Citroen Ami), our Stoenka (Zastava 101), our Fičo (Zastava 750). But what about today? What, if anything, is still ours? We still have some clever heads around, but there are only enough of them for us to be able to understand what the giants around us are doing. Truth be told, we should admit that the world has swallowed us whole. At best, what we are fine servants to other masters. We could not even preserve our own automobile, a top-notch product that could have now been our pride. Admit it or not, the world is slowly pushing us to the edge of its racecourse, much thanks to our own stupidity. Who told us to bury TAM; who ordered us to be ashamed of mopeds that have conquered the world over? Who took away the awareness that only through hard work and know-how will we be able to compete with the rest of the world? Who promotes the mentality among both young and old that only trading is worth anything? Well, you yourself, Slovene citizen you, who are so smart that you've forgotten all the good things that you were taught for decades and have now become a tobaccoist at the threshold of Europe, with no hope for better times.

In many countries throughout the world, Slovene products are a synonym for quality. But all too often, we Slovenes forget this simple fact. Actually, the

Gospodarstvo je bilo zgolj njihova žrtev. Zato je morda prav, da smo naš ponos o tem, kaj vse smo zmožni napraviti, obudili prav na Mariborski univerzi, ki je že po tradiciji tesno povezana z gospodarstvom. Študente na Fakulteti za strojništvo v Mariboru smo spodbudili, da so napravili dirkalni avtomobil v stilu Formule 1. Poimenovali smo ga Formula S in se z njim udeležili tekmovanja študentov univerz iz vsega sveta. Pa veste, kakšen je rezultat? Prvo leto, tj. 1999, smo poželi nagrado za izvirno oblikovanje, drugo leto, tj. 2000, smo bili v konkurenci ameriških, angleških in drugih univerz deseti na svetu! Da, naredili smo avto, dirkalni avto in se z njim peljali po pisti. Ne le peljali, povsem enakopravno smo se kosali s svetom prav na vseh področjih strojništva in z njim povezane ekonomije. Avto z naslovnice ni fotomontaža. To je resnični izdelek naših študentov.

Veste, kako daleč stran je teorija od prakse, šola od resničnih potreb? Včasih ti stvari nimata nobene povezave, kakor je nima kuharska knjiga z dobro gostilno. Včasih pa je to eno in isto. In to je tisto, kar svet ceni. To je znanje, ki se da prodati. To je znanje, ki ga gospodarstvo tako obupno išče, šole ga pa sploh ne upajo več ponuditi. To je tisto, za kar smo dobivali nagrade letos. Na tekmovanje najboljših na svetu, v Anglijo, smo prišli s slabimi zavorami, a smo jih dobesedno čez noč povsem prenovili in tako šokirali sodnike. Drugi so prišli tja z rokami v žepih in niso znali nič, ker so jim avtomobile naredili v tovarnah. Mi smo prišli tja z varilnim strojem, primežem, rezalkami, izvijači in ključi in smo vse popravili sami. Tja smo prišli z znanjem, nazaj smo odšli s priznanjem, da smo zmožni marsičesa. Ta priznanja je dobila Fakulteta za strojništvo, Univerza v Mariboru, Slovenija. Ta priznanja so dobili sponzorji! Priznanja je dobilo gospodarstvo, kjer so študenti črpali znanje in samozavest.

Letos delamo novi bolid. Drugo poletje gremo spet v Anglijo, da se pomerimo s svetom. Tokrat bo že težje, ker nismo več outsiderji, in ker vsi vedo, da smo zmožni poseči po samem vrhu. Pa kaj? Bojevali se bomo brez kompleksov. Kaj vse to pomeni? Da smo Slovenci iz dobrega testa, da je strojništvo še vedno paradni konj, ki ga nikakor ne moremo spregledati in nam utegne pomagati postati del sveta, v katerem se zdravo tekmuje.

Zapisano ni mnenje pozabljenih optimistov, temveč je to postal način življenja na spoštovanja vredni univerzi. S Formulo S živijo študenti, ker imajo radi prave izzive ter praktično uporabo naučenega. Formula S je način študija, opravljanja seminarских nalog, izpitov in diplom. Formula S je priložnost za gospodarstvo, kako najti odlične študente. Formula S je pot v svet. Formula S je življenje v Mariboru. Formula S je

politicians are the ones who have lost their memories; the sacrifice of the Slovenian economy was their fault and theirs alone. Therefore, it is perhaps just for our pride to be awakened, concerning what Slovenes are capable of accomplishing, courtesy of the University of Maribor, which has had traditionally close links with industry. We at the Maribor Faculty of Mechanical Engineering motivated students to design and produce a race car in the style of Formula 1. We called it Formula S, and our students tested it in international student competitions. Are you familiar with the results? In the first year, 1999, we received an award for original design, and in the second year, 2000, we placed tenth in the world, among American, British and other universities! That's right we produced a car, a racer, and drove it on the piste. And we didn't merely drive it, we competed on an equal basis with the rest of the world in all the associated fields of mechanical engineering and industry. The auto featured on this journal's cover is not a photomontage. It is something from our students' actual, everyday lives.

I assume you are familiar with those statements about how far theory is from practice, school from the real world. Sometimes these two things do indeed have nothing in common, just as a cookbook has little to do with a good restaurant. But sometimes they become one and the same thing, and this is the thing the world appreciates: knowledge that can be sold. This is the exact knowledge that our industry is searching for with such desperation, but schools no longer dare to offer. This is the reason we received the award last year. We came to England, to this competition of the worlds best, with bad brakes, but shocked the judges by completely renovating them literally overnight. Others arrived with their hands in their pockets and knew nothing, because their racers had been made in factories. We, however, arrived with a welding machine, a vise, cutters, screwdrivers and wrenches, and fixed the brakes all by ourselves. We came there with knowledge and left with an acknowledgement that we are capable of many things. These prizes were awarded to the Faculty of Mechanical Engineering, University of Maribor, Slovenia. They were awarded to the sponsors, and to the industry from which the students drew their knowledge and self-confidence.

This year we will be producing a new race car. Next summer we return to England to again test ourselves against the world. This time it will be harder, because we're no longer outsiders and everybody knows we are capable of aiming for the very top. And so what? We will compete without complexes.

And what does all this mean? That Slovenes are made of the right stuff; that mechanical engineering is still a parade horse we cannot and should not neglect, and which may help us become part of a world in which there is healthy competition. This isn't just the opinion of discredited optimists; this has become a way of life at a reputable university. Our students live with Formula S because they like real challenges and practical applications of what they have learnt. For them, Formula S is a way to study, carry

strojništvo, na katerega smo ponosni. In na koncu, mar ste že pozabili, Formula S je vendar avtomobil o katerem spet govori Slovenija in svet. Formula S je naš avtomobil. In mi gradimo novega, za jutrišnji dan!

out seminars, examinations and their graduate thesis. Formula S is an opportunity for Slovenian industry to find excellent students. Formula S is a path to the world. Formula S is life in Maribor. Formula S is mechanical engineering, of which we are all proud. And finally, have you forgotten already Formula S is the automobile Slovenia is again talking about, as is the rest of the world. Formula S is our automobile. And we are building yet another one, for tomorrow!

Doc.Dr. Breda Kegl
Doc.Dr. Stanislav Pehan

Razsipanje moči curka vode v umirjevalni posodi z iglastim zasunom

Dissipation in a Vertical Needle Valve Induced Jet in a Pressure Chamber

Nikola Jelić · Tomaž Kolšek · Anton Bergant · Jože Duhovnik

V tem prispevku prikazujemo rezultate raziskave disipacije moči in vzbujenih nihanj vodnega curka v umirjevalni posodi valjaste oblike. Namen raziskave je bil ugotoviti nestacionarno tokovno polje, ki povzroča močne vibracije okrova posode ter telesa iglastega zasuna. Raziskava je temeljila na uporabi RST metode (računalniška simulacija toka fluida), ki je bila uporabljena na pomanjšanem modelu in skaliranem prototipu konstrukcije. Izkazalo se je, da je mogoče rezultate z modela uporabiti tudi na prototipu z uporabo preprostih skalirnih faktorjev. Pokazali smo, da je mogoče rezultate numerične metode primerjati z eksperimentalnimi rezultati z natančnostjo, ki je uporabna tako za inženirske kakor za znanstvene namene.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: simuliranje toka, simuliranje računalniško, modeliranje numerično, curek vodni)

In this paper we present the results of a study of power dissipation and induced oscillations in a water jet in a pressure chamber. The purpose of the study was to detect transient flow causing extensive structure oscillations on the chamber and valve body. The study was performed by applying the CFD code to the model and prototype scales and comparing the results. It turned out that the results obtained at the model scale could be applied to the prototype by applying simple scaling rules. It has been shown that the numerical method yielded results that fit reasonably with experiments and might be applied with confidence for both engineering and scientific purposes.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: flow simulations, computer simulations, numerical modelling, water jets)

0 UVOD

Raziskava tokovnega polja za izbrano geometrijsko obliko in robne pogoje je pomembna inženirska in raziskovalna naloga, navadno jo je treba rešiti za različne pogoje toka, ki nas zanimajo. Meritve so v splošnem drage in se po navadi izvajajo le na pomanjšanih modelih. Vrednosti na prototipu konstrukcije so navadno predpostavljene z uporabo ustreznih podobnostnih kriterijev, ki pa žal pogosto ne morejo biti izpolnjeni vsi hkrati. To velja še posebno za zapletene geometrijske oblike, pri katerih se pojavlja večje število lokalnih karakterističnih velikosti in s tem povezanih časovnih skal. V takih primerih se zdi najbolj obetajoča metoda računalniško simuliranje toka (RST - CFD), povezana z računalniškim simuliranjem mehanike konstrukcij (RSK - CSM), ki lahko identificirata inženirske in znanstvene probleme. Žal pa so rezultati (podobno kakor pri

0 INTRODUCTION

Investigating fluid flow field distribution for a particular geometry under particular boundary conditions is an important engineering and scientific task that has to be solved for a large number of various complex fluid flow conditions that might be of interest. The experimental method is in general an expensive one and is frequently applied only at laboratory model scale. Results at the prototype scale are usually predicted by using appropriate similarity criteria which, unfortunately, might not all be satisfied simultaneously. This is especially true for complex geometries in which a large number of local characteristic lengths and related time scales play a role. In this situation Computational Fluid Dynamics (CFD) coupled with Computational Structural Mechanics (CSM) appears to be most promising method for finding appropriate engineering solutions and identifying engineering and scientific problems. However, as in experiments, the underlying physics in CFD and

meritvah), dobljeni na temelju metod CFD in CSM, pogosto napačno interpretirani. Mnogokrat je to posledica uporabe neprimernih matematičnih modelov ali uporabljenih predpostavk in aproksimacij pri numeričnem modelu kakor tudi morebitnih numeričnih nestabilnosti. Zato mora biti postopek računanja ne samo pazljivo načrtovan in izveden, temveč morata biti primernost in natančnost rezultatov preverjena za vsako novo geometrijsko obliko. Primer geometrijske oblike, ki ga opisuje prispevek, je sestavljen iz navpičnega regulacijskega iglastega zasuna, ki je povezan z valjasto umirjevalno posodo z dodano izhodno cevjo. Tak sistem določa več različnih parametrov, ki jih je treba določiti preden se izvede ekonomsko upravičena, varna in zanesljiva konstrukcija. Med temi parametri so višina posode glede na moč disipacije, kavitacijske karakteristike, pretočni koeficient in spekter ter amplituda nihanja tlaka na stenah. V tem prispevku predstavljamo rezultate, ki utegnejo biti pomembni za bodoča računalniška simuliranja toka v zapletenih sistemih podobnega tipa. Raziskava je bila osredotočena na:

- raziskavo višine umirjevalne posode glede na optimalno disipacijo moči ter nihanja tlaka,
- določanje nihanj na pomanjšanem modelu kakor tudi na prototipu (podobnostni zakoni),
- ugotavljanje pretočnega koeficienta za različna odprtja zasuna,
- primerjavo z orientacijskimi meritvami na pomanjšanem modelu.

1 OPIS SISTEMA

Slika 1 prikazuje obravnavani sistem. Taka postavitev je značilna in se pogosto uporablja za disipacijo moči ([1] do [4]). Eden od možnih postopkov v numerični analizi je modeliranje le polovice simetričnega sistema, toda tokovno polje bi utegnilo biti asimetrično iz več razlogov, npr. kot posledica "izmenične nestabilnosti" [5]. Namen iglastega zasuna je sprememba potencialne energije vode v kinetično, ki se v obliki vodnega curka s hitrostjo več deset metrov na sekundo vbrizga v umirjevalno posodo. Ta energija se nato disipira v turbulenci, ki jo popisuje v splošnem neznani spekter $k-\omega$, ki končno pojenja na mikroskopskem nivoju v toploto zaradi nelinearnih pojavov.

Območje projektne višine ΔH prototipa je bilo med 100 in 200 metri. Projektna moč, ki jo je bilo treba sipati, je bila 60 MW. Premer umirjevalne posode je bil $d_{ch} = 7$ m in projektna višina umirjevalne posode $h = 17$ m (20 m od dna umirjevalne posode do zgornjega roba zasuna). Navpični iglasti zasun (sl. 2) je bil postavljen na vrhu v osi posode. Dovod vode v zasun je bil speljan skozi cevno koleno. Notranji premer zasuna na spoju zasun - posoda je znašal 0,7 m (nominalni premer zasuna $d_v = 1,4$ m). Raziskan je bil primer s t.i. "nenadno razširitvijo"

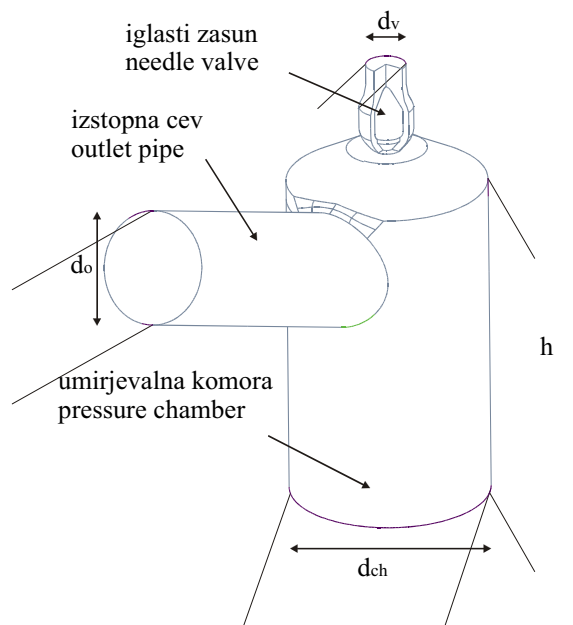
CSM might still remain unclear and largely misinterpreted. This is usually due to effects that arise from improper use of mathematical models or particularly adopted solver assumptions and implemented approximations, as well as due to possible numerical instabilities. Therefore the computational procedure should not only be carefully planned and prepared but the relevancy of the results should be investigated for every new particular geometry. Such a geometry is presented in this paper by a vertical regulating needle valve connected to a dissipation pressure chamber with an outflow pipe. This system is characterized by a variety of fixed and variable parameters that have to be determined before cost-effective design and proper safe and reliable operation can be implemented. Such parameters are chamber height for the predicted water power to be dissipated, cavitation characteristics, discharge coefficient and flow-induced wall pressure oscillations. In this paper we present some of the results that might be relevant for future CFD investigations of complex systems of similar type. These results include:

- a) study of chamber height in order to determine the most favorable conditions regarding both power dissipation and pressure oscillations
- b) assessing oscillations at both model and prototype scales (similarity rules)
- c) determining the discharge coefficient for various valve openings
- d) comparison with preliminary measurements at the model scale

1 DESCRIPTION OF THE SYSTEM

The system in question is shown in Fig 1. It represents one of common arrangements used for water power dissipation ([1] to [4]). One approach in numerical analysis could be to model only half of the symmetric system, but we supposed that the flow might not be symmetric for many reasons, e.g., due to a so-called "exchange of instabilities" [5]. The role of the needle valve (Fig. 2) is to transform the potential energy of the water column into kinetic energy in order to be further injected by a high speed of several tens of meters per second into the chamber. This energy is then dissipated into a generally unknown three-dimensional $k-\omega$ spectrum that finally decays due to nonlinear phenomena at microscopic level into thermal energy.

The interval of the design head ΔH of the selected prototype valve was between 100 and 200 m. The nominal power which was dissipated was 60 MW. The diameter of the pressure chamber was $d_{ch} = 7$ m and the nominal height was $h = 17$ m (20 m from the chamber bottom up to the valve top). The vertical needle valve (Fig. 2) was positioned at the top of the chamber. The water was supplied to the needle valve through a pipe elbow. The inner diameter of the needle valve at the valve-chamber interface was 0.7 m (nominal valve diameter $d_v = 1.4$ m). The study was performed for a



Sl. 1. Umirjevalna posoda z iglastim zasunom
Fig. 1. Dissipation chamber with needle valve

izhoda ([6] in [7]), ki ga ponazarja slika 2. Odprtje zasuna smo spreminjali med 10% in 100% pri različnih vhodnih tlakih.

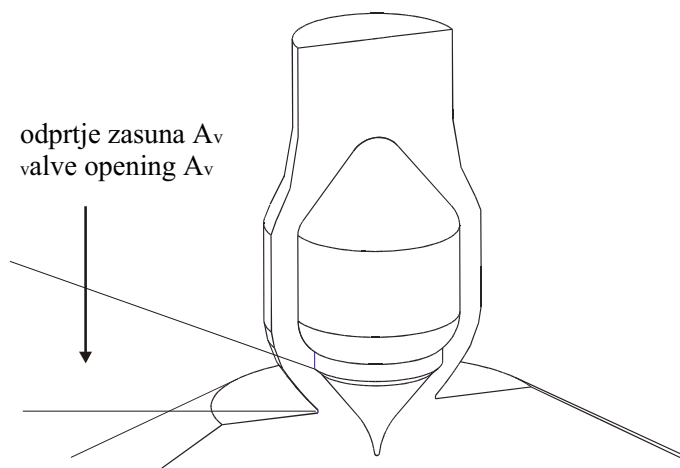
Na voljo smo imeli meritve na modelu, pomanjšanem za faktor $\lambda = 14$ glede na prototip. Glede na Froudeov podobnostni zakon morajo veljati naslednji skalirni faktorji:

- dolžina, tlak	λ
- prerez, površina	λ^2
- prostornina, masa, sila	λ^3
- hrapavost sten v ceveh	$\lambda^{1/6}$
- hitrost, čas	$\lambda^{1/2}$
- Reynoldsovo število	$\lambda^{3/2}$
- pretok	$\lambda^{5/2}$

valve with a “sudden expansion” exit ([6] and [7]), see Fig. 2. The valve opening was adjusted continually between 10% and 100% for various pressure heads.

Experimental results were available for a model scaled down by a factor of $\lambda = 14$. The following scale factors resulting from Froude’s similarity law should hold:

- length, pressure	λ
- cross sectional area	λ^2
- volume, mass, forces	λ^3
- pipe wall roughness	$\lambda^{1/6}$
- velocity, time	$\lambda^{1/2}$
- Reynolds number	$\lambda^{3/2}$
- discharge	$\lambda^{5/2}$



Sl. 2. Iglasti zasun
Fig 2. Needle valve

2 METODA

Uporabljeno je bilo računalniško simuliranje toka s programsko kodo ICCM-Comet enačbah [8], ki temelji na Reynolds-povprečenih Navier-Stokesovih (RPNS) enačbah [9]. Predpostavljen je bil viskozen in turbulenten tok. Sistem enačb RPNS je bil sklenjen z znanim modelom $k-\varepsilon$. Geometrijski model, kakor tudi diskretizacija, sta bila pripravljena s programskim orodjem I-DEAS [10], ki je bil poleg tega uporabljen še za trdnostno analizo zasuna in posode.

Računsko območje smo razdelili v več podobmočij, kar je omogočilo izdelavo blok-strukturirane mreže kontrolnih prostornin (elementov, celic) kvadraste oblike, ki jo je bilo mogoče uporabiti za pripravo izračuna v različnih izračunalnikih toka. Kombinirali smo večje število O in H topoloških shem ter število kontrolnih prostornin postopoma povečevali, da smo dosegli neodvisnost rezultatov od topologije in gostote mreže [9]. Tipično število elementov, nad katerim opazovane količine niso več bile odvisne od gostote mreže, je bilo 100.000 za celoten sistem.

Zaradi velikih vibracij plašča umirjevalne posode, ki je bila predmet meritev, smo se odločili za časovno odvisno (neustaljeno) simuliranje. Kadar curek vode zapusti cev z nenadno razširitvijo, se lahko pojavijo samovzbujana nihanja ([11] in [12]). Pri meritvah smo opazovali statični tlak na več značilnih mestih v posodi (na vrhu, na cilindrični steni, na dnu). Najbolj značilne rezultate smo dobili v merilnih točkah na dnu posode.

3 NUMERIČNI REZULTATI

3.1 Višina posode

Višino posode smo spreminjali, da bi našli najboljšo vrednost glede na največjo moč disipacije pri še sprejemljivih amplitudah nihanja tlaka. Nihanje statičnega tlaka v osi na dnu posode za različne višine posode prikazuje slika 3.

Slika 4 prikazuje odvisnost razlike statičnega tlaka »od vrha do vrha« glede na višino posode. Poudariti je treba, da se dinamična komponenta tlaka $p_{dyn} = \rho v^2/2$ v vseh merilnih točkah ni kaj dosti spreminjala v času, torej je bila glavna nihajoča količina statični tlak.

Količnik disipacije je bil definiran kot razmerje med disipirano močjo in vstopno močjo. Izkazalo se je, da se je $93 \pm 0,2\%$ vstopne moči ($0,2\%$ je v glavnem posledica nihanja) sipalo neodvisno od višine posode. Presenetljivo se je izkazalo, da je rezultat postal odvisen od začetnih pogojev pri višinah pod 11 m. Ta pojav bo predmet prihodnjih raziskav.

2 METHOD

CFD calculations were performed using ICCM-Comet computer codes [8] based on Reynolds averaged Navier-Stokes (RANS) equations [9]. The flow was assumed to be viscous and turbulent. The system of RANS equations was closed using the well-known $k-\varepsilon$ turbulence model. Geometry modeling and grid generation were performed using SDRC I-DEAS software [10], which was also used for additional structural investigations of the mechanical valve and chamber properties.

The computational domain was divided into several sub-domains to enable block-structured hexahedral grid generation, which could easily be input to various fluid flow solver computer codes. A variety of different combinations of O and H topology types of grids were combined and the number of control volumes gradually increased to achieve independence of the results on grid density and the chosen combination of grid topology [9]. The typical number of elements above which the results of interest were not sensitive to the grid density was 100 000 for the entire system.

Due to excessive vibrations of the chamber used in the experiment we decided to perform transient calculations. When a water jet exits a pipe with sudden expansion, self-sustaining oscillations can be expected ([11] and [12]). The static pressure was observed both in numerical and laboratory experiments at several characteristic locations inside the chamber (top, cylindrical wall, bottom). The most representative results were obtained at the measuring points at the bottom of the chamber.

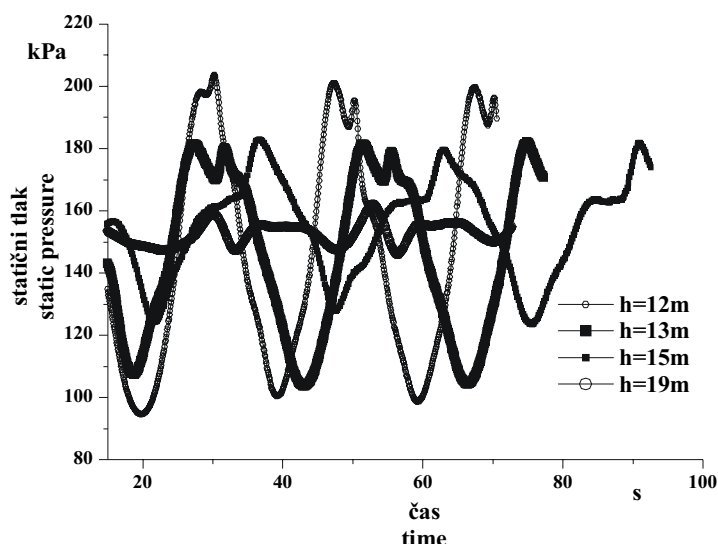
3 NUMERICAL RESULTS

3.1 Height of the chamber

The chamber height was varied in order to find an optimum value that gives maximum power dissipation at an acceptable amplitude of pressure oscillations. The static pressure oscillations at the bottom of the chamber for different chamber heights are shown in Fig 3.

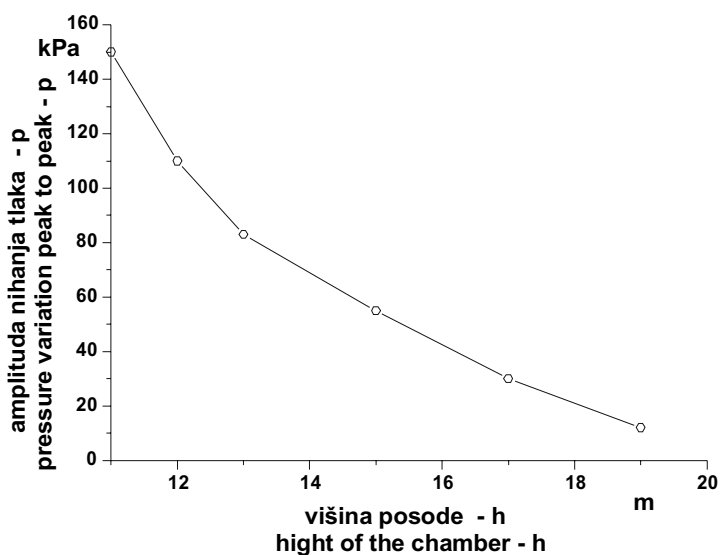
Figure 4 shows the dependence of peak to peak pressure variation as a function of chamber height. It should be pointed out that the dynamic component of the pressure $p_{dyn} = \rho v^2/2$ at any diagnostic point inside the chamber did not change considerably over time, i.e., the main oscillating quantity was the static pressure.

Calculation of the dissipation rate was defined as the ratio of dissipated power over input power. It turned out that $93 \pm 0.2\%$ of the inflow energy (the $\pm 0.2\%$ was mainly related to the oscillations when present) was dissipated independently of the height of the chamber. This conclusion holds in the range 7 to 19 m of the chamber height. However, for heights below 11 m the solution became sensitive to initial conditions. This phenomenon will be the subject of future studies.



Sl. 3. Nihanje statičnega tlaka na dnu posode za različne višine posode

Fig. 3. Oscillation of static pressure at the bottom of the chamber for different chamber heights

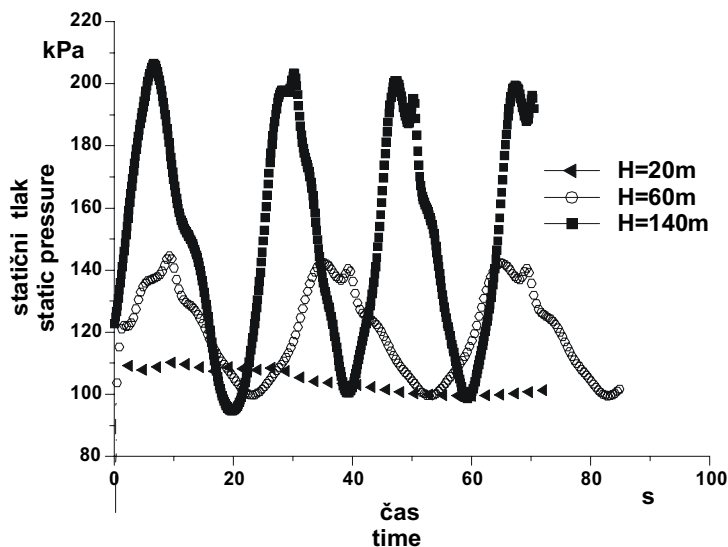


Sl. 4. Razlika statičnega tlaka »od vrha do vrha« v odvisnosti od višine posode

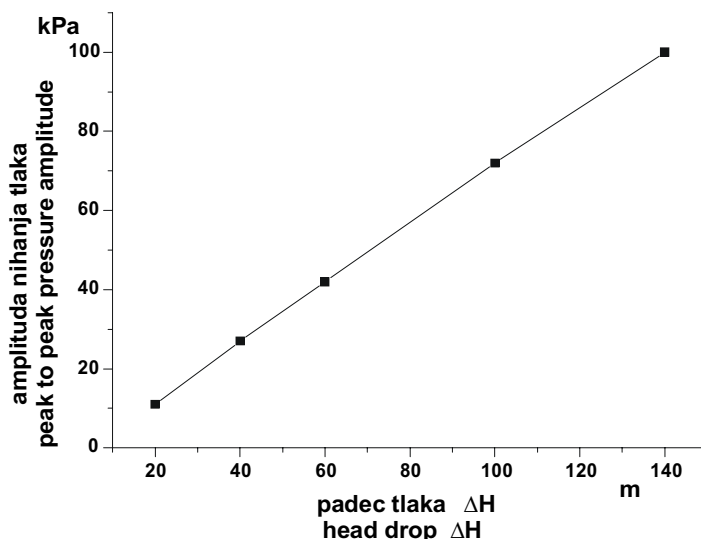
Fig. 4. Peak to peak pressure variation as a function of chamber height

Iz inženirskega vidika je bilo treba določiti višino, nad katero se niso več pojavile velike mehanske obremenitve. Osredotočili smo se na ugotavljanje veljavnosti podobnostnih zakonov pri neustaljenem stanju. Zato smo raziskali tokovna polja pri tistih višinah posod, pri katerih so se pojavljala nihanja. Ugotavljali smo tudi povezavo med amplitudami nihanj ter padcem tlaka med vstopom in izstopom, izraženim v obliki $\Delta H = \Delta p_{tot} / \rho g$ (Δp_{tot} pomeni razliko totalnega tlaka ($p_{tot} = p + p_{dyn}$) med vstopom in izstopom, ρ je gostota vode in g je težnostni pospešek). Slika 5 ponazarja nihanje tlaka na dnu posode pri različnih padcih tlaka med vstopom in izstopom za izbrano višino posode $h = 12$ m. Slika 6 pa prikazuje razliko tlaka od vrha do vrha v odvisnosti od padca tlaka ΔH med vstopom in izstopom.

From the engineering point of view it was important to determine the chamber height above which there were no excessive mechanical loads. We focused our attention on the validation of similarity laws under transient conditions. Therefore we investigated chamber heights with expressed oscillations. We also determined the relation between oscillation amplitudes and the pressure head $\Delta H = \Delta p_{tot} / \rho g$ (where Δp_{tot} is the difference of the total pressure ($p_{tot} = p + p_{dyn}$) between the inlet and outlet, ρ is the water density and g represents acceleration due to gravity). In Figure 5 the time dependence of the chamber pressure for different head drops is illustrated for the case of constant chamber height $h = 12$ m. Figure 6 shows the quantitative dependence of peak to peak pressure variation on the pressure drop ΔH for the same chamber height.



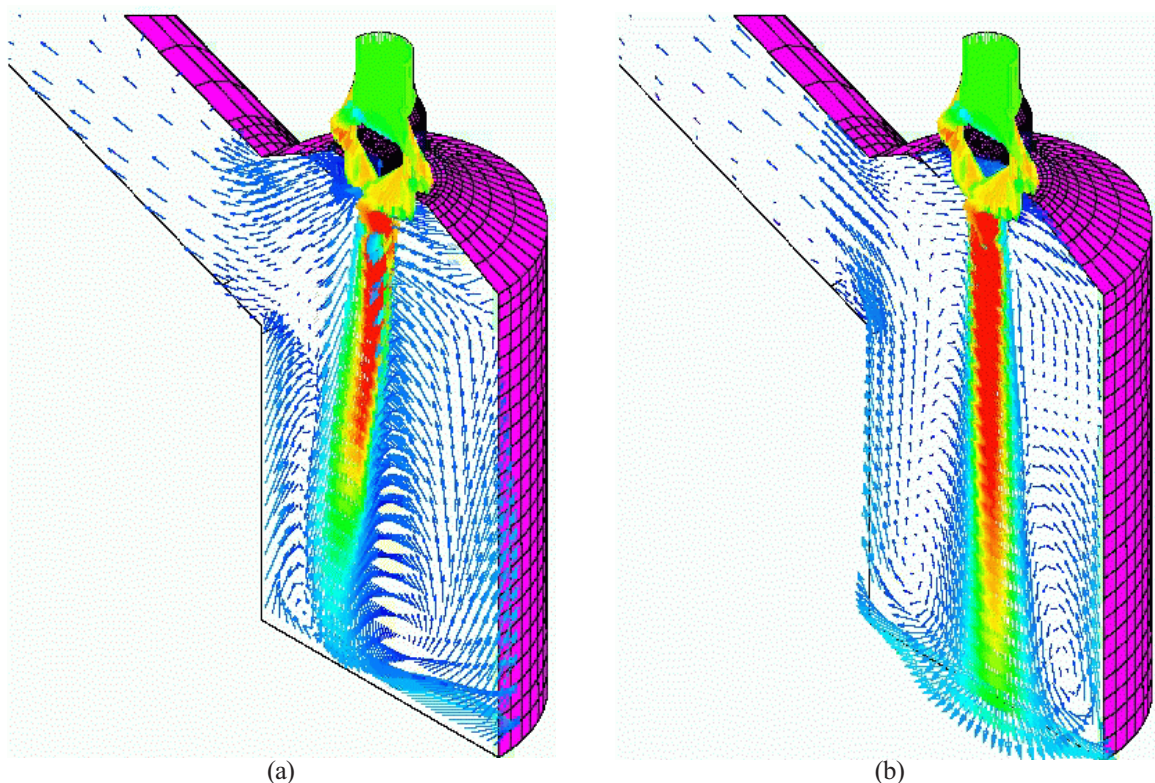
Sl. 5. Časovna odvisnost tlaka v merilni točki za različne padce tlaka med vstopom in izstopom ΔH
Fig. 5. Time dependence of the chamber pressure for different system pressure drops ΔH



Sl. 6. Odvisnost razlike tlaka »od vrha do vrha« v odvisnosti od padca tlaka med vstopom in izstopom ΔH
Fig. 6. Dependence of peak to peak pressure variation on system pressure drop ΔH

Podlaga za fizikalni pojav opaženih nihanj je povezana s povratnim učinkom ujetja in posledično nastajanje področij recirkulacij znotraj posode. Čeprav je celotni pretok nihal le za nekaj odstotkov, je mogoče na podlagi slik 7a in 7b sklepati, da je šlo za večje kakovostne spremembe v hitrostnem polju. Vodni curek je periodično spreminjal smer. Njegova kinetična energija je bila disipirana v celoti znotraj posode, medtem ko je bila dinamična komponenta tlaka znotraj izstopne cevi zanemarljiva. Velike kakovostne spremembe hitrosti so se pojavile ne začetku izstopne cevi, kjer so vektorji hitrosti spreminjali svojo velikost in smer za 360 stopinj. Z animacijo je mogoče prepoznati nastanek recirkulacijskih področij (celic). Animacijo z boljšim vpogledom v spreminjanje tlačnega in hitrostnega polja je mogoče najti na naslovu <http://www.lecad.uni-lj.si/~jelic/anima>.

The underlying physics of the observed oscillations is related to the feedback effect of confinement and the consequent formation of recirculation water zones inside the chamber. Although the total discharge rate oscillated by only several percent, it can be seen in Figs. 7a and 7b that the velocity field distribution qualitatively exhibited large changes over time. The water jet periodically changed direction. Its energy was dissipated exclusively inside the chamber while the dynamic component of the pressure inside the outflow pipe was negligible. Prominent qualitative changes of velocity occurred at the start of the outflow pipe, where velocity vectors change their magnitude and direction by 360 degrees. With the help of animation, the formation of recirculation zones (cells) could be recognized. Animation of the described behavior with more details, including both pressure and velocity fields, can be found at <http://www.lecad.uni-lj.si/~jelic/anima>.



Sl. 7. Hitrostno tokovno polje na simetrijski ravnini za $h = 12$ m, $\Delta H = 60$ m pri dveh različnih časih $t = 22$ s (a) in $t = 35$ s (b)

Fig. 7. Velocity distribution at the symmetry plane for $h = 12$ m, $\Delta H = 60$ m at two different times $t = 22$ s (a) and $t = 35$ s (b)

Glede na dobljene rezultate smo se odločili, da bomo opazovali tok pri višini posode $h = 12$ m, kjer so bila nihanja dobro izražena in neodvisna od začetnih pogojev.

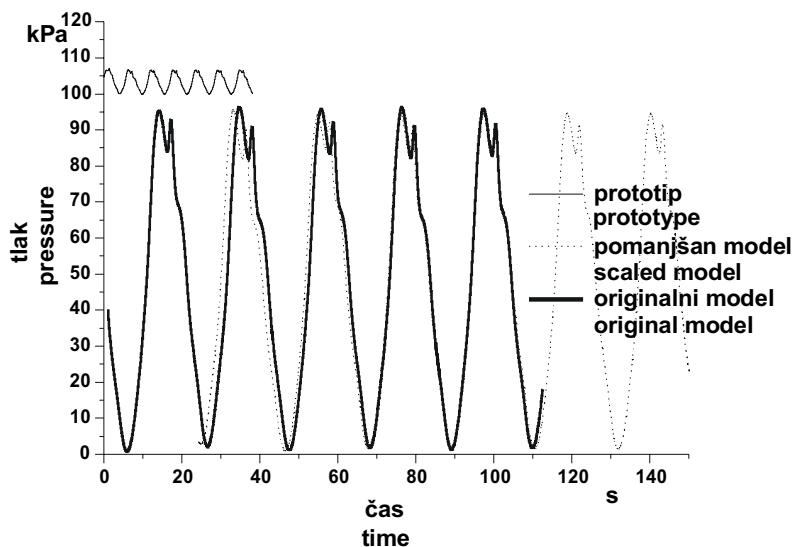
3.2 Podobnost

Raziskovali smo podobnost toka v prototipu in modelu. Linearno pomanjšanje z $\lambda = 14$ je bilo primerno za gradnjo modela kakor tudi za merjenje načrtovanega totalnega tlaka. Opazovali in primerjali smo časovno odvisno hitrostno in tlačno polje za model in prototip. Kakovostno obnašanje je bilo zelo podobno med obema sistemoma v času kakor tudi v prostoru, tj. gibanje vodnega curka je bilo pri obeh numeričnih modelih tako, kakor je prikazano na slikah 7a in 7b. Poleg tega smo primerjali kvantitativne rezultate v izbranih točkah, ki so se zdele značilne. Na sliki 8 predstavlja tanka črta rezultat izračuna na modelu in debela črta rezultat izračuna tlaka na prototipu v opazovani točki na dnu posode. Padec tlaka med vstopom in izstopom je bil $\Delta H = 70$ m za prototip in $\Delta H = 5$ m za model. Nato smo prenesli rezultat z modela glede na opisane podobnostne zakone, in sicer amplitudo tlaka za faktor $\lambda = 14$, čas pa za $\lambda = 14^{1/2} = 3,74$. Tako preslikano krivuljo ponazarja pikčasta črta na sliki 8. Očitno je, da je ujemanje med rezultati simuliranja

Considering the above results, we decided to focus our attention on the representative chamber length of 12 m where oscillations were well pronounced and were independent of the initial conditions.

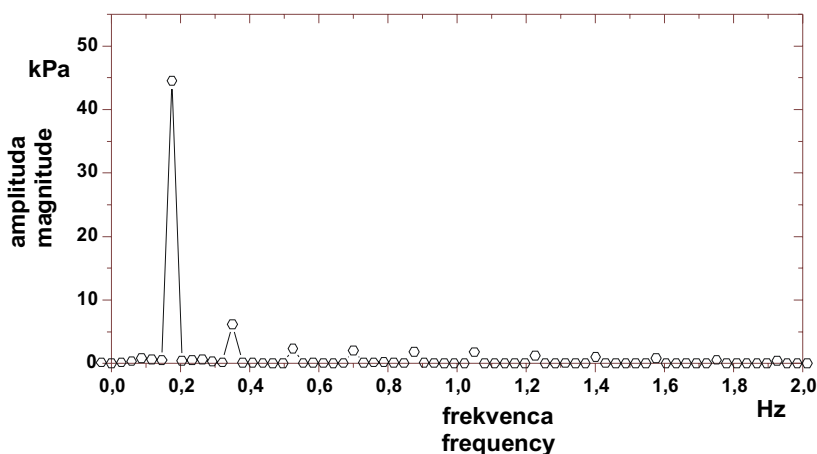
3.2 Similarity rules

We investigated the similarity of the prototype to the model. Linear scaling at $\lambda = 14$ was determined to be appropriate for both building the experimental setup and measuring the estimated total pressure of the prototype at model scale. The velocity and pressure distribution over time were observed and compared for model and prototype. The qualitative behavior was very similar for both systems in time as well as in space, i.e., the motion of the water jet in the model was the same as demonstrated in Figs. 7a and 7b for the prototype. In addition, quantitative results were compared in particular locations that seemed to be representative. In Fig. 8 the thin line represents the results of the model and the thick line the results of the prototype obtained for the pressure at the bottom of the chamber. Pressure drop was $\Delta H = 70$ m for the prototype, $\Delta H = 5$ m for the model. However, we rescaled the results obtained on the model according to the above-mentioned similarity relations by multiplying the amplitude of the pressure by a factor of $\lambda = 14$ and by multiplying the time by $\lambda = 14^{1/2} = 3,74$. The resulting curve is shown in Fig. 8 by a dotted line. It can be seen



Sl. 8. Primerjava statičnega tlaka na dnu posode za model in prototip

Fig. 8. Comparison of the static pressure obtained at the bottom of the chamber in model and prototype



Sl. 9. Amplitudni frekvenčni spekter nihanja tlaka iz izračuna na modelu

Fig. 9. Magnitude frequency spectrum of pressure oscillations obtained in model scale computations

na modelu in rezultati simuliranja na prototipu odlično.

Pripadajoči frekvenčni spekter je prikazan na sliki 9. Sklepamo torej lahko, da je mogoče rezultate izračuna na modelu uporabiti na prototipu in nasprotno.

4 PRIMERJAVA NUMERIČNEGA IZRAČUNA NA MODELU Z EKSPERIMENTALNIMI MERITVAMI

4.1 Nihanja

Meritve na modelu so opravili na Inštitutu za hidravlične raziskave v Ljubljani. Opazili smo nihanja z osnovno frekvenco rahlo pod 0,2 Hz. Amplitudni frekvenčni spekter je prikazan na sliki 10. Amplituda glavnega vrha je nekoliko nad 10 kPa, toda celotna amplituda razlike tlaka "od vrha do vrha", ki

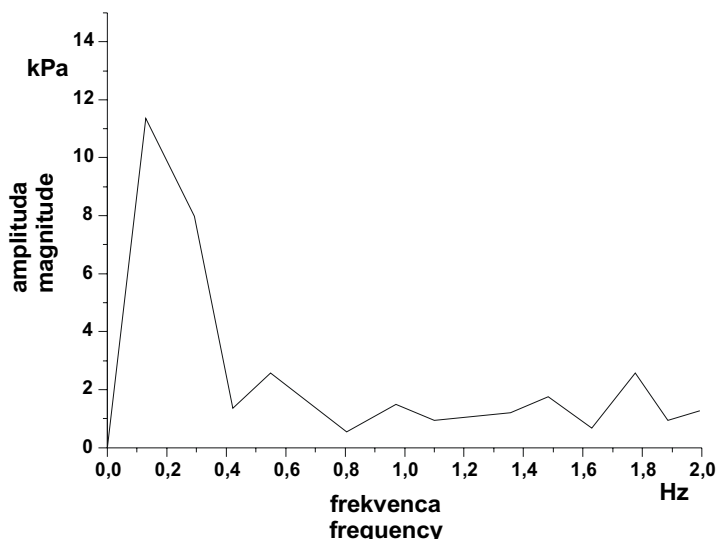
that agreement between the measured and computed curves is excellent.

The corresponding frequency spectrum is shown in Fig. 9. The above result means that it would be entirely acceptable to apply the results obtained on the model to the prototype, and vice versa.

4 COMPARISON OF MODEL SCALE COMPUTATIONAL RESULTS WITH LABORATORY EXPERIMENTAL RESULTS

4.1 Oscillations

Preliminary experiments were performed at model scale at the Institute of Hydraulic Research, Ljubljana, Slovenia. Oscillations were observed with a pronounced peak slightly below 0.2 Hz. The FFT spectrum is shown in Fig. 10. The amplitude of the main peak is slightly above 10 kPa but the total peak to peak amplitude of oscillations



Sl. 10. Amplitudni frekvenčni spekter nihanj, izmerjenih na modelu

Fig. 10. Magnitude frequency spectrum of oscillations obtained in model scale experiment

ima vir še v drugih frekvencah, je okoli 40 kPa. Na sliki 10 primerjamo te rezultate z numeričnimi rezultati s slike 8. V računalniškem izračunu je osnovna frekvenca pri 0,18 Hz, kar se dobro ujema z meritvami.

Pri računalniškem izračunu se pojavljajo dobro izražene višje harmonske glavnih frekvenc, medtem ko so pri preskusu višje harmonske dušene ter izražene še druge frekvence, kar lahko pripišemo povezanim mehanskim ter hidromehanskim nihanjem. Razlika tlaka »od vrha do vrha« je bila pri numerični raziskavi okoli 60 kPa, kar je primerljivo z eksperimentalnim rezultatom 40 kPa.

4.2 Pretočna karakteristika

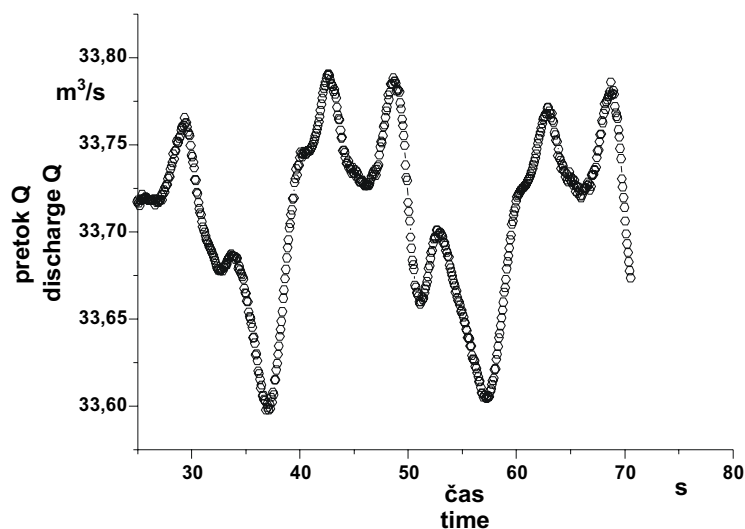
Pretok se s časom ni dosti spreminjal. Slika 11 prikazuje spreminjanje pretoka $Q(t)$ pri prototipu

originating for other frequencies is about 40 kPa. In Fig 10 we compare these results with the numerical results from Fig 8. In a computational run the main frequency was about 0.18 Hz, which is in good agreement with the experiment.

In the numerical run there are well-defined harmonics of the main frequencies. In the experiment, due to coupled mechanical and hydrodynamic oscillations, higher harmonics were damped and other frequencies are also detected. The peak to peak pressure amplitude in numerical calculations was above 60 kPa, which is in fair agreement with the experimentally observed result of 40 kPa.

4.2 Discharge characteristics

The discharge did not greatly depend on time. Fig. 11 shows computed prototype discharge

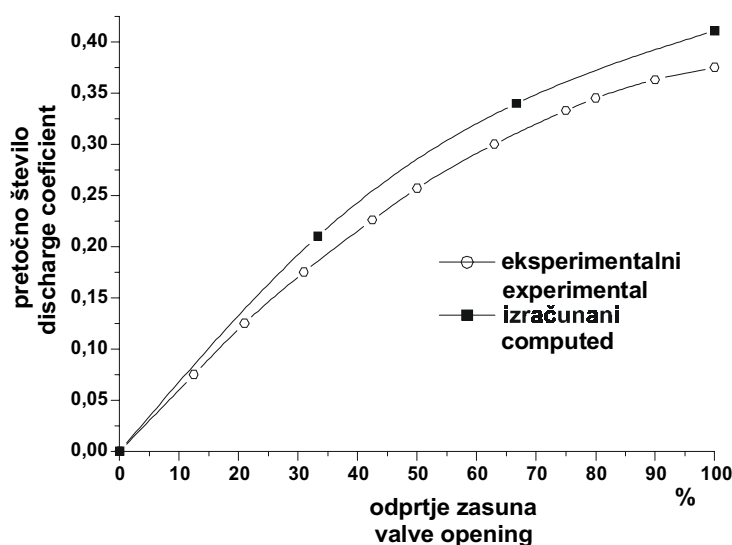


Sl. 11. Odvisnost pretoka od časa

Fig. 11. Dependence of discharge on time

pri pogojih, opisanih v poglavju 3.2. Padec tlaka med vstopom in izstopom ΔH je bil prav tako časovno neodvisen. Zato lahko štejemo, da je tudi pretočni koeficient $c_d = Q/A/(2g\Delta H)^{1/2}$ ustaljen.

Slika 12 prikazuje primerjavo med odvisnostjo pretočnega koeficienta od odprtja zasuna pri meritvah in simuliranju. Razvidno je, da je izračunani pretočni koeficient nekoliko precenjen (za okoli 8%). To lahko pripišemo podrobnostim geometrijskih oblik, ki niso bile del računalniškega modela (notranja rebra, ki nosijo telo igle, zmanjšajo vstopni prerez za okoli 5%). Poleg tega je mogoč vpliv težnosti na pretočno karakteristiko. Zato ugotavljamo, da so dobljeni rezultati v okviru pričakovanj in zanesljivosti.



Sl. 12. Primerjava izračunanega in eksperimentalnega pretočnega koeficienta
Fig. 12. Comparison of computed and experimental discharge coefficients

5 SKLEP

Raziskali smo neustaljeni tok fluida v zapleteni geometrijski obliki z uporabo numeričnega simuliranja in potrdili rezultate z orientacijskimi meritvami. Geometrijska oblika je bila sestavljena iz navpičnega iglastega zasuna za ustvarjanje vodnega curka in posode za disipacijo kinetične energije. Neustaljenost toka je bila dobro izražena pri ustaljenih robnih pogojih.

Opazovali smo samovzbujana nihanja vodnega curka, ki so bila neodvisna od začetnih pogojev. Ugotovili smo, da sta frekvenca in amplituda nihanj odvisni od dimenzij posode (višina), pa tudi od padca tlaka med vstopom in izstopom. Medtem ko sta bili lokalno tlačno in hitrostno polje neustaljeni, so bile makroskopske količine (moč disipacije, pretok) skoraj nespremenjene.

Podobnost med pomanjšanim modelom in prototipom pri ustrezno izbranem pomanjševalnem razmerju je bila potrjena z veliko natančnostjo.

variation $Q(t)$ under the same conditions as described in section 3.2. The pressure drop ΔH was also independent of time. Therefore the discharge coefficient $c_d = Q/A/(2g\Delta H)^{1/2}$ might be regarded as independent of time.

In Fig. 12 we present the discharge curve obtained by experiment as compared with the numerical results for the valve openings of 33, 67 and 100%. It can be seen that the computed discharge coefficient was slightly overestimated (by about 8%). This can be explained by geometric details that were not part of the numerical model (inner supports holding the valve and decreasing the inflow surface by about 5 %). In addition, we supposed that the gravity in a real system might slightly influence the discharge conditions as well. Therefore we assume that the obtained results are quite reasonable.

5 CONCLUSION

A study of a non-stationary flow in a complex fluid flow geometry was performed using numerical simulations and confirmed by preliminary experimental measurements. The geometry basically consists of a vertical needle valve for generating a water jet and a chamber for kinetic energy dissipation. A transient flow field was well expressed under the stationary boundary conditions imposed.

The self-sustaining oscillations of the water jet were observed independently of initial conditions. It has been shown that the frequency and amplitude of the oscillations depend on chamber dimensions (height) as well as on the system head. However, while the local pressure and velocity distribution were essentially functions of time, macroscopic parameters such as the discharge and power dissipation are rather constant.

Similarity between the model and prototype for a reasonable chosen scaling factor has been confirmed with a high accuracy. It has been shown that

Ugotovili smo, da je neustaljeno obnašanje prototipa mogoče napovedati tudi z modelom.

Rezultate numeričnega simuliranja smo primerjali z eksperimentalnimi. Pokazali smo dobro ujemanje frekvence in amplitude nihanj pa tudi časovno povprečenih makroskopskih veličin, kakršen je pretočni koeficient.

Nadaljnje raziskave bodo usmerjene v opazovanje sistema pri še manjših višinah posode, pri katerih postane sistem odvisen od začetnih pogojev.

the transient behavior of the prototype can be predicted well by using the model scale.

The results of numerical simulations were compared with those obtained experimentally and good agreement was found concerning the frequency and amplitude of oscillation as well as concerning the time-averaged macroscopic quantities such as the discharge coefficient.

Further studies should be performed on shorter dissipation chambers for which the behavior of the system proved to be sensitive to initial conditions.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujejo Ministrstvu za znanost in tehnologijo, ki je finančno podprlo raziskavo. Zahvala velja tudi zastopnikom podjetja ICCM GmbH za njihovo zanimanje in podporo pri našem delu ter prof. Periću za pripombe in veliko koristnih nasvetov.

Acknowledgement

The authors are indebted to the Ministry for Science and Technology of Slovenia for supporting this study financially. The authors thank ICCM GmbH for their continuous interest in the work and Prof. M. Perić for careful reading of the manuscript and giving us many useful suggestions.

6 LITERATURA 6 REFERENCES

- [1] Lewin, J. (1988), Valves and reservoir outlets. *Water Power & Dam Construction*, 40(9), 24–29.
- [2] Naib, S.K.A. and R. Vasanthakumaran (2000), Numerical study of dissipation of jets in deep wells, IAHR and British Institution of Civil Engineers. *Journal of Water and Maritime Engineering*, 142(1), 45–54.
- [3] Davis, C.V., and K.E. Sorensen (1980), Handbook of applied hydraulics. *McGraw Hill Book Co.*, New York, U.S.A.
- [4] Vischer, D.L., and W.H. Hager (1995), Energy dissipators. *IAHR Hydraulic Structures Design Manual* No. 9, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- [5] Schreck, E. and M. Schäfer (2000), Numerical study of bifurcation in three-dimensional sudden channel expansion. *Computers & fluids* 29, 538-593
- [6] O'Brien, T. (1966) Needle valves with abrupt enlargements for the control of a high head pipeline. *The Journal of the Institution of Engineers*, Australia, 38(10–11), 265–273.
- [7] Stierlin, K. (1957) Druckreduzier-Anlage für ein Wasserkraftwerk. *Escher Wyss Mitteilungen*, 30(1), 19–28 (in German).
- [8] ICCM (Institute of Computational Continuum Mechanics GmbH) (1998) Comet 1.03 User Manual, Hamburg, Germany.
- [9] Ferziger, H., M. Perić (1999) Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer Verlag Berlin, Germany.
- [10] SDRC (Structural Dynamics Research Corporation) (1999) I-DEAS Master Series V7 User Manual, Milford, Ohio, USA.
- [11] Cherdron, W., F. Durst, J.H. Whitelaw (1978), Asymmetric Flows and instabilities in symmetric ducts with Sudden Expansions. *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 84, 13-31
- [12] Lawson, N. J., M.R. Davidson (1999) Crossflow characteristics of an oscillating jet in a thin slab casting mold. *Journal of Fluids Engineering*, Vol. 121, 589-595.

Naslova avtorjev: dr. Nikola Jelić
doc.dr. Anton Bergant
Litostroj, E.I.
Litostrojska 40
1000 Ljubljana

mag. Tomaž Kolšek
prof.dr. Jože Duhovnik
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Ljubljani
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana

Aurhors' Addresses: Dr. Nikola Jelić
Doc.Dr. Anton Bergant
Litostroj, E.I.
Litostrojska 40
1000 Ljubljana, Slovenia

Mag. Tomaž Kolšek
Prof.Dr. Jože Duhovnik
Faculty of Mechanical Eng.
University of Ljubljana
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia

Prejeto: 28.8.2000
Received:

Sprejeto: 20.12.2000
Accepted:

Vpliv natančnosti numeričnih metod na rezultate simuliranj mešalne faze parne eksplozije

The Influence of the Accuracy of Numerical Methods on Steam-Explosion Premixing-Phase Simulation Results

Matjaž Leskovar - Jure Marn - Borut Mavko

Parna eksplozija je pojav, do katerega lahko pride, kadar se zmešata dve kapljevini, od katerih je temperatura prve kapljavine višja od temperature vrelišča druge. Z raziskavami parnih eksplozij se resno ukvarjajo tudi v jedrski tehniki, ker so pri nekaterih scenarijih težkih nezgod v jedrskih elektrarnah, ko pride staljena sredica v stik s hladilno vodo, izpolnjeni pogoji za parno eksplozijo. Največjo pozornost posvečajo mešalni fazi parne eksplozije, saj je moč parne eksplozije odvisna predvsem od premešanosti faz.

Da bi ugotovili, kako vpliva natančnost numeričnega reševanja večfaznih enačb na rezultate simuliranj mešalne faze parne eksplozije, smo razvili lasten simulirni program ESE (Evaluation of Steam Explosions). S programom ESE smo opravili številna primerjalna simuliranja različnih preskusov, pri katerih so hladne ali vroče kroglice različnih premerov in materialov spuščali v posodo, napolnjeno z vodo. Vsak preskus smo simulirali z metodo "upwind" prvega reda natančnosti in z metodo velike ločljivosti, ki je drugega reda natančnosti. Rezultate simuliranj smo primerjali med seboj in z razpoložljivimi preskusnimi podatki.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: eksplozija pare, tok večfazni, metode numerične, simuliranje)

A steam explosion is a physical event which can occur when two fluids are mixing and the temperature of one fluid is higher than the boiling point of the other. Steam explosions are an important area of study in nuclear engineering because the conditions for a steam explosion are fulfilled during some scenarios of severe nuclear reactor accidents, when the molten core comes into contact with the coolant water. Research is mainly focused on the steam-explosion premixing-phase since it determines the extent of the steam explosion.

In order to discover how the steam-explosion premixing-phase simulation results are influenced by the accuracy of the numerical methods used for solving the multiphase-flow equations a simulation code named ESE (Evaluation of Steam Explosions) has been developed. With ESE a number of simulations of premixing-phase experiments, where different jets of cold or hot spheres are injected into a water pool, have been performed. Each experiment has been simulated with a first order accurate upwind method and the high-resolution method, which is second-order accurate. The simulation results and available experimental data have been compared.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: steam explosion, multiphase flow, numerical methods, simulation)

0 UVOD

Pri mešanju dveh kapljev, od katerih je temperatura prve kapljavine višja od temperature vrelišča druge, lahko pride do parne eksplozije (PE). Pogoji za PE so tako izpolnjeni pri nekaterih scenarijih težkih nezgod v jedrskih elektrarnah, ko pride staljena sredica po različnih poteh v stik s hladilno vodo. Potek PE lahko glede na dogajanja razdelimo v štiri faze, to je v fazo mirnega mešanja taline in hladiva, fazo sprožitve eksplozije, fazo stopnjevanja in širjenja

0 INTRODUCTION

A steam explosion (SE) can occur when two fluids are mixing and the temperature of one fluid is higher than the boiling point of the other. The conditions for a SE are fulfilled during some scenarios of severe nuclear reactor accidents, when the molten core comes into contact with the coolant water. A SE can be divided into four stages: the formation of a premixed region, the occurrence of a trigger, the propagation of the trigger and the expansion. To find

eksplozije ter fazo raztezanja in opravljanja dela. Da bi ugotovili, ali in kako je varnost jedrskih elektrarn ogrožena zaradi PE, izvajajo po svetu številne preskuse, povezane s pojavom PE, in razvijajo različne računalniške programe za simuliranje PE [1].

Upoštevajoč aktualnost in pomembnost pojava PE na potek nekaterih scenarijev težkih nezgod v jedrskih elektrarnah smo se lotili razvoja lastnega simulirnega programa ESE (Evaluation of Steam Explosions) [2]. Zaradi zapletenosti pojava PE smo se usmerili le na modeliranje prve faze PE, to je na modeliranje mirnega mešanja taline in hlada pred izbruhom prave eksplozije. Mešalni fazi PE posvečajo največjo pozornost tudi drugi raziskovalci, saj je moč PE odvisna predvsem od premešanosti faz. Glavni namen naših raziskav je bil spoznati vpliv natančnosti uporabljenih numeričnih metod na rezultate simuliranj in tako ugotoviti, ali bi bilo sedanje simulirne programe mešalne faze PE, ki vsi temeljijo na numeričnih metodah prvega reda natančnosti, primerno nadgraditi z natančnejšimi numeričnimi metodami drugega reda natančnosti [3].

1 MATEMATIČNI MODEL

Vsako od faz p v večfaznem toku taline f , vode w in pare v smo opisali z verjetnostno kontinuitetno:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_p \rho_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_p) = \Gamma_p \quad (1),$$

gibalno:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_p \rho_p \vec{v}_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p \vec{v}_p \otimes \vec{v}_p) = -\alpha_p \nabla p + \alpha_p \rho_p \vec{g} + \alpha_p \vec{M}_p + \vec{v}_{ip} \Gamma_p \quad (2)$$

in energijsko enačbo:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_p \rho_p h_p) + \nabla \cdot (\alpha_p \rho_p h_p \vec{v}_p) = \alpha_p E_p + h_{ip} \Gamma_p \quad (3),$$

ki smo jih izpeljali s statističnim povprečenjem enofaznih enačb ([4] in [5]). V verjetnostnih večfaznih enačbah (1) do (3) se pojavljajo poleg vseh osnovnih členov, ki jih brez fazne verjetnosti α srečamo tudi v nepovprečenih enofaznih enačbah, še številni dodatni členi, ki jih prideltamo med povprečenjem in jih moramo ustrezno modelirati. Zaradi preglednosti so vsi ti členi združeni v spremenljivke Γ , $\vec{M}$ in E . Pri večfaznem toku imajo najpomembnejšo vlogo tisti členi, ki opisujejo medfazni prenos snovi, gibalne količine in energije. Modelirali smo jih v odvisnosti od strukture toka (preglednica 1), ki smo jo določevali s kriterijem fazne verjetnosti taline α_f in razmerja fazne verjetnosti pare $\mathcal{Q}_v = \alpha_v / (\alpha_v + \alpha_w)$ kakor je opisano v [6]. Fazna verjetnost $\alpha_p(\vec{r}, t)$ določa verjetnost, da bomo v času t v točki $\vec{r}$ naleteli na fazo p .

Model večfaznega toka smo prevzeli iz [6], kjer so tudi podane vse konstitutivne enačbe za izračun medfaznega prenosa za vsako izmed

out if and how the safety of nuclear power plants is threatened by SEs, a number of experiments related to SEs are carried out in the world, and different SE-simulation computer codes are being developed [1].

After considering the real possibility and affects of a SE on some severe accident scenaria in nuclear power plants we started to develop our own computer code called ESE (Evaluation of Steam Explosions) [2]. Since a SE is a very complex process we focused only on modeling the premixing stage of the SE, which covers mixing of the molten core debris with water prior to any SE. The SE premixing stage is also the main interest of other researchers because it determines the extent of the steam explosion. The primary purpose of our research was to analyze how the accuracy of the numerical methods used influences the simulation results, and to find out in this way if it would be reasonable to upgrade existing SE premixing-phase simulation codes (which are all based on first-order accurate numerical methods) with second-order accurate methods [3].

1 MATHEMATICAL MODEL

Each phase p in the multiphase flow of melted fuel f , water w and vapor v was described using the probabilistic continuity:

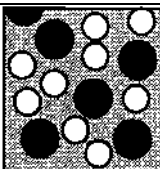
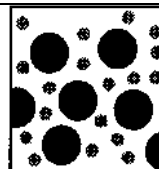
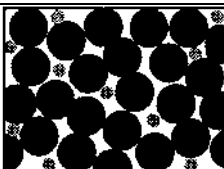
momentum:

and energy equation:

obtained by ensemble averaging the single-phase equations ([4] and [5]). In these probabilistic multiphase equations (1) to (3) different types of terms appear. Basic terms without the phase probability α , which also appear in an averaged single-phase equations, and a number of additional terms produced during the averaging process which have to be adequately modeled. For the sake of clarity these terms were lumped together in variables Γ , $\vec{M}$ and E . In multiphase flow the terms describing the interfacial exchange of mass, momentum and energy are the most important. They were modeled according to the flow regime (table 1) determined by the fuel phase presence probability α_f and the gas void fraction $\mathcal{Q}_v = \alpha_v / (\alpha_v + \alpha_w)$ criteria as described in [6]. The phase presence probability $\alpha_p(\vec{r}, t)$ determines the probability that phase p will occur in place $\vec{r}$ at time t .

The multiphase-flow model has been taken from [6], where the interfacial exchange laws for each

Preglednica 1. Kartogram tokovnih struktur, ki jih upoštevamo pri medfaznem prenosu (prevzeto po [6])
 Table 1. Diagram of flow regimes considered in characterizing interface transfers (taken from [6])

tok okoli razpršenih delcev taline flow over immersed fuel particles $\alpha_f < 0,3$			tok skozi porozno plast delcev taline flow through a porous bed of fuel particles $\alpha_f \geq 0,3$	talina / fuel  para / steam  voda / water 
mehurčkasti tok bubbly flow $\mathcal{Q}_v \leq 0,3$	čepasto-turb. tok churn-turb. flow $0,3 < \mathcal{Q}_v < 0,7$	kapljičkasti tok droplet flow $0,7 \leq \mathcal{Q}_v$		
				

upoštevanih struktur toka. Zaradi preobsežnosti konstitutivnih enačb ne bomo navajali, ampak se bomo omejili le na opis glavnih značilnosti večfaznega modela.

Za $\alpha_f < 0,3$ smo obravnavali večfazni tok taline, vode in pare kot gibanje delcev taline v dvofaznem toku vode in pare, za katerega smo določili tokovne strukture na podlagi razmerja fazne verjetnosti pare: $\mathcal{Q}_v \leq 0,3$ - mehurčkasti tok, $0,3 < \mathcal{Q}_v < 0,7$ - čepasto-turbulentni tok in $\mathcal{Q}_v \geq 0,7$ - kapljičkasti tok. Za $\alpha_f \geq 0,3$, ko so delci taline že gosto posejani, smo obravnavali večfazni tok kot tok vode in pare skozi porozno plast delcev taline. Medfazni prenos smo računali s pomočjo obrazcev, veljavnih za dvofazni tok, navzočnost tretje faze pa smo upoštevali z zmanjšano koncentracijo površine med preostalima dvema fazama za faktor $\phi_{ij} = \alpha_j / (\alpha_j + \alpha_k)$, ki upošteva vpliv dodatne faze k na koncentracijo površine medfazne ploskve faze i za interakcijo s fazo j .

2 NUMERIČNA OBRAVNAVA

Diskretizirane verjetnostne večfazne enačbe smo reševali v dvodimenzionalnem valjnem koordinatnem sistemu na premaknjeni mreži z metodo končnih razlik. Da bi spoznali vpliv natančnosti numeričnih metod na rezultate simuliranj, smo parcialne diferencialne enačbe reševali primerjalno z metodo "upwind" (UW) prvega reda natančnosti in z metodo velike ločljivosti (VL - HR), ki je drugega reda natančnosti [7].

2.1 Metoda velike ločljivosti

Dobra lastnost metod, ki temeljijo na diskretizaciji prvega reda natančnosti, je njihova robustnost, njihova glavna pomanjkljivost pa je numerična difuzija. Ta difuzija je posledica napak pri diskretizaciji odvodov in se kaže v glajenju strmih gradientov koncentracije, hitrosti in temperature. Numerični difuziji se izognemo z natančnejšimi diskretizacijami drugega reda natančnosti, pri katerih pa se kot posledica numerične disperzije zaradi napak

of the considered flow regimes are also described. Since the exchange laws are too extensive they will not be presented here and only the basic features of the model will be described.

For $\alpha_f < 0,3$ we considered the fuel particles immersed in a two-phase gas-liquid flow, whose own flow regimes are defined by the value of the void fraction: $\mathcal{Q}_v \leq 0,3$ - bubbly flow, $0,3 < \mathcal{Q}_v < 0,7$ - churn-turbulent flow, and $\mathcal{Q}_v \geq 0,7$ - droplet flow. For $\alpha_f \geq 0,3$, as the fuel particles are densely packed, we considered a flow of gas and liquid through a porous bed of fuel particles. The interfacial exchange was calculated using modified two-phase flow correlations. The influence of the third phase was considered with a reduced area concentration between the other two phases by a factor of $\phi_{ij} = \alpha_j / (\alpha_j + \alpha_k)$, which represents the effect of the additional phase k on the area concentration of phase i for its interaction with phase j .

2 NUMERICAL TREATMENT

The discretised multiphase equations were solved in the 2D cylindrical coordinate system on a staggered grid with the finite-differences method. To find out how the numerical method's accuracy influences the simulation results, the partial differential equations were solved, for comparison, using the first-order accurate upwind method (UW) and the high-resolution method (HR), which is second-order accurate [7].

2.1 High-resolution method

A good property of methods based on first order accurate discretisations is their robustness, whereas their main drawback is the numerical diffusion. This diffusion is a consequence of the discretisation error, and reflects in the smoothing of steep gradients of concentration, velocity and temperature. Numerical diffusion can be avoided using second-order accurate discretisations, but as a consequence of numerical dispersion, arising from sec-

drugega reda natančnosti v rešitvah pojavijo oscilacije v okolici strmih gradientov. Te oscilacije, ki so značilne za vse diskretizacije višjih redov natančnosti, so v splošnem bolj neprijetne od numerične difuzije, ker dajejo nefizikalne rešitve, reševanje enačb pa lahko postane nestabilno.

Pomanjkljivostim osnovnih metod prvega in drugega reda natančnosti se izognemo z metodami velike ločljivosti (VL). Metode VL s primernim kombiniranjem diskretizacij prvega in drugega reda natančnosti minimizirajo numerično difuzijo diskretizacij prvega reda natančnosti in eliminirajo oscilacije diskretizacij drugega reda natančnosti, pri tem pa ostanejo natančnosti drugega reda [8].

Glavne značilnosti metode VL si oglejmo na preprostem primeru 1D kontinuitetne enačbe brez izvornih členov za nestisljivo tekočino, ki se giblje z nespremenljivo pozitivno hitrostjo $v > 0$:

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{\partial (\alpha v)}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

Konvekcijski člen zapišemo v diskretizirani obliki s fluksi velike ločljivosti kot:

$$\left[\frac{\partial (\alpha v)}{\partial x} \right]_i = \frac{F_{i+1/2}^{\text{hr}} - F_{i-1/2}^{\text{hr}}}{\Delta x}, \quad F_{i+1/2}^{\text{hr}} = \Phi_{i+1/2} F_{i+1/2}^{2,\text{red}} + (1 - \Phi_{i+1/2}) F_{i+1/2}^{1,\text{red}} \quad (5)$$

kjer omejitveni faktor Φ določa delež prispevkov fluksov prvega in drugega reda natančnosti k fluksu velike ločljivosti. Omejitveni faktor, ki je funkcija gladkosti rešitve $\mathcal{G}$, definirane kot razmerje sosednjih gradientov rešitve:

$$\mathcal{G}_{i+1/2} = \frac{\alpha_i - \alpha_{i-1}}{\alpha_{i+1} - \alpha_i} \quad (6)$$

mora izpolnjevati določene pogoje [8], če želimo dobiti metodo VL. Pri vseh izračunih, ki smo jih opravili z metodo VL, smo uporabili omejitveni faktor "van Leer" [8]:

$$\Phi(\mathcal{G}) = \frac{|\mathcal{G}| + \mathcal{G}}{1 + |\mathcal{G}|} \quad (7)$$

flukse prvega in drugega reda natančnosti pa smo določevali z "upwind" $F^{1,\text{red}} = F^{\text{uw}}$ oz. metodo Lax-Wendroff (LAX) $F^{2,\text{red}} = F^{\text{lax}}$ [8].

Omenjene razlike med posameznimi metodami si lahko nazorno ogledamo na primeru izračuna gibanja skoka fazne verjetnosti, z $\alpha = 1$ za $x \in [0, 1; 0, 3]$ in $\alpha = 0$ zunaj tega območja, s hitrostjo $v = 1$. Na sliki 1 je prikazana izračunana porazdelitev fazne verjetnosti po času 0,2, 0,4 in 0,6 skupaj z analitično rešitvijo (anal). Vidimo, da je numerična difuzija najbolj izrazita pri metodi UW, da LAX metoda povzroča oscilacije, in da metoda VL združuje le dobre lastnosti obeh metod. Ker metoda LAX ustvarja fizikalno nesprejemljive rezultate, ni primerna za simuliranje mešalne faze PE.

ond-order errors, oscillations occur in the vicinity of steep gradients. These oscillations, which are characteristic of all higher order accurate discretisations, tend to be more problematic than numerical diffusion since they produce unphysical results and the equation solving procedure may become unstable.

High-resolution (HR) methods combine first- and second-order accurate numerical methods in such a way that the weaknesses of both methods - the large amount of numerical diffusion of first-order accurate methods and the oscillations of second-order accurate methods - are suppressed. Despite this HR methods remain second-order accurate [8].

The main characteristics of the HR method will be presented using the simple example of a 1D continuity equation without source terms for an incompressible fluid moving with constant positive velocity $v > 0$:

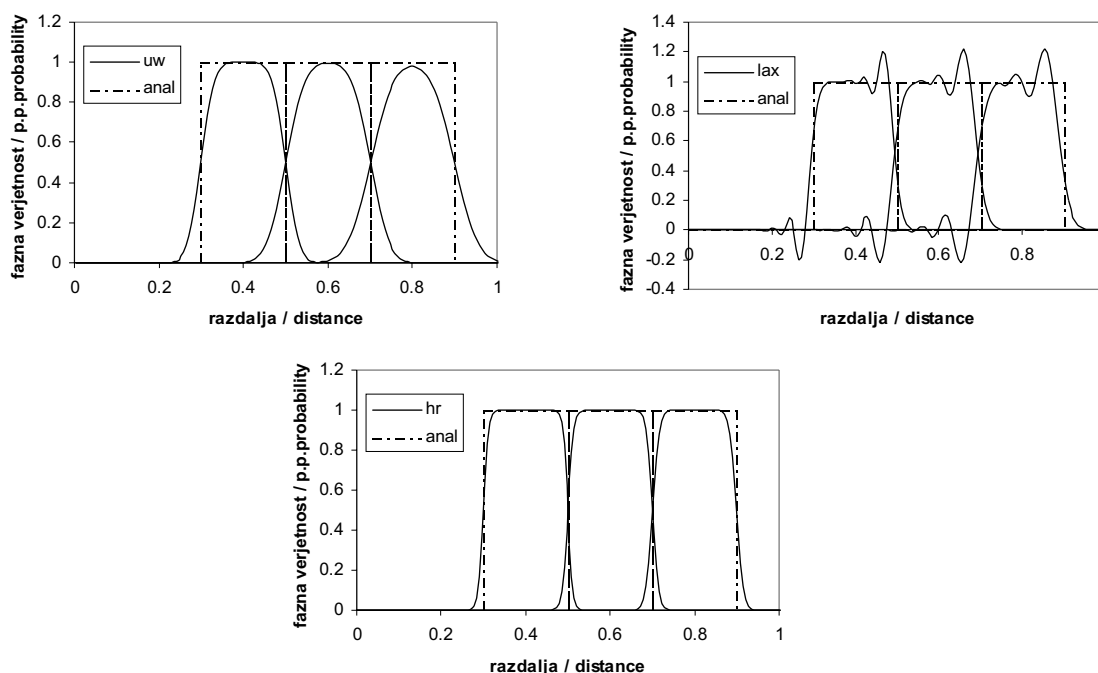
The convection term may be written in a discretised form with HR fluxes as:

where the limiter Φ defines the contribution of first- and second-order accurate fluxes to the HR flux. The limiter, which is a function of the smoothness of the solution $\mathcal{G}$, defined as the ratio of adjacent solution gradients:

has to fulfill special conditions [8] if we want to obtain a HR method. In all calculations which were performed with the HR method, the van Leer flux-limiter function has been used [8]:

and the first- and second-order accurate fluxes have been calculated with the upwind $F^{1,\text{red}} = F^{\text{uw}}$ or Lax-Wendroff (LAX) method $F^{2,\text{red}} = F^{\text{lax}}$ [8].

The differences between the methods are presented for the example of phase presence probability shock propagation with $\alpha = 1$ for $x \in [0, 1; 0, 3]$ and $\alpha = 0$ elsewhere, moving with velocity $v = 1$. In Figure 1 the calculated phase-presence probability distribution after steps 0.2, 0.4 and 0.6 is presented together with the analytical solution (anal). It can be seen that the numerical diffusion is best expressed with the UW method, that the LAX method produces oscillations and that the HR method combines only the good properties of both methods. Since the LAX method produces physically unacceptable results, it is not suitable for SE premixing-phase simulations.



Sl. 1. Gibanje skoka fazne verjetnosti na mreži velikosti 160 točk, računano z metodami UW (zgoraj, levo), LAX (zgoraj, desno) in VL (spodaj)

Fig. 1. Phase-presence probability shock convection on a mesh of 160 points calculated with the UW (top, left), LAX (top, right) and HR (bottom) methods

2.2 Tlačna enačba

S časovno odvisnimi verjetnostnimi večfaznimi enačbami ((1) do (3)) lahko za vsako fazo posebej izračunamo fazno verjetnost α , hitrost $\bar{\mathbf{v}}$ in entalpijo h . Za tlak p nimamo ustrezne eksplicitne enačbe, saj se pojavlja tlak le implicitno v vektorski gibalni enačbi (2) [9]. Tlak ima pri večfaznem toku pomembno vlogo, saj mora oblikovati hitrostno polje posameznih faz tako, da je ves čas izpolnjena tudi trivialna enačba o vsoti faznih verjetnosti:

$$\sum_p \alpha_p(\bar{\mathbf{r}}, t) = 1 \quad (8)$$

Tlačno enačbo za večfazni tok smo izpeljali iz vsote kontinuitetne enačbe (1) po vseh fazah ob upoštevanju pogoja (8):

2.2 Pressure equation

With the time-dependent probabilistic multiphase equations ((1) to (3)) for each phase the phase-presence probability α , velocity $\bar{\mathbf{v}}$ and enthalpy h can be calculated. For pressure p there is no explicit equation since it occurs only implicitly in the vector-momentum equation (2) [9]. Pressure has an important role in multiphase flow since it has to influence the velocity field in such a way that the trivial phase-presence probability sum equation is fulfilled all the time:

The multiphase-flow pressure equation has been derived from the sum of the continuity equation (1) over all phases considering condition (8):

$$\begin{aligned} 1 = & \sum_p \frac{1}{\rho^{n+1/2}} \left(\alpha^{n+1} \rho^n + \Gamma^{n+1} \Delta t - \nabla \cdot \left(\alpha^{n+1} \rho^{n+1/2} \bar{\mathbf{v}}_{\neq p}^{n+1} \right) \Delta t + \right. \\ & \left. + (\Delta t^2) \nabla \cdot \left(\alpha^{n+1} \rho^{n+1/2} \frac{1}{\rho^n} \nabla p^{n+1} \right) \right) - \\ & - \sum_p \frac{1}{\rho^{n+1/2}} \frac{(p^{n+1} - p^n)}{\rho^{n+1/2}} \frac{\partial \rho^{n+1/2}}{\partial p^n} \left(\alpha^{n+1} \rho^n + \Gamma^{n+1} \Delta t - \nabla \cdot \left(\alpha^{n+1} \rho^{n+1/2} \bar{\mathbf{v}}_{\neq p}^{n+1} \right) \Delta t + \right. \\ & \left. + (\Delta t^2) \nabla \cdot \left(\alpha^{n+1} \rho^{n+1/2} \frac{1}{\rho^n} \nabla p^n \right) \right) - \\ & - \sum_p \frac{1}{\rho^{n+1/2}} \nabla \cdot \left(\alpha^{n+1} \frac{\partial \rho^{n+1/2}}{\partial p^n} \left(\bar{\mathbf{v}}_{\neq p}^{n+1} - \frac{\Delta t}{\rho^n} \nabla p^n \right) (p^{n+1} - p^n) \right) \Delta t \end{aligned} \quad (9)$$

kjer je

where

$$\bar{\mathbf{v}}^{n+1} = \bar{\mathbf{v}}^{n+1/2} + \Delta \bar{\mathbf{v}}_p = \bar{\mathbf{v}}^{n+1/2} - \frac{\Delta t}{\rho^n} (\nabla p^{n+1} - \nabla p^n) = \bar{\mathbf{v}}_{\neq p}^{n+1} - \frac{\Delta t}{\rho^n} \nabla p^{n+1} \quad (10)$$

in

and

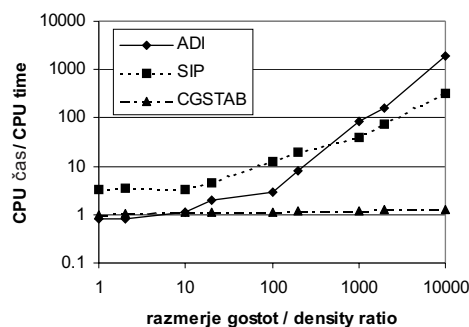
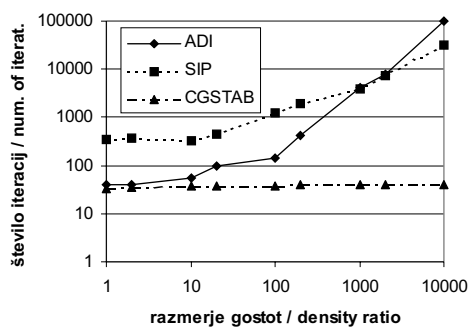
$$\rho^{n+1} = \rho^{n+1/2} + \Delta \rho_p = \rho^{n+1/2} + \frac{\partial \rho^{n+1/2}}{\partial p^n} (p^{n+1} - p^n), \quad \rho^{n+1/2} = \rho(h^{n+1}, p^n) \quad (11).$$

Zaradi preglednosti so indeksi faz izpuščeni, indeks p pa sedaj označuje vpliv tlaka. Tlačna enačba (9), ki upošteva tudi temperaturno raztezanje faz, se inherentno prilagodi naravi toka in je zato primerna za obravnavo vseh vrst večfaznih tokov, tako stisljivih kakor tudi nestisljivih tekočin [10].

Tlačno enačbo smo reševali s kvadratno konjugirano gradientno metodo CGSTAB [10], ki smo jo izbrali zato, ker konvergira hitro tudi za velika razmerja gostot posameznih faz. Hitrost konvergence metode CGSTAB smo testirali za različna razmerja gostot faz preprostega dvofaznega toka (dviganje velikega mehurja) in jo primerjali s hitrostjo konvergence dveh drugih metod, ki se pogosto uporabljata za reševanje tlačne enačbe, to je metode ADI in metode SIP [10]. S slike 2 je razvidno, da najhitreje konvergira uporabljena metoda CGSTAB in da je hitrost njene konvergence skoraj neodvisna od razmerja gostot posameznih faz, medtem ko postaneta metodi ADI in SIP neuporabni pri razmerju gostot, večjem od približno 1000.

For the sake of clarity the phase indexes are omitted. Index p now denotes the pressure influence. The pressure equation (9), which also considers the phase's temperature expansion, automatically adjusts to the local nature of the flow and therefore can be applied to all types of compressible or incompressible multiphase flow [10].

The pressure equation has been solved using the squared-conjugate-gradient method (CGSTAB) [10], which was chosen since it also converges quickly for high phase-density ratio. The convergence rate of the CGSTAB method was tested for different ratio of a two-phase flow (rise of a big bubble) and was compared with other proposed pressure-equation solvers: the Alternate Direction Implicit solver (ADI) and the Stones Strongly Implicit Procedure (SIP) [10]. From Figure 2, we observe that the CGSTAB method has the fastest convergence rate, which is nearly independent of the density ratio. In contrast, the ADI and SIP methods become useless if the density ratio is greater than about 1000.



Sl. 2. Hitrost konvergence metod ADI, SIP in CGSTAB za reševanje tlačne enačbe v odvisnosti od razmerja gostot faz

Fig. 2. Convergence rate of ADI, SIP and CGSTAB pressure equation solvers for different phase-density ratio

3 SIMULIRANJA PRESKUSOV

S programom ESE, ki smo ga poprej natančno testirali [3], smo simulirali številne preskuse mešalne faze PE (pregl. 2), ki so jih izvedli na napravi QUEOS [11]. Pri teh preskusih so spuščali valjast curek hladnih ali vročih kroglic različnih premerov in materialov v posodo z vodo, ki je imela temperaturo vrelišča.

3 EXPERIMENT SIMULATIONS

Using ESE, which has been extensively tested previously [3], a number of premixing experiments (table 2) performed at the QUEOS facility [11] have been simulated. In these experiments a cylindrical jet of cold or hot spheres of varying diameter and material was injected into a pool filled with water at boiling point.

Preglednica 2. Vrednosti osnovnih parametrov simuliranih preskusov QUEOS

Table 2. Conditions of simulated QUEOS premixing experiments

Preskus Experiment	material material	gostota density kg/m ³	premer diameter mm	masa mass kg	prostornina volume cm ³	temperatura temperature K
Q01	jeklo / steel	7800	4,7	20	4440	300
Q02	jeklo / steel		4,7	10	2220	300
Q05	ZrO ₂	5750	5,0	7,0	1830	300
Q09	ZrO ₂		5,0	7,0	1880	1300
Q06	ZrO ₂		10,0	7,0	1900	300
Q07	ZrO ₂		10,0	7,0	1900	1300
Q08	Mo	10200	4,2	10	1800	300
Q04	Mo		4,2	10	1800	1300
Q11	Mo		4,2	5,7	1025	1800
Q12	Mo		4,2	6,9	1183	2300

3.1 Modeliranje preskusov

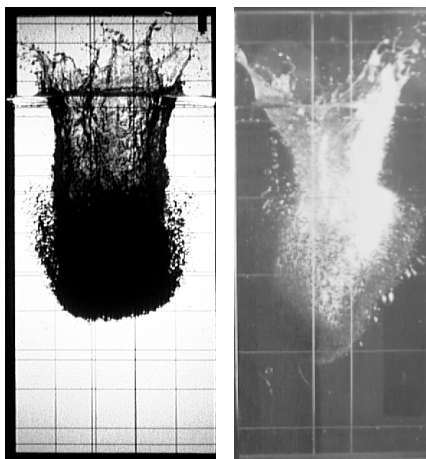
Simuliranja smo opravili v dvodimenzionalnem valjnem koordinatnem sistemu ob predpostavki osnosimetričnosti preskusov. Ta predpostavka je le delno upravičljiva. Začetna porazdelitev kroglic namreč predvsem na čelu curka zaradi sprostitnega mehanizma kroglic, pri katerem se simetrično odpreta dve ravni premični plošči, ki zadržujeta kroglice, ni osno simetrična. To se dobro vidi na posnetkih preskusa Q08, kjer je bil omenjeni pojav najbolj izrazit, iz dveh med seboj pravokotnih smeri (sl. 3). V modelu smo predpostavili, da so kroglice v curku na začetku simuliranja enakomerno porazdeljene. To je prav tako zelo idealizirano dejansko stanje, saj je curek kroglic zaradi načina odpiranja zaklopke, pri "vročih" preskusih pa še dodatno zaradi potiska segretega plina, nekoliko razpršen že pred vstopom v vodo (sl. 4). Ker poudarek naših raziskav ni bil na modeliranju vseh posebnosti posameznih preskusov, ampak predvsem na modeliranju najpomembnejših pojavov med mešalno fazo PE, in to predvsem z namenom spoznati vpliv natančnosti numeričnih metod na rezultate simuliranj, teh in tudi nekaterih drugih posebnih pomanjkljivosti našega modela nismo poskušali odpraviti.

Pri simuliranjih smo obravnavali le z vodo napolnjeni spodnji del posode in plast pare nad vodno gladino, vse druge značilnosti preskusov, vključno s padajočim curkom kroglic, pa smo v model vnesli z ustreznimi robnimi pogoji (R.P.) (slika 5). Pri "hladnih" preskusih je zgornji rob simulirnega območja segal 10 cm nad začetni nivo vodne gladine, pri "vročih" preskusih pa še 10 cm višje, saj bi sicer pri "vročih" preskusih, pri katerih je zaradi uparjanja dvig gladine vode večji, voda iztekala iz obravnavanega območja. Robne vrednosti hitrostnega polja kroglic in polja fazne verjetnosti kroglic na zgornjem robu simulirnega območja smo

3.1 Experiment modeling

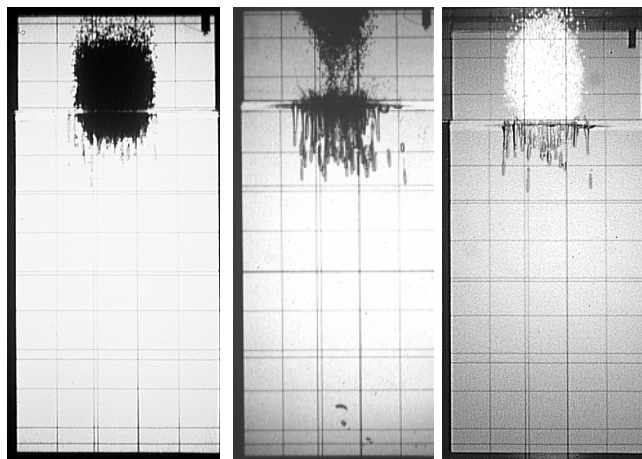
The simulations were performed in 2D in the cylindrical coordinate system assuming axial symmetry of the experiments. This presumption is only partially valid; because of the spheres' release mechanism with two sliding doors holding the spheres opening symmetrically, the initial sphere distribution is not axially symmetric, especially at the jet's head. This can best be seen in experiment Q08, where the described phenomenon was the strongest, with images taken from two perpendicular sides (Figure 3). In the model a uniform initial sphere distribution in the jet was assumed. This is also a very idealized condition since the jet was, because of the spheres' release mechanism and due to gas burst during "hot" experiments, somewhat dispersed before the water entry (Figure 4). Since the emphasis of our research was not in modeling all the specialties of these experiments, but mainly to model the most important phenomena appearing during the SE-premixing phase with the intention of determining the influence of the numerical methods' accuracy on the simulation results, no attempt has been made to remove these and other specific drawbacks of our model.

In the simulations only the lower part of the vessel filled with water and a vapor layer over the water level have been treated. All other experimental features including the falling-spheres jet have been incorporated into the model with corresponding boundary conditions (B.C.) (Figure 5). In "cold" experiments the simulation region upper boundary extended 10 cm over the initial water level and in "hot" experiments 10 cm higher since otherwise in "hot" experiments, where the water level swell is higher, water would flow out of the simulation region. The sphere velocity and phase-presence probability boundary conditions on the upper edge of the simula-



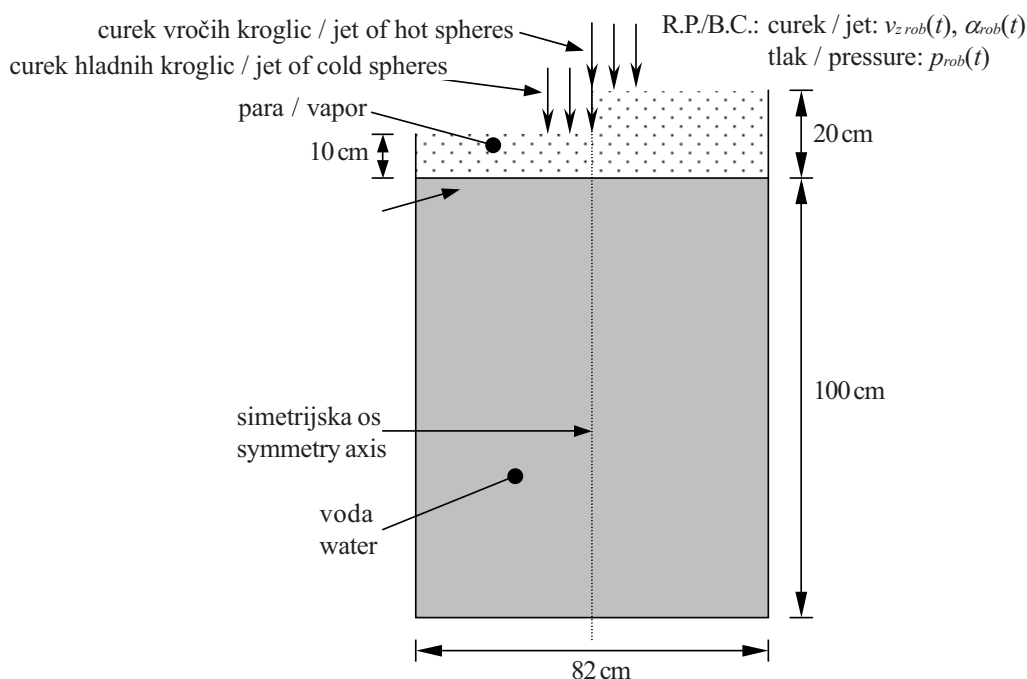
Sl. 3. Posnetka preskusa Q08 s severne strani (osvetlitev od zadaj) in z zahodne strani (črno ozadje) (posnetki vzeti iz [11])

Fig. 3. Images of experiment Q08 from the north side (back-lighting) and from the west side (black background) (images taken from [11])



Sl. 4. Posnetki curkov kroglic ob stiku z vodo za "hladen" preskus Q08 ter za "vroča" preskusa Q04, pri katerih je razpršitev kroglic najbolj izrazita, in Q11 (od leve proti desni) (posnetki vzeti iz [11])

Fig. 4. Images of sphere jets at water contact for the "cold" experiment Q08 and for the "hot" experiment Q04, where the sphere dispersion is most expressive, and Q11 (from left to right) (images taken from [11])



Sl. 5. Modela "hladnih" (leva polovica) in "vročih" (desna polovica) QUEOS preskusov

Fig. 5. Models of "cold" (left half) and "hot" (right half) QUEOS experiments

določili posredno iz znanih povprečnih vrednosti na vodni gladini ($v_{zi} = 5,12$ m/s, $\alpha_i = 0,17$).

tion region have been determined indirectly from known values at the water level ($v_{zi} = 5.12$ m/s, $\alpha_i = 0.17$).

3.2 Rezultati simuliranj

3.2 Simulation results

3.2.1 "Hladni" QUEOS preskusi

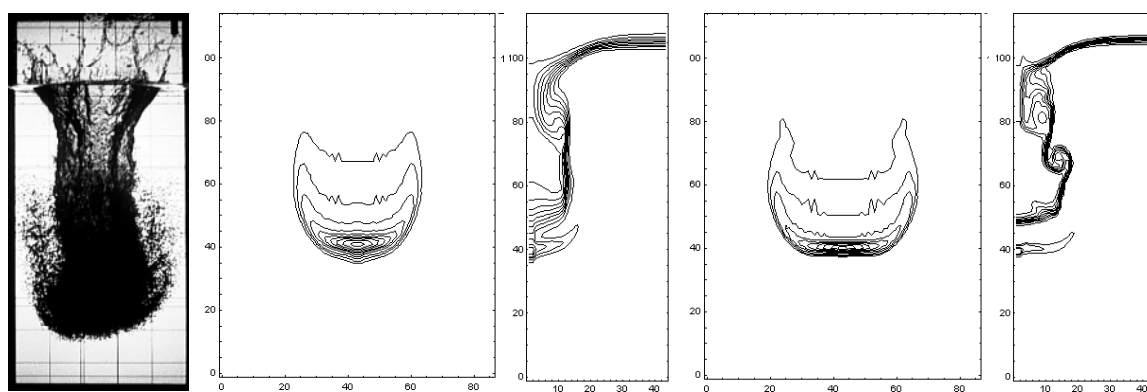
3.2.1 "Cold" QUEOS experiments

Na sliki 6 so prikazani rezultati simuliranj značilnega "hladnega" preskusa (Q08), opravljenih z

In Figure 6 the simulation results of the typical "cold" experiment (Q08) performed with the first-order

metodo UW prvega reda natančnosti in z metodo HR. Intenzivnost fazne verjetnosti kroglic, ki je definirana kot integral fazne verjetnosti kroglic v vodoravni smeri, je prikazana v kartezičnem koordinatnem sistemu z obrisi vrednosti 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,03 itn. Fazna verjetnost vode je prikazana v valjnim koordinatnim sistemu z ekvidistančnimi obrisi vrednosti 0,1; 0,2; 0,3 itn. Številke na robu slik fazne verjetnosti vode pomenijo indekse mrežnih točk (vključno z robnimi točkami) v obeh koordinatnih smereh, številke na robu slik intenzivnosti fazne verjetnosti kroglic pa označujejo oddaljenost v cm od levega oz. spodnjega roba obravnavanega območja.

accurate UW method and the HR method are presented. The spheres' phase-presence probability intensity, defined as the integral of the phase presence probability in the horizontal direction, is presented in the cartesian coordinate system with contours showing 0.002, 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, etc. values. The water phase-presence probability is presented in the cylindrical coordinate system with equidistant contours showing 0.1, 0.2, 0.3, etc. values. The numbers on the sides of the water phase-presence probability pictures represent mesh indexes (including boundary points) and the numbers on the sides of the spheres' phase-presence probability intensity pictures represent the distance in cm from the left and lower boundary of the simulation region.



Sl. 6. Od leve proti desni si sledijo posnetek preskusa Q08 po 0,22 s [11] ter izračuni intenzivnosti fazne verjetnosti kroglic in fazne verjetnosti vode, opravljeni z metodo UW (leva stran) in metodo VL (desna stran)

Fig. 6. From left to right are the image of experiment Q08 after 0.22 s [11] and the calculations of the spheres' phase-presence probability intensity and the water phase-presence probability performed with the UW (left side) and the HR methods (right side)

Vidimo, da se rezultati simuliranj kakovostno precej dobro ujemajo s fotografijo preskusa. Če primerjamo izračune, opravljene z metodama HR in UW, pridemo do naslednjih splošnih ugotovitev:

- Gradienti fazne verjetnosti so pri izračunih z metodo VL v splošnem večji kakor pri izračunih z metodo UW. Tako je prehod med vodo in paro pri metodi UW zelo razmazan tudi na območjih, kjer bi morali imeti ostro vodno gladino (npr. dvig nivoja vodne gladine, ujetje parnega mehurja).
- Pri izračunih z metodo VL se kroglice razpršijo v obliko narobe obrnjene gobe s širšim in bolj topim klobukom.
- Pri metodi VL se oblak razpršenih kroglic proti koncu simuliranja popolnoma loči od parnega stebra, kakor je razvidno tudi iz posnetkov preskusov, medtem ko ostane pri metodi UW prehod zabrisan.

Na sliki 7 so primerjalno prikazani rezultati izračunov lege čela curka in polovične širine klobuka curka z obema numeričnima metodama skupaj s preskusnimi meritvami. Vidimo, da se pri metodi UW zaradi izrazitejšje numerične difuzije in posledične večje

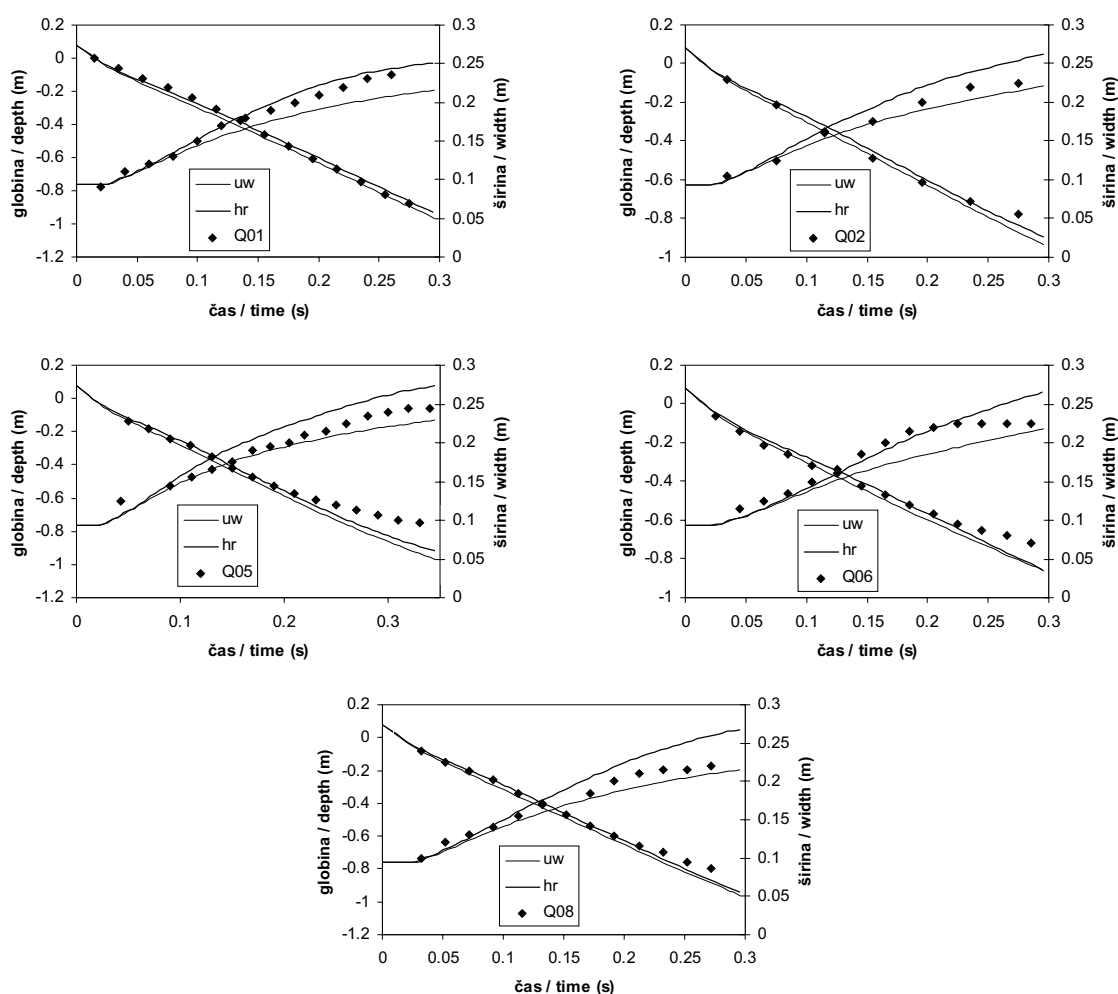
The simulation results agree qualitatively quite well with the image of the experiment. The comparison of the calculations performed with the HR and UW methods reveals the following general findings:

- Phase-presence probability gradients tend to be higher for calculations performed with the HR method than with the UW method. So for the UW method the transition between water and vapor is also extensively spread in regions where a sharp water-vapor interface should be (water level swell, entrapped vapor bubble).
- For HR-method calculations the spheres form an inverted mushroom structure with a wider and more blunt hat.
- For the HR method the sphere cloud separates completely from the vapor chimney as seen in the experiments, whereas for the UW method the transition is blurred.

In Figure 7 the jet penetration depth and the plume half-width calculated with both numerical methods are presented for comparison with the experimental measurements. The UW method predicts a

razpršitve čela curka v smeri gibanja napove hitrejšo dejansko prodiranje čela curka kakor pri metodi VL. Pričakovali bi, da se bo iz istega razloga povečala tudi širina curka, vendar se izkaže, da delovanje numerične difuzije spremeni tudi geometrijsko obliko glave curka kroglic (sl. 6) in zato se vrtinci v vodi, ki obdaja curek, tvorijo drugače kakor bi se sicer. Glava curka zaradi tega ne zavzame tako izrazite oblike narobe obrnjene gobe in zato je širina curka manjša. Kakor je razvidno s slike 7 ležijo meritve širine curka pri večini preskusov v območju, ki ga omejujeta napovedi obeh numeričnih metod. Razlog, zakaj metoda VL napove nekoliko prehitro širitev curka, tiči verjetno v dejstvu, da curka nismo modelirali dovolj stvarno.

faster effective jet-front propagation than the HR method because the numerical diffusion is more expressive and consequently the jet's head dispersion is greater. One would expect that for the same reason the jet's plume width would also increase, but it turned out that the numerical diffusion changes the jet's shape (Figure 6) in such a way that the formation of the water vortices around the jet is different. As a result, the jet's head does not form such an expressive "inverted mushroom" structure and the jet's plume width is smaller. From Figure 7, the measured plume width lies mostly between both the calculated curves. The reason why the HR method slightly overpredicts the jet's spreading could be the unrealistic jet modeling.



Sl. 7. Primerjava lege čela curka (padajoča krivulja) in polovične širine razpršenega curka kroglic (rastoča krivulja) pri izračunih z metodama UW in VL s podatki preskusov Q01, Q02, Q05, Q06 in Q08
Fig. 7. Comparison of spheres' jet penetration depth (falling curve) and plume half width (rising curve) between UW- and HR-method calculations and experiments Q01, Q02, Q05, Q06 and Q08

3.2.2 "Vroči" preskusi QUEOS

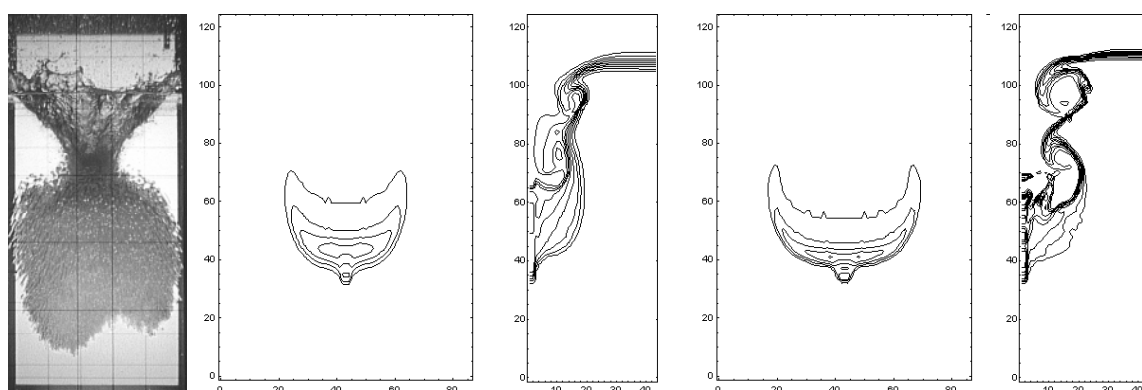
Na sliki 8 so prikazani rezultati simuliranj značilnega "vročega" preskusa (Q11), opravljenih z

3.2.2 "Hot" QUEOS experiments

In Figure 8 the simulation results of the typical "hot" experiment (Q11) performed with both numerical

obema numeričnima metodama. Oznake na slikah in vrednosti obrisov so enake kakor pri "hladnem" preskusu na sliki 6. Vidimo, da je parni steber zaradi uparjanja bolj izrazit in ostane dalj časa odprt kakor pri "hladnih" preskusih in se ob navpični simetrijski osi razvije izboklina kot posledica Rayleigh-Taylorjeve (RT) nestabilnosti. Podobne RT nestabilnosti se pojavljajo tudi pri preskusih, vendar zaradi 3D geometrije običajno ne ob osi. Kažejo se kot razpad curka v več manjših curkov (Q09, Q11) ali v oblikovanju ostre konice na čelu curka (Q12). S programom ESE razpada curka v več manjših curkov ne moremo modelirati, ker smo zaradi 2D obravnave v valjnem koordinatnem sistemu omejeni le na osno simetrične pojave.

methods are presented. The figure denotations and the contour values are the same as in the "cold" experiment in Figure 6. Because of vapor generation the vapor chimney is more pronounced and remains open for a longer timer than in the "cold" experiments, and a small embossment forms at the vertical symmetry axis as a consequence of the Rayleigh-Taylor (RT) instability. Similar RT instabilities also appear in experiments, but because of the 3D geometry they are usually not near the axis. They are reflected in the jet breakup into a greater number of smaller jets (Q09, Q11) or in the formation of a sharp leading nib (Q12). With ESE the jet breakup into more jets of smaller size cannot be modeled because in the 2D treatment with a cylindrical coordinate system its application is limited only to axially symmetric phenomena.

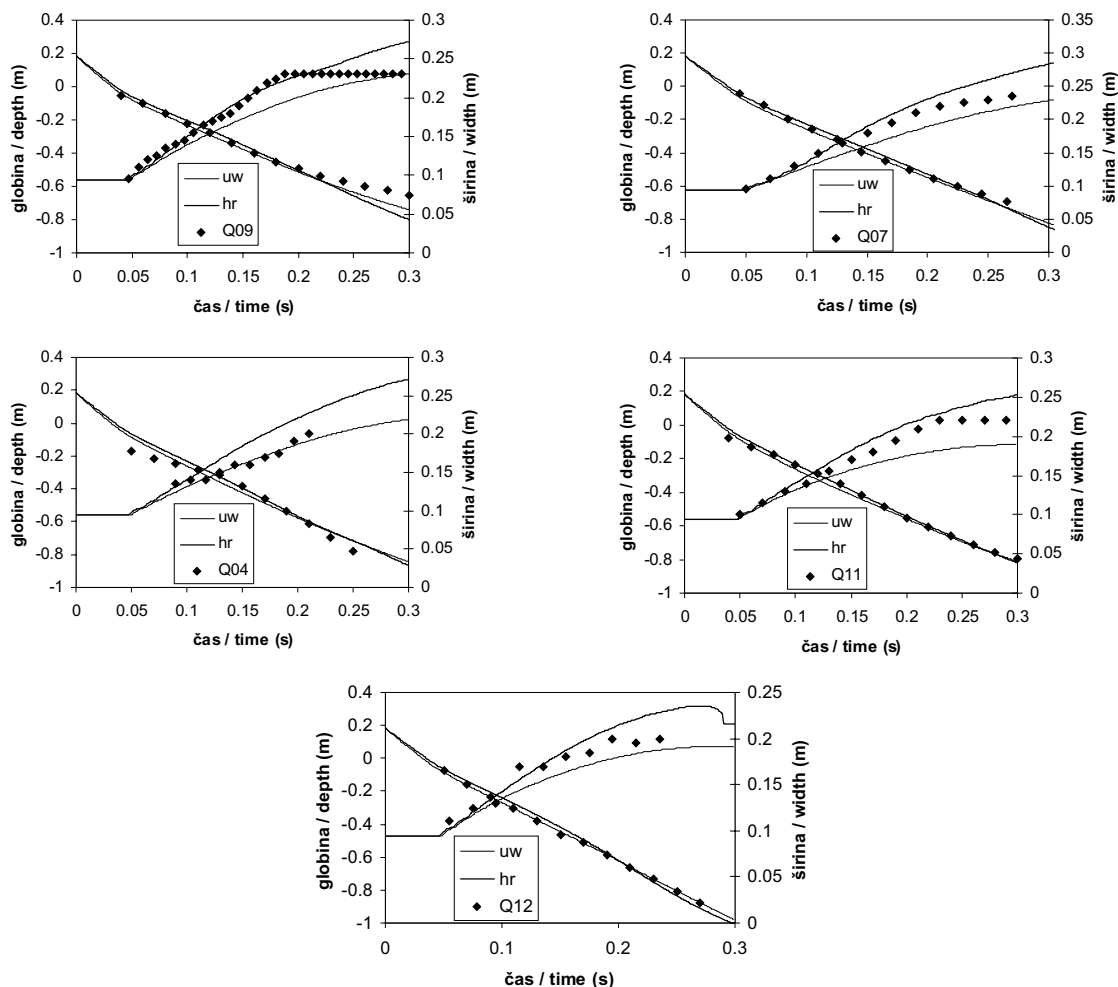


Sl. 8. Od leve proti desni si sledijo posnetek preskusa Q11 po 0,26 s [11] ter izračuni intenzivnosti fazne verjetnosti kroglic in fazne verjetnosti vode, opravljeni z metodo UW (leva polovica) in metodo VL (desna polovica)

Fig. 8. From left to right are the image of experiment Q11 after 0.26 s [11] and the calculations of the sphere phase-presence probability intensity and the water phase-presence probability performed with the UW (left side) and HR methods (right side)

Na sliki 9 so prikazani izračuni lege čela curka in širine curka skupaj s preskusnimi podatki. Vidimo, da se izračuni tudi pri simuliranju "vročih" preskusov relativno dobro ujemajo z meritvami. Razlike med izračuni z obema numeričnima metodama so podobne kakor pri "hladnih" preskusih, le hitrost prodiranja čela curka je pri metodi VL v drugi polovici simuliranja večja kakor pri metodi UW, kar je drugače, kakor je bilo pri izračunih "hladnih" preskusov. Do tega pride zaradi izbokline (sl. 8), ki nastane ob simetrijski osi zaradi RT nestabilnosti in je bolj izrazita pri simuliranjih z metodo VL. Zanimivo je, da se pri preskusu Q04, pri katerem je opisani pojav razpršitve kroglic med odpiranjem zaklopke največji (sl. 4), rezultati simuliranja z metodo UW bolje ujemajo z eksperimentalnimi podatki kakor rezultati, dobljeni z metodo VL. Poglavitni razlog za tako dobro ujemanje izračunov, opravljenih z metodo UW, je numerična difuzija metode, ki curek kroglic razprši v smeri gibanja, podobno kakor potisk plina po odpiranju zaklopke, ki pa ga nismo modelirali.

In Figure 9 the results of the penetration-depth and plume-width calculation are presented together with the experimental measurements. Also for the "hot" experiments the results of the simulations are in relatively good agreement with the experimental data. The differences between the calculations performed with both numerical methods are similar to those of the "cold" experiments. The exception being the speed of the spheres' front in the second part of the simulation which is higher with the HR method than the UW method which is in opposite to the calculations involving the "cold" experiment. The reason is the formation of the embossment (Fig. 8) at the symmetry axis due to the RT instability, which is more pronounced in the simulations using the HR method. It is interesting that for the Q04 experiment, where the described spheres-spreading effect caused by the gas burst is the strongest (Fig. 4), the UW method gives better agreement with the experimental data than the HR method. The reason may be that the numerical diffusion of the UW method produces a similar spreading of the spheres to the gas burst, which was not modeled.



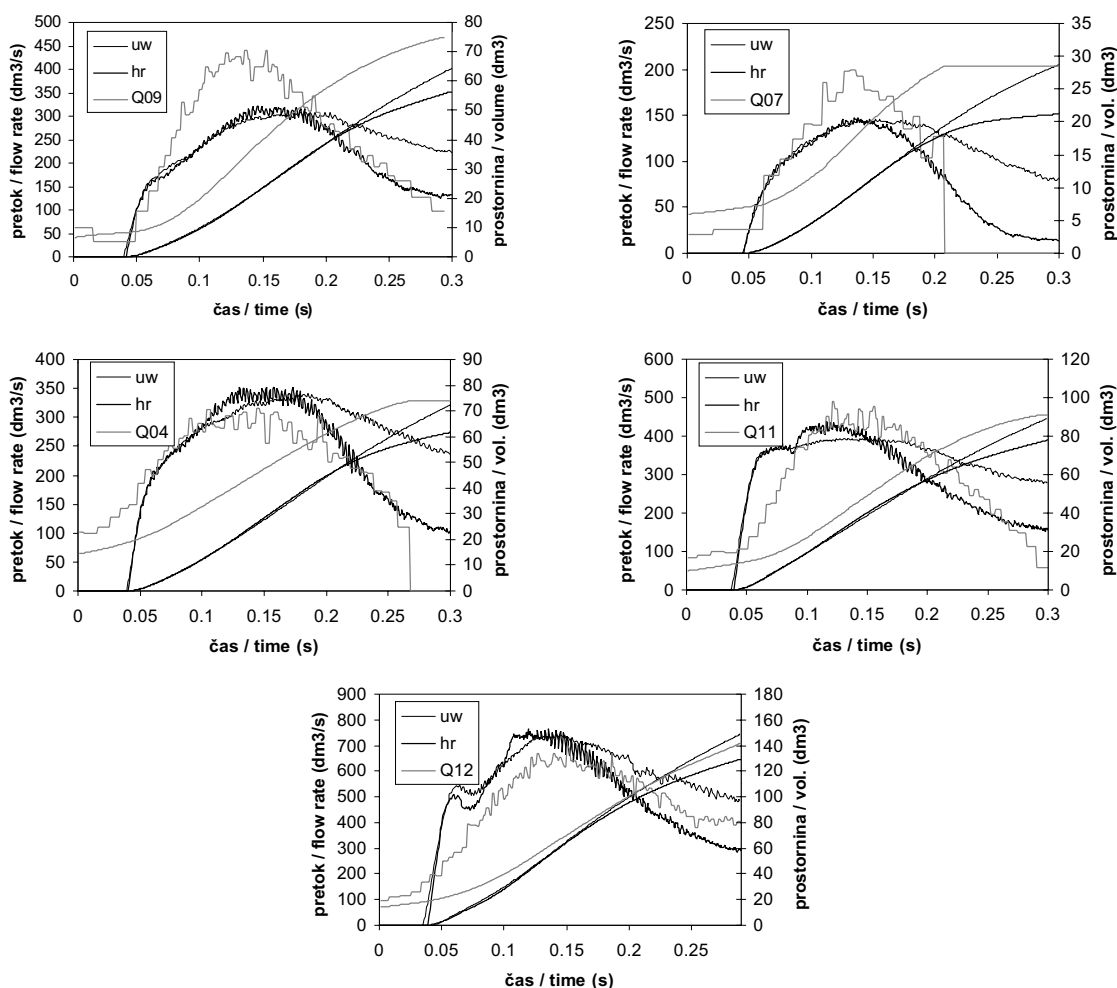
Sl. 9. Primerjava lege čela curka (padajoča krivulja) in polovične širine razpršenega curka kroglic (rastoča krivulja) pri izračunih z metodama UW in VL s podatki preskusov Q09, Q07, Q04, Q11 in Q12
 Fig. 9. Comparison of spheres jet penetration depth (falling curve) and plume half-width (rising curve) between UW- and HR-method calculations and experiments Q09, Q07, Q04, Q11 and Q12

Na sliki 10 so primerjalno prikazani rezultati izračunov pretoka pare in skupne prostornine pare za vse simulirane "vroče" preskuse. Vidimo, da se rezultati kakovostno ujemajo z dinamiko uparjanja med preskusi, kolikostno pa prihaja do odstopanj pri napovedi pretoka pare in pri napovedi skupne prostornine pare. Pri vseh simuliranjih je pretok pare nič, dokler prve kroglice ne pridejo v stik z vodo v posodi, medtem ko je pri preskusih pretok pare znaten že prej. Razlog za to je razširjanje pare, ki je v cevi in delu posode nad vodno gladino in se segreva med prostim padom vročih kroglic, česar nismo modelirali, v kombinaciji z uparjanjem na vodni gladini zaradi toplotnega sevanja. Precej k pretoku pare prispevajo tudi kroglice, ki priletijo v vodo pred glavnim čelom curka. Sevanje v programu ESE upoštevamo le s preprostim znotraj-celičnim modelom, v katerem predpostavimo, da se vsa izsevana energija absorbira že znotraj ene mrežne celice. Ker model ne upošteva medceličnega vpliva sevanja, z njim ni mogoče opisati uparjanja na vodni gladini zaradi sevanja na daljavo.

In Figure 10 the comparison of the steam flow rate and total steam volume calculation for all simulated "hot" experiments is presented. The results agree qualitatively with the dynamics of the steam production. However, there are some deviations in the absolute value of the steam flow rate. In all simulations the steam flow rate is zero until the first hot spheres enter the water, whereas in the experiments there exists significant steam flow also before. The reason is heating of the atmosphere above the water during the hot spheres' free fall-dashes which was not modeled-combined with the water surface boiling due to radiation. In addition, the spheres which enter the water before the bulk cause significant early steam flow. Radiation was taken into account in ESE only with a simple intracell model presuming that the entire radiated energy is absorbed within one mesh cell. Since the model does not consider the intercell radiation influence it cannot describe the water surface boiling due to radiation over a distance. At the end of the simulations

Proti koncu simuliranj pa izračuni odstopajo od meritev prav v nasprotno smer, kakor so na začetku, saj je pri nekaterih preskusih pretok pare že nič (Q07, Q04), medtem ko simuliranja še vedno napovedo nezanemarljivo uparjanje. Razlog, da pri preskusih Q07 in Q04 pretok pare tako skokovito pade na nič, je povezan z dejstvom, da jim pri preskusih ni uspelo vzpostaviti popolnoma enovite začetne porazdelitve temperature vode [11], ampak se je na dnu posode pojavil nekaj decimetrov debel pas z nekaj stopinj hladnejšo vodo, ki v trenutku zaduši uparjanje.

the calculations deviate from the measurements in the opposite direction to the beginning, since in some experiments the steam flow is zero (Q07, Q04) whereas the simulations still predict significant steam production. The reason for the abrupt steam flow termination in experiments Q07 and Q04 is related to the fact that in the experiments they could not achieve a completely uniform initial water temperature distribution [11]. So at the bottom of the vessel a layer of a few decimeters with water a few degrees colder was formed, which instantly suppresses boiling.



Sl. 10. Primerjava pretoka pare (nazobčana krivulja) in skupne prostornine pare (gladka krivulja) pri izračunih z metodama UW in VL s podatki preskusov Q09, Q07, Q04, Q11 in Q12

Fig. 10. Comparison of steam flow rate (toothed curve) and total steam volume (smooth curve) between UW- and HR-method calculations and experiments Q09, Q07, Q04, Q11 and Q12

V prvem delu simuliranj se izračuni nastajanja pare z obema metodama skoraj ne razlikujejo, pozneje pa je nastajanje pare pri metodi UW bistveno večje. Razloga za večje nastajanje pare pri metodi UW v drugem delu simuliranja sta vsaj dva, obema pa botruje velika numerična difuzija metode:

- Zaradi velike numerične difuzije metode UW je razpršitev kroglic v navpični smeri večja kot pri

In the first part of the simulations both methods give similar results for the steam generation, whereas in the second part the steam generation is much higher for the UW method. There are at least two reasons for this, both a consequence of the high numerical diffusion of the UW method:

- Because of the high numerical diffusion of the UW method the spheres' vertical spreading is higher than for the HR method. Since the water's

metodi VL. Ker je temperatura vrelišča vode odvisna od tlaka, ta pa se zvišuje z globino vode, je pri večji navpični razpršitvi kroglic večja površina kroglic, ki je v stiku z manj podhlajeno vodo, zato je uparjanje večje.

- Ker metoda UW gladi strme gradientne fazne verjetnosti, voda hitreje prodira v parni mehur, ki obdaja vroče kroglice, in tako se uparjanje poveča zaradi večje koncentracije vode v območju vročih kroglic.

4 SKLEP

Rezultati simuliranj, opravljenih z razvitim programom ESE, so pokazali, da so izračuni, opravljeni z metodo VL, ki je drugega reda natančnosti, v splošnem boljši od izračunov, opravljenih z metodo UW prvega reda natančnosti. Glede na to, da so odstopanja rezultatov simuliranj od preskusnih meritev zaradi pomanjkljivosti uporabljenih fizikalnih in matematičnih modelov istega velikostnega reda, kakor so razlike med izračuni, opravljeni z metodama prvega in drugega reda natančnosti, je s tega vidika uporaba natančnejših metod drugega reda natančnosti za sedanje modele mešalne faze PE vprašljiva. Če pa upoštevamo dejstvo, da so sedanji programi za simuliranje mešalne faze PE v razvojni fazi, saj jih, da bi dobili boljše ujemanje izračunov z eksperimentalnimi podatki, še vedno dopolnjujejo z različnimi fizikalnimi in matematičnimi modeli, je uporaba natančnejših numeričnih metod priporočljiva. Z uporabo natančnejših numeričnih metod se namreč zmanjša nezanesljivost simuliranja zaradi numeričnih napak in je tako iz rezultatov simuliranj lažje razbrati vpliv in ustreznost fizikalnih in matematičnih modelov. Dejstvo, da je nekatere opazovane fizikalne količine pri nekaterih preskusih bolje napovedala manj natančna metoda UW, nas ne sme zavesti. Dober simulirni program namreč ne sme temeljiti na naključjih, ko v nekaterih okoliščinah nenatančnost numerične metode odtehta pomanjkljivosti fizikalnega in matematičnega modela. Numerične difuzije metode UW, ki včasih sicer ugodno vpliva na rezultate, ne moremo nadzirati in je odvisna tako od časovnega koraka kakor od mrežne razdalje.

Če se že izkaže, da je model zaradi neupoštevanja nekaterih fizikalnih pojavov (odboj kroglic, turbulentno mešanje itn.) premalo difuziven in omenjenih pojavov iz različnih razlogov ne moremo ali nočemo modelirati, je veliko bolje, da difuzijo nadzorovano vložimo v matematični model z dodatnimi difuzijskimi členi, kakor pa da upamo, da bo za to v pravi meri poskrbela numerična difuzija manj natančne metode prvega reda natančnosti.

boiling point temperature depends on pressure, which increases with water depth, at higher vertical spreading the spheres' surface area, which is in contact with less subcooled water, is greater, as is the steam generation.

- Since the UW method smoothes steep phase-presence probability gradients, water penetrates faster in the depleted steam region around the hot spheres, and so the steam generation increases because of the higher water concentration in the hot-spheres region.

4 CONCLUSION

The simulation results performed with the developed code called ESE showed that the calculations performed with the HR method, which is second-order accurate, are in general better than the calculations performed with the first-order accurate UW method. The deviations between the simulation results and the experimental measurements are, because of deficiencies in the physical and mathematical models, of the same order as the differences between the calculations performed with the first- and second-order accurate numerical methods. From that point of view the use of second-order accurate numerical methods for existing SE premixing-phase models cannot be justified. But if we take into account that existing SE premixing-phase simulation codes are in the development stage, since they are still supplemented with different physical and mathematical models to get a better agreement of calculation results with experimental data, the use of more accurate numerical methods is recommended. With the use of more accurate numerical methods the simulation uncertainty due to numerical errors is reduced and so the influence and adequacy of physical and mathematical models can be more easily determined from the simulation results. The fact that some physical quantities for some experiments were better predicted by the less accurate UW method should not mislead us. A good simulation code must not be based on chances, where in some circumstances the numerical method's inaccuracy compensates for the models deficiencies. The numerical diffusion of the UW method, which sometimes positively influences the results, cannot be controlled and depends on both the time step and the mesh size.

If it turns out that the model is not sufficiently diffusive because some physical phenomena (spheres repulsion, turbulent mixing, etc.) are not considered, and we are not able or do not want to model these phenomena for different reasons, it is better to introduce diffusion in the mathematical model controlled with additional diffusive terms, than to hope that the numerical diffusion of the first-order accurate method will take care of it.

5 LITERATURA

5 REFERENCES

- [1] Turland, B.D., G.P. Dobson, G.P. (1996) Molten fuel coolant interactions: A state of the art report. European Commission. *Nuclear Science and Technology*, Luxembourg, ISSN 1018-5593.
- [2] Leskovar, M., B. Mavko (1998) ESE a 2D compressible multiphase flow code developed for MFCI analysis – code validation. *Nuclear Energy in Central Europe '98*, Čatež, Slovenija, Proceedings, 319-326.
- [3] Leskovar, M. (1999) Model drugega reda natančnosti za opis večfaznega mešanja tekočin. Doktorska disertacija, *Fakulteta za matematiko in fiziko, Univerza v Ljubljani*.
- [4] Leskovar, M., J. Marn (1996) Evaluation of steam explosions: Probabilistic approach. *Zeitschrift für Angewandte Mathematik und Mechanik*, Vol. 76, 291-292.
- [5] Marn, J., M. Leskovar (1996) Simulation of steam explosion premixing phase using probabilistic multiphase flow equations. *Fluid Mechanics Research*, Vol. 22 (1), 44-55.
- [6] Amarasooriya, W.H., T.G. Theofanous (1991) Premixing of steam explosions: A three-fluid model. *Nucl. Eng. & Design*, Vol. 126, 23-39.
- [7] Leskovar, M., B. Mavko, J. Marn (1997) High resolution method applied to premixing phase of steam explosion. *Transactions of ANS*, Albuquerque, New Mexico, USA, Vol. 77, 433-434.
- [8] Leveque, R.J. (1992) Numerical methods for conservation laws. *Lectures in Mathematics, ETH Zürich*, Birkhauser Verlag, Basel.
- [9] Leskovar, M. (1998) ESE a 2D compressible multiphase flow code developed for MFCI analysis – code description. *Nuclear Energy in Central Europe '98*, Čatež, Slovenija, Proceedings, 311-319.
- [10] Ferziger, J.H., M. Perič (1996) Computational methods for fluid dynamics. *Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg.
- [11] Meyer, L., G. Schumacher (1996) QUEOS, a Simulation-experiment of the premixing phase of a steam explosion with hot spheres in water, base case experiments. *FZKA Report 5612*, Forschungszentrum Karlsruhe.

Naslov avtorjev: dr. Matjaž Leskovar
 prof.dr. Borut Mavko
 Institut "Jožef Stefan"
 Odsek za reaktorsko tehniko
 Jamova 39
 1000 Ljubljana

prof.dr. Jure Marn
 Fakulteta za strojništvo
 Univerze v Mariboru
 Smetanova 17
 2000 Maribor

Authors' Addresses: Dr. Matjaž Leskovar
 Prof.Dr. Borut Mavko
 "Jožef Stefan" Institute
 Reactor Engineering Division
 Jamova 39
 1000 Ljubljana, Slovenia

Prof.Dr. Jure Marn
 Faculty of Mechanical Eng.
 University of Maribor
 Smetanova 17
 2000 Maribor, Slovenia

Prejeto: 12.6.2000
 Received:

Sprejeto: 20.12.2000
 Accepted:

Uporaba referenčnih arhitektur pri gradnji informacijsko integriranega podjetja

The Use of Reference Architectures in Creating an Information-Integrated Enterprise

Nataša Vujica-Herzog · Andrej Polajnar

Gradnja informacijskih sistemov, ki je v preteklosti potekala precej nenačrtno, je vzrok, da so v proizvodnih obratih nameščene različne vrste računalniške opreme, različnega časa izdelave, različne stopnje možnosti za povezovanje in različnih možnosti za dopolnjevanje funkcij, kar vse vpliva na učinkovitost njihove uporabe [1]. V prispevku bo predstavljen celovit pristop h gradnji informacijsko integriranega podjetja, ki temelji na uporabi referenčnih arhitektur z namenom, da se zapolni vrzel, ki nastaja na omenjenem področju.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: sistemi informacijski, arhitektura referenčna, integracije podjetij)

The rather uncontrolled and unharmonised building of information systems that has taken place over the years means that today many workshops are equipped with software and hardware with different times of production, unequal levels of connectivity and updating of functions. This, of course, is crucial for the performance of an information system [1]. This paper presents a holistic approach to the development of an information-integrated enterprise. It is based on reference architectures and is meant to fill the gap occurring in this field.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: information systems, reference architecture, information-integrated enterprises)

0 UVOD

Na vsakem koraku se srečujemo z dejstvom, da je informacija tisti najbolj dragoceni vir, ki v pravem trenutku omogoča najboljšo odločitev. Informacije so za naš obstoj pomembne v vsakdanjem življenju pa tudi v poslovnem oziroma proizvodnem okolju.

Računalniška tehnologija že po naravi daje možnost za doseganje pomembnih učinkov na področjih povečanja obsega proizvodnje, višje in enakomerne kakovosti izdelkov, zmanjšanja porabe surovin in energije, sledljivosti proizvodnje, varnosti in zanesljivosti obratovanja, humanizacije dela itn., vendar je za uspešno delovanje računalniško podprtih sistemov za vodenje proizvodnje potrebna tudi ustrezna organiziranost podjetja, ustrezna izobrazbena struktura delavcev in tudi primeren način zasnov in uvajanja sistemov vodenja.

1 REFERENČNE ARHITEKTURE ZA GRADNJO INFORMACIJSKIH SISTEMOV

Arhitektura je integrirano strukturirano oblikovanje sistema, njegovih elementov in njihovih

0 INTRODUCTION

Every day we find that information is the most valuable resource that helps us make the right decision at the right time. Information is crucial for our survival in everyday life, as well as in our business and manufacturing environment.

Computer technology serves to increase the volume of output, to improve the quality of products, to reduce the consumption of raw materials and energy, and to upgrade the traceability of production, safety and reliability of operation, humanisation of work, etc. In spite of this, the enterprise must be appropriately organised, the profile and the education of the personnel adequate, and the management systems appropriately designed and implemented if we want computer-supported production management systems to work effectively.

1 REFERENCE ARCHITECTURES FOR THE DESIGN OF INFORMATION SYSTEMS

Architecture is the integrated and structured design of a system, its elements and the relations

razmerij, glede na obstoječe zahteve sistema [2]. Aktivnosti podjetja sestavljajo zunanji in notranji deli. Notranje aktivnosti so: razvoj, proizvodnja, distribucija in prodaja izdelkov, vodenje in upravljanje samega sistema. Zunanje aktivnosti so: povezave poslovnega sistema s finančnimi institucijami, vladnimi službami, trgom itn. Za uspešno poslovanje in delovanje podjetja je potrebna integracija lastnega znanja z zunanjim znanjem, ki je posledica trga, zahtevanih standardov itn. Arhitekture za gradnjo integriranih podjetij določajo sredstva za opis notranjih in zunanjih aktivnosti podjetja in informacijske potrebe na vnaprej določen način.

V raziskavo o primernosti uporabe v slovenskih podjetjih so bile vključene štiri arhitekture [3]: GRAI-GIM, PERA, CIMOSA in ARIS. Primerjava arhitektur je pokazala, da so zelo različno grajene in dajejo poudarek različnim področjem, čeprav se vse nagibajo k istemu cilju: gradnji informacijsko integriranega podjetja. Iz tega sledi, da si mora podjetje samo izbrati tisto arhitekturo, ki bo najbližje njihovem načinu razmišljanja in razumevanja, uporabe metod za modeliranje itn.

2 SODELOVANJE VODSTVA PODJETJA

Uveljavljeno pravilo za celovito uvajanje sistemov za vodenje v podjetje pravi, da je treba sisteme vodenja 'načrtovati od vrha navzdol, graditi in uvajati pa od spodaj navzgor' [4]. Odgovornost in podpora vodstva podjetja za sprejemanje in izvajanje vseh glavnih odločitev v začetnih fazah uvajanja sistema za vodenje je ključnega pomena za uspešnost in usklajenost vseh nadaljnjih projektov, ki izvirajo iz začetne vizije oziroma načrta.

3 PRIMER UPORABE REFERENČNIH ARHITEKTUR

V nadaljevanju bo prikazan primer uporabe arhitektur pri uvedbi informacijske integracije v srednje veliko slovensko podjetje (Zakon o gospodarskih družbah) [3]. V podjetju je 160 zaposlenih, od tega jih je sto zaposlenih v neposredni proizvodnji in šestdeset v strokovnih službah. Njihovi izdelki se kot sklopi pojavljajo v izdelkih priznanih svetovnih podjetij evropskega porekla, npr. Mercedes Benz, Steyr, VW, Citroen.

Osnovna dejavnost podjetja je vezana na obdelavo pločevine (sl. 1). Proizvodni proces vključuje vse faze, od predpriprave materiala in razreza, do končne stopnje vlečenja, obrezovanja in kalibriranja. Kot dodatno dejavnost izvajajo še upogibanje cevi (sl. 2) in po potrebi za sestavo karoserijskih delov tudi ročno ali strojno obdelavo različnih pločevinastih izdelkov.

Izbira ustrezne arhitekture je precej zahtevna naloga, saj mora podjetje pred tem dovolj dobro

between them, made to fit the requirements of the existing system [2]. The activities of an enterprise are internal and external. Internal activities include product development, manufacturing, distribution, sales and the management of the system. External activities are responsible for the connections of the business system with financial institutions, government agencies, the market, etc. In order to achieve business efficiency it is necessary to integrate internal and external knowledge. The latter is a consequence of the demanding market, severe standards, norms, etc. The architectures for building an information-integrated enterprise determine the means for describing internal and external activities, as well as the information needs in advance.

Four architectures for potential use in Slovenian enterprises have been studied [3]: GRAI-GIM, PERA, CIMOSA and ARIS. The analysis of these architectures has revealed that they have very different structures and focus on different fields, although they all pursue the same goal, i.e. the setting up of an information-integrated enterprise. Hence it follows that the company alone should decide which architecture best fits its way of reasoning, its concepts, use of modelling methods, etc.

2 CO-OPERATION OF TOP MANAGEMENT

One of the well-established rules for the introduction of management systems says that they should be 'planned with a top-down approach and built in the opposite direction' [4]. The responsibility of top management and their support in the implementation of the major decisions in the initial phases of introducing an overall management system are of key importance for the efficiency and harmonisation of all further projects arising from the initial plan.

3 AN EXAMPLE OF USING REFERENCE ARCHITECTURES

The use of reference architectures in introducing information integration into a medium-sized enterprise (The companies act) will be shown [3]. There are 160 people employed: one hundred in manufacturing and sixty in administration. Their products are built into vehicles manufactured by major international companies such as Mercedes Benz, Steyr, VW, Citroen, etc.

The basic activity of the company is sheet metal (car body panel) working (Fig. 1). The manufacturing process includes all phases, from material pretreatment and cutting-up to drawing, trimming and calibration. Pipe bending is an additional activity (Fig. 2) Hand or machine working of sheet metal products is carried out only when needed for the assembly of car body parts.

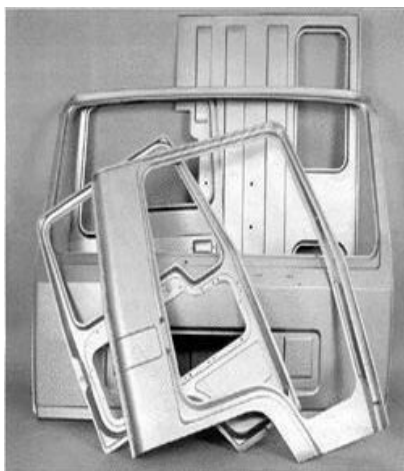
To choose the right architecture is not an easy task as the company must be very well aware of

poznati svoje cilje, omejitve, zahteve. Pri izbiri smo upoštevali naslednje pomembne predpostavke:

- jasnost, preprostost in razumljivost arhitekture,
- dobro predstavitev metod za modeliranje poslovnih procesov, podatkov, funkcij,
- nakazane možnosti za uporabo programske opreme,
- združljivost podatkov o izdelku. Na tržišču obstaja veliko poskusov izdelave t.i. nevtralnega formata, ki omogoča prenos podatkov o izdelku od faze oblikovanja do odstranitve izdelka iz proizvodnega programa (DXF, IGES, STEP itn.).

Kot izhodišče oziroma osnovo smo izbrali arhitekturo PERA, ki v skladu s sistemskim pristopom definira faze v krogu razvoja sistema. Ker arhitektura PERA nima podrobno definiranih matematičnih tehnik modeliranja, ki so potrebne za kasnejše programiranje, smo vključili še arhitekturo ARIS, ki ima za posamezna področja natančno definirane tehnike modeliranja z ustrežno programsko podporo.

Primer uporabe podrobneje opredeljuje prvi dve fazi 'nivo koncepta' in 'nivo specifikacije', ki sta za gradnjo informacijskega sistema tudi najpomembnejši in najbolj zahtevni (sl. 3). Celoten primer uporabe je preobsežen, da bi ga predstavljali v prispevku, zato bodo osvetljene samo nekatere najbolj zanimive podrobnosti.



Sl. 1. Izdelava najzahtevnejših ravninskih in prostorninskih prerezov

Fig. 1. Manufacturing of complex plane and 3D parts

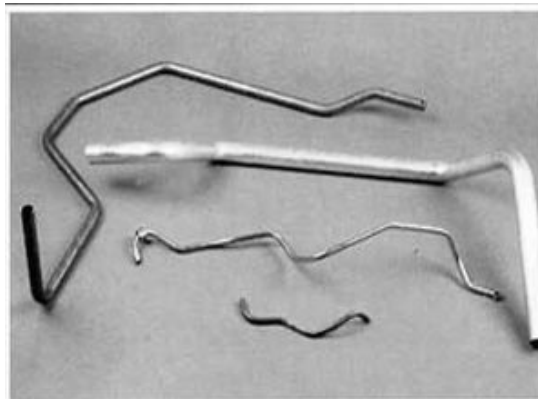
Uvodno poglavje na 'nivoju koncepta' ugotavlja, kaj je sprožilo ali kaj je glavni vzrok za izdelavo računalniško podprtega sistema za vodenje [4]. V nadaljevanju je treba definirati **cilje** investicije, npr. povečanje zmogljivosti, izboljšanje kakovosti, povečanje zanesljivosti obratovanja, ter izoblikovati merila za vrednotenje stopnje doseganja ciljev. Naslednji element, ki ga je treba opredeliti, je **okolje**, kjer se bo sistem uporabljal. V tem delu predstavljamo naročnika oz. investitorja, njegovo proizvodnjo,

its goals, limitations and demands. In our selection we were particularly interested in:

- the clarity, simplicity and understandability of the architecture;
- adequate representation of methods for modelling business processes, data and functions;
- the possibilities for using software;
- compatibility of product data. The market offers many options of the so-called neutral format to ensure the transfer of product data from the design phase to the withdrawal of the product from the production program (DXF, IGES, STEP, etc.).

We selected the PERA architecture because it defines the layers in the life cycle of the system development process in accordance with the systems approach. Since PERA offers no precisely defined mathematical modelling technique indispensable for subsequent programming, we had to include the ARIS architecture known for having precisely defined modelling techniques supported by adequate software.

Our example discusses in detail the first two layers, the 'concept' and the 'specification' layer, which are the most important and also the most complex parts in information-system design (Fig. 3). The example is too extensive to be presented completely, so we will show only the most interesting parts.



Sl. 2. Ukrivljanje cevi

Fig. 2. Bending of pipes

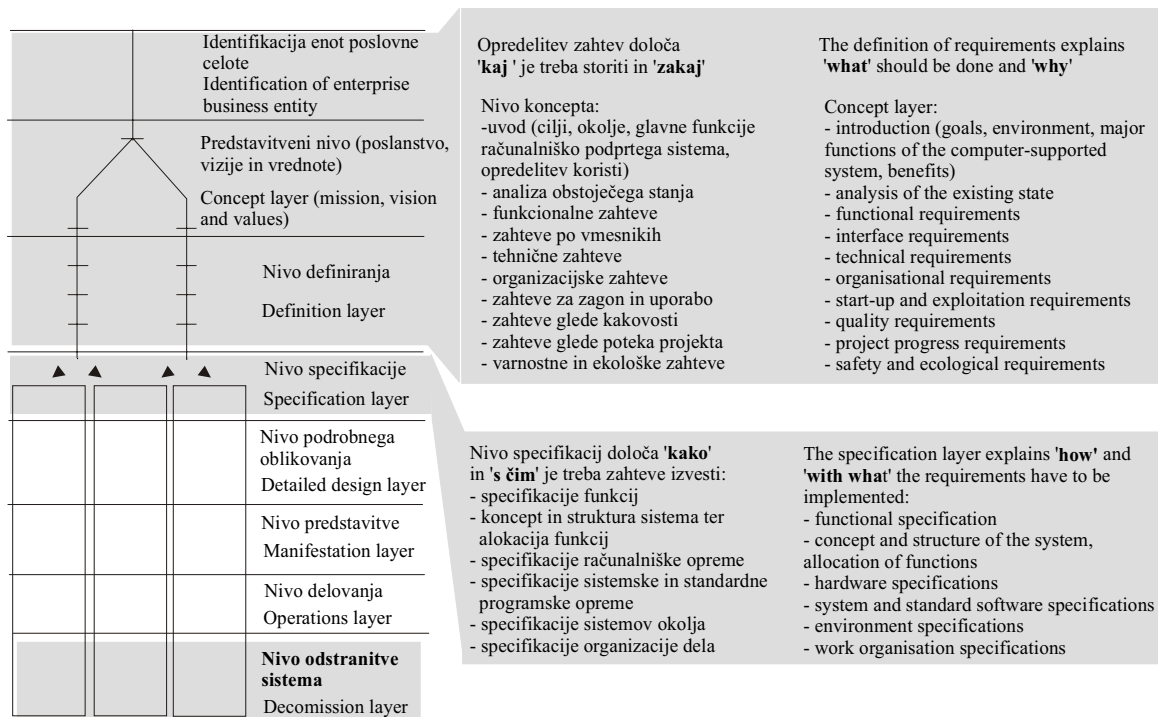
The introductory part of the 'concept layer' defines the reasons for setting-up the computer-supported management system [4]. Further on, the investment **goals**, such as higher production capacity, improved quality, better operating reliability, etc., have to be defined and the criteria for evaluating the achievement of goals must be set. The next element to be defined is the **environment** in which the system will be used. In this part we present the customer, his production and some technical aspects of the sys-

nekateri tehnični vidiki naprave oz. sistema, ki ga imamo namen računalniško podpreti, ter ekonomski in organizacijski vidik investitorja oz. projekta.

Sledi opredelitev **glavnih funkcij** računalniško podprtega sistema za vodenje ter definiranje projekta, s katerim jih bomo izpeljali, skupaj z ustreznimi termini, osebjem in stroški.

tem to be computerised, and also the customer's or project's economic and organisational aspect.

After that, **the main functions** of the computer-supported management system are defined. The project in which they will be realised is defined, including the time schedule, personnel and costs.



Sl. 3. Arhitektura PERA z dodanim 'nivojem odstranitve sistema' in podrobnejšim opisom 'nivoja koncepta' in 'nivoja specifikacij'

Fig. 3. PERA architecture with the added 'system decommission layer' and a detailed description of the 'concept layer' and the 'specification layer'

Pomemben del uvoda pomeni tudi **opredelitev koristi** in stroškov izbranega sistema za vodenje ter izračun rentabilnosti investicije. Uvodni del je hkrati tudi povzetek.

Podjetje: V obstoječem sistemu je ogromno podatkov. Čas, ki je potreben, da te podatke zberemo, je zaradi tehnične zastarelosti programske opreme zelo dolg. Problemi se pojavljajo tudi zaradi številnih omejitev v programu, ki je bil zasnovan samo za serijsko proizvodnjo – dandanes se večinoma izvaja maloserijska oziroma celo naročniška proizvodnja. Obstoječi program nima vgrajenih dovolj dobrih algoritmov za dinamično načrtovanje in spremljanje proizvodnje.

CILJ: Gradnja integriranega, prilagodljivega, preglednega informacijskega sistema, ki bo zagotavljal hitre in točne informacije, potrebne za sprejemanje poslovnih odločitev ter za vodenje in krmiljenje proizvodnje.

OKOLJE: Organiziranost družbe z informacijskimi tokovi, ki sledijo poslovnim postopkom.

The definition of **benefits** and costs of the anticipated management system and the calculation of the return on investment are another two important elements of the introductory part.

Enterprise: There is an enormous amount of data in the existing system and it takes a very long time to collect it because the software is outdated. Problems occur due to many restrictions of the program which had been designed exclusively for series production, but is currently used only for small-batch or even to-order production. The algorithms of the existing software are not powerful enough to perform dynamic production planning and monitoring.

GOAL: To build an adaptable, transparent and integrated information system which will provide the quick and accurate information necessary to support business decision making and production steering and management.

ENVIRONMENT: An enterprise with organised information flows that follow business processes.

KORISTI: Preden se v podjetje uvede nov informacijski sistem, se pogosto pojavlja vprašanje, katere koristi bo ta sistem v delovanje podjetja prinesel. Štiri glavne skupine koristi, ki jih prinaša računalniška obdelava podatkov, so:

- znižanje stroškov poslovanja (stroškov ročnega dela in materiala – predvsem pisarniškega) – pomeni jedro skupine 'merljivih' koristi,
- večja ažurnost informacij, kar omogoča hitrejši odziv na trenutne poslovne dogodke,
- bolj natančne informacije, kar omogoča določen odziv na poslovne dogodke,
- bolj kakovostne informacije omogočajo večjo učinkovitost upravljanja poslovanja.

Analiza sedanjega stanja se navadno začne s podrobnejšim opisom tehničnega procesa sistema ali naprave, ki jo želimo dograditi z računalniško podprtim sistemom za vodenje, z opisom njenega rednega obratovanja ter tudi izrednih stanj ali nepravilnosti. Sledi opis dosedanjega načina vodenja oziroma obstoječega sistema vodenja.

Ker je vsak sistem vodenja integriran v organizacijsko strukturo, je treba opredeliti tudi organizacijo podjetja s poudarkom na organizacijski strukturi, organizaciji poteka del, organizaciji obratovanja ter organizaciji poročanja.

Sledi opis okvirne količine in vrste podatkov, ki se izmenjujejo, njihov način prenosa in zaščita.

Podjetje: Zaradi delitve dela, ki izhaja iz organiziranosti starega velikega podjetja, iz katerega je nastalo več manjših podjetij, so sedanji procesi neoptimalni in potrebni prenove ter ustrezne računalniške podpore. Sedanji informacijski sistem še vedno uporablja preveč papirnih dokumentov.

Program 'kosovnic' nima možnosti izdelave variantnih kosovnic. Izdelava 'delovnih postopkov' s sedanjim programom je zasnovana za serijsko proizvodnjo, zato je uporaba za maloserijsko proizvodnjo zelo otežena (problemi se pojavljajo pri parametrih za izračunavanje pretočnosti izdelka skozi delovni proces, parametrih za oblikovanje velikosti serij, za obračun stroškov proizvodnje in plač zaposlenih, problem zelo velikih oziroma zelo kratkih izdelovalnih časov za operacijo, številčenje stroškovnih in delovnih mest).

Sistem delovnih in stroškovnih mest ne omogoča oblikovanja procesnega in ciljno usmerjenega računovodstva (controllinga).

Dinamično načrtovanje materialnih potreb: sedanji sistem se ne prilagaja novim razmeram (npr. niso mogoči sprememba roka izdelave med izvajanjem naročila, upoštevanje izpada dobave naročenega materiala, prerazporeditev zaradi ozkih grl v proizvodnji).

Dinamično načrtovanje in spremljanje proizvodnje: pri dnevni spremljavi učinkovitosti proizvodnje je zelo problematično spremljanje rokov in hkratno spremljanje učinkovitosti na vmesnih operacijah.

BENEFITS: Before introducing a new information system we often wonder what benefits it will bring to the functioning of the enterprise. Data processing brings four major benefits:

- Costs reduction (manual work and material costs) - this is the core of 'measurable' benefits
- Better updating of information - this speeds up the reaction to business events
- Greater accuracy of information - this makes the reactions to business events more accurate
- High-quality information - this increases the efficiency of business administration

The analysis of the existing state usually starts with a detailed description of a technical process of the system we intend to upgrade with a computer-supported management system. It describes operation under regular and irregular conditions, in case of errors, etc., which is followed by a description of the previous or existing management technique or system.

Every management system is integrated into an organisational structure, so it is necessary to determine the organisation of the company with an emphasis on the organisation scheme, organisation of work flow, organisation of operation, and organisation of feed-back documentation.

The approximate amount and type of data to be exchanged is given together with the method of data transmission and data protection.

The enterprise has inherited a division of labour from the organisation scheme of the former large enterprise. As a consequence, the existing processes are not optimised and therefore need re-engineering and computer support. The existing information system still uses too much paper documentation.

The program 'List of Parts' offers no possibility to generate variations of 'List of parts'. The generation of working methods with the existing program has been designed for the needs of series production, so it is quite inconvenient to use for the needs of small-batch production. Difficulties occur for several parameters: the parameters for calculating product flow times through the working process, the parameters for defining the size of series, and the parameters for the determination of manufacturing and labour costs. Another problem arises from very short and very long machining times for operation, numeration of cost centres and workplaces.

Controlling cannot be performed within the existing workplace and cost centre system.

Dynamic material planning: The existing system is not adapted to new circumstances. It is not possible to change the time schedule during the implementation of an order, to take into account material supply failures, or to redistribute operations in case of bottlenecks.

Dynamic production planning and follow-up: When following-up the efficiency of production it is very difficult to monitor time schedules and the performance at intermediate operations simultaneously.

Nov sistem za vodenje bo vplival tudi na **spremembo organizacije** dela ter spremembo vsebine in obsega dela določenih ljudi. Zato je treba v tej fazi jasno določiti, kakšne so zahteve glede nove organizacije dela, kako bodo sestavljene skupine operaterjev, kakšna bo vsebina dela.

Podjetje: Nova organizacijska shema upošteva procesno orientiranost in izhaja iz informacijskih tokov. Pomanjkljivost prvotne poslovne funkcije trženja je bila v tem, da so tehnične podlage za ponudbe izdelovali v ločeni organizacijski enoti – tehnološkem sektorju. Proces izdelave ponudbe je bil zelo dolg, prihajalo je do številnih nerazumevanj (neskladnosti), saj je komercialist sam sprejemal tehnično dokumentacijo in se dogovarjal s kupcem. Dokumentacijo je kasneje sicer predal tehnologu, vendar mu razen risbe ni mogel ponuditi potrebnih informacij. Vse dodatne informacije je tehnolog ponovno iskal pri komercialistu, zato je bila pot do oblikovanja prodajne cene in oblikovanja ponudbe zelo dolga in polna približkov.

Posledica reinženiranja poslovnih procesov je spremenjen potek dela. V novi shemi komercialist in prodajni inženir skupaj obiščeta poslovnega partnerja. Komercialist se dogovarja o finančnem delu ponudbe, prodajni inženir pa o tehničnem delu. Tako je mogoče hkrati pregledati tehnično dokumentacijo, razjasniti morebitna vprašanja, zahteve, povezane s kakovostjo obdelave, velikostjo serij, transportom. Predračun, ki ga izdela prodajni inženir, je tako bolj natančen in ponudba je izdelana v krajšem času.

Prvotna poslovna funkcija nabava je naročala material neodvisno od dinamičnih potreb proizvodnje. Novo predlagana poslovna funkcija je 'tehnični sektor s prodajo', v kateri komercialist in prodajni inženir oblikujeta ponudbo.

Pri razvoju ali osvajanju novih izdelkov uporabljamo projektni pristop z imenovanjem skupine, v kateri so strokovnjaki s področja tehnologije (izdelajo delovne postopke, merne skice orodij, naročijo in spremljajo izdelavo orodij, izdelajo vzorce in poskusno serijo) in nabavnik, ki hkrati s potrebami razvoja naroči material in izdelavo orodij.

V prvotni organizacijski shemi sta bila zajeta samo načrt in logistika, v novo, ki se preimenuje v 'pripravljalno področje', pa je prenesena nabava in terminska služba iz proizvodnje. S tem ukrepom bo mogoče materialno oskrbo izvajati skladno s potrebami dinamike proizvodnje. Z novo obliko organizacije bo krmiljenje proizvodnje potekalo na popolnoma nov, drugačen način. Do sedaj se je npr. podrobno načrtovanje – terminiranje izvajalo ročno, v novem osnutku pa načrtujemo dinamično krmiljenje proizvodnje neposredno iz načrta.

The new management system will **change the organisation** of work, and consequently the content and the scope of the work of some employees. It is therefore necessary to define the requirements of the future organisation of work in this layer.

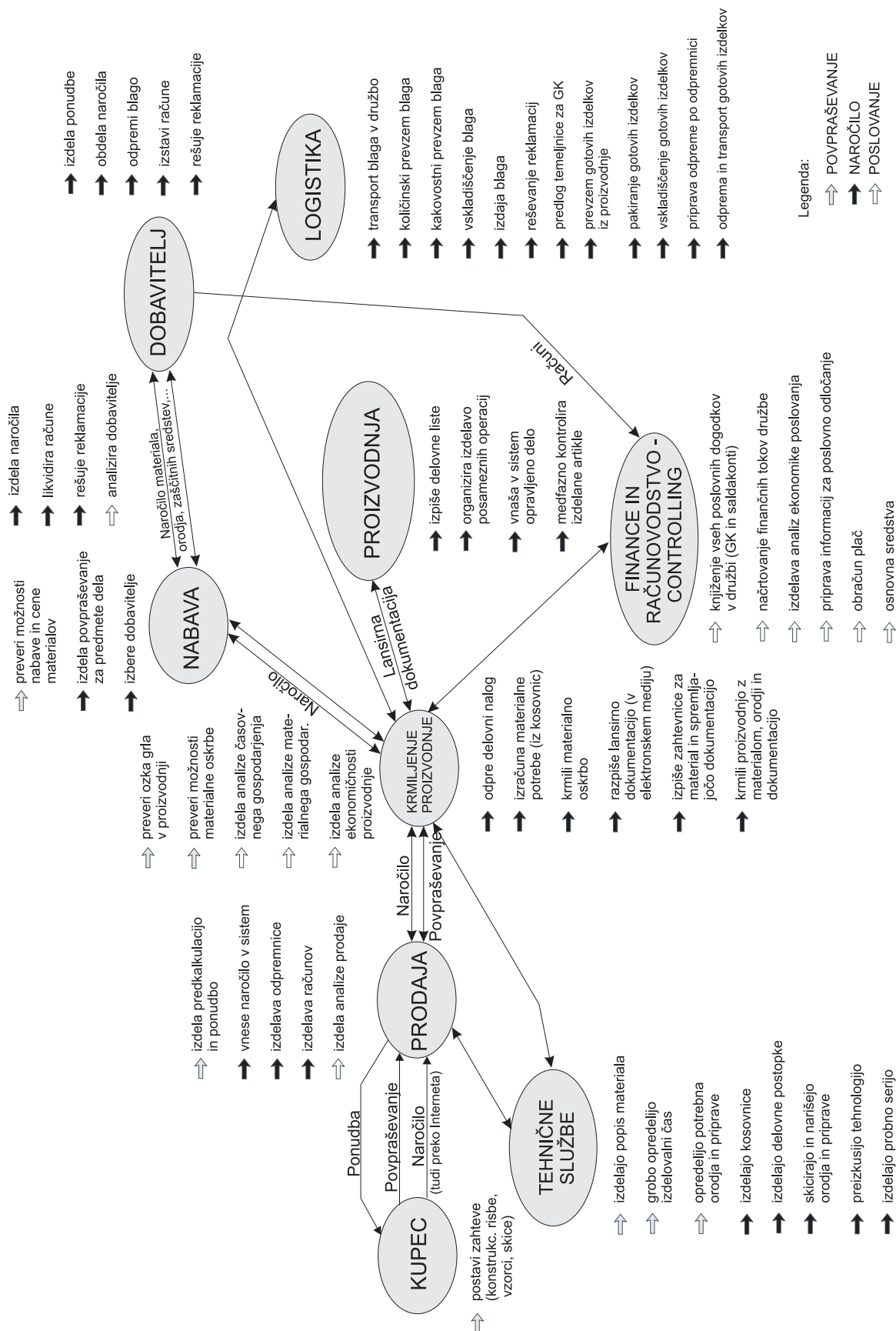
Enterprise: The new organisation scheme is process-oriented and based on information flows. The weakness of the former marketing function resulted from the fact that a separate department, i.e. the Technological Sector, prepared the technical documentation for offers. To draw up offers in such circumstances was a very long process, full of misunderstandings. The sales executive alone had to take over the technical documentation and negotiate with the customer. Later he handed the documentation over to the production engineer, but could give him no relevant information apart from the drawings. In order to get all the necessary information, the production engineer had to contact the sales executive again and again, so it took a long time to set the selling price and submit the offer.

The flow of work has been changed though the re-engineering of business processes. In the new organisation scheme the sales executive and the sales engineer visit the business partner together. The sales executive discusses the commercial part of the offer, and the sales engineer the technical part. In this way it is possible to go through all the details of the technical documentation, and at the same time resolve all the problems regarding the size of series, the quality of products, transportation issues and other requirements. The pre-calculation made by the sales engineer is now much more precise and the offer submitted much sooner.

The former business function called 'Purchasing' ordered material regardless of the dynamic manufacturing demands. In the suggested new business function called 'Technical sector and sales' the sales executive and the sales engineer work on the tender together.

The development of new products will use the project-oriented approach. A special project team will be formed for this purpose, consisting of experts in technology and a purchasing officer. The experts in technology will design working methods and tool drawings, they will order and monitor the tool-making, and also make the trial samples and the trial batch. The purchasing officer orders the material and the manufacture of tools synchronously with the demands of the development process.

The former organisation scheme included only the plan and logistics, but in the new organisation scheme, called 'Preparation', purchasing and time scheduling are added from the workshop environment. In this way it will be possible to harmonise the materials supply with the dynamics of production needs. In the new organisation scheme production steering will run in a completely different way. Until now, time schedules were made manually, but in future dynamic production control will be generated directly from the plan.



Sl. 4. Poslovni informacijski sistem – tokovi

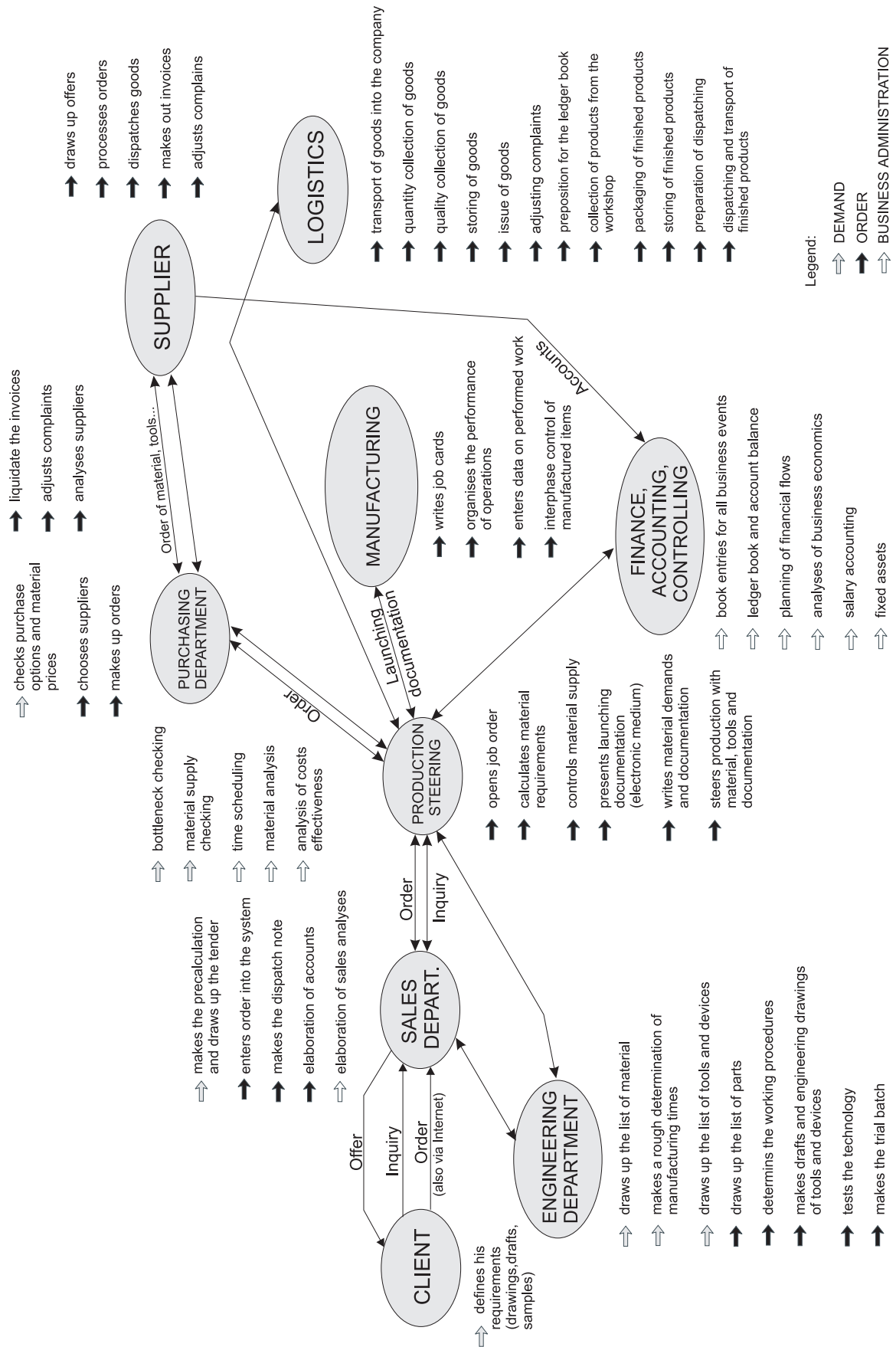


Fig. 4. Business information system - flows

Poslovna funkcija 'proizvodnja' se bo v osnovi delila na izdelavo elementov in izdelavo sklopov. Bistvena sprememba nove organiziranosti je uvedba lastnega (controlling) računovodstva.

Posamezno delovanje je opredeljeno v opisu delovnega procesa. Za posamezne izvajalce pa je njihovo delo opisano s konkretnimi delovnimi navodili.

Na nivoju 'specifikacije funkcij' je zelo pomembno področje oziroma poglavje **koncept in struktura sistema ter alokacija funkcij**. Če smo se v okviru analize potreb in postavitve zahtev ter pri opredeljevanju funkcionalnih specifikacij ukvarjali predvsem z namenom, funkcijami in mehanizmi delovanja bodočega sistema za vodenje, potem je v nadaljevanju specifikacij poudarek predvsem na opredelitvi njegove strukture.

Opredelitev strukture sistema pomeni podrobnejšo zamisel o logični arhitekturi in fizični realizaciji. Konkretno to pomeni, da moramo opredeliti elemente in njihove medsebojne povezave vseh ključnih strukturnih podsistemov sistema za vodenje ter definirati povezave med vsemi podsistemi.

Rezultat je logična struktura in njej ustrezna fizična struktura sistema, ki kaže, prek katerih logičnih oz. fizičnih enot se bodo izvajale funkcije (sl. 4).

4 SKLEP

Informacijske tehnologije in uvajanje računalniške podpore vodenju in odločanju na vseh nivojih podjetja je postal potreben pogoj za udeležbo v konkurenčni tekmi za obstoj na trgu. Večina podjetij po svetu in doma ima namen v naslednjih letih še okrepiti računalniško podporo proizvodnje, poslovanja in odločanja. Referenčne arhitekture s podrobnim opisom pomembnejših področij, ki jih je treba pri gradnji informacijsko integriranega podjetja upoštevati in veliko izbiro metod za modeliranje, so pri tem lahko v veliko pomoč.

The business function 'Production' will be separated into the manufacture of components and the manufacture of units. The essential change in the new organisation scheme is its own controlling.

Individual operations are defined in the description of the working process. The details for individuals are given in the instructions for work.

A very important part of the specification layer is the one dealing with the **system concept and structure and with the allocation of functions**. In the requirement analysis and in functional specifications we focused on the goals, functions and operating mechanisms of the future management system, but in the continuation of specifications emphasis is placed on the definition of its structure.

The definition of the system structure implies a detailed scheme of the logic architecture and physical realisation. This means that we have to define the elements and the links between them for all key subsystems of the management system to be introduced. The links between the subsystems also have to be defined.

The result is a logic structure with a corresponding physical structure of the system. This structure clearly shows over which logic or physical units the functions will be implemented (Fig. 4).

4 CONCLUSION

Information technology and computer-supported management and decision-making have become a necessity for competition and survival on the international market. Most companies at home and abroad intend to intensify their computer support in manufacturing and decision-making in the near future. Reference architectures with their detailed descriptions of fields that have to be included in the information-integrated enterprise and a wide range of modelling methods are a great help in this respect.

5 LITERATURA 5 REFERENCES

- [1] Jovan, V. (1999) Avtomatizacija in informatizacija v slovenskih proizvodnih podjetjih. *Zbornik prve konference Avtomatizacija in informatizacija v industriji in gospodarstvu*, str. 206, Slovenija.
- [2] Bernus, P., K. Mertinez, G. Schmidt (1998) Handbook on architectures of information systems. *ISBN 3-540-64453-9 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York*.
- [3] Vujica Herzog, N. (2000) Model izgradnje informacijsko integriranega podjetja s pomočjo referenčnih arhitektur. *Magistrsko delo, Fakulteta za strojništvo, Maribor*.
- [4] Strmčnik, S. (ed.) (1998) Celostni pristop k računalniškemu vodenju procesov. *ISBN 961-6210-51-3, Fakulteta za elektrotehniko, Ljubljana*.

Naslov avtorjev: mag. Nataša Vujica Herzog
prof. dr. Andrej Polajnar
Fakulteta za strojništvo
Univerze v Mariboru
Smetanova 17
2000 Maribor

Authors' Address: Mag. Nataša Vujica Herzog
Prof. Dr. Andrej Polajnar
Faculty of Mechanical Eng.
University of Maribor
Smetanova 17
2000 Maribor, Slovenia

Prejeto: 17.4.2000
Received:

Sprejeto: 20.12.2000
Accepted:

Modeliranje ponavljajoče se prevozne poti cestnega vozila

Modelling of the Repeated Transport Route of a Road Vehicle

Jurij Kolenc

V prevoznem prometu se uporabljajo različni modeli organizacije gibanja cestnih tovornih vozil po prevozni poti. Ti modeli so predvsem odvisni od karakteristik blagovnih tokov, prevoznih razdalj, karakteristik tovora, lokacije avtomobilske baze, uporabljenih cestnih vozil idr.

Učinkovito organiziranje gibanja cestnih tovornih vozil pri opravljanju prevoznih storitev zagotavlja največji prevozni učinek z najmanjšimi prevoznimi stroški. Pri zagotavljanju največjega prevoznega učinka med pomembnejše postopke spada izbira optimalne prevozne poti.

Glede na različne modele prevoznih poti v praksi kakršne so: ponavljajoče se prevozne poti, radialne, ciklične, zbirne in razvozne, se bodo v tem delu analizirali, kot najaktualnejši modeli ponavljajoče se prevozne poti z različnimi variantami lokacije avtomobilske baze.

Modeliranje ponavljajoče se prevozne poti omogoča ugotavljanje potrebnih kazalcev za optimiranje načrtovanja in organizacije gibanja cestnega tovornega vozila pri opravljanju prevozne storitve, analizo prevoznega učinka in na splošno učinkovitejše gospodarjenje na področju njihove uporabe.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: modeliranje, poti transportne, modeli poti, vozila cestna)

In the transporting process different models for the organisation of movement of road cargo vehicles are used on the transportation route. These models depend on the route, transportation distances, the characteristics of the cargo, autobase location, transportation means used, etc.

The efficient organisation of the movement of road cargo vehicles in transporting goods ensures the maximum transportation efficiency with the minimum transport costs and demands the selection of the best transportation route.

There are different models for the transportation route, these include the repeated transportation route, radial, cyclic, collective or distributive. In this paper the repeated transportation route with different variants of autobase location will be analysed

The modelling of the repeated transportation route ensures the necessary parameters for optimising the planning and movement of a road cargo vehicle in the transportation process, an analysis of transportation efficiency and more efficiency in general.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: modelling, transportation routes, route models, road vehicles)

0 UVOD

Ponavljajoča se prevozna pot vsebuje tako gibanje cestnega vozila pri opravljanju prevoznega prometa, da se posamezne vožnje ponavljajo po isti prevozni poti med dvema točkama. Pri tem imamo lahko naslednji dve osnovni obliki:

- s prevozom tovora samo v eni smeri,
- s prevozom tovora v obeh smereh.

Ti obliki prevoznih poti se najpogosteje pojavljata na krajših razdaljah do 100 km pri opravljanju prevoznih storitev s cestnimi vozili na področju gradbeništva, gozdarstva, kmetijstva, razvozu

0 INTRODUCTION

The repeated transportation route is the repeated movement of a road vehicle which is transporting goods over the same route between two points.

There are two forms:

- transportation of goods in one direction only,
- transportation of goods in both directions.

These models of transportation routes are often used for distances up to 100 km for road vehicles involved in civil engineering, forestry, farming, and supplying people with goods. Transportation in

različnega blaga pri oskrbovanju prebivalcev ipd. Oblika prevozne poti s prevozom tovora samo v eni smeri, čeprav se pri nas še dosti uporablja, lahko zagotovi samo najmanjše in tudi negativne gospodarne učinke [1].

V praksi se zelo pogosto opravlja tudi ponavljajoča se prevozna pot z delno izkoriščenostjo kilometrine, ki se zaradi zapletenosti modeliranja velikega števila različic v tem prispevku ne bo obravnavala.

Za določanje kazalcev prevozne storitve cestnega vozila, odvisno od oblike ponavljajoče se prevozne poti, je posebej pomembna lokacija avtomobilske baze, iz katere vozilo odpelje na opravljanje prevozne naloge in v katero se vrača po opravljeni nalogi, kar je posebej pomembno pri obliki prevozne poti s prevozom tovora samo v eni smeri.

Glede na prevozno pot razlikujemo naslednje tri značilne lokacije avtomobilskih baz:

- zunaj prevozne poti med dvema terminaloma,
- zunaj prevozne poti in ni med dvema terminaloma,
- nekje na prevozni poti.

Od lege avtomobilske baze glede na prevozno pot je odvisno, ali bo cestno vozilo porabilo ničti čas za ničto kilometrino, ali pa bo ta vključen v vozni krog.

Optimiranje gibanja cestnega vozila pri opravljanju prevozne storitve z modeliranjem ponavljajoče se prevozne poti zagotavlja največji prevozni učinek z najmanjšimi prevoznimi stroški.

1 MODEL PONAVLJAJOČE SE PREVOZNE POTI S PREVOZOM BLAGA SAMO V ENI SMERI

Ponavljajoča se prevozna pot s prevozom tovora samo v eni smeri se bo v tem delu analizirala predvsem z vidika lokacije avtomobilske baze.

1.1 Model prevozne poti s povratno prazno vožnjo in avtobazo zunaj prevozne poti med dvema terminaloma

Ponavljajoča se prevozna pot s povratno prazno vožnjo z avtomobilsko bazo zunaj prevozne poti med terminaloma A in B je najmanj sprejemljiva prevozna pot, saj je med delom cestnega vozila v enem ciklu samo ena vožnja s tovorom (sl. 1) [7].

V tem primeru veljajo obrazci za [1]:

- čas kroženja cestnega vozila:

$$t_c = \frac{2 \cdot L_{stx}}{V_p} + t_{nr} = \frac{2 \cdot L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p}{V_p} \quad (1).$$

Možno število krogov cestnega vozila je odvisno od časa dela vozila na prevozni poti oziroma od časa za opravljanje kroga:

one direction, although common in Slovenia, results in low or negative economic effects [1].

The repeated transportation route, with partial utilisation of kilometrage will not be analysed in this paper because of the modelling complexity resulting from a large number of variants.

In defining the work parameters of the transportation process of a road vehicle, depending on the form of repeated transportation route, the location of the autobase is relevant. In other words, where the vehicle begins its travel and where it returns after the completion of the operation. This is especially important for the transportation of cargo in one direction only.

There are three typical locations for an autobase:

- outside the transportation route, between the two terminal stations;
- outside the transportation route, but not between the two terminal stations;
- somewhere on the transportation route.

The location of the autobase determines whether the vehicle will spend zero time for zero kilometrage, or this will be included in the cycle of the vehicle.

The optimisation of road vehicle movement with the help of modelling of the repeated transportation route ensures the maximum transportation efficiency with minimum transportation costs.

1 MODELS OF THE REPEATED TRANSPORTATION ROUTE WITH THE TRANSPORTATION OF GOODS IN ONLY ONE DIRECTION

The repeated transportation route with the transportation of goods in only one direction can be analysed with respect to the location of the autobase.

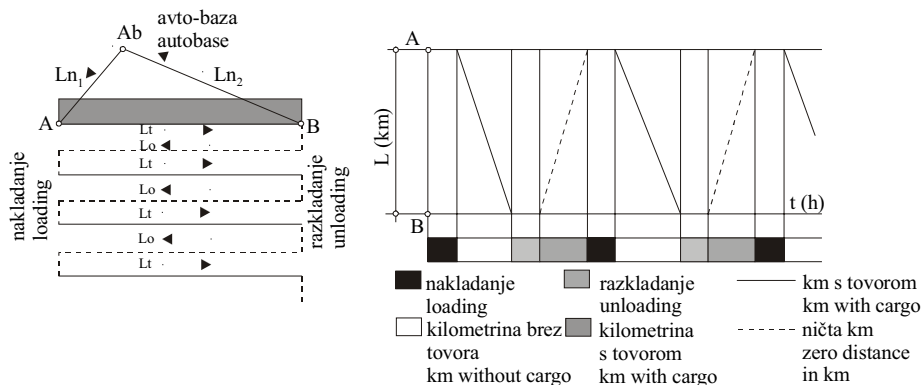
1.1 A model of the transportation route with the returning vehicle empty and with the autobase outside the transportation route, between two terminal stations

The repeated transportation route with the returning vehicle empty and the location of the autobase outside the transportation route, between the terminal stations A and B, is the least acceptable because the work of the road vehicle in one cycle is one journey with cargo (Fig. 1) [7].

Follows the formula for [1]:

- the time of the vehicle cycle:

The number of cycles depends on the time of the vehicle's work completed on the transportation route or on the time of carrying out the cycle:



Sl. 1. Shematski model ponavljajoče se prevozne poti s povratno prazno vožnjo in avtomobilsko bazo med dvema terminaloma

Fig. 1. Schematic model of the repeated transportation route with the returning vehicle empty and the autobase between the two terminal stations.

- čas za vožnjo po ničti prevozni poti:

- travel time at zero distance travelled:

$$H_0 = \frac{L_n}{V_p} = \frac{L_{n1} + L_{n2}}{V_p} \quad (2),$$

kjer so:

where:

čas cikla vozila,
srednja razdalja ene vožnje s tovorom,
prometna hitrost cestnega vozila,
čas nakladanja in razkladanja cestnega vozila,
čas vožnje po ničti prevozni poti,
ničta prevozna pot v enem dnevu,
ničta prevozna pot od avtomobilске baze do
nakladalnega mesta,
ničta prevozna pot od razkladalnega mesta do
avtomobilске baze.

t_c h the time of the vehicle cycle,
 L_{stx} km average distance of one loaded vehicle journey,
 V_p km/h traffic speed,
 t_{nr} h time of loading and unloading,
 H_n h travel time at zero distance travelled,
 L_n km zero distance travelled per day,
 L_{n1} km zero distance travelled from autobase to loading point,
 L_{n2} km zero distance travelled from unloading point to autobase.

- čas dela cestnega vozila na prevozni poti:

- the time of vehicle's work performed on the transportation route:

$$H_n = H_d - \frac{L_n}{V_p} \quad \text{and} \quad (3),$$

ter je

$$H_n = Z_0 \cdot t_c + \left(\frac{L_{stx}}{V_p} + t_{nr} \right)$$

kjer so:

where:

H_d - čas dela cestnega vozila na prevozni poti,
 Z_0 - število voženj vozila v enem dnevu,
 $\left(\frac{L_{stx}}{V_p} + t_{nr} \right)$ prosta vožnja po krogih, opravljenih
na koncu delovnega časa vozila,

H_d - the time of vehicle's work performed on the transportation route,
 Z_0 - number of vehicle journeys in one working day,
 $\left(\frac{L_{stx}}{V_p} + t_{nr} \right)$ light travel per cycle carried out at the
end of the vehicle's operating time

$$H_n = Z_0 \cdot t_c + \left(\frac{L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p}{V_p} \right) = \frac{Z_0 \cdot t_c \cdot V_p + (L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)}{V_p} \quad (4),$$

ker je

because

$$H_n \cdot V_p = Z_0 \cdot t_c \cdot V_p + (L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)$$

iz tega izhaja, da je:

it follows that:

- mogoče število krogov vozila v delovnem dnevu:

- possible number of vehicle cycles in one working day:

$$Z_0 = \frac{H_n \cdot V_p - (L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)}{t_c \cdot V_p} = \frac{H_n \cdot V_p - (L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)}{\left(\frac{2L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p}{V_p} \right) \cdot V_p} = \frac{H_n \cdot V_p - (L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)}{2L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p} \quad (5),$$

- skupna kilometrina prevozne poti v enem delovnem dnevju vozila: - the total kilometrage of the transportation route in one working day:

$$L = 2L_{stx} \cdot Z_0 + L_{stx} + L_{n1} + L_{n2} = L_{stx}(2Z_0 + 1) + L_{n1} + L_{n2} = L_{stx}(2Z_0 + 1) + L_n \quad (6),$$

- kilometrina s tovorom v enem delovnem dnevju: - kilometrage of a loaded vehicle in one working day:

$$L_t = L_{stx} \cdot Z_x = L_{stx} \cdot Z_0 + L_{stx} = L_{stx}(Z_0 + 1) \quad (7),$$

- kilometrina brez tovora v enem delovnem dnevju: - kilometrage of a light vehicle in one working day:

$$L_p = L_{stx} \cdot Z_0 \quad (8),$$

- količina prevoženega blaga in prevozna storitev v enem delovnem dnevju: - the quantity of goods carried and the transportation work completed in one working day:

$$Q = q \cdot \gamma \cdot Z_x \quad (9),$$

ter and

$$S = q \cdot \gamma \cdot Z_x \cdot L_{stx} \quad (10),$$

- koeficient izkoriščenosti kilometrine: - coefficient of the kilometrage utilisation:

$$\beta = \frac{L_t}{L} = \frac{L_{stx}(Z_0 + 1)}{L_{stx}(2Z_0 + 1) + L_n} \quad (11),$$

- koeficient ničte kilometrine: - coefficient at zero kilometrage:

$$\omega = \frac{L_n}{L} = \frac{L_n}{L_{stx}(2Z_0 + 1) + L_n} \quad (12),$$

kjer so:

količina prevoženega blaga,
prevozna storitev v enem delovnem dnevju,

koristna nosilnost cestnega vozila,
koeficient statične izkoriščenosti nosilnosti
cestnega vozila,

število voženj s tovorom,
koeficient izkoriščenosti kilometrine,

koeficient ničte kilometrine,

kilometrini prevozne poti brez tovora v enem
delovnem dnevju vozila,

skupna kilometrina prevozne poti v enem
delovnem dnevju vozila,

kilometrini prevozne poti s tovorom v enem
delovnem dnevju vozila.

where:

Q t the quantity of goods carried,
S tkm transportation work completed in one working day,

q t useful carrying capacity of a vehicle,
 γ coefficient of the static utilisation of the vehicle's carrying capacity,

Z_x number of journeys with cargo,
 β coefficient of kilometrage utilisation,

ω coefficient of zero kilometrage,

L_p km kilometrage of transportation route without cargo in one working day of the vehicle,
L km the total kilometrage of transportation route in one working day,

L_t km kilometrage of loaded vehicle in one working day.

1.2 Model ponavljajoče se prevozne poti s povratno prazno vožnjo in avtomobilsko bazo zunaj prevozne poti in terminalov

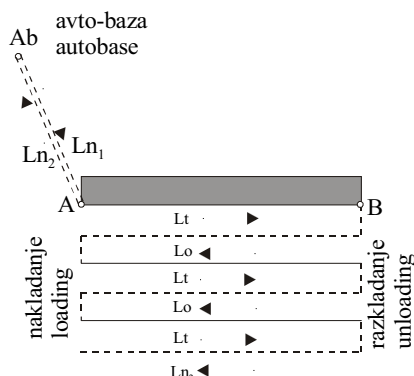
Ponavljajoča se prevozna pot s povratno vožnjo in avtomobilsko bazo zunaj prevozne poti in terminalov, kakor v prejšnjem primeru, v zadnji vožnji

1.2 A model of the repeated transportation route with the returning vehicle empty and the autobase outside the transportation route and terminal stations

A repeated transportation route with the returning vehicle empty and the autobase outside the transportation route and terminal stations, as in the previous case,

s tovorom ob koncu delovnega časa vozilo ne opravi polnega kroga, saj pri vračanju iz točke nakladanja (B) opravi ničto kilometrino na razdalji B-A-Ab (sl. 2)[2].

during the last loaded travel at the end of the working time the vehicle does not complete the whole cycle because returning from the loading point (B) it performs zero kilometrage in the distance B-A-Ab (figure 2.) [2].



Sl. 2. Shematski model ponavljajoče se prevozne poti s povratno prazno vožnjo in avtomobilsko bazo zunaj prevozne poti in terminov

Fig. 2. Schematic model of the repeated transportation route with the returning vehicle empty and the autobase outside the transportation route and terminal stations

Po tem modelu so naslednji obrazci za [7]:

- čas kroga vozila: po obrazcu (1),
- mogoče število krogov vozila v delovnem dnevu: po obrazcu (5),
- ničto kilometrino vozila v delovnem dnevu:

Here the formulae are as follows [7]:

- Time of a vehicle's cycle: according to formula (1),
- Possible number of cycles per working day: according to formula (5),
- Zero kilometrage per working day:

$$L_n = L_{n1} + L_{n2} = L_{n1} + (L_{n1} + L_{stx}) = 2L_{n1} + L_{stx} \quad (13),$$

- kilometrino vozila s tovorom v delovnem dnevu: po obrazcu (7),
- kilometrino brez tovora v delovnem dnevu: po obrazcu (8),
- skupno kilometrino vozila v delovnem dnevu:

- Loaded kilometrage per working day: according to formula (7),
- Light kilometrage per working day: according to formula (8),
- Total kilometrage per working day:

$$L = 2L_{stx} \cdot Z_0 + L_{stx} + 2L_{n1} + L_{stx} = 2L_{stx} \cdot Z_0 + 2L_{stx} + 2L_{n1} = 2[L_{stx}(Z_0 + 1) + L_{n1}] = 2(L_{stx} \cdot Z_x + L_{n1}) \quad (14),$$

- dnevno količino prepeljanega tovora Q po obrazcu (9) in prevozne storitve cestnega vozila v enem dnevu S po obrazcu (10),
- koeficient izkoriščenosti kilometrine v delovnem dnevu vozila:

- Daily quantity of cargo carried Q is acquired from formula (9) and transportation work completed S from formula (10):

- Coefficient of kilometrage utilisation per working day:

$$\beta = \frac{L_t}{L} = \frac{L_{stx} \cdot Z_x}{2(L_{stx} \cdot Z_x + L_{n1})} \quad (15),$$

- koeficient ničte kilometrine v delovnem dnevu vozila:

- Coefficient of zero kilometrage per working day:

$$\omega = \frac{L_n}{L} = \frac{2L_{n1} + L_{stx}}{2(L_{stx} \cdot Z_x + L_{n1})} \quad (16).$$

1.3. Model prevozne poti s povratno prazno vožnjo in avtomobilsko bazo na prevozni poti med terminali

V primeru, ko je avtomobilska baza na prevozni poti med terminoma A in B (sl. 3), se prevozni proces lahko opravlja na dva glavna načina, in sicer ko je:

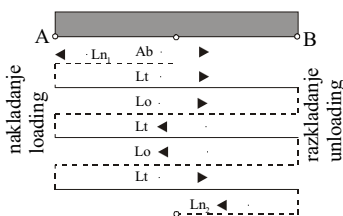
1.3 A model of the transportation route with the returning vehicle empty and with the autobase on the transportation route, between terminals

In the case in which the autobase is on the transportation route, between two terminal stations, A and B (figure 3), the transportation process may be performed in two ways, i.e.:

ter

$$Z_0 = Z_x$$

and

$$Z_x = Z_0 + 1$$


Sl. 3. Shematski model ponavljajoče se prevozne poti s povratno prazno vožnjo in avtomobilsko bazo na prevozni poti med terminali

Fig. 3. Schematic model of the transportation route with the returning vehicle empty and with the autobase on the transportation route, between terminals

V prvem primeru se za opravljanje ničte kilometrine (Ab-A) na začetku delovnega časa vozila in (B-Ab) na koncu delovnega časa od delovnega časa ne odšteje ničti čas, saj je ničta kilometrina na prevozni poti ter se ničti čas šteje v čas kroga vozila.

Tu veljajo obrazci za:

- čas dela cestnega vozila za opravljanje kroga:

In the first case the zero kilometrage performed (Ab-A) at the beginning of the vehicle's operation time and (B-Ab) at the end of the vehicle's operation time is not subtracted from the operation time as the zero kilometrage takes place on the transportation route and the zero time is included in the vehicle's cycle.

Here are the formulas for:

- vehicle's operation time for the performance of a cycle:

$$H_n = H_d \quad (17),$$

- čas trajanja kroga vozila: po obrazcu (1),

- mogoče število ciklov vozila v delovnem dnevu: po obrazcu (5),

- ničto kilometrino vozila v delovnem dnevu:

- duration of a vehicle's cycle: according to formula (1),

- number of cycles possible per working day: according to formula (5),

- vehicle's zero kilometrage per working day:

$$L_n = L_{n1} + L_{n2} = L_{stx} \quad (18),$$

- kilometrino vozila s tovorom v delovnem dnevu:

- loaded vehicle's kilometrage per working day:

$$L_t = L_{stx} \cdot Z_0 = L_{stx} \cdot Z_x \quad (19),$$

- kilometrino vozila bez tovara v delovnem dnevu:

- light vehicle's kilometrage per working day:

$$L_p = L_{stx} (Z_0 - 1) \quad (20),$$

- skupno kilometrino v delovnem dnevu:

- total kilometrage per working day:

$$L = L_{stx} \cdot Z_0 + L_{stx} (Z_0 - 1) + L_{stx} = 2L_{stx} \cdot Z_0 = 2L_{stx} \cdot Z_x \quad (21),$$

- koeficient izkoriščenosti kilometrine v delovnem dnevu:

- coefficient of kilometrage utilisation per working day:

$$\beta = \frac{L_t}{L} = \frac{L_{stx} \cdot Z_x}{2L_{stx} \cdot Z_x} = 0,5 \quad (22),$$

- koeficient ničte kilometrine v delovnem dnevu:

- coefficient of zero kilometrage per working day:

$$\omega = \frac{L_n}{L} = \frac{L_{stx}}{2L_{stx} \cdot Z_x} = \frac{1}{2Z_x} \quad (23),$$

- dnevno količino prepeljanega tovora Q po obrazcu (9) in prevozne storitve cestnega vozila v enem dnevu S po obrazcu (10).

V primeru, ko je $Z_x = Z_0 + 1$, se ničti čas za opravljanje ničte kilometrine odšteje od delovnega časa vozila, saj ta ne opravlja polnega kroga, temveč poleg določenega števila krogov obstaja tudi ena prosta vožnja samo v eni smeri.

V tem primeru veljajo obrazci za:

- čas za opravljanje kroga vozila oziroma delo na prevoznih poti:

$$H_n = H_d - \frac{L_{n1} + L_{n2}}{V_p} = H_d - \frac{L_{stx}}{V_p} \quad (24),$$

- čas trajanja kroga: po obrazcu (1),
 - mogoče število krogov v delovnem dnevu: po obrazcu (5),
 - ničta kilometrina vozila v delovnem dnevu: po obrazcu (18),
 - kilometrina vozila s tovorom v delovnem dnevu: po obrazcu (19),
 - kilometrina vozila brez tovora v delovnem dnevu: po obrazcu (8),
 - skupna kilometrina v delovnem dnevu:

$$L = L_{stx}(Z_0 + 1) + L_{stx} \cdot Z_0 + L_{stx} = 2L_{stx}(Z_0 + 1) = 2L_{stx} \cdot Z_x \quad (25).$$

Koeficient izkoriščenosti kilometrine v delovnem dnevu se dobi po obrazcu (22), koeficient ničte kilometrine v delovnem dnevu po obrazcu (23), dnevna količina prevoženega blaga po obrazcu (9) in dnevne transportne storitve po obrazcu (10).

2 MODEL PONAVLJAJOČE SE PREVOZNE POTI S PREVOZOM V OBEH SMEREH

Pri ponavljajoči se prevoznih poti s prevozom tovora v obeh smereh bo cestno vozilo v vsakem krogu opravilo dve vožnji s tovorom. V tem primeru za število voženj v krogu ni pomembno, ali se prevoz začne v terminalu A ali B.

Ne glede na lokacijo avtomobilске baze bo ničta kilometrina enaka dvojni razdalji od avtobaze do mesta, kjer se opravlja prvo nakladanje vozila (sl. 4)[1].

V tem primeru veljajo obrazci za:

- čas trajanja kroga vozila:

$$t_c = \frac{2L_{stx}}{V_p} + 2t_{nr} = \frac{2L_{stx} + 2t_{nr} \cdot V_p}{V_p} = \frac{2(L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)}{V_p} \quad (26),$$

- mogoče število krogov vozila v delovnem dnevu:

$$Z_0 = \frac{H_d - H_n}{t_c} = \frac{H_d - \frac{2L_{n1}}{V_p}}{t_c} = \frac{H_d \cdot V_p - 2L_{n1}}{t_c \cdot V_p} = \frac{H_d \cdot V_p - 2L_{n1}}{2(L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p)} = \frac{\frac{H_d \cdot V_p}{2} - L_{n1}}{L_{stx} + t_{nr} \cdot V_p} \quad (27),$$

- ničta kilometrina v delovnem dnevu:

- amount of cargo carried per working day in $Q[t]$ is acquired from formula (9) and transportation work completed $S[tkm]$ from formula (10).

For the case when $Z_x = Z_0 + 1$ the zero time for the performance of zero kilometrage is subtracted from the vehicle's operation time as the latter does not complete the full cycle but in addition to the number of cycles there is one empty journey.

For this case there is a formula for:

- time for the completion of the vehicle's cycle or work performed on the transportation route:

- duration of cycle: according to formula (1),
 - number of cycles per working day: according to formula (5),
 - zero kilometrage per working day: according to formula (18),
 - loaded vehicle's kilometrage per working day: according to formula (19),
 - light vehicle's kilometrage per working day: according to formula (8),
 - total kilometrage per working day:

The formula for the coefficient of the kilometrage utilisation per working day is (22), the formula for the coefficient of zero kilometrage per working day is (23), the formula for the amount of cargo carried per working day is (9) and the formula for the transportation work is (10).

2 MODEL OF THE REPEATED TRANSPORTATION ROUTE WITH LOADED RUNNING IN BOTH DIRECTIONS

According to the model of the repeated transportation route with loaded running in both directions the road vehicle will make two journeys with cargo in one cycle. In this case it is irrelevant if the travel begins at terminal station A or B.

Regarding the location of the autobase the zero kilometrage will be equal to double the distance from the autobase to the first loading point (figure 4) [1].

Here the formulas are for:

- The duration of a vehicle's cycle:

- Number of cycles possible per working day:

- zero kilometrage per working day:

$$L_n = 2L_{n1} \quad (28),$$
$$L_t = L_{stx} \cdot Z_x = 2L_{stx} \cdot Z_0 \quad (29),$$
$$L_n = 0 \quad (30),$$
$$AL = 2L_{stx} \cdot Z_0 + L_n = L_{stx} \cdot Z_x + 2L_n \quad (31),$$
$$\beta = \frac{L_l}{L} = \frac{L_{sfx} \cdot Z_x}{L_{sry} \cdot Z_y + 2L_{n1}} \quad (32),$$
$$\omega = \frac{L_n}{L} = \frac{2L_{n1}}{2L_{\text{cfs}} \cdot Z_0 + 2L_{n1}} = \frac{L_n}{L_{\text{cfs}} \cdot Z_0 + L_n} \quad (33),$$
$$Q = q(\gamma_1 + \gamma_2)Z_0 = \frac{q \cdot Z_x(\gamma_1 + \gamma_2)}{2} \quad (34),$$
$$S = \frac{q \cdot L_{stx} \cdot Z_x (\gamma_1 + \gamma_2)}{2} \quad (35),$$

γ_1 - koeficient statične izkoriščenosti nosilnosti cestnega vozila v prvi polovici kroga,
 γ_2 - koeficient statične izkoriščenosti nosilnosti cestnega vozila v drugi polovici kroga.

γ_1 , coefficient of static utilisation capacity of the road vehicle in the first half of the cycle,
 γ_2 , coefficient of static utilisation capacity of the road vehicle in the second half of the cycle.

3 CONCLUSIONS

Transportation route modelling in the process of goods transportation is carried out with the stress on the repeated transportation route with cargo transportation in one direction and in both directions.

Glede na očitne probleme v praksi se modelirane različice prevozne poti za primere, ko je avtomobilska baza zunaj prevozne poti in terminalov, zunaj prevozne poti med terminali ter na prevozni poti med terminali.

Analizirani modeli omogočajo optimiranje, načrtovanje in organiziranje gibanja cestnih tovornih vozil pri opravljanju prevozne storitve, analizo prevoznega učinka posameznih cestnih tovornih vozil in na splošno učinkoviteje gospodarjenje na področju njihove uporabe.

Praktična vrednost tega prispevka je predvsem v matematičnih modelih, ki omogočajo ugotavljanje in analizo:

- časa trajanja kroga vožnje cestnega vozila,
- števila krogov cestnega vozila v delovnem dnevu vozila,
- potrebnega časa za vožnjo po t.i. niči prevozni poti,
- časa dela cestnega vozila na prevozni poti,
- skupne kilometrine prevozne poti v delovnem dnevu vozila,
- niče kilometrine cestnega vozila v delovnem dnevu,
- kilometrine s tovorom v delovnem dnevu vozila,
- kilometrine brez tovara v delovnem dnevu vozila,
- količine prevoženega tovara,
- prevozno storitev cestnega vozila v delovnem dnevu,
- koeficient izkoriščenosti kilometrine v delovnem dnevu vozila,
- koeficient niče kilometrine v delovnem dnevu vozila itn.

Taking into account the problems in practice, modelling variants of the transportation route are for cases like autobase outside the transportation route and terminal stations, autobase outside the transportation route between the terminal stations and autobase on the transportation route between the terminal stations.

The analysed models enable the optimising, planning and movement organisation of road cargo vehicles in the transportation process, the analysis of the transportation efficiency of the individual road cargo vehicles and in general more efficient exploitation.

The practical value of this paper is the mathematical models that enable us to establish and analyse:

- the time of road vehicle cycle,
- number of road vehicle cycles per working day,
- travel time on the zero transportation route,
- operation time of road vehicle on the transportation route,
- total kilometrage on the transportation route per working day,
- zero kilometrage of road vehicle per working day,
- loaded kilometrage per working day,
- light kilometrage per working day,
- amount of goods transported,
- transportation work of road vehicle completed in one working day,
- coefficient of kilometrage utilisation per working day of the road vehicle,
- coefficient of zero kilometrage per working day of the road vehicle etc.

4 LITERATURA 4 REFERENCES

- [1] Kolenc, J. (1999) Modeling of the transportation route in the processes of transporting goods. *Proceedings of the 3th International Conference on Traffic Science, ICTS'99*, Portorož, Slovenia.
- [2] Topencarevic, L. (1987) Organization and technology road transportation. *University of Belgrade*, Yugoslavia.
- [3] May, A.D. (1990) Traffic flow fundamentals. *Prentice Hall*, New Jersey, USA.
- [4] Vuchic, V. (1981) Urban public transportation. *Prentice Hall*, New York, USA.
- [5] Mannering, F.L., W.P. Kilareski (1990) Principles of highway engineering and traffic analysis. *J. Wiley & Sons, Inc.*, New York, USA.
- [6] Muller, G. (1995) Intermodal freight transportation. *IANA*, Eno Transportation Foundation, Inc. Landsdowne, USA.
- [7] Kolenc, J. (1998) Organization and technology in the road traffic. *Faculty of Maritime Studies and Transportation*, Portorož, Slovenia.

Avtorjev naslov: prof.dr. Jurij Kolenc
Fakulteta za pomorstvo in promet
Univerza v Ljubljani
Pot pomorščakov 4
6320 Portorož

Author's Address: Prof.Dr. Jurij Kolenc
Faculty of Maritime Studies
and Transportation
University of Ljubljana
Pot pomorščakov 4
6320 Portorož, Slovenia

Prejeto: 19.4.2000
Received:

Sprejeto: 20.12.2000
Accepted:

Računalniško simuliranje postopka kovanja

Computer Simulation of Forging Process

Janez Stupan · Iztok Potrč

V prispevku je obravnavano tridimenzionalno računalniško simuliranje procesa kovanja z računalniškim programom MSC/SuperForge. Kovanje je izrazit proces tridimenzionalne deformacije, med katerim se stalno spreminjajo robni pogoji. Začetna oblika je v večini primerov preprosta, končna oblika pa je lahko zelo zahtevna in se doseže s preoblikovanjem v več stopnjah.

Rezultati simuliranja so; deformirana oblika, temperaturno polje, polje toka materiala, tlaka, dejanske napetosti, dejanskih plastičnih deformacij itn.

© 2000 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: kovanje, deformacije, metode končnih volumnov, tečenje materialov)

This paper deals with three dimensional simulation of forging process performed by the computer code MSC/SuperForge. The process of forging is, by nature, a highly nonlinear and transient process, typically characterized by large 3-D material deformation and continuously changing boundary condition. In most cases the initial billet shape is relatively simple, but final shape of the end product is often geometrically complex, to the extent that it is commonly achieved by employing multiple forming stages.

The results of an analysis is deformed shape, temperature, pressure, effective plastic strain, effective stress, etc.

© 2000 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: forging, deformation, finite volume method, material flow)

0 UVOD

Sedanje stanje analiziranja vzrokov loma utopnega orodja, tečenja materiala in obrabe orodja temelji na praktičnih izkušnjah posameznega tehnologa.

V prispevku je prikazan alternativni postopek analiziranja procesa kovanja z uporabo numeričnega programskega orodja MSC/SuperForge.

Današnje stanje matematičnega in numeričnega modeliranja omogoča v povezavi z zmogljivimi računalniki reševanje takšnih problemov.

Prednost računalniškega simuliranja je prav v tem, da se pri simuliranju ne zgodi fizična porušitev modela in se lahko ta uporabi kolikorkrat želimo. Glede na dejstvo, da je kovanje postopek preoblikovanja z veliko tridimenzionalno materialno deformacijo, ki ga spremljajo spreminjajoči se robni pogoji, je analitično reševanje teh primerov omejeno na nekaj preprostih oblik. Dandanes pa kupci odkovkov zahtevajo vedno zapletenejša oblike.

Tako je v prispevku prikazano načelo računalniškega simuliranja ter posamezni rezultati omenjenega simuliranja. Kovanje v toplem je postopek preoblikovanja jekla pri temperaturi nad 1200°C.

Temperatura v gravuri lahko lokalno zelo niha, in sicer zaradi tlakov v gravuri in zaradi toka materiala. Kakor je znano, jeklo v temperaturnem območju kovanja močno spreminja svoje lastnosti, hkrati pa je kovanje izrazit primer velike plastične deformacije.

Simuliranje kovanja je matematično zasnovan numerični postopek, ki z uporabo računalnika izračuna in prikaže proces preoblikovanja materiala pri kovanju.

Računalniško simuliranje omogoča, da:

- lahko dejanski proces kovanja teoretično preskusimo in optimiramo na podlagi CAD računalniškega modela prve in končne faze utopnega orodja na računalniku že v fazi, preden se izdela utopno orodje,
- za velikoserijske izdelke izvedemo optimiranje oblike gravur in s tem bistveno vplivamo na zmanjšanje problemov in stroškov v proizvodnem procesu.

1 NUMERIČNA METODOLOGIJA

Metoda končnih elementov (MKE) je numerični način reševanja problemov, ki se je v

zadnjih 20 letih razvila v standardno metodo obravnavanja zapletenih nalog elastoplasto-mehanike. Znanih je že več različic metode končnih elementov in metode robnih elementov. V zadnjem času se na področju preoblikovanja vse bolj uveljavlja tudi metoda končnih prostornin.

Osnovne enačbe, ki se rešujejo pri numerični analizi, so:

- enačba ravnotežja:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0 \quad (1)$$

- kriterij tečenja:

$$f(\sigma_{ij}) = C \quad (2)$$

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\frac{3}{2}} (\sigma_{ij}' \sigma_{ij}')^{1/2} = \bar{\sigma}(\bar{\varepsilon}, \dot{\bar{\varepsilon}}) \quad (3)$$

- konstitutivna enačba:

$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{\partial f(\sigma_{ij})}{\partial \sigma_{ij}} \dot{\lambda} \quad \dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{3}{2} \frac{\dot{\bar{\varepsilon}}}{\bar{\sigma}} \sigma_{ij}' \quad (4)$$

- kompatibilnostna enačba:

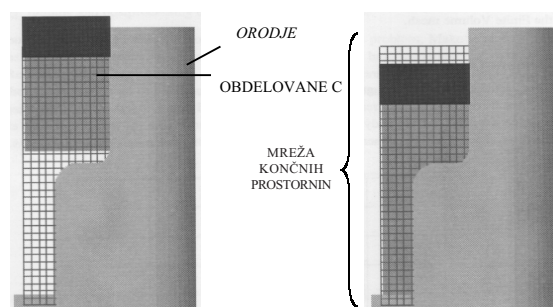
$$\dot{\varepsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (5)$$

1.1 Metoda končnih prostornin (MKV)

Pri metodi končnih prostornin je mreža točk utrjena na določenem mestu v prostoru. Elementi so med seboj povezani s točkami in so del prostora. Material pri analizi preprosto teče skozi mrežo končnih prostornin, masa, moment in energija pa se prenašajo iz enega elementa v drugega. Tako programski paket, ki deluje na načelu metode končnih prostornin, preračunava gibanje materiala skozi element konstantne prostornine.

Pri analizi procesa kovanja deluje orodje kot robni pogoj za tečenje materiala skozi mrežo končnih prostornin.

Vedeti je treba, da moramo pri modeliranju procesa kovanja z metodo končnih prostornin posebno pozornost posvečati samemu modeliranju.



Sl. 1. Osnovni elementi, potrebni za numerično simuliranje

Posebej je treba upoštevati, da se način modeliranja po metodi končnih prostornin močno razlikuje od modeliranja po metodi končnih elementov.

Najpomembnejši vidik modeliranja po metodi končnih prostornin je ta, da se izdelata dovolj velika mreža, tako da material po končani analizi ni zapustil mreže. V primeru, ko mreža ni dovolj velika, se analiza samodejno konča in je takšna analiza vedno napačna.

2 PROCES KOVANJA

Obdelava materiala z deformacijo ima v osnovi dva cilja:

- spremembo začetne oblike v končno obliko,
- spremembo lastnosti materiala.

Pri samem postopku obdelave to pomeni upoštevati tako teorijo plastičnosti, metalurgijo kakor tudi samo proizvodnjo. Kovanje je postopek obdelave z deformiranjem in proučuje odpor materiala ter določa preoblikovalno delo za potek deformiranja, da bi izbrali tako ustrezni stroj kakor tudi obnašanje in dimenzioniranje orodja za omenjeni postopek.

Poleg odpora materiala proti deformaciji se analizirajo tudi termomehanski vplivi, ki omogočajo najboljšo spremembo začetne oblike obdelovanca v končno obliko. Poznavanje termomehanskih razmer pri deformaciji je nujno potrebno za določanje optimalnih režimov tehnološkega postopka. Stanje materiala pred deformacijo in tudi po njej je zelo pomemben parameter v postopku. Poleg kemijske sestave imajo pred začetkom deformacije pomembno vlogo tudi mehanske lastnosti materiala, kristalna struktura, kakovost površine obdelovanca pred deformacijo itn.

Kovanje ima dve značilnosti:

- obdelovanci so izpostavljeni veliki plastični deformaciji, kar se kaže v precejšnji spremembi oblike in prerezov,
- obdelovanec se močno trajno (plastično) deformira, tako da se elastično okrevanje zanemari.

V tehniki kovanja je pomembna pravilna oblika orodja poleg drugih stvari, kot so definiranje deformacijskih mehanizmov postopka. Brez



Sl. 2. Oblika elementa končne prostornine

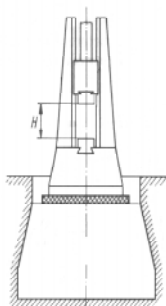
poznavanja vplivov stičnih pogojev, lastnosti materiala in oblike obdelovanca na mehanizem postopka ni mogoče pravilno oblikovati oblike orodja, da bi preprečili mogoče napake. Zato je treba največjo pozornost posvečati modeliranju postopka za računalniško simuliranje. V preteklosti se je razvilo precej metod za simuliranje posameznih preoblikovalnih postopkov.

Pri postopku preoblikovanja se začetna oblika obdelovanca spremeni v želeno obliko oziroma končno obliko. Tečenje materiala, stik med odkovkom in orodjem, nastajanje toplote in prenos toplote med plastičnim tečenjem, razmerje med mikrostrukturo/lastnostmi in parametri postopka je težko napovedati in analizirati. Običajno je treba izvajati preoblikovanje v več stopnjah, tako da je mogoč prehod iz preproste začetne oblike obdelovanca v končno, veliko bolj zahtevno obliko. V posameznih primerih se uporablja tudi predpreoblikovanje, kar pomeni, da se obdelovanec predhodno preoblikuje tako, da se na predpisanem mestu zagotovi ustrezna prostornina materiala.

Postopek kovanja vključuje vse parametre: obdelovanca (geometrijsko obliko, material) izdelavo orodja (geometrijsko obliko, material), stične pogoje obdelovanec - orodje, mehanizme plastične deformacije, uporabljeno opremo, karakteristike končnega izdelka. Postopek kovanja vedno zajema študijo učinka parametrov postopka na kakovost izdelka in ekonomičnost postopka. Ključ do uspešnega postopka preoblikovanja in doseganje želene oblike in lastnosti je poznavanje in nadziranje tečenja materiala. Smer tečenja materiala, velikost deformacije in temperatura močno vplivajo na posamezne komponente preoblikovalnega postopa. Tečenje materiala definira mehanske lastnosti glede na lokalno deformacijo in pojavljanje napak, kakor so razpoke na površini in pod njo.

2.1 Preoblikovalni stroji

Za plastično deformacijo kovinskih surovcev se uporabljajo preoblikovalni stroji, ki se med seboj razlikujejo po konstrukciji, načinu delovanja, vrsti pogona itn. Ne glede na to, ali se

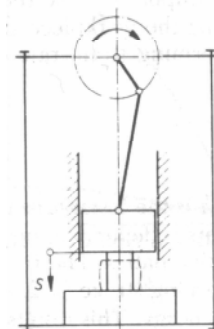


Sl. 3. Shematski prikaz padalnega kladiva

obdelovanci preoblikujejo v celoti ali samo delno oziroma postopoma, pri čemer so preoblikovalna orodja dvodelna, je naloga preoblikovalnega stroja:

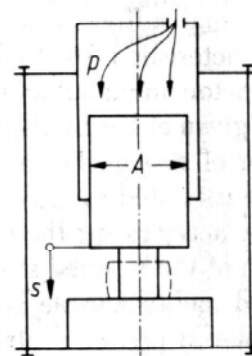
- omogočiti ustrezno relativno gibanje med posameznimi deli orodja in obdelovancem,
- zagotoviti potrebne sile, momente in energijo,
- prevzeti medsebojno vodenje aktivnih delov orodja.

Glavna značilnost padalnega kladiva je njegova kinetična energija v trenutku, ko se kovalo dotakne kovanca. Pri padalnih kladivih je enaka potencialni energiji ovna, dvignjenega do višine H .



Sl. 4. Shematski prikaz ekscentrične stiskalnice

Pri strojih z omejeno silo je njihova karakteristična veličina tlačna sila, ki jo lahko nastavimo. Silo lahko omejimo na poljubno največjo vrednost, pehalo z gibljivim delom pa lahko ustavimo v katerikoli legi.



Sl. 5. Shematski prikaz hidravlične stiskalnice

Načelo delovanja hidravlične stiskalnice je zasnovano na Pascalovem zakonu.

3 NUMERIČNO SIMULIRANJE POSTOPKA KOVANJA

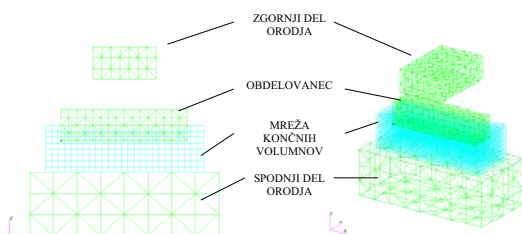
MSC/SuperForge je računalniški program, ki omogoča tridimenzionalno simuliranje za analizo postopka kovanja. Sloni na eksplicitni časovni integraciji ter omogoča, da se izvaja simuliranje za

širok spekter materialov in geometrijske nelinearnosti. Postopek kovanja je po naravi zelo nelinearen in prehodni postopek, tipično opisan z veliko tridimenzionalno deformacijo in stalno spreminjajočih se robnih pogojih. V večini primerov je začetna oblika preprosta, toda končna oblika odkovkov je običajno zahtevna, zaradi česar je potrebno večfazno kovanje. To so glavni razlogi, da je podjetje MSC razvilo program, ki je zasnovan na metodi končnih prostornin, ne pa kakor večina programov, ki so zasnovani na metodi končnih elementov.

Nasprotno kakor pri mreži končnih elementov, ki se med deformacijo spremeni, je računalniška mreža utrjena na nekem izhodišču ter material preprosto teče skozi mrežo končnih prostornin. Ta posebna lastnost naredi MSC SuperForge uporaben za simuliranje velikih materialnih deformacij v postopku kovanja ter hkrati odpravi zahtevo po ponovnem mreženju, ki se običajno pojavi kot glavni problem pri tridimenzionalnem simuliranju s programskimi paketi na temelju MKE.



Sl. 6. Modeli, uporabljeni pri računalniškem simuliranju postopka kovanja



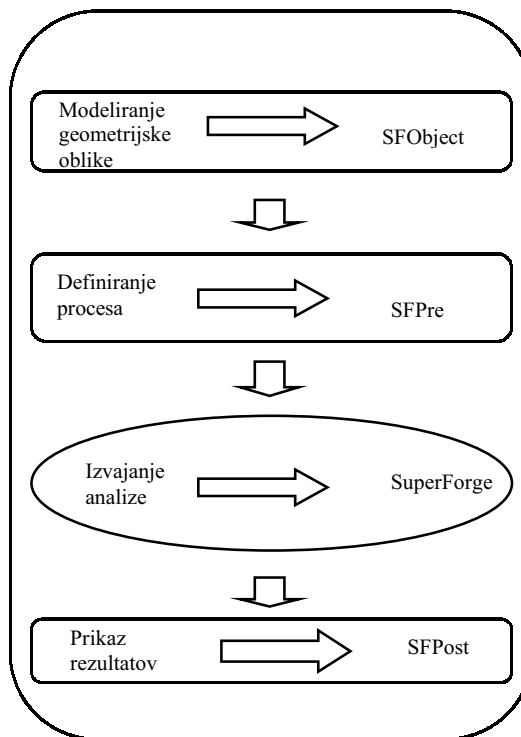
Sl. 7. Prikaz osnovnih elementov pri računalniškem simuliranju

3.1 Modeliranje in mreženje

Prvi korak pri simuliranju kovanja je modeliranje potrebnih delov orodja, obdelovanca in mreže končnih prostornin. Vsak del od naštetih mora biti ločen objekt. Vsak del se najprej modelira in nato zamreži.

Glede na dejstvo, da se orodje med simuliranjem ne deformira, torej je togo, se za mreženje orodja uporablja le površinska mreža. Na enak način, torej s površinsko mrežo, se mreži tudi obdelovanec.

Najpomembnejša zahteva pri mreženju je, da morata biti orodje in tudi obdelovanec mrežen kot zaprta prostorninska mreža, najprej se mreži osnovna



Sl. 8. Postopek izvajanja simuliranja kovanja z MSC/Superforge

geometrijska oblika orodja, šele nato ostale površine orodja. Izvajanje samega simuliranja se lahko v začetni fazi začne z grobo mrežo obdelovanja. Posebej pomembno je, da se mreženje izvaja le z eno obliko elementov. Ti elementi so trikotni površinski elementi TRIA. V zvezi s tem pa je treba upoštevati, da se pri mreženju izvede določena poenostavitev orodja in tudi obdelovanja.

3.2 Določanje parametrov kovanja

Določitev strojev

- ekscentrična stiskalnica
- hidravlična stiskalnica
- padalno kladivo

Določitev materiala

Program upošteva, da je orodje med simuliranjem togo, zato je treba podati le karakteristiko materiala obdelovanja. Mogoč je opis elasto-plastičnega modela materiala. Za kovanje so na voljo specifični materialni modeli.

Pri kovanju nad temperaturo rekristalizacije je vpliv deformacije na napetost tečenja zanemarljiv, medtem ko postane zelo pomemben vpliv stopnje deformacije.

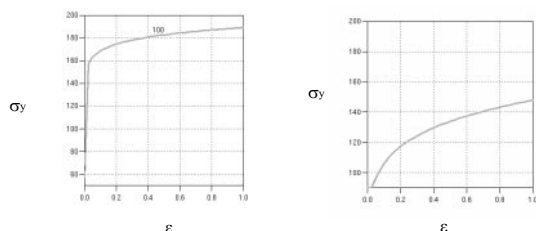
Tako se v predprocesorju (SFPre) lahko določi naslednji materialni model:

$$\sigma_y = \max(S, C\dot{\epsilon}^M \bar{\epsilon}^N) \quad (6),$$

kjer so: C - konstanta tečenja, S - najmanjša napetost tečenja, $\dot{\varepsilon}$ - dejanska hitrost deformacije, $\bar{\varepsilon}$ - dejanska deformacija, M - eksponent stopnje deformacijskega utrjanja, N - eksponent deformacijskega utrjanja.

Za koeficienta C in M pa velja naslednja funkcijska odvisnost:

$$C = C(\bar{\varepsilon}, T) \quad M = M(\bar{\varepsilon}, T) \quad (7).$$



Sl. 9. Potek napetosti tečenja v odvisnosti od izbranega materialnega modela

Trenje

Če sta dve telesi v stiku in sta prisiljeni, da se gibljeta drsno eno ob drugem, se na dotiku zaradi trenja pojavi strižna napetost. Pogoji trenja zelo vplivajo na tok materiala, porazdelitev tlaka in porazdelitev temperature. Lahko se uporabi eden od dveh danih modelov trenja.

Coulombovo trenje: Za operacije kovanja, ki imajo majhne stične tlake med suhima dotikalnima površinama, je priporočljivo uporabiti Coulombov model trenja. Če strižna napetost trenja doseže kritično vrednost, obdelovanec zdrsne po orodju. Po Coulombovem zakonu trenja je ta vrednost podana s:

$$\tau_s = \mu \sigma_n \quad (8),$$

kjer sta: μ - koeficient trenja, σ_n - normalna napetost na dotiku obdelovanec/orodje.

Plastično strižno trenje, v literaturi se pojavlja tudi kot Trescov model trenja.

Tukaj začne obdelovanec drseti po orodju, če strižna napetost trenja prekorači določen faktor m strižne napetosti tečenja pri strigu in je podan s:

$$\tau_s = m \tau_y \quad (9).$$

Vrednost nič prikazuje primer idealnega drsenja, kar pomeni, da ni nikakršnega trenja ali striga na dotiku obdelovanec/orodje. Vrednost ena prikazuje stično trenje in pomeni, da je strižna napetost trenja enaka napetosti tečenja v primeru striga. Za postopke kovanja, ki imajo velike stične pritiske, je bolj primerno uporabljati ta model trenja.

Določitev začetka simuliranja

Ko imamo podane vse potrebne parametre, je treba podati le še začetek simuliranja. V tem koraku

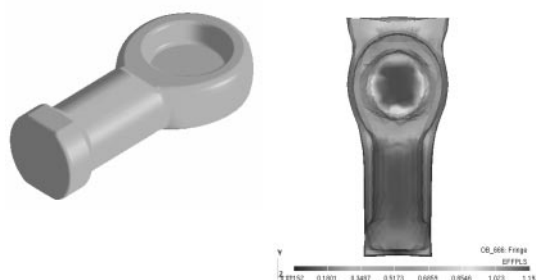
je treba definirati posamezne karakteristike posameznih delov sklopa kovanja. Določi se točka dotika spodnjega dela orodja z obdelovancem ter točka dotika obdelovanca z zgornjim delom orodja. Ko sta ti točki določeni, je vse pripravljeno za začetek analize.

3.3 Analiza rezultatov in prikaz

Prikaz rezultatov se izvaja v modulu postprocesorju (SFPPost). Modul omogoča vnašanje datotek z rezultati in njihov prikaz. Na voljo so naslednje tehnike:

- prikaz deformiranega modela,
- prikaz zahtevanih veličin, kakor so dejanske plastične deformacije, področje temperatur, področje stika, področje tlakov itn.,
- prikaz krivulj, ki povezujejo točke po površini z enakimi vrednostmi določene veličine,
- presečne krivulje,
- animacija.

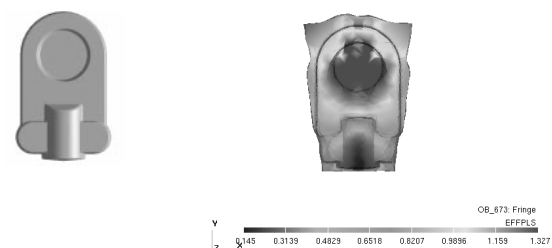
4 PRIMERI ANALIZE ODKOVKOV



a)

b)

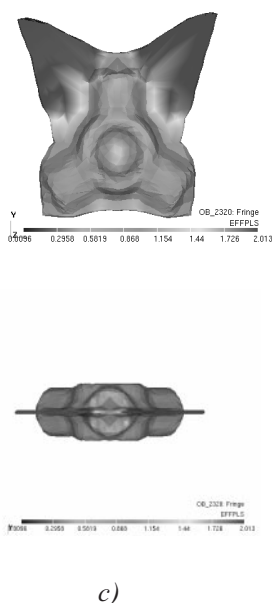
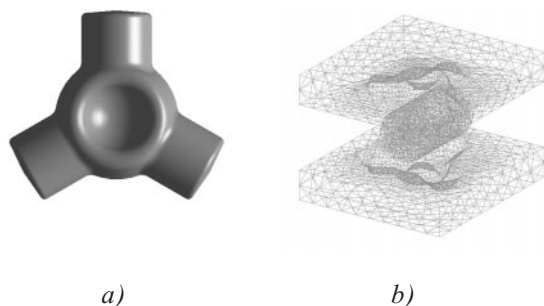
Sl. 9. a) Primer modela ELGES 15168
b) Rezultat simuliranja za ELGES 15168



a)

b)

Sl. 10. a) Primer modela ELGES 15172
b) Rezultat simuliranja za ELGES 15172



Sl. 11. a) Primer modela trionoga
b) Mreži sp. in zg. dela orodja ter obdelovanca
c) Rezultat simuliranja trionoga

5 ANALIZA SIMULIRANJA

V primeru računalniške analize priprave odkovkov smo se omejili le na nekatere primere. Numerično orodje omogoča obravnavanje preoblikovanja obdelovanca od trenutka, ko se vsi deli sklopa medsebojno dotaknejo, pa do trenutka, ko se faza kovanja konča. Odmika zgornjega dela orodja po fazi kovanja program ne upošteva. Čeprav traja faza kovanja le delček sekunde, se lahko ta čas razdeli na več korakov, tako da je mogoče spremljati deformacijo obdelovanca med kovanjem v več korakih. Posamezni koraki so shranjeni v datotekah, ki jih je treba le vnesti v poprocesor. Pri vsakem koraku so na voljo zahtevani rezultati stika, temperature, tlakov in deformacij. Tako je omogočeno podrobno spremljanje spreminjanja omenjenih parametrov. Seveda pa je boljše rezultate mogoče dobiti z drobnejšo mrežo.

Preglednica 1. Rezultati simuliranja odkovka ELGES 15172

		EFFSTS MPa	EFFPLS
1 korak	MIN	24,8	0
	MAKS	143	0,31
2 korak	MIN	57,3	0
	MAKS	147,9	0,69
3 korak	MIN	56,5	0,003
	MAKS	157,2	1,27
4 korak	MIN	117,2	0,14
	MAKS	151,1	1,46
5 korak	MIN	101,1	0,22
	MAKS	146	1,58
6 korak	MIN	71,4	0,24
	MAKS	143,7	1,64

Osnovne prednosti računalniškega simuliranja so:

- izboljšanje proizvodnih parametrov postopka kovanja,
- boljše in kakovostnejše razumevanje tečenja materiala,
- boljši vpogled v postopek preoblikovanja,
- zmanjšanje neizpolnenosti in gub,
- možnosti za analiziranje lomov orodja,
- izboljšanje tehnoloških parametrov postopka.

Poglaviti problem pri tem simuliranju je, da na voljo ni ustreznih materialnih podatkov, saj je spekter materialov za kovanje dokaj velik. Drugi glavni problem pa je ustrezna računalniška oprema.

Ker se pri postopku kovanja pretvarja začetna oblika obdelovanca v končno obliko, ki mora imeti določeno obliko in izmero, se lahko z uporabo programa te izmere preverijo. Prav tako pa je mogoče iz analize sklepati na izpolnjenost gravur. Točnost teh rezultatov je odvisna od gostote mreže končnih prostornin.

6 SKLEP

V praktičnih primerih, ko imamo zapletene geometrijske oblike, je analitično reševanje neizvedljivo, zato je primerno uporabiti računalniško simuliranje analiziranja postopka kovanja. Omeniti velja tudi, da je eksperimentalno nadziranje postopka kovanja izredno zahtevno in težavno, saj je temperatura obdelovanca nad 1200 °C, proces pa zelo sunkovit. Numerični del raziskave se je izvedel na FS Maribor v laboratoriju za transportne naprave, sisteme in logistiko. Eksperimentalni del raziskave je bil izveden v podjetju Unior d.d.. V prispevku smo želeli prikazati postopek h celoviti analizi simuliranja postopka kovanja. Vse analize in simuliranja so bile izvedene s komercialnim programskim orodjem MSC/SuperForge, ki temelji na metodi končnih prostornin (MKV), na HP 9000-712/60, 128 MB RAM. Še posebej

je treba poudariti, da je to najmanjša potrebna konfiguracija za podporo uporabljenemu programu. V primeru zahtevnejših analiz so zahteve po RAM-u znatno večje. Z računalniškim simuliranjem pa postane postopek kovanja veliko bolj nadzorovan, saj je mogoče s spreminjanjem vhodnih karakteristik vplivati na postopek in opazovati posledice sprememb.

Za določeni material obdelovanca se lahko spreminja geometrija modela, gostota mreže vseh delov, ki so potrebni za simulacijo, kinematika preoblikovalnih strojev, s tem pa tudi hitrost deformacije.

Za uspešno opravljeno računalniško simulacijo postopka kovanja je potrebno:

- numerično orodje,
- ustrezna strojna računalniška oprema,
- ustrezne baze podatkov materialnih lastnosti,
- poznavanje kinematike preoblikovalnih strojev,
- pravilni pristop k modeliranju postopka kovanja.

V tehničnem načinu obravnavanja problema kovanja si vedno prizadevamo za poenostavitve s

poudarkom na obravnavanju posebnih zahtev, ki odločilno vplivajo na kakovost simulacije. Moramo se zavedati, da je takšno delo zelo zahtevno in je v veliki meri odvisno od stopnje poznavanja in razumevanja na eni strani ter možnosti za čim bolj celovito upoštevanje pomembnih vplivov na postopek kovanja na drugi. Medtem ko tako poznavanje kot tudi razumevanje problema temeljita predvsem na pridobljenem znanju, izkušnjah in sposobnostih intuitivnega razmišljanja, je upoštevanje vpliva posameznih parametrov v veliki meri vezano na identifikacijo dejavnika samega, nato pa še na analizo njegove vplivnosti. Prav zaradi pomanjkljivosti, ki izhajajo iz človekove omejene zmožnosti intuitivne analize tako zapletenega problema, so možnosti, ki jih ponuja računalniško podprto izvajanje inženirskih analiz, zelo velike.

Omeniti velja, da so računalniško pridobljene izkušnje vredne prav toliko kot empirične (preizkusi) ter so največkrat cenejše in vsebinsko izrazitejše.

7 SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

$^{\circ}\text{C}$	temperatura v stopinjah Celzija	$\dot{\epsilon}$	dejanska hitrost deformacije
$\dot{\epsilon}_{ij}$	tenzor deformacijske hitrosti	ϵ_{ij}	deformacijski tenzor
u_i	komponente hitrosti	$\bar{\epsilon}$	dejanska deformacija
σ_{ij}	napetostni tenzor	M	eksponent hitrosti deformacije
$f(\sigma_{ij})$	funkcija tečenja	N	eksponent deformacijskega utrjanja
σ_y	napetost tečenja	τ_s	strižna napetost
n	koefficient deformacijskega utrjanja	μ	koefficient trenja
H	višina	σ_n	normalna napetost
C	konstanta tečenja	m	faktor strižne napetosti
S	najmanjša napetost tečenja	τ_y	strižna napetost tečenja

8 LITERATURA

- [1] Dieter, E. G. (1998) *Mechanical metallurgy*, McGraw-Hill Book Company, UK.
- [2] Gologranc, F. (1987) *Uvod v preoblikovanje*. Ljubljana.
- [3] Gologranc, F. (1991) *Preoblikovanje*. Ljubljana.
- [4] Kobayashi, S., O. Sook-Ik, A. Taylan A. (1989) *Metal forming and the finite element metode*. Oxford University Press.
- [5] Lange, K. (1985) *Handbook of metal forming*. USA Michigan Dearborn.
- [6] MSC/SuperForge user's manual. *The MacNeal-Schwendler Corp.*, Los Angeles, CA 1998.

Naslova avtorjev: mag. Janez Stupan
UNIOR d.d.
Kovaška cesta 10
3214 Zreče

prof.dr. Iztok Potrč
Fakulteta za strojništvo
Univerza v Mariboru
Smetanova 17
2000 Maribor

Prejeto: 7.3.2000
Received:

Sprejeto: 20.12.2000
Accepted:

Poročila

Reports

Mednarodna konferenca IPCB 2000 - International Building Physics Conference

Mednarodna konferenca »IPBC 2000 – International Building Physics Conference« je bila v času od 18. –21. septembra 2000 v Eindhovnu, Nizozemska. Iz Slovenije so se udeležili konference P. Novak, S. Medved in A. Krainer. Konference se je udeležilo nad 200 ljudi. Predstavili so 89 referatov in 10 posterjev. Poleg tega so bile organizirane še tri delavnice, in sicer: delavnica za doktorante (12 predstavitev tez za doktorate ali pravkar končanih doktoratov), za univerzitetno izobraževanje (šest predstavitev, med njimi tudi CD S. Medveda) in delavnica delovne skupine CIB 51 – akustika (18 predstavitev). Večina materiala je natisnjenega v zborniku, ki ga lahko dobite v knjižnici FS v Ljubljani. Referati iz akustike so na internetu <http://www.cibworld.nl>.

Glavne teme konference so bile: prenos toplote in vlage skozi ovoj stavbe, simulacija stavb in sistemov, razsvetljava, IAQ, akustika in predstavitev sklepov delovne skupine IEA Annex 32. Skupina je delala tri leta in na koncu pripravila štiri poročila, od katerih so tri že natisnjena (naslove navajamo v izvirniku: Building Envelopes in a Holistic Perspective; Development and Optimization of Building Envelopes for Existing and New Buildings; Advanced Envelopes), četrta z naslovom Whole Envelope Performance Rating and Laboratory Measurements pa bo izšla do konca leta. Vse knjige je mogoče naročiti pri zastopniku IEA v Sloveniji (Mladinska knjiga) ali neposredno prek interneta.

Konferenca je bila zanimiva iz dveh razlogov: prvič ugotovili smo, da v Sloveniji niti pri raziskavah niti pri razvoju ne zaostajamo za najbolj razvitimi v svetu; drugič, s predstavitvijo CD Gradbena fizika, ki je bil razvit za TERMO Škofja Loka in se zelo uspešno uporablja pri pouku na univerzi in v praksi, smo dokazali, da se lahko na tem področju uvrščamo med vodilne. Edino, kar nas zadržuje, so zastareli predpisi za toplotno zaščito stavb. Ustanovljeno je bilo tudi mednarodno društvo za gradbeno fiziko. Sestal se je tudi zbor univerzitetnih učiteljev gradbene fizike s ciljem, da v največji možni meri uskladi univerzitetne programe s področja gradbene fizike in tehničnih instalacij v stavbah. Člana tega zbora sta med drugimi tudi P. Novak in S. Medved.

TEHNIŠKE UNIVERZE EVROPE USKLAJUJEJO SVOJE PROGRAME NA PODROČJU KLIMATIZACIJE, GRETJA IN HLAJENJA (KGH) IN TEHNOLOGIJ ZA OKOLJE.

V okviru konference ENERGY for BUILDINGS, ki je bila v času med 21. in 22. septembrom 2000 v glavnem mestu Litve, Vilni so se sestali predstavniki tehniških univerz Litve, Latvije, Poljske, Rusije, Češke, Švedske, Finske, Slovaške, Velike Britanije in Slovenije ter izmenjali programe izobraževanja. V razpravi, ki je sledila je bilo soglasno dogovorjeno, da je potrebno bolj organizirano obveščanje o možnostih medfakultetne izmenjave. Slovenske tehniške fakultete, ki imajo pouk s tega področja sta zastopala J. Krope iz Maribora in P. Novak, ki je podal informacijo o stanju v Ljubljani. Kot podpredsednik REHVA-e (Evropske federacije društev za ogrevanje in klimatizacijo), je P. Novak zadolžen za zbliževanje teh univerzitetnih programov. Posebej je bil izpostavljen problem možnosti za objavljanje znanstvenih člankov mladih raziskovalcev, ki čakajo na objavo tudi po eno leto in več ter zato ne morejo pravočasno doktorirati ali magistrirati. Ugotovljeno je bilo, da Evropa potrebuje novo znanstveno revijo s področja »Building Services« ali vsaj KGH. Na predlog P. Novaka je bila sprejeta ideja, da tako revijo ustanovi in izdaja REHVA. Vsi profesorji in/ali vodje kateder so ponudili svoje sodelovanje pri urejanju in recenziranju. S tem se bo zmanjšal čas za objavo, Evropa pa bo dobila ustrezen znanstveni časopis na področju, ki trenutno ni celovito pokrito.

Na sestanku se je tudi pokazalo, da so mnoge univerze že uskladile svoje programe z zahtevami programa Socrates in Erazem in pripravile zelo kakovostne pisne materiale za tuje študente. V Ljubljani žal s tem močno kasnimo.

Na sami konferenci, z več ko 150 udeleženci, so iz Slovenije predstavili svoje dosežke J. Krope (daljinsko ogrevanje), M. Prek (izračun srednje sevalne temperature) in P. Novak (izpodrivno prezračevanje za boljšo kakovost zraka). Udeležencem konference je bil predstavljen tudi CD s programi za dimenzioniranje vpihovalnih rešetk, glušnikov zvoka in požarnih loput (razvit v okviru IMP-KLIMA, Idrija). Gradivo je na voljo v knjižnici FS v Ljubljani.

prof.dr. Peter Novak

22. mednarodni dunajski simpozij o motorjih z notranjim zgorevanjem 22th International Vienna Motor Symposium

AVSTRIJSKO DRUŠTVO AVTOMOBILSKIH
INŽENIRJEV (ÖVK)
INŠTITUT ZA MOTORJE Z NOTRANJIM
ZGOREVANJEM IN AVTOMOBILSKI INŽINIRING
NA TEHNIŠKI UNIVERZI NA DUNAJU

AUSTRIAN SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGI-
NEERS (ÖVK)
INSTITUTE FOR INTERNAL COMBUSTION
ENGINES AND AUTOMOTIVE ENGINEERING,
TECHNICAL UNIVERSITY VIENNA

POVABILO na

INVITATION to the

22. MEDNARODNI DUNAJSKI SIMPOZIJ O MOTORJIH z okvirnim programom:

- Novi motorji iz Evrope, ZDA in Japonske
- Nova spoznanja na področjih:
 - Simulacije
 - Aplikacije
 - Prenos toplote
 - Vbrizgovanje goriva
 - Neposredno vbrizgovanje bencina
 - Razvoj dizelskih motorjev
 - Naknadna obdelava izpušnih plinov
- Nove zasnove razvoja motorjev
- Novi sistemi tlačne polnitve motorjev
- Formula 1 - nove rešitve
- Nove strategije

Ob simpoziju bo odprta tudi razstava novih motorjev in komponent.

Simpozij se bo odvijal :
od četrta 26. aprila 2001 (8.00 - 18.00)
do petka 27. aprila 2001 (8.30 - 17.45)
v Konferenčnem centru Hofburg na Dunaju,
Heidenplatz, Avstrija
Direktor kongresa: Prof. Dr. H. P. Lenz

Naslovi za stike in informacije: Mrs. A. Neider
Tel: 0043 1 588 01/31503
Telefax: 0043 1 586 62 94
email: OEVK@ivkwww.tuwien.ac.at
<http://ivkwww.tuwien.ac.at/oevk.html>

22TH INTERNATIONAL VIENNA MOTOR SYMPO- SIUM

- New engines from Europe, USA and Japan
- New findings in the field of:
 - Simulation
 - Application
 - Heat Management
 - Diesel Injection
 - Gasoline Direct Injection
 - Diesel Engine Development
 - Exhaust gas Aftertreatment
- Engine Development Concepts and Potentials
- New Supercharging Systems
- Formula 1 - Applications
- Future Strategies

and Exhibition of New Engine and Components.

Symposium will take place:
from Thursday, 26th April, 2001 (8.00 - 18.00)
till Friday, 27th April, 2001 (8.30 - 17.45)
at the Conference Center Hofburg Vienna
Heidenplatz, Vienna, Austria
Chairman: Prof. Dr. H. P. Lenz

Important addresses: Mrs. A. Neider
Tel.: 0043 1 588 01 31503
Telefax: 0043 1 686 62 94
email: OEVK@ivkwww.tuwien.ac.at
<http://ivkwww.tuwien.ac.at/oevk.html>

Strokovna literatura

Professional Literature

Nove knjige

Edward Elgar Publishing Ltd, Cheltenham Glos

Darmer, M., Kuyper, L.: Industry and the European Union, ca. 416 str., 65,00 GBP;

Jing-Ming Zhou: Sustainable development in Asia, America and Europe with global applications, ca. 464 str., 69,95 GBP;

Gale, F.P., M'Gonigle R.M.: Nature, production, power, ca. 272 str., 55,00 GBP;

Stevens, P.: The economics of energy, ca. 1.200 str., 265,00 GBP.

The Eurospan Group, London

Samad, T.: Perspectives in control engineering, 512 str., 79,95 GBP;

Vincze M., Hager, G.D.: Robust vision for vision-based control of motion, 272 str., 47,95 GBP;

Ying, H.: Fuzzy control and modeling, 352 str., 71,95 GBP;

Braude, E.J.: Software engineering, 400 str., 55,95 GBP;
O'Neil H.F., Andrews D.H.: Aircrew training, 344 str., 75,95 GBP;

Trefethen, L.N.: Spectral methods in Matlab, 184 str., 28,95 GBP.

American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston

Wie, B.: Space vehicle dynamics and control, 661 str., 84,95 USD.

John Wiley & Sons Limited, Chichester

Stauffer, D., Chowdhury, D.: Principles of equilibrium statistical mechanics, ca. 400 str., 50,00 GBP.

Iz revij

IZ DOMAČIH REVIJ

Elektrotehniški vestnik, Ljubljana

2000, 2

Kobav, M.B., Žunko, P., Papič, I., Bizjak, G.: Možnosti znižanja koničnega odjema moči

Bergelj, F.: Merilna negotovost jalove moči (energije) v dvosistemskem trifaznem vodju

Svečko, R., Chowdhury, A., Bolčina, M., Tušek, R.: Computer controlled machine for cutting expanded Polystyrene

Materiali in tehnologije, Ljubljana

2000, 3-4

Roth, J., Bizjak, M., Kosec, L.: Temperaturna nestabilnost mikrostrukturnih sestavin v zlitinah Ag-Te in Ag-Se

Kaker, H., Buhvald, A., Perovnik, V.: Meritev debeline tankih plasti v SEM s signalom povratno sipanih elektronov

Kosmač, A., Kozjek, T., Ilić, S.: Meritve temperaturnega polja na površini kontilitih slabov iz avstenitnega nerjavnega jekla

Cvahte, P., Fajfar, P., Arzenšek, B., Rodič, T.: Numerična in eksperimentalna analiza vlečenja aluminijeve zlitine 6262

Organizacija, Maribor, Kranj

2000, 6

Dimovski, V., Korelc, V.: Prispodoba organizacije kot možganov

Vukovič, G., Jesenko, M.: Vrednote in cilji vodilnih delavcev – interkulturalna primerjalna študija

Potkonjak, P., Leskovic, R., Lazarevič, Z.: Razvoj sistema planiranja v založniški dejavnosti

Sporočila Urada za standardizacijo in meroslovje, Ljubljana

2000, 9

Tasić, T.: Zahteve za programsko opremo zakonskih meril

Vakuumist, Ljubljana

2000, 2

Južnič, S.: Merjenje tlaka v vakuumski tehniki

Varilna tehnika, Ljubljana

2000, 2

Rihar, G.: Razvoj na področju gradnje cevovodov

Vestnik, Ljubljana

2000, 6-7

Mihovec, G., Marentič Požarnik, B.: Kako vzpodbujati kakovost študija

Komac, N.: Ženske / znanstvenice na UL

IZ TUJIH REVIJ

Strojarstvo, Zagreb

1999, 5-6

Detiček, E.: An intelligent position control of electro-hydraulic linear drive

Ninić, N., Podrug, S., Jelaska D.: Proračun nestacionarnog temperaturnog polja metodom kontrolnih volumena s kompenzacijom rubnih uvjeta

Starbek, M., Kušar, J.: Production planning and control system selection

Šercer, M., Runjić-Sokele, M., Dobranić, J.: Mikrotehnika i nanotehnika

CDA

Condizionamento dell'aria Riscaldamento Refrigerazione, Milano

2000, 6

Cotana, F.: La conservazione di una vetrata storico-artistica

2000, 7

Corgnati, S.P., Fracastoro, G.V., Perino, M.: Un metodo di calcolo per il dimensionamento dei soffitti radianti per il raffrescamento estivo

Meroni, I., Lollini, R., Pollastro, C., Valentini, F.: Diagnosi e gestione dei parametri ambientali nei musei

2000, 8

Bellia, L., Minichiello, F., Palma, D.: Formazione di condensa negli involucri edilizi in base alla norma italiana uni 10350

Schibuola, L.: I sistemi essiccanti ad alta efficienza nella climatizzazione

Eisenbahn Österreich, Wien

2000, 8

Meyer, M., Roth, M., Schaller, B.: Einfluss der Fahrweise und der Betriebssituation auf den Energieverbrauch von Reisezügen

Frauenfelder, W.: Einflüsse auf den Energieverbrauch der Züge am Lötchberg

European Production Engineering, München

2000, July

Lüthens, P., Mushardt, H.: Hard turning or grinding? Gräbener, L.: Shorter tryout times for metal-forming dies

Bliedtner, J., Müller, H., Wolff, D., Dirk, J., Heyse, T., Günter, M.: Diode lasers weld deep

Manganelli, M.: Scanning systems measure actuality

HLH

Heizung Lüftung/Klima Haustechnik, Düsseldorf

2000, 6

Glück, B. Wassertemperaturen und Aufheizzeiten von Fußbodenheizungen mit Estrichverlegung

Hunfeld, R., Gores, I., Fitzner, K.: Die neue VDI 2067

2000, 7

Kaup, C.: Ultraviolettstrahlung zur Luftdesinfektion in RLT-Geräten

Felsman, C., Knabe, G.: Optimierung der

Betriebsweise raumluftechnischer Anlagen

Philip Leistner, Meneghin, G., Sklenak, B.: Aktive Schalldämpfer für Raumklimageräte

Pfafferoth, J.: Auslegung und Betrieb von Erdwärmetauschern

Hacker, G., Keller, P.: Platinsensoren für die Wärmemengenmessung

2000, 8

Loose, P.: Auslegung von Heizflächen bei geringer Heizlast

Carolus, T., Stremel, M.: Sichelschaufeln bei Axialventilatoren

IDR, Industrie Diamanten Rundschau, Willich

2000, 2

Konstanty, J.: Diamantbindungs- und Matrixverschleißmechanismen beim Sägen von Naturstein

Klocke, F., Rübenach, O.: Ultraschallunterstütztes Drehen von Glas und Stahl mit Diamant

Brinksmeier, E., Heinzl, C., Wittmann, M.: Effektive Zuführung des Kühlschmierstoffs beim Schleifen

IDR, Industrial Diamond Review, Ascot

2000, 2

Knuefermann, M.M.W., Read, R.F.J., Nunn, R., Clark, I.E., Fleming, M.A.: Ultra-precision turning of hardened steel with AMBORITE DBN45 on the DeltaTurn40 lathe

Christoffel, J.: Development trends in the machining of bores

Klocke, F., Gerent, O., Pähler, D., Jakob, A.: Flat rates on future silicon wafers: precision grinding

Magdeburger, Magdeburg

2000, 1

Hanselka, H.: Die Adaptronik als Schlüsseltechnologie für den intelligenten Leichtbau

MEMOIRS, Kobe

1998, No. 45

Takebayashi, H., Moriyama, M., Kishima, K., Miyazaki, H.: Improvement effects of indoor thermal environment by means of solar-chimney type toplight

Renewable Energy World, London

2000, 5-6

Grassi, G.: Bioethanol – Industrial world perspectives
Henriksen, C.: The bigger view – optimizing solar energy use in large buildings

2000, 7-8

Geyer, M., Quaschnig, V.: Solar thermal power – the seamless solar link to the conventional power world

Wheeler, P.: Commercial and strategic perspectives for anaerobic digestion

Ocene knjig

Rolf Fischer: Elektrische Maschinen

Zal.: Carl Hanser Verlag, München, 10. pred. izd. 2000.

Obseg: format 16 x 23 cm, 409 strani, 462 slik.

Cena je 49,80 DEM.

Za študij električnih strojev je zelo pomembno poznavanje osnovnih zakonitosti teorije elektromagnetnih polj in dober pregled poglavitnih lastnosti sodobnih magnetnih materialov.

V knjigi je avtor v uvodnem delu opisal zgradbo, principe delovanja in pogonske lastnosti električnih strojev – generatorjev, motorjev in transformatorjev.

Težišče obravnave različnih tipov in izvedb elektromotorjev je analiza postopka krmiljenja vrtilne frekvence (števila vrtljajev v enoti časa). Ta knjiga je namenjena v prvi vrsti kot vzporedni, oziroma dopolnilni učbenik na visokih inženirskih strokovnih šolah in kot pomožna dopolnilna literatura za inženirje elektrotehnike in strojništva, ki se v praksi srečujejo s tovrstno problematiko.

Ta, že deseta izdaja knjige je v celoti predelana, posodobljena in dopolnjena z izračuni, s katerimi je ponazorjeno sodobno reševanje tipičnih nalog, ki so porazdeljene po posameznih poglavjih knjige. Založba HANSER ponuja na svoji spletni strani **www.hanser.de** svoje sodobne učbenike s sorodnih področij.

D. Kelšin

A. Hederer – K. Metzger – F. Hillenbrand – E. König: Elektromotorenprüfung

Zal.: Expert Verlag, GmbH, Renningen – Malmshheim 1999.

Obseg: format 15x 21 cm, 134 strani.

Cena je 58 DEM.

Knjiga obravnava številne možne in potrebne postopke preskušanja elektromotorjev in pogonskih sestavov. Pri podajanju snovi so upoštevane zahteve, ki jih določajo iz normativnih aktov in zakonskih predpisov, namenjenih predvsem zagotavljanju kakovosti končnih izdelkov.

Različni pogoji poskusov pri razvoju, načrtovanju, oziroma snovanju novih modelov elektromotorjev v raziskovalnih in razvojnih laboratorijih pri uporabi specifičnih testov pogonskih sestavov na preskuševališču, kakor tudi pri poskusnih meritvah posameznih meritvah motorjev, so opisani pri posameznih metodah. Upoštevane so posebnosti posameznih uveljavljenih metod

preskušanja in tipične izvedbe ustreznih preskuševališč.

Za univerzalne testne metode elektromotorjev in elektromotornih pogonskih sestavov je opisano standardno preskuševališče z gredjo za merjenje vrtilnega momenta in stroj za zagotavljanje zavornega momenta. Pri tem so upoštevani kriteriji za zagotavljanje kakovosti (QA). Temu sledi opis testnih metod, ki so podprte z ustreznim računalniškim modeliranjem.

Kratka vsebina knjige je:

Pomen pogonske tehnike, uporaba ustreznih merilnih veličin in zakonitih merskih enot, merilna dinamika in zaznavala. Izvedbe in možnosti, ki jih omogočajo običajna preskuševališča. Opisane so osnove metod za identifikacijo parametrov (postopki PI) identifikacije (določanje parametrov sinhronih in asinhronih izmeničnih električnih strojev). Sledijo metode klasifikacije strojev glede na akustične lastnosti v običajnih razmerah obratovanja.

Pričujoča knjiga je namenjena v prvi vrsti inženirjem in tehnikom v razvojnih obratih, preskuševališčih in v obratih končnega "nadzora" elektromotorjev in elektromotornih pogonov. Pri vseh testih in merilnih metodah je vselej poudarjena skrb za zagotavljanje ustrezne kakovosti.

D. Kelšin

Lothar Ophey in 14 soavtorjev: Trockenbearbeitung

Zal.: Expert Verlag, GmbH, Renningen – Malmshheim 1998.

Obseg: format 14,5x 21 cm, 205 strani, 153 slik, 17 preglednic.

Cena je 69 DEM.

Sredstava za hlajenje in mazanje (HMS) so še dandanes v večini primerov temeljni element obdelovalnega procesa in imajo večplastno nalogo pri odrezovanju. Vendar imajo pri tem, gledano z ekološkega vidika, tudi vrsto pomanjkljivosti, ki so neposredno povezane z njihovo uporabo. Izhajajoč iz omenjenih dejstev pričujoča knjiga podaja pregled aktualnega stanja znanosti in tehnike na področju obdelave kovinskih materialov brez uporabe HMS. Skozi 11 skrbno oblikovanih poglavij predloča bralcu:

- tehnološke osnove t.i. suhega rezanja,
- konstruktivne domneve k realizaciji suhega rezanja, možnosti in skrajne meje posameznih kombinacij obdelovani material in orodje,
- izbiro rezalnega materiala – vpliv mehanizma odrezavanja na rezalni material,
- primere uspešne uporabe različnih tehnologij

- obdelave,
– alternative k uporabi običajnih HMS – tehnika dovajanja minimalne količine HMS.

Skozi praktične primere so bralcu predstavljene možnosti suhega rezanja pri različnih tehnologijah odrezovanja (struženje, vrtanje in frezanje). Pri tem so obravnavani posamezni učinki materiala orodja in parametrov obdelave na obstojnost orodja ter kakovost izdelka.

Knjižica je zanimiva za strokovnjake na področju načrtovanja in priprave proizvodnje pa tudi za vodje obratov, vodje proizvodnje in delovodje v kovinsko-predelovalni industriji. Vsekakor pa bo knjižica doborodošlo dopolnilno gradivo študentom strojništva za boljše razumevanje novih usmeritev tako pri razvoju orodij kakor tudi postopkov obdelave ter ustrezne opreme.

M. Soković

F. Rieg – R. Hackenschmidt: Finite Elemente Analyse für Ingenieure

Zal.: Carl Hanser Verlag, München, Wien 2000.

Obseg: format 16,5 x 3,5 cm, X + 367 strani, 202 slike, 11 preglednic, 34 referenc.

Cena je 98 DEM.

Prvi avtor Frank Rieg je od leta 1998 redni profesor za konstruiranje in računalniško podprto konstruiranje na Univerzi Bayreuth, drugi avtor Reinhard Hackenschmidt pa je od leta 1998 znanstveni svetnik na Univerzi. Oba imata dolgoletne izkušnje v industriji.

Knjiga je razdeljena na trinajst poglavij. V prvih poglavjih avtorja predstavi osnove elastomehanike, medtem ko od četrtega do devetega poglavja obravnavata orodja in osnove končnih elementov. V devetem poglavju predstavi osnove in instalacijo programa končnih elementov Z88 na sistem Windows NT/95/98 in na sistem UNIX, za katerega v desetem in enajstem poglavju predstavi navodila za uporabo programa. V dvanajstem

poglavju predstavi različne končne elemente. Trinajsto poglavje na 90 straneh podaja mnogo praktičnih primerov uporabe predstavljenega programa, priložen je tudi CD-ROM z mnogo praktičnih primerov.

Knjiga je namenjena inženirjem v praksi in tudi študentom tehniških fakultet.

F. Kosel

D. Tornau in 3 soavtorji: Kühlschmierstoffe und Anlagen

Zal.: Expert Verlag, GmbH, Renningen – Malmshheim 1999.

Obseg: format 15x 21 cm, 215 strani, 154 slik, 82 literaturnih podatkov..

Cena je 76 DEM.

Vsebina knjige je podana v 11 poglavjih, v katerih so posamezni avtorji obdelali najprej osnovne pojme hladilnih tekočin v primerjavi z mazanjem in čiščenjem površin po različnih obdelavah. V knjigi so zelo dobro obdelani problemi, ki so povezani s procesom hlajenja površin v stiku med orodjem in obdelovancem, opisane so izvedbene konstrukcije hladilnih, mazalnih in naprav za filtriranje hladilnih tekočin. Knjiga vsebuje veliko praktičnih rešitev in podatkov, ki jih lahko vsak strokovnjak s tega področja koristno uporabi pri svojem delu. Celotna vsebina knjige je zelo pregledna in jasno napisana, tako da bralcu omogoča hitro razumevanje dokaj zapletenih problemov pri pripravi, uporabi in uničenju uporabljenih hladilnih tekočin. Zelo potrebno je poudariti, da je v knjigi eno poglavje posvečeno zdravstvenim težavam pri uporabi hladilnih tekočin. Knjigo priporočam vsem inženirjem in drugim strokovnjakom, ki se ukvarjajo z uporabo hladilnih tekočin in s konstruiranjem naprav za dovajanje, filtriranje in skladiščenje hladilnih tekočin.

J. Vižintin

Osebnosti

Personal Events

Ob osemdesetih letih profesorja dr. Franca Gologranca

Profesorja Gologranca sem prvič srečal pri predavanju na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani daljnjega leta 1963. Ker sem odraščal v Zrečah, se mi je zdelo zelo čudno, ko je nekatere besede potegnil prav »po naše«. Kasneje sem izvedel, da je doma iz Slovenskih Konjic, to je kraja, ki je 6 km oddaljen od Zreč.

Razumljivo je, da sem pri tedanjem docentu Golograncu dvignil diplomsko nalogo, a ne zato, ker je bil domačin, ampak, ker je predaval o teoriji in strojih za preoblikovanje. Razgovor o temi je bil zelo kratek: »Ker ste štipendist UNIORJA, tam pa kujejo ogromno ojnec, se poglobite v kovaško valjanje, to je tehnologijo za vzdolžno razporejanje materiala za kasnejše utopno kovanje.« Na podlagi te moje diplomske naloge je UNIOR kupil prvi valjalni stroj z orodji za valjanje ojnec za FIAT 600. Kovaško valjanje me je kasneje spremljalo pri magisteriju in doktoratu, število valjalnih strojev v UNIORJU se je tudi nenehno povečevalo.

Profesor Gologranc je svojo doktorsko disertacijo obranil v Stuttgartu pri profesorju Langeju, svetovno znanem »očetu preoblikovalcev«, Langejeva knjiga o utopnem kovanju, ki je izšla leta 1958, je bila dolga leta tudi v svetovnem merilu edino za prakso napisano delo.

V svojem doktorskem delu je profesor Gologranc dogradil metodo hidrostaticnega izbočevanja pločevine do take mere, da je z njo mogoče določiti krivuljo plastičnosti ter tako pridobiti nujno potrebne snovne oziroma preoblikovalne lastnosti pločevin.

Med svojim bivanjem v Nemčiji je profesor Gologranc razpredel mrežo kolegijskih vezi, v katero je vključil tudi mene, sedaj se gradi že mreža tretje generacije. Te neformalne, strokovne in hkrati prijateljske vezi so za nas izredno pomembne, prek njih se vključujemo v Evropo, ta pa nas spoznava v pravilnejši luči.

Kot potrditev pomembnosti teh vezi in v znak zahvale smo imeli leta 1995 kolokvij ob profesorjevi petinsedemdesetletnici, ki so se ga



aktivno udeležili njegov mentor ter dva zastopnika druge generacije (prof. M. Geiger in podpisani). Tudi njegovih osemdeset let smo spodobno počastili s podobnim kolokvijem.

Profesor Gologranc je zaoral ledino, ko je na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani začel kot prvi predavati o tehnologijah in strojih za preoblikovanje. Pred njim je preoblikovanje veljalo za večšino, teoretična dognanja pa so zaradi svojih velikih poenostavitev bila potisnjena le v akademske kroge.

Toda s časom je s svojimi do- in podiplomci dokazal, da je razumevanje procesnih dogajanj ter obvladovanje preoblikovalnih zmognosti kovin prvi pogoj za obvladovanje teh vedno bolj se razvijajočih izdelovalnih postopkov.

Večino svojega raziskovalnega dela je namenil hladnemu preoblikovanju pločevine. Pomembno je njegovo uvajanje metod za ocenjevanje zanesljivosti preoblikovanja pločevine, kar se je s pridom uporabljalo v vseh večjih industrijskih podjetjih v Sloveniji, in to le nekaj let za tem, ko so bile te metode predstavljene svetovni znanstveni in strokovni javnosti.

Na področju pisanja univerzitetnih učbenikov je njegov prispevek zavidljiv. Napisal je kar nekaj skript in knjig, ki jih poleg študentov koristno uporabljajo tudi strokovnjaki iz prakse. Žal mu je pešanje vida onemogočilo, da bi novo serijo knjig z naslovom "Preoblikovanje" pripeljal do kraja, napisal je le prvo "Uvod" in drugo "Masivno preoblikovanje". Toda ker ga vsi poznamo kot človeka, ki zlepa ne odneha, lahko kljub vsemu še pričakujemo tretji del, namenjen preoblikovanju pločevine.

Še in še bi lahko naštevali velike in drobne dogodke ter zanimivosti iz življenja uglednega profesorja, pa končajmo z željo, da bi bil še naprej čil, zdrav in bistrega uma - do naslednjega kolokvija leta 2005!

prof.dr. Karl Kuzman

Navodila avtorjem

Instructions for Authors

Članki morajo vsebovati:

- naslov, povzetek, besedilo članka in podnaslove slik v slovenskem in angleškem jeziku,
- dvojezične preglednice in slike (diagrami, risbe ali fotografije),
- seznam literature in
- podatke o avtorjih.

Strojniški vestnik izhaja od leta 1992 v dveh jezikih, tj. v slovenščini in angleščini, zato je obvezen prevod v angleščino. Obe besedili morata biti strokovno in jezikovno med seboj usklajeni. Članki naj bodo kratki in naj obsegajo približno 8 tipkanih strani. Izjemoma so strokovni članki, na željo avtorja, lahko tudi samo v slovenščini, vsebovati pa morajo angleški povzetek.

Vsebina članka

Članek naj bo napisan v naslednji obliki:

- Naslov, ki primerno opisuje vsebino članka.
- Povzetek, ki naj bo skrajšana oblika članka in naj ne presega 250 besed. Povzetek mora vsebovati osnove, jedro in cilje raziskave, uporabljeno metodologijo dela, povzetek rezultatov in osnovne sklepe.
- Uvod, v katerem naj bo pregled novejšega stanja in zadostne informacije za razumevanje ter pregled rezultatov dela, predstavljenih v članku.
- Teorija.
- Eksperimentalni del, ki naj vsebuje podatke o postavitvi preskusa in metode, uporabljene pri pridobitvi rezultatov.
- Rezultati, ki naj bodo jasno prikazani, po potrebi v obliki slik in preglednic.
- Razprava, v kateri naj bodo prikazane povezave in posplošitve, uporabljene za pridobitev rezultatov. Prikazana naj bo tudi pomembnost rezultatov in primerjava s poprej objavljenimi deli. (Zaradi narave posameznih raziskav so lahko rezultati in razprava, za jasnost in preprostejše bralčevo razumevanje, združeni v eno poglavje.)
- Sklepi, v katerih naj bo prikazan en ali več sklepov, ki izhajajo iz rezultatov in razprave.
- Literatura, ki mora biti v besedilu oštevilčena zaporedno in označena z oglatimi oklepaji [1] ter na koncu članka zbrana v seznamu literature. Vse opombe naj bodo označene z uporabo dvignjene številke¹.

Oblika članka

Besedilo naj bo pisano na listih formata A4, z dvojnimi presledkom med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Če uporabljate kakšen drug urejevalnik besedil, prosimo, da besedilo konvertirate v navadno ASCII (tekstovno) obliko. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosim, da ne uporabljate urejevalnika LaTeX, saj program, s katerim pripravljamo Strojniški vestnik, ne uporablja njegovega formata. V urejevalniku LaTeX oblikujte grafe, preglednice in enačbe in jih stiskajte na kakovostnem laserskem tiskalniku, da jih bomo lahko presneli.

Enačbe naj bodo v besedilu postavljene v ločene vrstice in na desnem robu označene s tekočo številko v okroglih oklepajih

Enote in okrajšave

V besedilu, preglednicah in slikah uporabljajte le standardne označbe in okrajšave SI. Simbole fizikalnih veličin v besedilu pišite poševno (kurzivno), (npr. v , T , n itn.). Simbole enot, ki sestojijo iz črk, pa pokončno (npr. ms^{-1} , K, min, mm itn.).

Papers submitted for publication should comprise:

- Title, Abstract, Main Body of Text and Figure Captions in Slovene and English,
- Bilingual Tables and Figures (graphs, drawings or photographs),
- List of references and
- Information about the authors.

Since 1992, the Journal of Mechanical Engineering has been published bilingually, in Slovenian and English. The two texts must be compatible both in terms of technical content and language. Papers should be as short as possible and should on average comprise 8 typed pages. In exceptional cases, at the request of the authors, speciality papers may be written only in Slovene, but must include an English abstract.

The format of the paper

The paper should be written in the following format:

- A Title, which adequately describes the content of the paper.
- An Abstract, which should be viewed as a miniversion of the paper and should not exceed 250 words. The Abstract should state the principal objectives and the scope of the investigation, the methodology employed, summarize the results and state the principal conclusions.
- An Introduction, which should provide a review of recent literature and sufficient background information to allow the results of the paper to be understood and evaluated.
- A Theory
- An Experimental section, which should provide details of the experimental set-up and the methods used for obtaining the results.
- A Results section, which should clearly and concisely present the data using figures and tables where appropriate.
- A Discussion section, which should describe the relationships and generalisations shown by the results and discuss the significance of the results making comparisons with previously published work. (Because of the nature of some studies it may be appropriate to combine the Results and Discussion sections into a single section to improve the clarity and make it easier for the reader.)
- Conclusions, which should present one or more conclusions that have been drawn from the results and subsequent discussion.
- References, which must be numbered consecutively in the text using square brackets [1] and collected together in a reference list at the end of the paper. Any footnotes should be indicated by the use of a superscript¹.

The layout of the text

Texts should be written in A4 format, with double spacing and margins of 3 cm to provide editors with space to write in their corrections. Microsoft Word for Windows is the preferred format for submission. If you use another word processor, please convert to normal ASCII (text) format. One hard copy, including all figures, tables and illustrations and an identical electronic version of the manuscript must be submitted simultaneously.

Please do not use a LaTeX text editor, since this is not compatible with the publishing procedure of the Journal of Mechanical Engineering. Graphs, tables and equations in LaTeX may be supplied in good quality hard-copy format, so that they can be copied for inclusion in the Journal.

Equations should be on a separate line in the main body of the text and marked on the right-hand side of the page with numbers in round brackets.

Units and abbreviations

Only standard SI symbols and abbreviations should be used in the text, tables and figures. Symbols for physical quantities in the text should be written in Italics (e.g. v , T , n , etc.). Symbols for units that consist of letters should be in plain text (e.g. ms^{-1} , K, min, mm, etc.).

Vse okrajšave naj bodo, ko se prvič pojavijo, napisane v celoti, npr. časovno spremenljiva geometrija (ČSG).

Slike

Slike morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot sl. 1, sl. 2 itn. Posnete naj bodo v kateremkoli od razširjenih formatov, npr. BMP, JPG, GIF. Za pripravo diagramov in risb priporočamo CDR format (CorelDraw), saj so slike v njem vektorske in jih lahko pri končni obdelavi preprosto povečujemo ali pomajšujemo.

Pri označevanju osi v diagramih, kadar je le mogoče, uporabite označbe veličin (npr. t , v , m itn.), da ni potrebno dvojezično označevanje. V diagramih z več krivuljami, mora biti vsaka krivulja označena. Pomen oznake mora biti pojasnjen v podnapisu slike.

Vse označbe na slikah morajo biti dvojezične.

Za vse slike po fotografskih posnetkih je treba priložiti izvirne fotografije ali kakovostno narejen posnetek. V izjemnih primerih so lahko slike tudi barvne.

Preglednice

Preglednice morajo biti zaporedno oštevilčene in označene, v besedilu in podnaslovu, kot preglednica 1, preglednica 2 itn. V preglednicah ne uporabljajte izpisanih imen veličin, ampak samo ustrezne simbole, da se izognemo dvojezični podvojitvi imen. K fizikalnim veličinam, npr. t (pisano poševno), pripišite enote (pisano pokončno) v novo vrsto brez oklepajev.

Vsi podnaslovi preglednic morajo biti dvojezični.

Seznam literature

Vsa literatura mora biti navedena v seznamu na koncu članka v prikazani obliki po vrsti za revije, zbornike in knjige:

- [1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) *Praktische Wirtschaftskyrbernetik*. Carl Hanser Verlag, München.

Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštne naslove, številke telefona in faksa ter naslove elektronske pošte.

Sprejem člankov in avtorske pravice

Uredništvo Strojniškega vestnika si pridržuje pravico do odločanja o sprejemu članka za objavo, strokovno oceno recenzentov in morebitnem predlogu za krajšanje ali izpopolnitev ter terminološke in jezikovne korekture.

Avtor mora predložiti pisno izjavo, da je besedilo njegovo izvirno delo in ni bilo v dani obliki še nikjer objavljeno. Z objavo preidejo avtorske pravice na Strojniški vestnik. Pri morebitnih kasnejših objavah mora biti SV naveden kot vir.

Rokopisi člankov ostanejo v arhivu SV.

Vsa nadaljnja pojasnila daje:

Uredništvo
STROJNIŠKEGA VESTNIKA
p.p. 197/IV
1001 Ljubljana
Telefon: (061) 1771-428
Telefaks: (061) 218-567
E-mail: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si

All abbreviations should be spelt out in full on first appearance, e.g., variable time geometry (VTG).

Figures

Figures must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Fig. 1, Fig. 2, etc. Figures may be saved in any common format, e.g. BMP, GIF, JPG. However, the use of CDR format (CorelDraw) is recommended for graphs and line drawings, since vector images can be easily reduced or enlarged during final processing of the paper.

When labelling axes, physical quantities, e.g. t , v , m , etc. should be used whenever possible to minimise the need to label the axes in two languages. Multi-curve graphs should have individual curves marked with a symbol, the meaning of the symbol should be explained in the figure caption.

All figure captions must be bilingual.

Good quality black-and-white photographs or scanned images should be supplied for illustrations. In certain circumstances, colour figures may be considered.

Tables

Tables must be cited in consecutive numerical order in the text and referred to in both the text and the caption as Table 1, Table 2, etc. The use of names for quantities in tables should be avoided if possible: corresponding symbols are preferred to minimise the need to use both Slovenian and English names. In addition to the physical quantity, e.g. t (in Italics), units (normal text), should be added in new line without brackets.

All table captions must be bilingual.

The list of references

References should be collected at the end of the paper in the following styles for journals, proceedings and books, respectively:

- [1] Tarng, Y.S., Y.S. Wang (1994) A new adaptive controller for constant turning force. *Int J Adv Manuf Technol* 9(1994) London, pp. 211-216.
- [2] Čuš, F., J. Balič (1996) Rationale Gestaltung der organisatorischen Abläufe im Werkzeugwesen. *Proceedings of International Conference on Computer Integration Manufacturing*, Zakopane, 14.-17. maj 1996.
- [3] Oertli, P.C. (1977) *Praktische Wirtschaftskyrbernetik*. Carl Hanser Verlag, München.

Author information

The following information about the authors should be enclosed with the paper: names, complete postal addresses, telephone and fax numbers and E-mail addresses.

Acceptance of papers and copyright

The Editorial Committee of the Journal of Mechanical Engineering reserves the right to decide whether a paper is acceptable for publication, obtain professional reviews for submitted papers, and if necessary, require changes to the content, length or language.

Authors must also enclose a written statement that the paper is original unpublished work, and not under consideration for publication elsewhere. On publication, copyright for the paper shall pass to the Journal of Mechanical Engineering. The JME must be stated as a source in all later publications.

Papers will be kept in the archives of the JME.

You can obtain further information from:

Editorial Board of the
JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING
P.O.Box 197/IV
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)61 1771-428
Fax: +386 (0)61 218-567
E-mail: strojnistki.vestnik@fs.uni-lj.si