

Številka je posvečena stoletnici
rojstva prof. dr. Zorana Ranta

Ob stoletnici rojstva prof. dr.
Zorana Ranta
Spomini dru ine
Osebna predstavitev

1. Meritve tokovnega polja okrog osamljenega parnega mehurja nad umetno ustvarjenim zarodnim mestom s tehniko meritve hitrosti s sliko sledilnih delcev
Velocity-Field Measurements Around an Isolated Vapour Bubble Over an Artificially Produced Nucleation Site Using the Particle Image Velocimetry Technique
2. Primernost optičnih lastnosti slovenskih premogov za uplinjanje s koncentriranim sončnim sevanjem
The Radiative Properties of Slovenian Coals as an Absorptive Substance for Gasification by Concentrated Solar Radiation



Vsebina

Contents

Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering
letnik - volume 50, (2004), številka - number 9

Uvodnik

Tuma, M.: Uvodna beseda

Stoletnica rojstva prof.dr. Zorana Ranta

Tuma, M.: Ob stoletnici rojstva prof. dr. Zorana Ranta

Fašalek, M., Zozolly, E., Zozolly, I.: Spomini družine Rant, Z.: Osebna predstavitev

Razprave

Bašič, S., Marn, J., Škerget, L.: Meritve tokovnega polja okrog osamljenega mehurja pare nad umetno ustvarjenim zarodnim mestom s tehniko meritve hitrosti s sliko sledilnih delcev

Oman, J.: Primernost optičnih lastnosti slovenskih premogov za uplinjanje s koncentriranim sončnim sevanjem

Navodila avtorjem

Editorial

390 Tuma, M.: Preface

The Hundredth Birth Anniversary of Prof.Dr. Zoran Rant

Tuma, M.: At the Hundredth Birth Anniversary of Prof. Dr. Zoran Rant

395 Fašalek, M., Zozolly, E., Zozolly, I.: Family Memories Rant, Z.: Curriculum Vitae

Papers

Bašič, S., Marn, J., Škerget, L.: Velocity-Field Measurements Around an Isolated Vapour Bubble Over an Artificially Produced Nucleation Site Using the Particle Image Velocimetry Technique

Oman, J.: The Radiative Properties of Slovenian Coals as an Absorptive Substance for Gasification by Concentrated Solar Radiation

443 Instructions for Authors

Uvodnik

Editorial

Uvodna beseda

Preface

Prof. dr. Zoran Rant, redni profesor Univerze v Ljubljani in redni profesor Tehniške univerze Braunschweig bi bil letos 14. septembra star 100 let – priložnost, da se ga spomni tudi slovenska strokovna javnost, čeprav je bil že predstavljen v “Rantovem zborniku” ob njegovi 90-letnici rojstva.

Rantov prispevek k razvoju procesne tehnike v Nemčiji in po svetu je predstavil dr. Wolfgang Augustin, osebnost prof. Ranta in njegovo delo na TU Braunschweig pa njegov prvi asistent dr. Jürgen Krey. Obe predstavitvi, ponazorjeni z več deset fotografijami, načrti in skicami sta bili objavljeni leta 2001 v knjigi “Geschichte der Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Braunschweig” (Zgodovina procesne tehnike na Tehnični univerzi Braunschweig) v sklopu knjižne zbirke “Zur Geschichte der Wissenschaften” (K zgodovini znanosti). Pri tem gre posebna zasluga dr. Jürgenu Kreyu, ki mu je uspelo predstaviti prof. Ranta kot odličnega strokovnjaka in praktika, prodornega direktorja Inštituta za procesno tehniko, spoštovanega visokošolskega učitelja, mednarodno priznanega znanstvenika in zelo priljubljenega sodelavca. Prof. dr. Zoran Rant, naše gore list, je bil tako ustrezno predstavljen nemški in s tem tudi svetovni javnosti.

Pričujoča številka Strojniškega vestnika pa je ob stoletnici rojstva prof. Ranta posvečena nekaterim, doslej manj znanim dogodkom. Največ so k temu pripomogli sorodniki prof. Ranta: njegova mlajša sestra Marjana, por. Fašalek, njegova hči Eva, por. Zozolly in njegova vnukinja Iva Zozolly, za kar se jim uredništvo lepo zahvaljuje. Predstavitev zaokrožuje “Persönlicher Prospekt” in “Verzeichnis der Veröffentlichungen” (Osebna predstavitev in seznam objav) izpod peresa Zorana Ranta.

Prof. dr. Matija Tuma

Professor Zoran Rant, once a professor at the University of Ljubljana and at the Technical University of Braunschweig, would have been 100 years old on September 14th this year. This provides an opportunity for the Slovenian public to remember him and his contributions, many of which were described in “Zoran Rant - An Anthology”, published to commemorate the 90th anniversary of his birth.

Rant’s contribution to the development of process engineering in Germany – and the world – was introduced by Dr Wolfgang Augustin, and the personality of Prof. Rant and his work at TU Braunschweig by Dr. Jürgen Krey. Both presentation were, together with several photographs, designs and sketches, published in 2001 in the book “History of Process Engineering at the Technical University of Braunschweig”, which formed part of the book collection “To the History of Science”. Special credit for this goes to Dr Jürgen Krey, who managed to introduce Prof. Rant as a top specialist and expert, a successful director of the Institute for Process Engineering, respected university professor, worldwide recognized scientist and a popular figure with his co-workers. In this way, Professor Zoran Rant was so well introduced to the German and international public.

This issue of the Journal of Mechanical Engineering, which marks the 100th anniversary of Prof. Rant’s birth, is devoted to some lesser-known events. The editor is grateful for the contribution made by Prof. Rant’s family: his younger sister Marjana, married to Fašalek; his daughter Eva, married to Zozolly; and his granddaughter Iva Zozolly. The presentation is completed with “Curriculum Vitae” and “Bibliography”, which were written by Prof. Zoran Rant.

Prof. Dr. Matija Tuma

Ob stoletnici rojstva prof. dr. Zorana Ranta

At the Hundredth Birth Anniversary of Prof. Dr. Zoran Rant

Matija Tuma

Prof. dr. Zoran Rant si je kot eden redkih Slovencev zagotovil vidno mesto v svetovni zakladnici tehničnega znanja z vpeljavo izrazov eksergija in anergija: vsaka energija sestoji iz dveh delov, iz dela, ki je pretvorljiv v druge oblike energije in iz dela, ki je sicer potreben, vendar ni pretvorljiv. Po teh dveh izrazih in več publikacijah s tem v zvezi ga pozna veliko tehničnih strokovnjakov v Sloveniji in v tujini. Drugi njegovi dosežki so manj znani, so pa skoraj enako pomembni. Zoran Rant je bil po drugi svetovni vojni eden od peščice strokovnjakov, ki so dodobra obvladovali postopek proizvodnje sode. Zato so ga kot znanega strokovnjaka klicali za tehnično pomoč v mnoge države: Kolumbija, Argentina, Egipt, Indija, Brazilija in skoraj vse države nekdanje Vzhodne Evrope. Za tedanjo Jugoslavijo in Slovenijo pa je še posebej pomemben za področja, kjer v povojnem času ni bilo ustreznih strokovnjakov: rudniški kompresorji, proizvodnja apna in cementa, gradnja termoelektrom in zasnova velikih hladilnih stolpov na naravni vlek. Življenjsko delo prof. Ranta je mogoče razdeliti na tri velika obdobja:

- vodilni strokovnjak v Tovarni sode Lukavac, ki je tedaj sodila v sklop belgijskega koncerna Solvay (1928-1946)
- visokošolski učitelj za teoretično strojeslovje, Univerza v Ljubljani (1946-1962) in
- visokošolski učitelj za procesno tehniko, Technische Universität Braunschweig (1962-1972).

Tovarna sode Lukavac (1928-1946)

Zoran Rant je kot mlad inženir vstopil v službo koncerna Solvay, v Tovarno sode Lukavac. Sredi Bosne je leta 1928 začel trdo delati in se strokovno izobraževati, pozneje je v tovarni spoznal svojo bodočo ženo Maro Lakić in na koncu svoje kariere v tem koncernu postal tehnični direktor podjetja. Do svoje smrti je ostal tesno povezan s proizvodnjo sode v Lukavcu, čeprav je bila tovarna po drugi svetovni vojni podržavljena. Prof. Rant je znal izkoristiti priložnost, ki mu jo je ponudil tedaj odlično organiziran koncern Solvay, uspelo se mu je temeljito izobraziti, tako praktično kakor tudi teoretično. Pri svojem teoretičnem delu v tovarni se mu je utrnila misel o delazmožnosti toplote in notranje energije, pri svojem praktičnem delu je našel temo

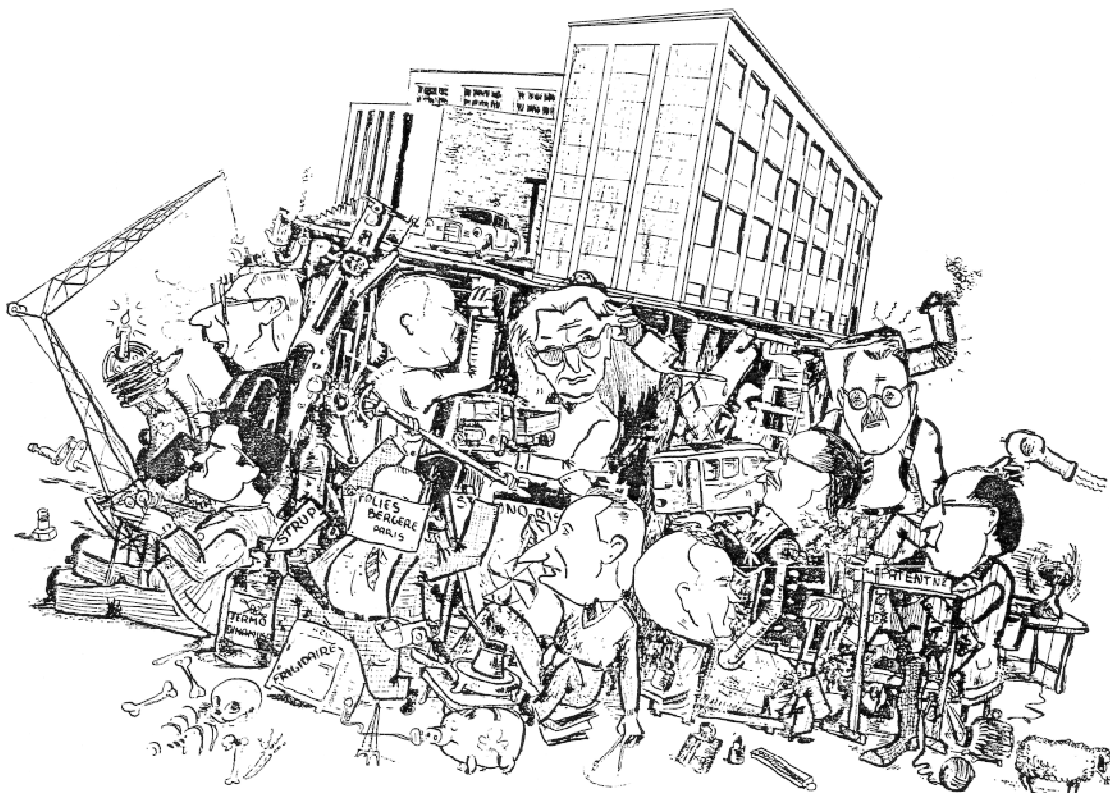
za svojo poznejšo doktorsko disertacijo z naslovom »Energetska ocenitev postopka fabrikacije sode«, ki temelji prav na osnovi delazmožnosti toplote, pozneje od njega imenovani eksergiji toplote. Po koncu druge svetovne vojne so se nanj in na njegovo mlado družino s tremi otroki zgrnili temni oblaki. Nova oblast je obtožila koncern Solvay, soobtožen na sodišču v Tuzli je bil tudi Zoran Rant. V zaporu se je znašel skupaj z znanim termodinamikom, z dve leti starejšim prof. dr. Franjom Bošnjakovičem. V zaporu sta se zblížala, njuno prijateljstvo je postalo trajno. Za oba ugledna obtoženca je posredovalo več uglednih osebnosti, med njimi tudi poznejši profesor na zagrebški univerzi dr. Rudolf Zdenković, katerega pismo je objavljeno v tej številki. Novo življenjsko priložnost pa mu je zagotovil akad. dr. h. c. Feliks Lobe, »očec« Fakultete za strojništvo Univerze v Ljubljani.

Univerza v Ljubljani (1946-1962)

Na povabilo prof. Lobeta je postal Zoran Rant 1. aprila 1946 redni profesor za teoretično strojeslovje na tedanjem komaj dobro ustanovljenem Oddelku za strojništvo Tehniške fakultete Univerze v Ljubljani in mu ostal zvest do jeseni 1962. To so bila leta, v katerih je Rant kot pedagog in znanstvenik dozoroval. Kmalu po nastavitvi za visokošolskega učitelja je končal in nekaj kasneje zagovarjal svoje doktorsko delo in kljub nedorečenim in krivičnim obtožbam države še naprej pomagal graditi »svojo« Tovarno sode v Lukavcu. Aktivno je bil soudeležen pri posodobitvah več tovarn v Sloveniji posebno tistih, ki so bile energijsko potratne.

Kot visokošolski učitelj je znal pritegniti slušatelje, na svojih predavanjih je izzareval pravi inženirski zanos. Težje predstavljivo snov je znal nazorno podkrepiti s primeri iz svoje industrijske prakse in študentom dajati vtis, da se učijo nekaj, kar bodo lahko v življenju dobro uporabili. Njegova predavanja so bila skrbno pripravljena, njegovi izpiti so bili vedno pisni in ustni, v ocenjevanju je bil strog, vendar si je za vsakega študenta vzel dovolj časa.

Kot študent strojništva sem o svojem učitelju slišal, da je dober predavatelj, zelo strog, njegov dvosemestrski učni predmet Termodinamika, ki je bil predavan v četrtem in petem semestru, pa med težjimi. Ker je bil tedaj študij strojništva brez strogih



Sl. 1. Karikatura profesorjev prve povojne generacije Oddelka za strojništvo Tehniške fakultete Univerze v Ljubljani
Zgornja vrsta, od leve proti desni: Dobromil Uran (1896-1965), Feliks Lobe (1894-1970), Albert Struna (1901-1982), Boleslav Likar (1895-1967)
srednja vrsta: Bojan Kraut (1908-1991), Franc Smolik (1898-1975)
spodnja vrsta: Franček Kovačec (1910-1983), Zoran Rant (1904-1972, zakrit), Boris Černigoj (roj. 1915), Leopold Andrée (1910-1992)

študijskih pogojev, sem se odločil, da bom izpit iz Termodinamike polagal med zadnjimi. Dejansko sem opravil izpit šele kot absolvent in ne prav posebno dobro, vendar pa me je učna snov pritegnila tako, da sem sklenil pri prof. Rantu diplomirati. To je bilo nenavadno, kajti njegove teme za diplome niso slovele kot preproste. Spominjam se, da sem temo diplomskega dela čakal kar nekaj mesecev, kajti prof. Rant je bil tedaj zaradi svojega industrijskega svetovalnega dela pri proizvodnji sode dalj časa odsoten. Temu sem dobil novembra 1961, diplomu pa oddal marca 1962 na dan natančno po treh mesecih. Ko sem bil nekje sredi dela, sem v svoji negotovosti sklenil, da se najavim pri prof. Rantu, se pozanimam za dodatno strokovno literaturo in mentorja povprašam, kaj meni o mojem dosedanjem trudu. Vsebina moje diplomske naloge je bila namreč eksergijska analiza zgorevanja, za tisto dobo še precej neobdelano področje. Sedel je v svoji pisarni, me pogledal izpod čela in mi kratko odgovoril: »Otrok božji, kdo diplomira, Vi ali jaz?« Diplomsko delo sem dokončal in ga oddal, ne da bi vedel, kaj oddajam. No, končalo se je zelo dobro, po zagovoru sem svoja razmišljanja celo razširil in nastal

je moj prvi članek o eksergiji, ki je izšel leta 1964 v reviji Strojniški vestnik, torej natančno pred 40 leti. Na željo urednika Allgemeine Wärmetechnik je bil pozneje preveden v nemščino.

V teh 16 letih delovanja prof. Ranta na Univerzi v Ljubljani je iz Oddelka za strojništvo zrasla samostojna Fakulteta za strojništvo, prof. dr. Rant pa postal njen prvi dekan. Svoje delo na ljubljanski Fakulteti je podal v svoji predstavitvi, ki jo je v letih 1967/68 napisal v nemškem jeziku. Leta 1959 je izdal knjigo »Verdampfen in Theorie und Praxis« (Uparjanje v teoriji in praksi), ki je bila prevedena v več jezikov in doživela več izdaj. V to dobo je mogoče šteti tudi knjigo »Termodinamika«, ki je izšla v slovenščini leta 1963 in leta 2001 doživela nespremenjeno, vendar času prilagojeno izdajo. Knjiga je še danes najpomembnejše slovensko delo s področja termodinamike.

Tehniška univerza Braunschweig (1962-1972)

Zoran Rant je oktobra leta 1962 zapustil Fakulteto za strojništvo in sprejel povabilo Tehniške

univerze v Braunschweigu, da zasede novo ustanovljeno Stolico za procesno tehniko. Postal je redni profesor na TU Braunschweig in bil sočasno imenovan za bodočega direktorja istoimenskega inštituta. Tehniška univerza Braunschweig ima večstoletno tradicijo. Leta 1745 je bil v Braunschweigu ustanovljen Collegium Carolinum, visoka šola med gimnazijo in univerzo, ki je že tedaj v širši okolici uživala velik ugled. Šola se je z desetletji razširila v Politehniko, leta 1878 v Tehniško visoko šolo in za časa delovanja prof. Ranta dobila svoje današnje ime: Tehniška univerza Braunschweig.

Stolica za procesno tehniko je bila ustanovljena leta 1961 in je nastala z delitvijo Stolice za toplotno in procesno tehniko, ki jo je vodil prof. Bošnjakovič. To področje se je po odhodu prof. Bošnjakovića na novo dolžnost razdelilo na tri stolice: za termodinamiko, za toplotno in zgorevalno tehniko ter za procesno tehniko. Zadnjo je prevzel prof. Rant in začel v šolskem letu 1962/63 s štiriurnim tedenskim predavanjem »Procesna tehnika«. Predavanja, ki jih je poslušalo približno 70 študentov, so se nadaljevala v letnem semestru. V zimskem semestru je imel prof. Rant tudi predavanja učnega predmeta pod skupnim naslovom »Eksergija«. V naslednjih letih je prof. Rant predaval tudi nekatere druge sorodne predmete. Kljub prostorski stiski je bil prvi asistent Jürgen Krey imenovan takoj oktobra 1962, drugi Hans Banski v začetku leta 1963 in tretji Klaus Feldkampf oktobra 1963.

Sočasno s ustanovitvijo nove stolice se je prof. Rant zelo trudil, da bi čim prej stekla postavitev novega inštituta za procesno tehniko. Dejansko se mu je projekt posrečil in gradnja inštituta s koristno površino 2000 m² se je pričela novembra 1964, septembra 1966 je bilo štirinadstropno poslopje pripravljeno za vselitev. Prof. Rant je kot direktor inštituta poskrbel tudi za vse pomožne obrate: za zagotovitev tehnološke pare, demineralizirane vode, hladilne vode in kompresorskega zraka. K inštitutu je spadala tudi velika odprta površina za preizkuse, ki jih ni bilo mogoče izpeljati v samem posloplju.

Prof. Rant je v tej dobi dosegel svoj vrh kot strokovnjak, pedagog in kot znanstvenik. Objavil je vrsto pomembnih člankov, leta 1968 napisal knjigo »Die Erzeugung von Soda nach dem Solvay Verfahren« (Proizvodnja sode po postopku Solvay), postavil na noge novo Stolico za procesno tehniko in zgradil velik, nov inštitut. Poleg članstva v kopici uglednih strokovnih združenj je leta 1964 postal dopisni član Slovenske akademije znanosti in umetnosti, kamor ga je predlagal akad. dr. h. c. Feliks Lobe. Leta 1970 je prejel odličje »Johann-Joseph-Ritter-von-Prechtl-Medaille«, ki ga dunajska univerza podeljuje svojim najuglednejšim diplomantom in leta 1971, manj kot leto dni pred smrtjo, še odličje »Arnold-Eucken-Medaille«, ki ga podeljuje nemško Združenje za procesno tehniko le vsaki dve leti.

Zoran Rant je za svoj 67. rojstni dan, 14. septembra 1971, pisno zaprosil za upokožitev, vendar je umrl 12. februarja 1972, preden je bil sploh upokožen. Po njegovi smrti je leta 1973 Stolico za procesno tehniko na TU Braunschweig prevzel prof. dr. Matthias Bohnet, ki je prišel iz koncerna BASF AG.

Nekaj utrinkov

Prof. dr. Zoran Rant je kot človek več ko odlično predstavljen v knjigi »Geschichte der Verfahrenstechnik an der TU Braunschweig« v samostojnem poglavju »Zoran Rant«. V nadaljevanju je nanizanih nekaj utrinkov v zelo skrajšanem slovenskem prevodu. Prof. Rant je bil človek z izdelanimi načeli in pozitivno življenjsko filozofijo, piše o njem Jürgen Krey. Odgovornost in dolžnost sta bili njegovi značilni karakterni potezi, samozavest in skromnost potezi njegovega značaja. Bil je delaholik, njegova družina mu je bila svetinja, njegova pozornost ni veljala samo ženi in trem hčeram, znal si je vzeti čas tudi za druge sorodnike in prijatelje.

Prof. Rant je bil družaben, ni ga bilo težko pridobiti za druženje in vedno se je izkazal kot odličan in šaljiv sogovornik. Pri večjih srečanjih, ki so bili v Braunschweigu skoraj vedno skupaj s sorodnimi inštituti, je njegov nagovor, poln domislic in humorja, postal skoraj pravilo, imenovali so ga »Rant-Rede« (Rantov govor). Z nagovorom si je dovolil malo nečimrnosti in se z njim postavil v središče pozornosti. Pri večjih slovesnostih pa se ni počutil prijetno. Tako je marca 1970 pred podelitvijo visokega odlikovanja »Johann-Joseph-Ritter-von-Prechtl-Medaille« na dunajski tehniški visoki šoli, na kateri je diplomiral leta 1926, pisal svojemu nekdanjemu asistentu: »V pričakovanju tukajšnje slovesnosti se ne počutim zelo dobro. Takih stvari nisem navajen. Sicer se zelo veselim, da so mislili tudi name, ampak Vi že veste«

Prof. Rant je imel do avtomobilov in avtomobilske vožnje svojevrsten odnos. O tej temi pišejo njegovi domači, o tem so veliko vedeli povedati tudi njegovi sodelavci. Večkrat je imel z avtom manjše praske, ki pa so se vse končale brez hujših posledic. Ker je bila vedno prizadeta le leva stran vozila, je imel prof. Rant pri roki preprosto razlago. Pojasnjeval je, da ima njegov avto konstrukcijsko napako: na levi strani je vsekakor za nekaj centimetrov preširok. Sicer pa je svojim zaskrbljenim sodelavcem takoj po prihodu na cilj s telegramom sporočil, da je srečno prispel. Bil je temperamenten in je tudi med vožnjo z avtomobilom le težko brzdal svoj značaj. Pogosto je med vožnjo ne glede na promet okoli sebe rad razlagal svoje zamisli, kar je nemalokrat povzročilo med sopotniki dvig adrenalina.

Kot direktor inštituta je imel tudi za današnje razmere zelo sodoben način vodenja. Do svojih sodelavcev je imel veliko zaupanje, ni jim prepuščal samo dela, prepuščal jim je tudi odločanje in s tem odgovornost. Računal pa je, da znajo sodelavci sami presoditi, kje so meje njihovih kompetenc. V prvih letih svojega dela v Braunschweigu je rad nastavljal sodelavce, ki so se izkazali z industrijsko prakso. Skrbel je, da so bili vsi enakomerno obremenjeni s pedagoškimi in drugimi administrativnimi nalogami, ne glede iz kakšnega finančnega vira so bili plačani. Kadar je bil odsoten, je pooblastil svojega namestnika, le v redkih primerih je bil potreben še telefonski razgovor. Vse odločitve, ki so se zgodile v njegovi odsotnosti, je sprejel in po potrebi tudi zagovarjal. Večino inštitutskih zadev je prepuščal svojim trem asistentom, sam pa je prevzel zastopanje inštituta navzven proti ministrstvu, univerzitetni upravi itn.

Skrbno je spremljal znanstvene raziskave svojih sodelavcev. Za vse probleme si je znal vzeti čas, tudi osebne težave njegovih podrejenih niso bile

izvzete. Bil je človek z nenavadnimi lastnostmi, skoraj vedno pa se mu je s svojo pozitivno življenjsko filozofijo posrečilo pridobiti okolico za svoje zamisli. Bil je vztrajen in prodoren v svojih hotenjih, ni se pustil odgnati, če je bilo potrebno, je uporabil tudi »športno pregovarjanje«, kakor je sam rad poudaril. Pri tem je znal spretno uporabiti vse mogoče: prepričevanje, šarm, trdovratnost in male zvijače. Imel je več taktik. Trdil je, da je treba pri sogovorniku najprej poiskati njegove šibke točke. Če ni mogoče takoj uspeti, se je treba umakniti dva koraka nazaj, nadaljnja dva vstran in nato zopet naprej. Ali: delati se neumnega in si medtem preskrbeti dejstva. Po potrebi se je treba tudi opravičiti, prositi za pomoč, tako da se napaka ne ponovi več.

Prof. dr. Zoran Rant je umrl za kapjo v Münchnu. Prvotno je bil pokopan v družinskem grobu v Ljubljani na Viču, pozneje pa je bil na željo njegove žene, ki jo je vse življenje globoko spoštoval, prekopan. Počiva na Piranskem pokopališču na Obali, ki jo je imel zelo rad, skupaj z najstarejšo hčerjo Metko in ženo Maro.

Spomini družine

Family Memories

Letos mineva 100-letnica rojstva prof. dr. Zorana Ranta, odličnega teoretičnega in praktičnega strojnika, profesorja z bogatimi strokovnimi izkušnjami, in tudi mojega dedka, ki ga žal nikoli nisem poznala.

A vendar sem se že kot otrok zavedala njegove prisotnosti vedno, ko sem gledala njegov portret ali stare mamine fotografije ter si ob pripovedovanjih predstavljala, kakšen mož je bil. Pa tudi karikature, za katere so trdili, da so ga "zadele" in ki jih je narisal njegov študent, so mi govorile o njegovem značaju.

Moja predstava o njem kot izredno inteligentnem, asketskem in razgledanem človeku, ki je bil vedno živahen in radoveden, je prav gotovo plod poslušanja pripovedovanj drugih, ljudi, ki so ga poznali, a zanimivo je, kako močan vtis na otroka naredijo podobe, fotografije.

Ko sem bila osnovnošolka, se mi je močno vtisnilo v spomin odprtje Inštituta Zoran Rant v Škofji Loki, kamor so povabili tudi našo družino. Seveda nisem točno razumela, za kaj pri inštitutu pravzaprav gre, a bila sem izredno ponosna na svojega dedka, saj mi je bilo jasno, da je moral zelo veliko narediti za stroko. To čutim tudi danes. A čeprav mi je žal, da nisem poznala prof.dr. Zorana Ranta, pa mi je še bolj žal, da nisem poznala Zorana Ranta, dedka.

Zoran Rant se je rodil v začetku 20. stoletja in je bil resnični otrok tistega časa – tudi v prenesenem pomenu. To je bil čas, ko so ljudje verjeli v neomajno moč napredka, ko se je zdelo, da bo znanost lahko dala odgovore na vse probleme človeštva in da napredek lahko samo poboljša svet. V takšnem ozračju se je kot mladenič v 20-letih 20. stoletja tudi navdušil za tehnično vedo, strojništvo, in ji strastno ostal zvest vse do konca svojega življenja.

Moja stara teta, njegova sestra, in moja mama, njegova hčerka sta napisali nekaj svojih spominov. Skupaj smo pobrskale po albumih in izbrale nekaj fotografij. Gradivo sem uredila z željo, da širši javnosti ob njegovem 100. rojstnem dnevu povemo še nekaj o Zoranu Rantu. O njegovem strokovnem delu je bilo že kar veliko zapisanega mi pa smo s tem prispevkom želele še dodatno osvetliti njegovo osebnost, njega kot prijatelja, sina, brata, moža in očeta.

Iva Zozolly

Marjana Fašalek*: Spomini na brata

Oče Zorana Ranta, Alojzij se je rodil 1. junija 1874 v Šturjah pri Ajdovščini, kjer je bil njegov oče Matija, torej ded Zorana Ranta, v letih 1873 do 1878 učitelj, babica Ivana pa gospodinja. Matija Rant



Sl. 1. Zoran Rant in mlajši brat Jelko leta 1910

* mlajša 85 let stara sestra Zoran Ranta

je imel štiri otroke. Hčeri Polda, učiteljica in Mima, upravnica pošte, sta opravljali poklic na Dobrovi pri Ljubljani, kjer je pozneje njun oče Matija služboval kot nadučitelj. Sin Tone je bil frančiškan, doktor cerkvenega prava, profesor na Teološki fakulteti v Ljubljani in tri mandate provincial slovenske frančiškanske province. Nosil je redovniško ime Gvido. Mlajši Alojzij Rant je obiskoval ljudsko šolo na Premu, šest razredov klasične gimnazije je končal v Ljubljani, zadnja dva razreda v Novem mestu ter se nato vpisal na Pravno fakulteto na Dunaju. Zaradi pomanjkanja sredstev je študij prekinil in vstopil v avstrijsko vojno mornarico.

Alojzij Rant je od leta 1896 do konca prve svetovne vojne služboval v avstro-ogrski vojni mornarici, med drugim pri upravi mornariškega arzenala, pri pristaniški admiraliteti v Pulju, v vojnem ministrstvu – oddelku za mornarico, zadnja leta kot višji mornariški komisar in šef mornariške vojne intendance v Zagrebu. Po koncu vojne je bil dodeljen mednarodni komisiji na Dunaju kot pooblaščenec Kraljevine SHS za ukinitve avstro-ogrške mornarice.

Alojzij Rant je leta 1909 ob delu na Ministrstvu za mornarico na Dunaju končal študij na



Sl. 2. Mama in oče Zorana Ranta - na začetku stoletja

Pravni fakulteti in promoviral za doktorja prava. Pozneje se je družina preselila v Pulj, kjer je služboval kot mornariški oficir. Nekaj časa je z družino živel tudi v Šibeniku. Bil je zelo razgledan: za časa službovanja v avstro-ogrski mornarici je večkrat prepotoval Sredozemsko morje, bil v Indiji, na Daljnem vzhodu od Singapura do Vladivostoka, na Japonskem, v Avstraliji in drugod.

Dr. Alojzij Rant se je leta 1902 poročil s Tilko Verbič iz Borovnice pri Ljubljani, ki je končala Višjo deklško šolo pri Uršulinkah v Škofji Loki. Tilka Verbič je morala čakati bodočega moža kar osem let, kajti Alojzij Rant je bil mornariški častnik, ti pa so morali izpolnjevati posebne pogoje, da so lahko stopili v zakonski stan. Zakoncema Alojziju in Tilki Rant se je leta 1903 rodil sin, ki je umrl na porodu. Naslednje leto se jima je rodil sin Zoran (1904-1972) in nato še sin Jelko (1908-1996) in hči Marjanca (*1919). Najstarejši živi sin Zoran je bil vseskozi odličen učenec in ljubeč sin.

Najstarejša ohranjena fotografija (sl. 1) šestletnega Zorana Ranta in njegovega dveletnega brata Jelka je bila posneta leta 1910, ko je bil njun oče Alojzij službeno dve leti na Japonskem.

Po koncu svetovne vojne je bil dr. Alojzij Rant leta 1920 sprejet kot finančni svetnik v

konceptno službo pri delegaciji ministrstva financ v Ljubljani, kjer je služboval do svoje upokojitve leta 1925. Kot upokojenec je opravljal različne zadolžitve, leta 1929 ga je ljubljanska mestna občina imenovala za načelnika mestne finančne uprave, kjer je vztrajal do leta 1936. Umrl je v Ljubljani leta 1943.

Sin Zoran je v osnovno šolo hodil v Pulju in nadaljeval na Dunaju. Gimnazijo je obiskoval na Dunaju, v Kremsmünstru pri križevniškem redu, dokončal pa v Ljubljani. Vseskozi je bil učenec s samimi odličnimi ocenami, v vsem šolanju je dobil eno samo drugačno oceno: iz slovenskega jezika, ob prehodu iz nemške v slovensko šolo. Po končani gimnaziji je odšel na Dunaj študirat strojništvo in kot vzoren študent po osmih semestrih že v juniju pisal klavzuro in opravil ustni izpit. Svečana podelitev diplome je bila decembra 1926.

Zoran je služil vojaški rok v letalski mornarici v Tivtu, kjer je bil komandant Joce Jeločnik, očetov prijatelj iz avstro-ogrške mornarice. V času šolanja je imel tudi hude trenutke. S hidroavionom je vadilo sedem vojaških obveznikov, pilot je izgubil nadzor nad letalom, letalo se je začelo vrteti in padati, na srečo je strmoglavilo v morje. Pilotu in vojaškim obveznikom je življenje viselo na



Sl. 3. Zoran Rant, član Akademskega društva Jugoslovena tehničara na Dunaju, tretji z leve, 1924



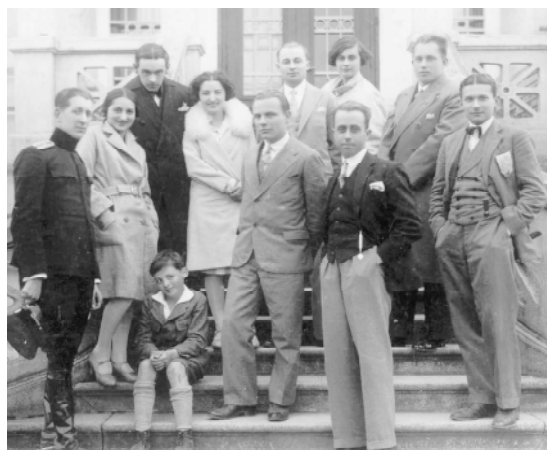
Sl. 4. Zoran Rant, študent strojništva na Dunaju, 1926 (levo) in pri vojaki v letalski mornarici, 1927 (desno)



Sl. 5. *Dr. iur. Alojzij Rant v krogu družine*
Od leve proti desni: hči Marjanca, mati Tilka Verbič, por. Rant, oče dr. Alojzij Rant, sin Zoran in sin Jelko v Ljubljani, srebrna poroka 1927



Sl. 6. *Zoran Rant, mladi inženir v Tovarni sode Lukavac, 1934*



Sl. 7. *Zoran Rant (v sredini na spodnji stopnici) in sodelavci v Tovarni sode Lukavac, 1928. V zadnji vrsti, desno Mara Lakič, njegova bodoča žena*

nitki: sedmim se je uspelo rešiti skozi okna, en nesrečnik je utonil. Zaradi tega dogodka je imel Zoran dolgo časa tako fizične kot psihične posledice.

Brat Zoran se je leta 1928 zaposlil v železarni Guštanj, danes Ravne na Koroškem. V tistem letu je dobil še dve ponudbi za zaposlitev: v tovarni vagonov v Slavonškem Brodu in v tovarni sode v Lukavcu. Odločil se je za zadnjo in concernu ostal zvest dolgo vrsto let. Iz Bosne je redno hodil domov za božič in na letni dopust. Ljubil je Slovenijo, planine in morje. Dokler si ni ustvaril družine, je vsako poletje vsaj 10 dni prebil v gorah. Mama Tilka in jaz sva mu pri tem radi delali družbo. Prehodili smo Julijce v vseh smereh. Začeli smo s sv. Višarjami, prek Mangarta in Belopeških jezer ter končali v Planici. Mama je nato odšla sama v Kranjsko goro in do Koče na gozdu, midva z bratom pa čez Mojstrovko in Vratca. Potem smo skupaj nadaljevali čez Kriške pode, šli na Triglav, čez Sedmera jezera

in Komno, od tam v Bohinj in peš na vlak v Bohinjsko Bistrico. Bile so lepe, včasih naporne počitnice, vendar vedno nepozabne. Brat je poznal vse vrhove in doline ter znal okolico prijetno in duhovito razlagati. Predvsem pa je bil neizmerno navezan na domačo zemljo. Velikokrat je pešal tudi na Brezje.

V Lukavcu je spoznal svojo bodočo ženo Mara Lakič (1910-1976), ki je pozneje prišla pol leta pred poroko v Ljubljano, da se pri bodoči tašči Tilki nauči slovenske kuhinje. Zoran in Mara sta se poročila 15. aprila 1936 v Ljubljani. Ko si je ustvaril družino, smo ga obiskovali v Lukavcu in pozneje v Zagrebu. Zakoncema so se rodile tri hčerke: Metka, Jelka in Eva. Starejši dve hčeri sta bili rojeni v Lukavcu. Leta 1943 se je družina iz Lukavca umaknila v Zagreb, kjer se je rodila najmlajša Eva.

Brat Zoran je leta 1939 in 1940 službeno bival v Zürichu. Bila sem dober mesec z njim, poskrbel je, da sem Švico spoznala zelo dobro. Za



Sl. 8. Rodbina Rant pred družinsko hišo na Dobrovi, 1933

Od leve proti desni: brat Zoran, mati Tilka, teta Polda, babica Ivana, sestra Marjana, za njo stric Tone (pater Gvido), teta Mima, brat Jelko

njeno spoznavanje je tudi sam z ženo Maro in hčerko Metko porabil vsako prosto uro. Bil je vsestransko razgledan in svoje znanje je znal nevsiljivo posredovati tudi okolici. Zelo nam je bilo vsem hudo, ker nas je druga svetovna vojna povsem ločila.

Po svetovni vojni je Zoran živel v Zagrebu, povabili so ga, naj organizira ponovni zagon med vojno porušene tovarne sode v Lukavcu. Ko je delo opravil, so ga v Tuzli zaprli in obsodili na osemletno zaporno kazen. Po posredovanju prof. Lobeta, profesorja ljubljanske Univerze je bil iz zapore zelo

hitro izpuščen. Začel je sodelovati s konstrukcijskim birojem Tauber v Parizu in strokovno pomagal pri gradnji tovarne sode po vsem svetu. Leta 1946 je postal redni profesor za teoretično strojeslovje na Univerzi v Ljubljani. Veliko je potoval, vedno pa se je rad vračal domov.

Starši so leta 1936 v Ljubljani na Viču kupili dvanadstropno stanovanjsko hišo na 1500 m² veliki parceli. Ker je manjkalo nekaj denarja, ga je brat Zoran brez besed pridal. Ko pa se je po drugi svetovni vojni začela nacionalizacija, so parcelo podržavili in začel se je pritisk na mamo, ki je bila lastnica zemlje, da ji odvzamejo dobro polovico vrta. Ker je imela družina predpravico do gradnje, se je brat Zoran odločil, da bo zidal hišo sam. Po nekaj letih mu je tudi trajalo nekaj let! Vendar nam je uspelo in zrasla je hiša, kjer je Zoran nameraval živeti. Brat Zoran je med svojim službovanjem v Nemčiji zgradil tudi lepo hišo v Portorožu, kjer je želel preživljati pokoj. Žal mu to ni uspelo, saj nas je nenadoma in veliko prezgodaj zapustil, vsaj nekaj let pa je v hiši ob morju skupaj z družino užival počitnice.

Leta 1962 je odšel za rednega profesorja na Tehniški univerzo Braunschweig, kjer je bil tudi direktor Inštituta za procesno tehniko. Najstarejša hčerka Metka je odšla z njim in mamo v Nemčijo, mlajši Jelka in Eva sta ostali v Zagrebu, kjer sta študirali. Zelo hudo je vse nas leta 1964 prizadela nepričakovana smrt najstarejše Metke. Mlajša Jelka je doštudirala kemijo, poročila se je s kemijskim inženirjem Krešimirjem Klaričem. Zakonca imata sinova Igorja, roj. 1964 in Krešimirja, roj. 1974, družina živi v Zagrebu. Najmlajša Eva je doštudirala in magistrirala na elektrotehniki, poročila se je z magistrom elektrotehnike Mihajlom Zozollyjem. Zakonca imata hčeri Majo, roj. 1972 in Ivo, roj. 1976, družina živi v Ljubljani na Viču.

Ko je Zoran napisal knjigo "Termodinamika", sva mu rokopis tipkali skupaj z



Sl. 9. Zoran Rant v uniformi mornariškega oficirja in žena Mara, na poroki pred Frančiškansko cerkvijo v Ljubljani, 1936



Sl. 10. Zoran Rant (prvi z leve), s sorodniki in prijatelji na vrtu hiše na Viču v Ljubljani, 1948



Sl. 11. Družina Zorana Ranta, 1950
Od leve proti desni: hči Jelka, mama Mara, hči Metka, stara mama Tilka Verbič, por. Rant, hči Eva in oče Zoran

nečakinjo Metko. Diagrame so vnašali študentje, vse formule pa ročno jaz. Z delom je bil zelo zadovoljen in ga tako dobro plačal, da smo se norčevali, da bo s knjigo imel samo izgubo.

Knjigo "Uparjevanje v teoriji in praksi" je napisal po dogovoru s takratnim republiškim sekretariatom za šolstvo. Ko pa je delo končal, so mu kratkomalo rekli, da za založbo ni denarja. Nekaj časa je delo ležalo in čakalo boljše čase, potem pa je brat knjigo dopolnil, jo prevedel v nemščino in na koncu je bila izdana v Dresdnu. Sic! In prav za to delo je dobil Kidričevo nagrado, kar je tudi na njemu lasten način komentiral!

Zoran je imel značilen način dela. Diplomске naloge je na primer največkrat pregledoval v kuhinji na Viču, ko je v času predavanj na Univerzi v Ljubljani stanoval pri meni in mami Tilki. Če sva se zaradi tega pogovarjali tišje, se je iznenada oglasil: "Kaj? Kdo se je ločil? Le bolj na glas, me vse zanima".

Brat je bil silno skromen človek. Da ne bi izgubljal časa v dneh, ko je predaval v Ljubljani, si

je nabavil kuhalnik, skodelico, nekaj lončkov, majhno skledico, pribor in krožnik, da si je lahko juho iz vrečke pripravil v službi kar sam. V svoji sobi je imel tudi kavč za kratek opoldanski počitek.

Za brata Zorana sem opravljala tudi del njegove poslovne korespondence, nemške in tudi slovenske. Na prejeto pismo je napisal kratko navodilo in strokovne izraze, ostalo je prepustil meni. Vsa osebna pisma, tudi pisma družini je kljub ogromnemu delu pisal redno in ročno. Le za daljša potovanja je po vrnitvi izdelal poročilo, dolgo do 10 strani. Ta poročila so bila zelo zanimiva pa tudi poučna, saj je bil zelo razgledan in vedoželjen.

Ko mu je v Braunschweigu, kjer je bil profesor na univerzi, zastopnik prišel ponujat avtomobil znamke Mercedes, sam je pa vedno vozil le vozila znamke Opel, mu je med drugim odgovoril: »Avto bi že še kupil, nimam pa denarja za blazino, ki bi jo potreboval zaradi nizkega sedeža".

Občasno me je brat rad obiskoval v službi v Avtotehni in se je večkrat srečal tudi z mojim šefom, gospodom Orlom. Vedno sta se malo zbadala in tako



Sl. 12. Družina Zorana Ranta, ob 25-letnici poroke, 1961
Od leve proti desni: hči Jelka, mama Mara, oče Zoran, hčeri Metka in Eva

mu je Zoran ob neki priložnosti rekel: "Včeraj sem na cesti videl avto Opel rekord z luknjo v strehi (gospod Orel je bil znan po skoraj pretiranem čiščenju avta). Za odgovor pa je dobil: "Jaz sem pa srečal vozilo Opel rekord brez šoferja".

V času, ko je bil profesor na Univerzi v Ljubljani (1946–1962), sem zanj razvijala filme in izdelovala fotografije v temnici na fakulteti.

Brat Zoran je v mladih letih nosil samo klobuk á la Luis Trenker, ki je bil tedaj zelo znani tirolski alpinist, pisatelj in filmski delavec. Bil je prepričan, da mu nobeno drugo pokrivalo ne pristoji.

V zrelih letih pa se je odločil za baskovsko čepico, ki si jo je kupil v Parizu, ker jih pri nas takrat ni bilo. Nekega dne je prišel domov ves nesrečen, ker jo je izgubil. Ob prihodnjem potovanju v Pariz si je kupil novo. Zopet je v Ljubljani - kot običajno - obiskal prijatelja, odvetnika dr. Leskovca. Ob odhodu je na obešalniku zagledal dve enaki čepici, pa mu je tajnica rekla: "Gospod profesor, obe sta vaši. Pri zadnjem obisku ste jo pozabili".

Zoran je bil zame vedno veliki brat, kot 15 let mlajša sestra sem ga gledala z občudovanjem in ga imela zelo rada.

Eva Zozolly*: Spomini na očeta

Družina je živela v Zagrebu od leta 1943, kjer sem leta 1944 prišla na svet. Po pripovedovanju staršev se spominjam, kako hudi so bili ti vojni in povojni časi. Po prihodu iz Lukavca, kjer so živeli pred tem, so s pomočjo prijateljev lahko našli le podnajemniško sobo, v kateri je naša pet članska družina nekaj časa živela. Toda oče in mama sta se v zakonu zelo dobro razumela in sta tudi vse težave z lahkoto prenašala. Oče je skrbel za finančno plat, mama je skrbel za otroke in družinske zadeve. Tudi ko sem se kot tretji otrok rodila v tako težkih razmerah, so bili nič drugega kakor srečni in so se kasneje vedno radi spominjali teh časov. Oče je bil zelo skrben do celotne družine. Vedno je tudi skrbel za svojo mamo in sestro, ki sta živeli v Ljubljani. Če je le bilo mogoče, smo praznike preživljali skupaj.

Mama je bila zelo lepa ženska. Imela je tudi zelo veliko dobrih človeških lastnosti. Bila je namreč izredno skrbna žena in mati. Oče, ki ji je ljubkovalno rekel moja Mariška, se je zavedal njene vloge v družini. Ob njej se je lahko v celoti posvetil svojemu strokovnemu delu. Rojena je bila v Bijeljini v Bosni. Njen oče je bil trgovec. Njena mama, ki je bila očetova druga žena, je bila iz Vojvodine in po mami madžarskega rodu. Njena starša sta umrla, ko je bila še otrok in je morala že zelo zgodaj skrbeti za sebe. Z očetom sta se spoznala v Lukavcu, ko sta oba delala v tovarni Solvay. Ko sta se zaljubila, sta morala še 8 let čakati na poroko. Privarčevati sta morala denar za ureditev doma in pogojev za družino. Mama je vse svoje življenje posvetila otrokom in možu. Njemu na ljubo se je naučila tudi slovenščine.

Imel je zelo veliko znancev in prijateljev v različnih krajih doma in v tujini. Kadar koli je imel priložnost jih je obiskoval: vedno, ko smo šli na kakšno potovanje ali počitnice, smo imeli obvezno postanke in načrtovane obiske znancev in prijateljev.

Tudi s kolegi z Univerz v Ljubljani in Zagrebu je imel vse življenje bogate stike. Srečevali smo se, si dopisovali in tudi počitnikovali skupaj s svojimi družinami.

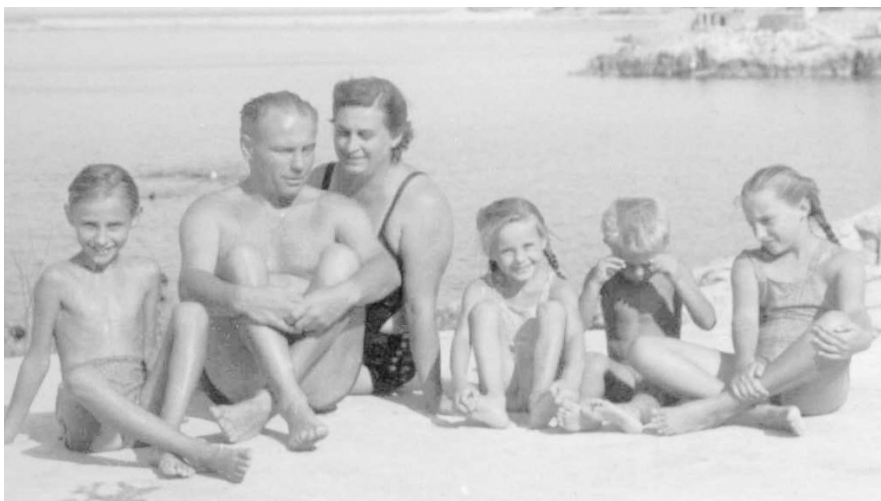
Svetovno znani termodinamik, hrvaški prof. Franjo Bošnjaković, je bil njegov zelo dober prijatelj. Spominjam se naših skupnih počitnic leta 1950 na otoku Veli Lošinj, kjer sta bili obe družini: naša s tremi hčerami in njihova z dvema sinovoma, vsi polni otroških domislic. Najeli smo dvosobno stanovanje in v njem dopustovali tri tedne. Bilo je zelo veselo in polno raznih dogodkov in hudomušnih pripetljajev, ki so starše velikokrat tudi spravljali ob živce.

Velik prijatelj je bil z znanim slovenskim meroslovcem prof. Francetom Avčinom, katerega sva z očetom večkrat obiskala v njegovi ljubljeni Trenti. Morda so bila to leta, ko sem se začela zanimati za meroslovje, s katerim se že vse življenje ukvarjam.



Sl. 1. *Portret žene Mare (1940), ki ga je mož Zoran čuval na pisalni mizi*

* najmlajša hči Zorana Ranta



Sl. 2. Družini Rant in Bošnjaković na počitnicah na Velem Lošinju, 1950
Od leve proti desni: Srečko Bošnjaković (sin prof. dr. Franja Bošnjakovića), Zoran in Mara Rant, hči Eva, Branko Bošnjaković (sin Franja), hči Metka

Njegov dobri prijatelj Vaso Vasiljević je živel v Beogradu in je s svojo ženo Mirico redno silvestroval na Pokljuki. Ne glede na vremenske razmere smo jih 1. januarja obvezno hodili obiskovat.

Oče je imel veliko znancev in prijateljev tudi med "navadnimi malimi" ljudmi, jih zelo spoštoval in se z njimi rad videval. Vedno je bil prizadet zaradi raznih žalostnih človeških usod. Nikoli ni spregledal revežev in pomoči potrebnih. Imel je namreč svoj sklad za reveže, v katerega je odvajal del svojih zaslužkov in pomagal znanim in neznanim pomoči potrebnim.

Svojim prijateljem je rad pomagal na vse možne načine. Po drugi svetovni vojni, ko sem bila še čisto majhna, je nekaj let pri nas živel gospod, ki je bil bosanski beg, sicer prijatelj našega dedka, dr. Alojzija Ranta, očetovega očeta, ki je umrl med vojno. Gospod, sicer pred vojno zelo bogat, je ostal

brez vsakih sredstev za preživljanje. Oče in mama sta ga vzela v naš dom in pri nas je živel kot družinski član. Ker je bil poročen z bogato Dunajčanko, si je po nekaj letih prizadevanja uspel pridobiti dokumente in oditi na Dunaj k svoji družini.

Večji del počitnic smo preživljali v Portorožu, in sicer že od leta 1953, ko so tam profesorji ljubljanske Univerze dobili možnost počitnikovanja v tedaj že delno obnovljenem hotelu Palace. Turisti so tedaj v Portorožu bili pravzaprav redki. Družili smo se in prijateljevali predvsem z domačini.

Posebni prijateljski odnosi so se razvili z družino Kolšek. To so bili oče Davorin, zdravnik, mama Gina, zelo dobra in prijetna osebnost ter tudi odlična kuharica, ki je s svojimi dobrotami velikokrat razveseljevala našo družino ter njihov sin Borut. Gospa je bila doma iz Bosne, prav tako kakor tudi



Sl. 3. Družina Rant na počitnicah v Portorožu, 1953
Od leve proti desni: oče Zoran, mama Mara, hčeri Eva in Jelka



Sl. 4. Zoran Rant na počitnicah v Dubrovniku, 1957



Sl. 5. 80-letnica mame Tilke, mame Zorana Ranta, 1957

Sedijo: sin Zoran, mama Tilka, Anica, žena Jelka Ranta

Stojijo: vnukinja Eva, snaha Mara, vnukinja Metka, sin Jelko, vnukinja Jelka in hči Marjana

moja mama, imeli pa so tudi skupne znance, ki so jih starši spoznali še za časa, ko so živeli v Lukavcu. Razvilo se je veliko prijateljstvo in skupaj smo prebili mnogo časa. Gospa Gina je imela veliko sorodnikov, ki so prihajali v času poletnih počitnic k njej v Portorož. Več let zaporedoma je oče zbral vso to družino in sredi avgusta smo pešačili, otovorjeni in oboroženi z vsemi dobrotami in gurmanskimi specialitetami, od Portoroža do Umaga. Ta izlet je kmalu dobil ime "Rantov pohod" in seveda je bilo veliko smeha pa tudi potu, ožuljenih nog in podobnega. Na koncu se je zelo prileglo osvežujoče kopanje na cilju in seveda gostija. Takrat je bil poplačan ves trud in godrnjanje, neprijetnosti pa pozabljene in vsi so se kmalu veselili naslednjega "Rantovega pohoda".

Oče je bil znan ljubitelj narave in predvsem hoje v naravi ter je ob vsaki priložnosti organiziral kakšen večurni pohod v naravo. Še od ranega otroštva se spominjam takih pohodov - izletov v okolici Zagreba in po Zagrebški Gori, ko me je še moral nositi na ramenih. Ko je organiziral kak takšen izlet, se ni oziral na vremenske razmere. Tako smo

se nekoč v mesecu avgustu ob 12. uri odpravili peš na Srđ nad Dubrovnikom. Bilo je tako vroče, da so tudi vse kače pobegnile v senco, oče pa je bil zelo zadovoljen, ker je nas, otroke, le pripeljal na sam vrh. Ko smo hodili v takih razmerah, je nam in sebi na glavo nataknil mokri robec s štirimi vozli, prirejen v čepico. V naravi nas je navadil spoštovanja do le-te, nas učil potrpljenja in prenašanja telesnih naporov, samodiscipline in vztrajnosti. Hribi (in hoja po njih) so bili njegova zgodnja velika ljubezen, ki jo je imel v sebi še iz mladosti. Žal žena Mara, ki ga je drugače vedno in vse povsod zvesto spremljala, ni bila navdušena za hojo po hribih, pa tudi najstarejša hčerka Metka ni bila športen tip.

Ko sva bili s sestro Jelko že dovolj stari, je njegovo občudovanje hribov prešlo tudi na naju, tako da sva bili kar nekaj let njegovi navdušeni sopotnici v hribih. Po navadi je bilo to turno smučanje v marcu, ko so se na Komni zbirali ljubljanski profesorji in študentje. Če se je le dalo tudi v avgustu, ko smo hodili iz Trente na Triglav in po čudovitih predelih v bohinjskem kotu.



Sl. 6. Hiša družine Rant v Portorožu



Sl. 7. Vrt pri hiši družine Rant v Portorožu



Sl. 8. Dnevna soba v hiši družine Rant v Portorožu

Oče je bil sploh navdušen popotnik. Ogromno je potoval, službeno pa tudi z nami, če se je le dalo. Ob vsej delovni vnemi si ni nikoli pozabil ogledati krajevnih znamenitosti in si obogatiti svojega znanja z novimi podatki in vtisi. Rad je imel svoje delo in svojo stroko, prav tako pa je užival v arhitekturi in umetnosti. Ko je kupil avto, smo zelo pogosto hodili na izlete v bližnjo in daljno okolico Zagreba, pa tudi na daljše poti po Evropi. Oboževal je odkrivanje novih krajev in kultur, bil je zelo razgledan in vedno skušal vzbuditi radovednost v svojih otrocih, nas "učil" razgledanosti in poslušal vsa naša vprašanja. Predvsem pa je vedno poskušal v naših glavnicah vzbuditi sive celice k razmišljanju.

Leta 1958 smo se oče, mama in jaz z avtom odpeljali v Bruselj na svetovno razstavo. To je bilo desetdnevno potovanje in med drugim smo se seveda ustavili v Parizu, ki je bil mojemu očetu izredno všeč (kmalu pa seveda tudi meni) in ga je tudi obiskoval, kadar koli je to bilo mogoče. Dobro je govoril francosko in zelo užival v francoski kulturi, ki ga je vsakič na novo pritegnila. Navdušila je tudi mene in

naslednje poletje naju je s sestro Jelko oče poslal v internat v Lausanne v Švici, kjer sva preživel nepozabne počitnice in takrat zares začeli "govoriti" francosko po letih učenja doma.

Portorož, njegovo okolico ter ljudi je imel zelo rad. Leta 1964 je tam zgradil hišo. Ko sta se leta 1962 z mamo preselila iz Zagreba v Braunschweig, sta veliko časa preživljala v Portorožu. Sedaj oba počivata v miru na Piranskem pokopališču.

Ko je zidal hišo v Portorožu, je skrbel za finance, mama pa je ta čas bivala v Portorožu pri Kolškovi in nadzorovala zidavo. Pri tem sta ji veliko pomagala gospod in gospa Kolšek. Hiša, ki so jo v tistih časih vsi zelo občudovali, saj jo je pod mentorstvom arhitekta Mihevca, ki je bil dober očetov prijatelj, projektiral njegov študent Boštjan, je bila očetu v veliko veselje. Pri opremljanju notranjosti si je vse pohištvo sam zamislil in dal izdelati v neki mizarški delavnici v Izoli. Tudi vse detajle (lestence, svetila, zavese in podobno) sta z mamo izbirala v Braunschweigu in vse to pripeljala z avtom v Portorož. Hiša je stala na lepi primerno veliki parceli, s prekrasnim pogledom na Piranski zaliv. Oče je ure in ure delal na vrtu. Najbolj ponosen je bil na svoje ciprese, ki so stale okoli vse parcele in kasneje ponujale čudovito senco.

V tem vrtu, ki je bil poln vrtnic, je zelo užival. A tudi na počitnicah v Portorožu je veliko strokovno delal. V pritličju hiše je imel svojo delovno sobo in v njej za pisalnim strojem prebil veliko časa. Zjutraj, takoj po zajtrku okoli sedme ure, je najprej odšel do morja pod hišo - pri "magazinih" (soli) in je opravil svojo prvo plavalno uro. Plaval je tako daleč, da je iz morja lahko videl našo hišo. Čez dan je bilo na programu strokovno delo in razne dejavnosti, pozno popoldan ponovno plavanje, zvečer pa uživanje na terasi ob kozarčku dobrega terana, ki ga je kupoval pri Turku v Šepuljah pri Dutovljah. V tistih



Sl. 9. Na izletu v okolici Zagreba, 1959
od leve proti desni: hči Eva, Mara in Zoran Rant,
hči Metka skrita za očetom



Sl. 10. Zoran Rant in hči Eva pred kočjo na
Komni, 1967



Sl. 11. Mara in Zoran Rant, ob 30-letnici poroke v Braunschweigu, 1966

časih je na bernardinskem polotoku še stala ladjedelnica. Enkrat sta tako sedela na terasi z arhitektom Mihevcem in srkala teran. Gospod Mihevc, ki je takrat začel s projektom prenove portoroške riviere, je rekel očetu: "Vidiš Zoran, še malo pa boš lahko tukaj spodaj v bodoči marini imel svojo jahto". Oče je imel morje vse bolj in bolj rad in se mu je ta ideja zdela zelo dobra. Toda za to mu je na žalost manjkalo časa.

Ker je oče vse življenje veliko potoval, je bil veliko odsoten od doma. A kljub znanstvenemu interesu in popotniški navdušenosti je globoko v srcu ljubil stalnost in umirjenost, kar se je kazalo predvsem na počitnicah, vsako leto v Portorožu in v slovenskih hribih.

Ko je bil kot profesor zaposlen v Ljubljani, je imel tak urnik predavanj, da je dva do tri dni v tednu bival v Ljubljani, preostale dni pa v Zagrebu z družino.

Stanovali smo v centru mesta v Martičevi ulici 14. To so bila naporna potovanja z vlakom,

dokler ni leta 1958 kupil svoj prvi avto - svetlo modri Opel rekord z belo streho, ki je bil za tiste čase prava atrakcija. Tudi kasneje je vedno kupoval avtomobile znamke Opel in spomnim se, kako je pripovedoval, da so ga, ko je prevzel profesorsko mesto v Braunschweigu, na vse načine poskušali prepričati naj kupi Mercedes, ki naj bi bil za njegov status primernejši. Izgovoril se je, da pač ne vidi dobro iz tako velikega avta in zopet kupil Opel, ki se mu je tako priljubil.

Zadnjih nekaj let življenja je imel pogosto težave s srcem. Ko ga je obšla slabost in je bil utrujen, se je za kratek čas spočil v svojem fotelju in hitro nadaljeval načrtovano delo. Vedno zaposlen in poln načrtov ni resno jemal težave, niti se ni primerno zdravil. Da je stanje resno, se ni zavedal niti on, niti družina. Ko je hitel na praznovanje rojstnega dne enega od svojih prijateljev v München, je doživel srčni infarkt. Umril je v münchenski bolnišnici. Nismo se utegnili posloviti. Prepeljali smo ga v domovino. Veliko načrtov je ostalo neizpoljenih in veliko stvari



Sl. 12. V Luciji pri Portorožu pred kapelico po nedeljski maši, spomladi 1970, s hčerko Evo, ženo Maro in zetom Mihajlom



Sl. 13. Zadnje poletje pred smrtjo v Portorožu, 1971 od leve proti desni: svak Janez Fašalek, hči Eva, Zoran in Mara Rant, sestra Marjanca Rant por. Fašalek

nedokončanih. Danes počiva v kraju pod cipresami, kakor si je bil želel.

ZAHVALA

Sorodniki prof. dr. Zorana Ranta se lepo zahvaljujejo prof. dr. Matiji Tuma, visokošolskemu

učitelju na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani za njegov trud pri zbiranju in urejanju biografskih in bibliografskih podatkov. Podatki so objavljeni v Strojniškem vestniku ob 90. in 100. obletnici rojstva Zorana Ranta, rednega profesorja na Univerzi v Ljubljani in Tehniški univerzi v Braunschweigu.

Vsebina posebne številke Strojniškega vestnika - Rantov zbornik iz leta 1994

- M. Tuma: Ob 90-letnici rojstva prof. dr. Zorana Ranta (slov. in angl.)
H.D. Baehr: Eksergija in anergija, srečanja z Zoranom Rantom (slov. in nem.)
H. Coulon: Osebna zahvala in spomini na spoštovanega učitelja prof. dr. Zorana Ranta (slov. in nem.)
E. Zozolly: Spomini na mojega očeta (slov. in angl.)
Z. Rant: Vrednost in obračunavanje energije (slov. in franc.), ponatis članka iz Strojniškega vestnika 1(1955), št. 1
W. Augustin in M. Bohnet: Einfluß des ph-Wertes auf die Verschmutzung von Wärmetauschern (nem.)
M. Tuma: Energijski in eksergijski izkoristek sestavljenega plinsko-parnega procesa (slov. in angl.)
Bibliografija
Doktorandi
Anekdote (slov. in angl.)

Osebna predstavitev

Curriculum Vitae

Zoran Rant

Osebna predstavitev je prevod sestavka z izvirnim naslovom: »Persönlicher Prospekt - Lebenslauf, Tätigkeitsbeschreibung und Verzeichnis der Veröffentlichungen«, ki ga je sestavil prof. dr. Zoran Rant v letih 1967 in 1968 in nato leta 1970 izpopolnil.

Biografski del predstavitve je leta 2001 v izvirniku objavil dr. Jürgen Krey v knjigi »Geschichte der Verfahrenstechnik an der Technischen Universität Braunschweig«, ne povsem popolna bibliografija pa je bila objavljena ob 90-letnici njegovega rojstva v reviji Strojniški vestnik – Rantov zbornik 1994.

Ob 100-letnici rojstva prof. Ranta imamo tako pred seboj skupaj njegovo biografijo in izpopolnjeno bibliografijo, vse v slovenskem jeziku.

OSEBNI PODATKI

Rojstvo, izobrazba, članstva, priznanja

Datum rojstva: 14.09.1904

Kraj rojstva: Ljubljana, Jugoslavija (tedaj Laibach v avstrijski kronski deželi Kranjski)

Veroizpoved: rimsko-katoliška

Starši: dr. iur. Lojze Rant, višji komisar avstrijske in častnik jugoslovanske vojne mornarice, pozneje finančni direktor mesta Ljubljane in honorarni profesor Univerze v Ljubljani
Tilka Rant, roj. Verbič

Zakonski stan: poročen 15.04.1936, žena Mara, roj Lakić, tri hčere: Meta (umrla), Jelka in Eva

Šolanje

1910-1914 Osnovna šola v Puli
1914-1922 Klasična gimnazija
1914-1915 Ljubljana
1915-1916 Kremsmünster
1916-1918 Ljubljana
1918-1919 Dunaj XIX
1919-1922 Ljubljana
1922 Matura v Ljubljani
1922-1926 Tehniška visoka šola Dunaj, strojništvo
1926.12.14 Diploma
1927 Šola za rezervne častnike in oficirski

izpit, pomorska letalska šola Kumbor
1933.04.09 Državni izpit za strojništvo in elektrotehniko, Ministrstvo za gradnje, Beograd
1950.05.20 Promocija za doktorja tehničnih znanosti, Tehnična visoka šola v Ljubljani

Članstva

1957-1959 Komisija za oceno projektov, »Zajednica jugoslovenske elektroprivrede«
1959-1962 Tehnični svet Elektrogospodarstva Slovenije
1961-1962 Svet za strokovno šolstvo Ljudske republike Slovenije
1964 Znanstveni svet Združenja procesne tehnike v VDI (VTG)
1965 Znanstveni svet Delovne skupnosti industrijskih raziskovalnih združenj »Otto von Guericke« - AIF
1967 Komisija za izobraževanje AIF
1967-1970 Strokovno telo procesne tehnike AIF (za presojo in oceno raziskovalnih projektov)
1967.07.01 Član komisije »Izobraževanje v procesni tehniki« Združenja procesne tehnike v VDI (VTG)
1970.10.16 Komisija za študijska merila v Strokovni komisiji za procesno in kemijsko tehniko ministrske konference dežel Zvezne republike Nemčije

Priznanja

1960 Podelitev slovenske državne nagrade »Boris Kidrič« za knjigo »Verdampfung in Theorie und Praxis« (v slovenščini: Uparjanje v teoriji in praksi)
1964 Izvolitev v dopisnega člana Slovenske akademije znanosti in umetnosti
1970 Podelitev Johann-Joseph-Ritter-von-Precht-Medaille Tehnične visoke šole Dunaj
1971 25-letnica univerzitetnega delovanja in

podelitev Arnold-Eucken-Medaille
Združenja procesne tehnike v VDI
(VTG)

Življenjepis

- 1927 Po končanem študiju sem od januarja do oktobra služil vojaški rok v jugoslovanski vojni mornarici (pomorsko letalstvo) in po končanem roku opravil oficirski izpit.
- 1928 Od januarja do oktobra 1928 sem bil kot konstrukter in energetik zaposlen v železarni Ravne (Jugoslavija), ki je spadala v koncern Böhler.
- 1928 Vstopil v službo koncerna Solway in koncernu ostal zvest do oktobra 1945. Do začetka leta 1939 sem bil zaposlen kot inženir v Tovarni sode Lukavac (Bosna) s šestmesečnim presledkom v letu 1932. V teh mesecih sem delal v Generalni direkciji na Dunaju, ki je bila odgovorna za šest tovarn sode.
- 1937 Dobil prokuro.
- 1939-1940 Januarja 1939 je bila zaradi okupacije Avstrije ustanovljena Generalna direkcija za Srednjo in Južno Evropo v Zürichu (Société pour la soude et l'industrie chimique), tja sem bil pozvan kot "ingenieur en chef" (tehnični direktor).
- 1940-1945 V decembru 1940 sem se na lastno željo vrnil nazaj v Jugoslavijo v Tovarno sode Lukavac, da bi postavil elektrolizo kuhinjske soli po lastnih zamislih. Dva meseca pred nemškim napadom sem bil vpoklican v vojsko in se po kapitulaciji Jugoslavije vrnil nazaj v Lukavac. Po uničenju obrata zaradi vojne septembra 1943 sem prešel v komercialno direkcijo podjetja v Zagrebu in ostal tam do oktobra 1945.
- 1946-1962 Po kratkem delovanju v svobodnem poklicu sem 01.04.1946 postal redni profesor za teoretično strojeslovje na novo ustanovljenem Oddelku za strojništvo Univerze v Ljubljani. V letih 1960/1962 sem bil dekan Fakultete za strojništvo.
- 1962 Od septembra 1962 naprej sem redni profesor za procesno tehniko na Tehniški univerzi v Braunschweigu in direktor Inštituta za procesno in jedrsko tehniko na tej univerzi. Od imenovanja za univerzitetnega profesorja naprej sem dejaven v industriji kot snovalec tehnoloških procesov in kot svetovalec.

STROKOVNO DELO

Industrija in praksa

Pred in med svetovno vojno, 1928-1945

- 1928 Železarna Ravne (koncern Böhler)**
1928 Konstrukcijsko delo za potrebe obrata, nadzor in obračunavanje porabe energije. Kot edini inženir strojništva sem moral poprijeti za delo, kjer koli se je pokazala potreba. V strokovno delo so me dobro vpeljali gospodje iz obrata Kapfenberg

1928 do 1945 Koncern Solway

- 1928 V tem velikem in zelo dobro organiziranem podjetju sem imel skoraj neomejene možnosti izobraževanja pa tudi samostojnega delovanja. Med mojim dolgoletnim službovanjem sem imel priložnost, da teoretično in praktično spoznam industrijsko procesno tehniko s tehničnega in organizacijskega vidika. V obratu Lukavac sem začel kot vodja konstrukcijskega oddelka in s časom prevzel še druge dolžnosti: mehanične delavnice, preskrbo energije, apnene peči in preskrbo vode.
- 1932 Med svojim šestmesečnim bivanjem v Generalni direkciji na Dunaju sem zastopal odsotnega strokovnjaka za stroje. Imel sem priložnost, da se spoznam s problemi vodenja koncerna
- 1937 Dobil sem prokuro in poleg dotedanjih obveznosti prevzel še vodenje glavnega obrata proizvodnje sode. Kot tak sem bil zastopnik direktorja za tehnične zadeve.
V tem letu sem opravljal zelo raznoliko dejavnost. Nisem bil soočen samo z vprašanji tekoče proizvodnje, ampak tudi s problemi izboljšav in razvoja, kakor tudi z investicijami za posodobitev in razširitev obrata. Naj omenim, da je bil koncern Solway že tedaj zelo odprt za vsak tehnični napredek.
- 1939-1940 Od januarja 1939 do decembra 1940 sem delal kot vodstveni inženir v novo ustanovljeni Generalni direkciji v Zürichu. Tej generalni direkciji je bilo na Madžarskem, v Jugoslaviji in Romuniji podrejenih do osem obratov proizvodnje sode, žveplene kisline in klor-alkalij elektrolize.
Postavil sem vse tehnične službe in bil po tehnični plati odgovoren za vse

obrate, ki so bili podrejeni generalni direkciji. V tem času se je začela v Lukavcu gradnja klor-alkali elektrolize, pri načrtovanju katere sem bil bistveno udeležen. To je bil po mojem vedenju prvi projekt za čisto tlačno utekočinjanje klora.

1940-1945 Po povratku v Jugoslavijo sem postal šef vseh tehničnih služb v Tovarni sode Lukavac. Po uničenju obrata sem se do konca vojne ukvarjal s teoretičnimi študijami.

Po svetovni vojni, od 1945 naprej

Glede na potrebe povojnega časa pa tudi glede na svoj značaj sem poleg univerzitetne poti razvil še obsežno delovanje v industriji in za industrijo. Naj omenim najpomembnejše.

Rudarstvo 1946-1950

V prvih povojnih letih sem strokovno pregledal močno izrabljene strojne naprave, predvsem kompresorske sisteme v rudnikih na severozahodu Jugoslavije, izdelal sem predloge in načrte za izboljšave, ki so bili tudi uspešno izvedeni. Glede na tedanje splošno pomanjkanje sem moral pogosto najti rešitve s prav svojevrstnimi prijemi.

Apno in cement 1946-1960

Tudi v tej industriji sem bil po vojni vrsto let dejaven, svetovalno. Ko se je pokazal problem žganja klinkerja z malokaloričnimi premogi, sem preiskal toplotne zmožnosti skoraj vseh jugoslovanskih peči za klinker. Posrečilo se je na razmeroma preprost način s premogi, ki so bili na voljo, proizvajati kakovosten cement. Pomagal sem pri skoraj vseh težavah v zvezi z izrabljenim strojnim parkom (razpoke na plaščih rotacijskih peči, cevni mlinih itn).

Sodeloval sem pri načrtovanju, pri gradnji in pri zagonu več tovarn cementa. Po mojih načrtih in risbah sta bili zgrajeni dve popolnoma avtomatizirani postrojenji za žganje apna v bližini Ljubljane in Maribora.

Termoelektrarne 1950-1966

Sodelovanje in svetovanje pri izračunih več velikih termoelektrarn v Jugoslaviji, še posebej v Sloveniji. Vodenje prevzemnih preizkusov prve stopnje izgradnje Termoelektrarne Šoštanj 60 MW.

Hladilni stolpi od 1954 naprej

Izračun in zasnova hladilnih stolpov po lastnih zamislih in patentih. Velja omeniti velike hladilne stolpe z naravnim vlekem 60 do 275 MW ter več srednjih in manjših stolpov z naravnim in umetnim vlekem.

Proizvodnja sode

S proizvodnjo sode sem povezan vse življenje. Takoj po vojni sem vodil obnovo Tovarne sode v Lukavcu, ki je bila končana v presenetljivo kratkem času. V letih 1950-1955 je bila povečana proizvodnja od 160 na 450 t/d in pri tem tovarna povsem posodobljena. Za vsa dela sem bil odgovoren popolnoma sam: od načrtov do naročil, od gradnje do zagona.

Tudi proizvodnja od 1000 do 1200 t/d gre v glavnem po načrtih in projektih, ki sem jih izdelal pred časom. Do danes sem v Tovarni sode Lukavac znanstveni svetnik.

Za načrtovane tovarne sode v Kolumbiji, Argentini in Egiptu sem izdelal načrte za ponudbe, vendar tovarne niso bile realizirane. S tem v zvezi sem bil večkrat svetovalec egiptovski vladi.

Po mojih načrtih je pariška firma Krebs et Cie. postavila tovarno sode za 200 t/d v kraju Porbandar, Indija, tovarno sem 1959/60 uspešno spravil v obratovanje. Skrb za tovarno imam še danes.

Pri zagonu tovarne sode v kraju Cabo Frio, Brazilija sem bil poklican za svetovalca. V povojnem času sem imel priložnost obiskati in pregledati več tovarn sode v vzhodnoevropskih državah. Rezultat te dejavnosti je knjiga o proizvodnji sode

Raziskave in pedagoško delo

Pred in med svetovno vojno, 1928-1945

Koncern Solvay je deloval na podlagi znanstvenih metod. Tudi meni je bilo omogočeno, da sem lahko vodil in vrednotil raziskave o obnašanju naprav in strojev. Take raziskave so bile namenjene izboljšanju obratovanja, izboljšanju samih proizvodov, pa tudi nadaljnjemu razvoju. Ugotovitve in posledice so bile zapisane v t.i. beležkah, ki so bile strogo zaupne in niso smele biti objavljene. V tem obdobju sem več let zbiral material za svojo bodočo disertacijo.

Leta 1940 sem dobil povabilo za profesuro novo ustanovljenega Oddelka za strojništvo Univerze v Ljubljani. Glede na mojo zelo dobro mesto v industriji sem povabilo odklonil.

Po svetovni vojni, od 1945 naprej

Ponovno vabilo iz Ljubljane za profesuro sem sprejel. Ko sem bil 01.04.1946 imenovan za rednega profesorja za teoretično strojeslovje na Univerzi v Ljubljani sem predaval učne predmete:

- Termodinamiko za strojnike in dve leti tudi za rudarske inženirje
- Višjo termodinamiko za podiplomski študij
- Nihanja in vibracije
- Gonila
- Krmilno tehniko

Znanstvena dela

- Termodinamika: osnove, energijske pretvorbe, binarne zmesi, prenos toplote in snovi v hladilnih stolpih, grelni procesi
- Procesna tehnika: uparjanje

Leta 1962 sem odklonil povabilo za profesuro na Stolici za termodinamiko Tehniške univerze Berlin, sprejel pa povabilo na novo ustanovljeni Stolici za procesno in jedrsko tehniko Tehniške univerze (tedaj Visoke šole) v Braunschweigu.

Prvi dve leti sta bili izpolnjeni (september 1962 do konca leta 1963) z »zagonom« stolice in s pripravami za gradnjo inštituta. Naslednji dve leti sta bili porabljeni za gradnjo inštituta in v nadaljnjih dveh letih se je posrečil »zagon« tega inštituta. V Braunschweigu poučujem procesno tehniko v dveh delih skupaj 6 ur tedensko v obeh semestrih, in sicer termično oz. kemično procesno tehniko

Znanstvena dela

- Nadaljevanje del na področju termodinamike
- Na inštitutu potekajo naslednje raziskave
- Vrenje binarnih raztopin do visokih koncentracij in tlakov
 - Veličine stanja binarnih raztopin
 - Snovne lastnosti binarnih raztopin
 - Stabilnost in prehod toplote v pršilnem filmu pri vrenju vode in vodnih raztopin
 - Ravnotežna stanja pri absorpcijskih procesih
 - Vzoredne raziskave pri kroženju in pri prehodu toplote v (tehničnih) uparjalnikih in v cevnem elementu
 - Prehod toplote pri sublimaciji praškov
 - Entalpijski diagrami za trisnovne sisteme
 - Prehod toplote in premer mehurčkov pri vrenju vodnih raztopin
 - Prehod toplote pri uparjanju kapljic v kapljevitem dvofaznem sistemu
 - Hidrodinamika in prenos snovi v pločevinastih kolonah pri pršenju
- (Opomba: znanstvena dela so izpopolnjena glede na stanje do začetka leta 1972)

Delo na drugih visokih šolah

- 1963 Predavanja na Fakulteti za strojništvo v Ljubljani
- Teoretična termodinamika (25 ur)
 - Krmilna tehnika (33 ur)
- 1964 Enako
- Krmilna tehnika (36 ur)
- 1965 Enako
- Statistična termodinamika (15 ur)
 - Stabilnitetni problemi v krmilni tehniki (12 ur)
- 1966 Enako
- Stabilnitetni problemi v krmilni tehniki (12 ur)
- Predavanja na Tehnološki fakulteti v Tuzli

- Teorija obarjanja bikarbonata v proizvodnji sode (12 ur)
- 1967 Predavanja na Fakulteti za kemijo v Zagrebu
- Termodinamika žganja klinkerja (15 ur)
- Navedbe prof. Z. Ranta se tu končajo. Znano je, da je predaval tudi v letih 1968 do 1971, vendar natančnejši podatki niso znani.

BIBLIOGRAFIJA

ZNANSTVENE OBJAVE – ČLANKI

01. Rant, Z.: Wärmediagramme einiger wäßriger Salzlösungen, Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens (20) 1954/3, 77 – 80.
02. Rant, Z.: Vrednost in obračunavanje energije (The Value and Calculation of Energy). Strojniški vestnik (1) 1955/1, 4 – 7.
03. Rant, Z.– Oprešnik, M.: Toplinski dijagrami za vodene raztopine natrijeva karbonata i kalijevega klorida (Heat/Thermal Diagrams for Water Solutions of Sodium Carbonate and Potassium Chloride). Informacije Fabrike sode Lukavac (1) 1955/3, 11 – 14.
04. Rant, Z.: Exergie, ein neues Wort für "technische Arbeitsfähigkeit". Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens (22) 1956/1, 36 – 37.
05. Rant, Z.: Gostota težke vode (D₂O) (Density of Heavy Water (D₂O)). Strojniški vestnik (2) 1956/3, 83.
06. Rant, Z.: Vrednotenje energije v tehniški praksi (Evaluation of Energy in Technical Practice). Strojniški vestnik (2) 1956/4, 111 – 115.
07. Rant, Z.: Energija – eksnergija (Energy – Exergy). Strojniški vestnik (3) 1957/3, 3.
08. Rant, Z.: Bewertung und praktische Verrechnung von Energien. Allgemeine Wärmetechnik (8) 1957/2, 25 – 32.
Bistveni del članka je povzel E. Hadžipetrov: Praktičesko ostopnostjavanje na energiiinite formi, Tehnika (11) 1962/2, 56 – 58.
09. Rant, Z.: Termoelektrarna Šoštanj (Šostanj Thermal Power Plant). Strojniški vestnik (3) 1957/4-5, 79 – 82.
10. Rant, Z.: Hladilni stolp Termoelektrarne Šoštanj (The Cooling Tower of the Šoštanj Thermal Power Plant). Strojniški vestnik (3) 1957/4-5, 95 – 97.
11. Rant, Z.: Graphische Bestimmung des Exergieverlustes beim Wärmeübergang. Allgemeine Wärmetechnik (8) 1957/7, 141 – 142.
12. Rant, Z.: Exergie, Reaktionsenthalpie und freie Enthalpie. Vestnik Slovenskega kemijskega društva (4) 1957/1-2, 49 – 56.
13. Rant, Z.: O prvem in drugem glavnem zakonu termodinamike (On the First and the Second Law of Thermodynamics). Strojniški vestnik (4) 1958/3-4, 57 – 59.

14. Rant, Z.: Toplinski diagrami za kaustičnu lužinu (Heat/Thermal diagrams for Caustic Lye). Informacije Fabrike sode Lukavac (5) 1959/1, 3 – 6.
15. Rant, Z.: Geometrija karbonacijskih kolona (Geometry of Carbonation Columns). Informacije Fabrike sode Lukavac (5) 1959/1, 7 – 9.
16. Rant, Z.: Eksergija goriv (The Exergy of Fuels). Strojniški vestnik (5) 1959/6, 161 – 163.
17. Rant, Z.: Entropiediagramme für wäßrige Salzlösungen. Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens (26) 1960/1, 1 – 7.
18. Rant, Z.: Exergiediagramme für Verbrennungsgase. Brennstoff-Wärme-Kraft 12 1960/1, 1 – 8 in dva delovna diagrama. Izčrпно poročilo z naslovom Available Enthalpy or »Exergy« Diagrams for Combustion Gases. The Engineers Digest (21) 1960/3, 107 – 110.
19. Rant, Z.: Kaj je pravzaprav termodinamično stanje? (What in Fact is a Thermodynamic State?). Strojniški vestnik (6) 1960/2, 41 – 43.
20. Rant, Z.: Exergiediagramme für Wasser und Wasserdampf, Brennstoff-Wärme-Kraft (12) 1960/7, 297 – 301 in dva delovna diagrama.
21. Rant, Z.: Autostabilizacija (Autostabilisation). Automacija (1) 1960/1, 3 – 8.
22. Rant, Z.: Nepovrativost kod koncentracije kaustične sode, (Irreversibility in the Concentration of Caustic Soda). Informacije Fabrike sode Lukavac (6) 1960/ 3 – 6.
23. Rant, Z.: Zur Bestimmung der spezifischen Exergie von Brennstoffen, Allgemeine Wärmetechnik (10) 1961/9, 172 – 176.
24. Rant, Z.: Der Einfluß der Luftvorwärmung auf die Nichtumkehrbarkeiten der Verbrennung. Brennstoff-Wärme-Kraft (13) 1961/11, 496 – 499 in dva delovna diagrama.
25. Rant, Z.: Die Exergie von Stoffen bei Umgebungsdruck. Allgemeine Wärmetechnik (11) 1962/1, 1–2.
26. Rant, Z.: Termodinamika kurilnih procesov (Thermodynamics of Burning Processes). Strojniški vestnik (8) 1962/1-2, 1– 5.
27. Rant Z.: Kvadratni dijagram sistema (NaCl, NH₄HCO₃, NH₄Cl, NaHCO₃) (Quadratic Diagram of the System (NaCl, NH₄HCO₃, NH₄Cl, NaHCO₃)). Informacije Fabrike sode Lukavac (8) 1962/1, 3 – 10.
28. Rant, Z.: Produkcija i obaranje natrijevog hidrokarbonata u kvadratnom dijagramu (The Production and Sodium Hydrocarbonate Precipitation in a Quadratic Diagram). Informacije Fabrike sode Lukavac (8) 1962/1, 11 – 14.
29. Rant, Z.: Pravi proces obaranja hidrokarbonata (A Real Process of Hydrocarbonate Precipitation). Informacije Fabrike sode Lukavac (8), 1962/1, 15-21.
30. Rant, Z. Bizjak, A., Šarec, J.: Termodinamični diagrami za sistema H₂O-(NH₄)₂SO₄ in H₂O-(NH₄)Cl (Thermodynamic Diagrams for the Systems H₂O-(NH₄)₂SO₄ and H₂O-(NH₄)Cl). Strojniški vestnik (8) 1962/4-5, 95 – 99.
31. Rant, Z.: Die Heiztechnik und der zweite Hauptsatz der Thermodynamik. Internationale Zeitschrift für Gaswärme (12) 1963/8, 297 – 304.
32. Rant, Z.: Importance et applications techniques des notions d'exergie et d'anergie, Institut français des combustibles et de l'énergie. Journées de la combustion et de la conversion de l'énergie. Comptes rendus (I-1) 1–8, Paris 19.– 23.05.1964. Objava prevedena: Importanza tecnica et applicazione della nozione di esergia. La rivista dei combustibili (18) 1964/9, 345 – 355.
33. Rant Z.: Thermodynamische Bewertung der Verluste bei technischen Energieumwandlungen, Weltkraftkonferenz (Teiltagung in Lausanne, Schweiz, 13.– 17. 09. 1964), poročilo št. 111 IA. Ponatis v reviji Brennstoff- Wärme-Kraft (16) 1964/9, 453 – 457. Celoten članek prevedel J. Ayrest: Valoracion termodinamica de las pérdidas en les transformaciones técnicas de energía, Ciencia y técnica (133) 1965/675, 361 – 372.
34. Rant, Z.: Exergie und Anergie. Wissenschaftliche Zeitschrift der TU Dresden (3) 1964/4, 1145 – 1149.
35. Rant, Z.: Der Exergiebegriff als Bewertungsgrundlage in der Energietechnik VDI – Zeitschrift (106) 1964/28, 1393 – 1396.
36. Rant, Z.: Bilanzen und Beurteilungsquotienten bei technischen Prozessen. Internationale Zeitschrift für Gaswärme (14) 1965/1, 28 – 37.
37. Rant, Z.: La aplicacion del segundo principio de la termodinámica a los procesos técnicos. 2ª Conferencia internacional del combustible en la industria, Buenos Aires 1966.
38. Rant, Z.: Thermodynamische Bewertung chemischer Prozesse. Chemie-Ingenieur-Technik (41) 1969/16, 891 – 898.
39. Rant, Z.: Termodynamické hodnocení chemických procesů (Thermodynamic Evaluation of Chemical Process). Energetika (19) 1969/10, 417 – 421.
40. Rant, Z.: Die Anwendung graphischer Methoden in der thermischen Verfahrenstechnik. Verfahrenstechnik (4) 1970/5, 215 – 216.
41. Rant, Z.: Räumliche Enthalpie – Zusammensetzungsdiagramme für Dreistoffsysteme. Chemie—Ingenieur-Technik (42) 1970/6, 339 – 344.
42. Rant, Z.– Möhle, W.: Die Genauigkeit der Dühringschen Geraden für wäßrige Salzlösungen, Chemie-Ingeieur-Technik (44) 1972/5, 261 – 265.

ZNANSTVENE OBJAVE – KNJIGE

01. Rant, Z.: Teorija oscilacij, skripta (The Theory of Oscillations, Lecture Notes). Univezitetna založba, Ljubljana 1949.
02. Rant, Z.: Energetska ocenitev postopka fabrikacije sode (Na_2CO_3). (Energy Evaluation of a Procedure of Soda Fabrication). Acta technica (3) (1951). Doktorska disertacija. Ljubljana.
03. Rant, Z.: Verdampfen in Theorie und Praxis. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig 1959.
Prevod v poljski jezik: Odparowywanie w teorii i praktyce. Wydawnictwe naukowo techniczne, Warszawa 1965.
Prevod v srbohrvaški jezik: Isparivanje i uparivanje. Tehnička knjiga, Zagreb 1965.
04. Rant, Z.: Teorija mehanizmov, skice (The Theory of Mechanisms, Sketches). Univerzitetna založba, Ljubljana 1961.
05. Rant, Z.: Diagramm-Mappe zu Verdampfen in Theorie und Praxis. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Leipzig 1961.
06. Rant, Z.: Termodinamika (Thermodynamics). Univerzitetna založba Ljubljana 1963.
07. Rant, Z.: Die Erzeugung von Soda nach dem Solvay-Verfahren, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1968.
Druga, nespremenjena izdaja knjige je izšla leta 1984.
08. Rant, Z.–Gašperšič, B.: Ein allgemeines Temperatur-Enthalpie Exergie – Diagramm für Verbrennungsgase, VDI-Verlag, Düsseldorf 1972.
09. Rant, Z.: Verdampfen in Theorie und Praxis. 2. überarbeitete und erweiterte Auflage. Verlag von Theodor Steinkopff, Dresden und Verlag Sauerländer, Aarau und Frankfurt/Main 1977.
(Po avtorjevi smrti izdajo pripravili J. Krey, H. Banski, U. Bergemann, K. Feldkamp, K. Meyer).

ZNANSTVENE OBJAVE – PRISPEVKI V KNJIGAH

01. Rant, Z.: Amonijačna soda. Prispevek za jugoslovansko Tehnično enciklopedijo, Zagreb 1959, 161 – 163. (Ammoniac Soda, Contribution for the Yugoslav Technical Encyclopedia).
02. Rant, Z.: Regulacija industrijskih procesa (Regulation of Industrial Processes). Zbornik radova JUREMA, Zagreb 1963, 234 – 243.
03. Rant, Z.: Die Exergieverhältnisse bei der Verbrennung. Energie und Exergie. VDI-Verlag, Düsseldorf 1965, 33 – 38.
04. Rant, Z.: Regulacija kolona u proizvodnji sode

- (Regulation of Columns in Soda Production). Automatizacija – Zbornik radova JUREMA, Zagreb 1965, 67 – 71.
05. Rant, Z.: Eksergija – novyj termin dlja oboznačenija "tehničeskoj rabotosposobnosti". Voprosy termodinamičeskogo analiza, Moskva 1965, 11 – 14. Neavtoriziran prevod članka: Exergie, ein neues Wort für "technische Arbeitsfähigkeit". Forschung auf dem Gebiet des Ingenieurwesens (22) 1956/1, 30 – 37.
06. Rant, Z.: Eksergetičeskaja diagrama vody i vodjanogo para. Voprosy termodinamičeskogo analiza, Moskva 1965, 87 – 89. Neavtoriziran prevod članka Exergiediagramme für Wasser und Wasserdampf. Brennstoff-Wärme-Kraft (12) 1960/7, 297 – 301.
07. Rant, Z.: Die Nichtumkehrbarkeiten von Prozessen und die klassische Thermodynamik, DECHEMA Monographien (65) 1970, 27 – 45.

RAZLIČNE OBJAVE

01. Rant, Z.: Polet do zvezd mogoč? (Is Flight to the Stars Possible?). Časopis Slovenec, 29. 01. 1926.
02. Rant, Z.: Moj prvi polet (My First Flight). Časopis Slovenec, 01. 04. 1926.
03. Rant, Z.: Umetna svila (Artificial Silk). Časopis Slovenec, 20. 05. 1926.
04. Rant, Z.: Letalski motori, tečaj za rezervne častnike inženirske stroke (Aircraft Engines, A Course for Reserve Engineering Officers). Mornariška letalska šola Kumbor 1927.
05. Rant, Z.: Strojni inženjer. Prispevek za knjigo Lovra Sušnika: Akademski poklici, Ljubljana, 1932, 282 – 284. (Mechanical Engineer. Contribution to the Book Academic Professions).
06. Rant, Z.: Konstrukcioni biro FSL, (FSL Engineering Design Department in Lukavac). Informacije Fabrike sode Lukavac (1) 1955/1, 24 – 26.
07. Rant, Z.: Strojniški vestnik, Ob prvi obletnici izhajanja (Mechanical Engineering Journal, On the First Year of Publication). Časopis Slovenski poročevalec 28. 01. 1956.
08. Rant, Z.: Utisci iz Poljske (Impressions of Poland). Informacije Fabrike sode Lukavac (3) 1957/3, 5 – 8.
09. Rant, Z.: Konstrukcioni biro FSL u Zagrebu (FSL Engineering Design Department in Zagreb). Informacije Fabrike sode Lukavac (4) 1958/1, 43 – 44.
10. Rant, Z.: Nekaj besed k študiju na Oddelku za strojništvo (A Few Words on Studies at the Department of Mechanical Engineering). Strojniški zbornik, Ljubljana 1959, 17 – 24.
11. Rant, Z.: Novi način študija strojništva (A New

- Method of Studying Mechanical Engineering).
Strojniški zbornik, Ljubljana 1961, 8 – 10.
12. Rant, Z.: Ob osamosvojitvi Fakultete za strojništvo v Ljubljani (On Independent Study at the Faculty of Mechanical Engineering in Ljubljana). Strojniški vestnik (7) 1961/1, 1.
 13. Rant, Z.: Fran Bošnjaković 60 – Jahre alt. Brennstoff-Wärme-Kraft (14) 1962/1, 139.
 14. Rant, Z.: Pismo prof. Ranta (Letter from Professor Rant). Bilten Fabrike sode Lukavac 1964/66, 5.
 15. Rant, Z.: Prof. ing. Boleslav Likar – 70-letnik (Prof. Ing. Boleslav Likar – 70th Anniversary). Strojniški vestnik (11) 1965/1, 26.
 16. Rant, Z.: F. Bošnjaković - 65 Jahre alt. International Journal of Heat and Mass Transfer (10) 1967/1, 1 - 3.
 17. Rant, Z.: Institut für Verfahrens- und Kerntechnik an der TH Braunschweig, ACHEMA Jahrbuch, Bd. 2 der DECHEMA, Frankfurt/Main 1965/67, 219 – 220.
 18. Rant, Z.: Institut für Verfahrens- und Kerntechnik an der TH Braunschweig, ACHEMA Jahrbuch, Bd. 2 der DECHEMA. Frankfurt/Main 1968/70, 210 – 212.
 19. Rant, Z.: Institut für Verfahrens- und Kerntechnik an der TH Braunschweig, ACHEMA Jahrbuch, Bd. 2 der DECHEMA, Frankfurt/Main 1971/73, 203 – 204.

Meritve tokovnega polja okrog osamljenega mehurja pare nad umetno ustvarjenim zarodnim mestom s tehniko meritve hitrosti s sliko sledilnih delcev

Velocity-Field Measurements Around an Isolated Vapour Bubble Over an Artificially Produced Nucleation Site Using the Particle Image Velocimetry Technique

Sanib Bašič - Jure Marn - Leopold Škerget

V prispevku smo podali izsledke fizikalnih meritev hitrostnega polja v območju nad zarodnim mestom, ki je dejavno med potekom mehurčastega naravno konvektivnega vrenja. Po predstavitvi temeljnih mehanizmov prenosa v preučevanem režimu vrenja smo določili vodilne cilje potekajoče raziskave, opisali merilno progo ter podali nekatere osnovne značilnosti merilne tehnike MHSSD. Opisali smo potek meritev tokovnega polja, strnili rezultate preizkusa, nato pa povzeli sklepne ugotovitve. Delo prispeva h kolikostnem vrednotenju konvektivnih učinkov med oddaljevanjem parnih mehurjev od vrelnе ploščice po ločitvi od zarodnega mesta.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: vrenje mehurčkasto, zakonitosti fizikalne, tehnika merilna, polja tokovna)

In this paper measurements of the velocity field in the region over a nucleation site that was active during nucleate pool boiling are presented. After the presentation of the principal transport mechanisms in the investigated boiling regime the main aims of the research are defined. The experimental rig is presented and some basic features of the PIV measurement technique are described. A procedure for flow-field measurements is described, the results are presented and we conclude with final statements. The work contributes to a quantitative determination of the convective effects during the vapour-bubble removal process on heating a wafer after departure from a nucleation site.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: nucleate boiling, vapour bubbles, hydrodynamics, experimental techniques, flow fields)

0 UVOD

Delo, ki ga predstavljamo v pričujočem prispevku, je posvečeno preučevanju fizikalnih zakonitosti v režimu delno razvitega mehurčastega naravno konvektivnega vrenja. Slednje je definirano kot heterogena fazna preobrazba iz kapljevitega v plinasto agregatno stanje, ki poteka ob intenzivnem nastajanju osamljenih parnih mehurjev v netekoči kapljevini. Gonilna sila številnih študij na tem področju izvira zlasti iz dveh dejstev, in sicer: (a) med potekom nukleacijskega vrenja je mogoče doseči zelo velike vrednosti gostote toplotnega toka ob razmeroma majhnih vrednostih stenskega pregretja, s čimer je omogočeno izjemno učinkovito hlajenje grelnih površin, ter (b) dedna lastnost pojava je zmožnost shranjevanja velikih količin eksergije v obliki latentne toplote parne faze. Prva značilnost pojava se izrablja v številnih napravah strojne (uparjalniki, povrelniki,

0 INTRODUCTION

The aim of this paper is to provide some insight into the hydrodynamics of the bubbling process during the partly developed nucleate boiling regime. This can be defined as a heterogeneous phase transition from the liquid to the vapour state, accompanied by the intensive production of isolated bubbles in an initially quiescent liquid body. The main impetus of the numerous studies performed in this area arises primarily from two facts: (a) very high heat fluxes at relatively low values of wall superheating can be achieved during the nucleate boiling process, and due to this a very effective cooling of heated surfaces is achieved employing this modus of heat transfer; and (b) an inherent feature of the boiling phenomenon is that a vast amount of energy can be compactly stored as the latent heat of vapour phase, and afterwards it can be readily

hladilniki itn.) in elektronske (procesorske enote, tiskana vezja itn.) industrije, medtem ko je druga pogostokrat izkoriščena kot ena izmed stopenj pri spremembi energije v energetskih postrojih (parni kotli in uparjalniki termoelektrarn).

Ključni motiv preučevanja različnih režimov vrenja je, v nasprotju z zapletenostjo in navidezno naključnostjo samega pojava, preprost. Smiselno bi bilo izpeljati takšne matematične izraze za gostoto toplotnega toka, ki bi znotraj sprejemljive natančnosti zadovoljili inženirsko prakso in bi ne bili odvisni od velikega števila geometrijskih in postopkovnih parametrov, kar se zelo pogosto dogaja ob uporabi znanih izkustvenih korelacij. Tudi dandanes ni redkost, da se vrednosti gostote toplotnega toka, ki je določena na podlagi več različnih, sicer uveljavljenih izkustvenih korelacij, razlikujejo celo za več ko 200 odstotkov glede na eksperimentalno ugotovljeno vrednost [1].

S pospešenim razvojem fizikalnih meritev in intenzivnim kopičenjem eksperimentalnih podatkov se pojavljajo prvi fenomenološki (mehanistični) modeli prenosa toplote v režimu mehurčastega vrenja. Kljub vloženim naporom znanosti še ni uspelo podati veljavnega analitičnega modela za vrednotenje prenosa toplote, celo v režimu osamljenih mehurčkov, brez uporabe empirično določenih stalnic, s čimer se uporabnost razvitih modelov močno omejuje. Različni mehanistični modeli so tako dopolnjeni z eksperimentalnimi stalnicami in predstavljajo bolj ali manj znane polempirične korelacije prenosa toplote.

1 VODILNI MEHANIZMI PRENOSA V REŽIMU MEHURČASTEGA VRENJA

V splošnem obstaja okvirno soglasje, da so vodilni mehanizmi, ki prispevajo k prenosu toplote v režimu delno razvitega mehurčastega naravno konvektivnega vrenja: (a) mikrokonvektivni učinki med potekom rasti (sl. 1a), ločevanja (sl. 1b) in oddaljevanja mehurčkov (sl. 1c) [2]; (b) prehodni prevod toplote s spremembo "makro" mejne plasti nad grelno površino, ki poteka med inkubacijsko dobo (sl. 1d); (c) izparevanje adsorbirane "mikro" plasti kapljevine pod rastočim mehurčkom in vzdolž medfazne površine (sl. 1e) in (d) naravna konvekcija, ki prevladuje v področjih zunaj vpliva posameznih zarodnih mest (sl. 1f) [3]. Štirje mehanizmi potekajo hkrati, njihov relativni pomen in prispevek k skupnemu toplotnemu toku pa je zelo odvisen od sistemskih in obratovalnih razmer. Pravilno vrednotenje pomembnosti posameznega izmed omenjenih mehanizmov ostaja še vedno odprto vprašanje.

Uveljavljeni model prenosa toplote s štirimi vodilnimi mehanizmi je še vedno idealizacija dejanskih razmer, kajti ta velja le hipotetično ob mehurjenju z osamljenega zarodnega mesta.

recovered in another process. The first feature is frequently used in apparatus in the process (evaporators, reboilers, coolers, etc.) and electronic (processor units, printed circuits, etc.) industries, while another one is often applied as one of the stages in energy-conversion systems (e.g., boilers and vapour generators in fossil-fuel power plants).

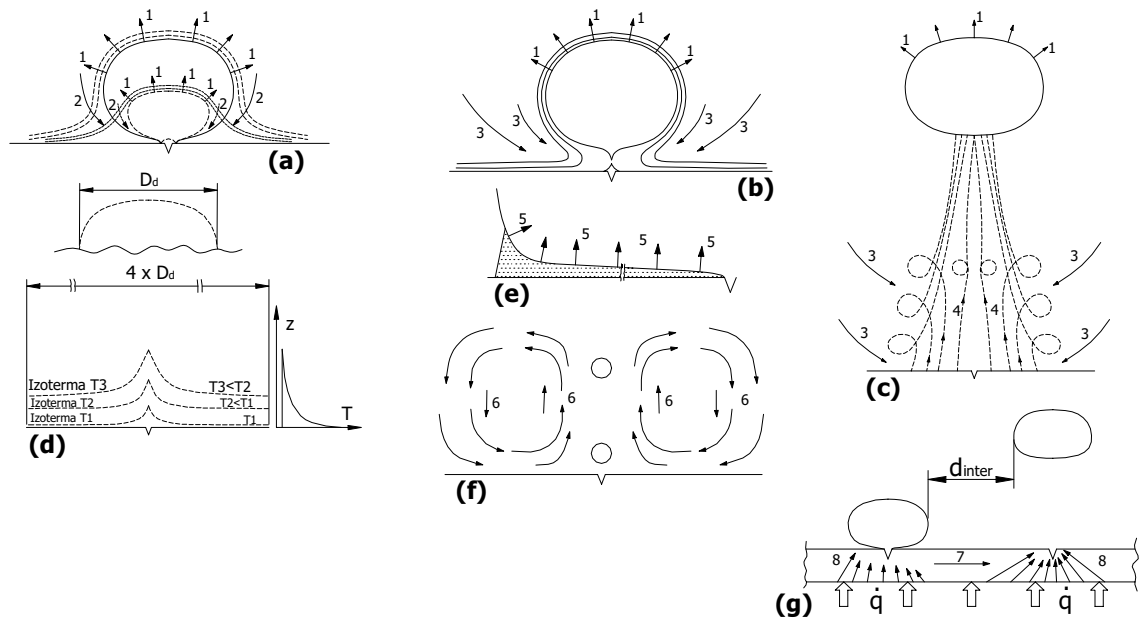
In spite of the complexity of the boiling phenomenon, a leading motive, and also the main goal of investigations concerning different boiling regimes, is very simple. Namely, suitable mathematical expressions for the mean heat flux are needed with acceptable accuracy satisfy engineering practice in such a way that they should not depend on many geometrical and process parameters. Even today, it is not unusual for the values of the heat flux estimated on the basis of different well-known empirical correlations to differ by more than 200% from experimental values [1].

As a result of the fast development in the area of experimental techniques and intensive data accumulation the first phenomenological (mechanistic) models of heat transfer in the bubble boiling regime have been established. In spite of many efforts the scientific community has not yet achieved an appropriate analytical model for heat-transfer prediction that is free of empirical constants, even in the regime of isolated bubbles. With this limitation the usefulness of developed models is much restricted. Thus, the different mechanistic models use experimental constants and present more-or-less known semi-empirical correlations of heat transfer.

1 GOVERNING TRANSPORT MECHANISMS IN THE NUCLEATE BOILING REGIME

It is well established that the governing transport mechanisms contributing to the heat transfer in the regime of partially developed nucleate boiling are: (a) micro-convection during the growth (Fig. 1.a), the departure (Fig. 1.b) and the rising (Fig. 1.c) of the bubbles [2], (b) transient heat conduction during the reformation of the macro-boundary layer immediately above the heating surface (Fig. 1.d), which occurs during the waiting period, (c) evaporation of the adsorbed liquid micro-layer underneath the growing bubble and around the bubble interface (Fig. 1.e), and (d) natural convection that is dominant out of the regions affected by the activity of nucleation sites (Fig. 1.f) [3]. Four mechanisms take place simultaneously and their relative contribution to the overall heat transfer depends to a great extent on the system and the operational parameters. The correct prediction for these particular mechanisms still remains an open question.

The proposed heat-transfer model with four governing mechanisms can be viewed only as an idealised description of the real situation because of



- 1 - odiranje makro plasti pred svodom mehurja
- 2 - stransko obtekanje mehurja
- 3 - zalitje vrelnе površine
- 4 - sesalni učinek in vrtnčenje v tokovni brazdi
- 5 - izparevanje na medfazni površini
- 6 - polje naravne konvekcije
- 7 - stranski prevod toplote
- 8 - toplotni tok skozi vrelnо ploščо

- 1 - macro layer removal in front of bubble cap
- 2 - lateral flows around bubble
- 3 - recovering of boiling surface
- 4 - suction effects and flow wake formation
- 5 - vaporization at bubble interface
- 6 - natural convection flow field
- 7 - lateral heat conduction
- 8 - heat flow through heating plate

Sl. 1. Vodilni mehanizmi prenosa toplote v režimu mehurčastega vrenja: (a) ekspanzija, (b) ločitev, (c) oddaljevanje mehurja in sesalni učinek, (d) prehodna sprememba makromejne plasti, (e) uparjanje mikromejne plasti, (f) prosta konvekcija, (g) interakcija nukleacijskih mest

Fig. 1. Governing transport mechanisms in the partial nucleate boiling regime: (a) expansion, (b) separation, (c) bubble raising and the suction effect, (d) transient reformation of the macro-boundary layer, (e) micro-boundary-layer evaporation, (f) natural convection, (g) interaction between nucleation sites

Medsebojne interakcije zarodnih mest (sl. 1g) [4] vnašajo dodatne mehanizme (proženje in deaktivacija zarodkov, sekundarna nukleacija itn.), katerih vrednotenje je ozko povezano z mikrostanjem vrelnе površine (krajevno-časovna porazdelitev, omočljivost, velikost ter oblika potencialnih zarodnih mest) in pomenijo dodatno neznanko v postopku mehurčastega vrenja.

V režimu osamljenih parnih mehurjev sta mikrokonvekcija in prehodni prevod toplote v kapljevini v neposredni bližini vrelnе površine najbolj pomembna mehanizma prenosa toplote. Po sprožitvi vrenja je pregreta mejna plast vsakokrat potisnjena navzven in premešana s hladnejšo okoliško kapljevino. Mehurji delujejo kot neke vrste mikro črpalke, s čimer hladnejšo kapljevino potiskajo stran od površine, nadomešča jo pa hladnejša kapljevina iz višje ležečih plasti. Ta mehanizem sta prvič predlagala Forster in Greif [5]. S seštevanjem prispevkov prehodnega prevoda toplote nad zarodnim mestom in okrog njega, izparevanja mikromejne plasti pod mehurjem ter naravne konvekcije v področjih zunaj

the fact that it holds merely for a single nucleation site. Mutual interactions between statistically arranged nucleation sites on a real surface (Fig. 1.g) [4] bring about additional mechanisms (activation and deactivation of cavities, secondary nucleation, etc.), which strongly depend on the microstate of the boiling surface (spatio-temporal distribution, wettability, size and shape of potential nucleation sites) and it is additionally unknown in the process of bubble boiling.

In the isolated bubble regime, micro-convection and transient conduction into the liquid adjacent to the wall are probably the most important mechanisms for heat removal from an upward-facing horizontal surface. After bubble inception, the superheated liquid layer is pushed outwards and mixes with the bulk liquid. The bubble acts like a pump in removing the hot liquid from the surface and replacing it with cold liquid. This mechanism was originally proposed by Foster and Greif [5]. Combining the contribution of transient conduction on and around nucleation sites, the micro-layer evaporation underneath the bubbles and the natural

vpliva zarodnih mest, pridemo do izraza za srednjo vrednost gostote toplotnega toka v režimu delno razvitega mehurčastega vrenja:

$$\dot{q} = \underbrace{\left(N_a \pi D_d^2 K / 4\right) \dot{q}_{tc}}_{\text{prehodni prevod toplote}} + \underbrace{\left(1 - N_a \pi D_d^2 K / 4\right) \dot{q}_{nc}}_{\text{naravna konvekcija}} + \underbrace{\left(N_a \pi D_d^2 / 4\right) \dot{q}_{ev}}_{\text{izparjanje mikro plasti}} \quad (1)$$

$$\dot{q} = \underbrace{\frac{K^2}{2} \sqrt{\pi(\lambda \rho c_p)_l f D_d^2 N_a \Delta T}}_{[6]} + \underbrace{\left(1 - \frac{K^2}{2} N_a \pi D_d^2\right) \bar{\alpha}_{nc} \Delta T + N_a \frac{\pi}{4} D_d^2 \bar{\alpha}_{ev} \Delta T}_{[7]} \quad (2).$$

Prva izmed členov v zgornji enačbi sta bila vključena v izvornem modelu, ki sta ga predlagala Mikic in Rohsenow [6]. Izparevanje na medfazni površini sta zajela s prvim členom, ki predstavlja prehodni prevod toplote v kapljevini. Zadnji člen v enačbah (1) in (2), ki je dodan kot pomemben prispevek skupnemu toplotnemu toku, sta predlagala Judd in Hwang [7]. Ta člen upošteva izparevanje mikro plasti, ki nastaja med mehurjem in trdno površino. Simboli v zgornjih enačbah označujejo: N_a - gostoto delujočih zarodnih mest, D_d - premer mehurjev ob ločitvi, K - stalnico krajavnega vpliva nastajajočih mehurjev, $(\lambda \rho c_p)_l$ - zmnožek snovnih lastnosti kapljevite faze, f - frekvenco nastajanja mehurjev in $\bar{\alpha}$ - povprečno toplotno prestopnost ($\bar{\alpha}_{nc}$ za naravno konvekcijo, $\bar{\alpha}_{ev}$ za izparevanje mikro plasti). Iz enačb (1) in (2) je razvidno, da so mikrokonvektivni učinki mehurjenja zajeti le posredno, in sicer skozi vrednosti K , f in N_a .

2 CILJI RAZISKAVE

Cilj raziskave je kolikostno vrednotenje mikrokonvektivnih učinkov med rastjo, ločevanjem in oddaljevanjem (sesalni učinek) parnih mehurjev od vrele površine (prvi med prej ponazorjenimi mehanizmi, sl. 1a-1c). Domnevamo namreč, da je prav konvektivni mehanizem prenosa toplote neustrezno ovrednoten in da ima večji pomen, kakor ga upoštevajo (ali sploh ne) do sedaj predlagani modeli prenosa toplote. Na začetku smo se omejili le na zasledovanje tokovnih razmer, ki so posledica mehurjenja z osamljenega umetno ustvarjenega zarodnega mesta. Umetno nastajanje zarodnih mest smo opravili z metodo mehanskega vtiskovanja na finopoliranih jeklenih ploščicah, s čimer smo odpravili možnost sleherne nukleacije na nezaželenih mestih. Z vpeljanim merilnim postopkom bo v prihodnje mogoče ovrednotiti tudi vpliv nekaj novo dodanih zarodnih mest na tokovno polje nad vrelo površino ter učinkovanje le-teh na skupni prenos toplote, upoštevaje interakcije med posameznimi zarodki.

Vodilni smoter opravljene začetne faze raziskovanja je bil: (a) zasnova in postavitve

convection on inactive areas of the heater, expressions for partial nucleate boiling heat flux are obtained as:

Equation (2) arises from Equation (1) when expressions for heat fluxes for each of these mechanisms are inserted. Only the first two terms in the above equations were included in the original model proposed by Mikic and Rohsenow [6]. The evaporation at the bubble boundary is included in the first term, which represents the transient conduction in the liquid. The addition of the last term on the right-hand side of Equations (1) and (2) was suggested by Judd and Hwang [7]. This term accounts for the micro-layer evaporation at the base of the bubbles. For Equation (2) to serve as a predictive tool, the following must be known: the bubble diameter at departure D_d , the bubble release frequency f , the proportionality constant K for the bubble area of influence, the number density of active nucleation sites N_a and the average heat-transfer coefficient $\bar{\alpha}_{nc}$ and $\bar{\alpha}_{ev}$ for natural convection and micro-layer evaporation, respectively. From Equations (1) and (2) it is evident that the micro-convection contribution to the overall heat transfer is included only implicitly through the value of constants K , f and N_a .

2 AIMS OF THE INVESTIGATION

The distribution of velocity vectors in the flow field during the growth, the departure and the rising (suction effect) of vapour bubbles (mechanisms presented on Fig. 1.a-1.c) over the boiling surface is the main goal of the investigation reported in this paper. We suppose that the convective mechanism of heat transfer in boiling is not taken into consideration correctly till now (if at all) and that this phenomenon is more important than it has been proposed in known models of heat transfer. Initially, we have restricted our investigation to only one artificially produced nucleation site on the fine polished boiling plate. A method of mechanical impression is used to form this micro-cavity on the boiling surface. Doing this a controlled bubbling process has been achieved in a narrow range over the single micro-cavity. Furthermore, the hydrodynamics characteristics of the flow field over a few additional nucleation sites formed on the boiling surface and mutual interactions between these sites can be explored using this procedure.

The investigation discussed here was performed in two steps: (a) designing and mounting of

preizkusne proge za nadzorovano nastajanje mehurjev pare v definiranem režimu vrenja, ki bo omogočila preučevanje pojava z uporabo merilnih tehnik HDVK (hitra digitalna video kamera), MHSSD (meritve hitrosti s sliko sledilnih delcev) in LDA (laserska Dopplerjeva anemometrija) ter (b) pridobitev začetnih izsledkov hitrostnega polja okrog osamljenih mehurjev z uporabo eksperimentalne metode MHSSD.

3 MERILNA PROGA

Merilna proga (sl. 2) obsega (I) eksperimentalno napravo z oljno kopeljo in (II) merilni sistem MHSSD. Segreto olje iz oljne kopeli (1) priteka v primarni zbiralnik (2), kjer je s pomočjo usmeritvene šobe (3) omogočeno enolično in nepretrgano obilvanje spodnje površine vrelna ploščice (4). Nato se s povratnim cevovodom (5) olje zbira v sekundarnem zbiralniku (6), od tod pa odteka nazaj v oljno kopel. Masni pretok olja iz oljne kopeli se krmili z elektromotorjem z nastavljivo močjo (7), h kateremu je prigrajena zobniška črpalka (8). Primarni potopni električni uporovni grelnik (9) segreva olje, izstopno temperaturo le-tega pa uravnava krmilna enota (10) s temperaturno sondo in digitalnim termostatom. Skozi steno nosilne prirobnice (11), tik pod vrelna ploščico, je speljan kanal za hladilno vodo (12), ki je namenjen za izločenje obrobni zarodkov. Na pritrdjevalnik grelna ploščice (13) je nameščena kvadratna steklena vrelna komora (14) z vizualizacijskimi odprtini (15). Vrelna komora je z zgornje strani tesno zaprta s pokrovom (16), na katerem so sekundarni potopni električni grelnik (17), halogenski osvetljevalnik (18) ter oddušnika pare (19). Celotna preizkusna naprava je toplotno izolirana.

Utripni laser Nd: YAG ("Neodimium Doped Yttrium Aluminum Garnet") (20) z dvema resonatorjema ustvarja zeleno navpično polarizirano svetlobno pahljačo in osvetljuje polje toka nad zarodnim mestom, ki je v središču vrelna ploščice. Digitalna video kamera (21) z zgradbo svetlobnega senzorja DSC (dvojne svetlobne celice) je nameščena pravokotno glede na osvetlitveno ravnino toka. Laser in kamera sistema MHSSD sta prek pripadajočih nadzornih enot (22, 23) povezana s središčno procesorsko enoto "FlowMap" (24) [8]. Slednja je povezana z osebnim računalnikom (25), na katerem je z računalniško programsko opremo "FlowManager" omogočeno vodenje in nadzor celotnega merilnega sistema ter zbiranje, vrednotenje in analiza rezultatov.

Preizkusno napravo za preučevanje bazenskega vrenja smo zasnovali [9] ob upoštevanju robnega pogoja nespremenljive temperature vrelna ploščice. Za nosilo uparjalne

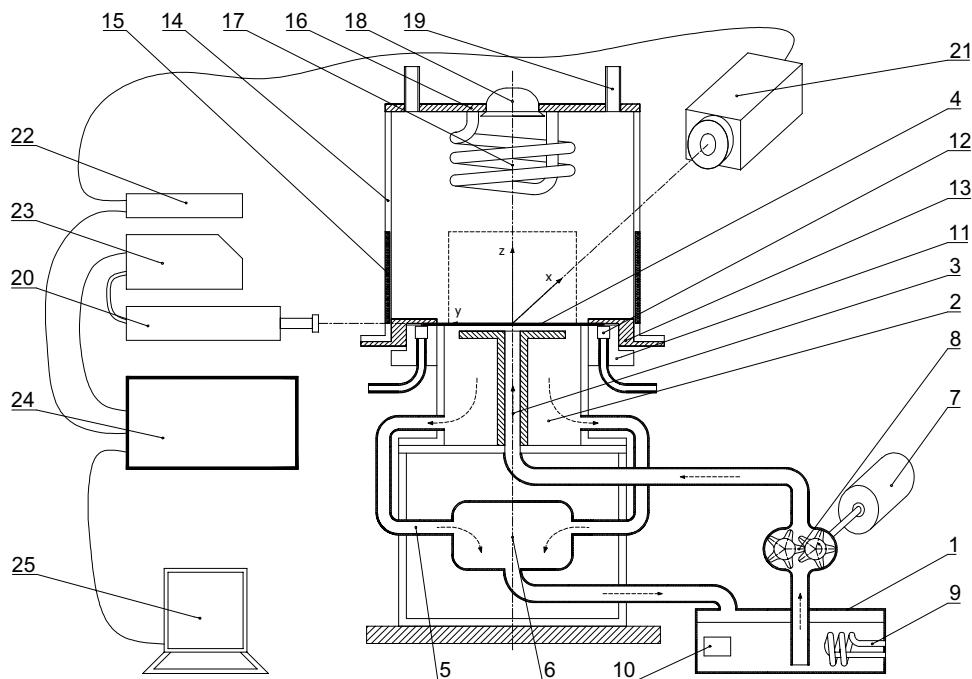
the experimental section, where the controlled production of vapour bubbles in a defined boiling regime can be maintained. Such a set-up has to be suitable for DHSVC (Digital High Speed Video Camera), PIV (Particle Image Velocimetry) and LDA (Laser Doppler Anemometry) measurement techniques, and (b) to obtain a preliminary velocity-field distribution around the isolated rising bubbles using the PIV technique.

3 EXPERIMENTAL SET-UP

The testing line (Fig. 2) consists of a (I) boiling vessel with an oil bath and (II) a PIV experimental system. The heating oil from the oil bath (1) is directed into the primary collector (2). A directing spout (3) serves to ensure a uniform and continuous spreading of the heating oil over the lower surface of the boiling plate (4). Through the return piping (5) and the secondary collector (6) the circulating oil is redirected back to the oil bath. An electromotor (7) with an adjustable rotational speed is connected to the gear oil pump (8). Thus, a mass flow rate of circulating oil can be changed in the required range. A primary electrical resistance heater (9) is immersed in the oil bath. The temperature sensor attached to this heater is connected to the control panel unit (10) ensuring precise temperature control throughout the experiment. Under the boiling plate through the wall of the supporting flange (11) a cooling-water channel (12) is formed, which is used to deactivate peripheral nucleation sites. A squarely formed boiling vessel (14) made from glass with four visualization openings (15) is mounted on the removable fixing flange (13). On the top of the boiling vessel a sealed cover with attached auxiliary equipment (16) is placed. These components are a secondary electrical heater for the water (17), halogenous lamp (18) and vapour vents (19). The boiling vessel is insulated to prevent heat losses to the surroundings.

A double-pulsed Nd:YAG (Neodimium-Doped Yttrium Aluminum Garnet) laser (20) with two separated exciting cavities produces a green, vertically polarised light sheet and illuminates the flow field over the nucleation site, which is situated in the central point of the boiling plate. The CCD (Charge Coupled Device) camera (21) with the PSI (Progressive Scan Interline) architecture of a light sensor is placed perpendicular to the illuminated plane of the flow field. With separated control units (22, 23) both the camera and the laser of the PIV system are connected to the central FlowMap processor unit (24) [8]. The latter is finally connected to a PC (25). An extra dedicated FlowManager program package is used here to manage and control the overall experimental system, enabling data acquisition, validation and analysis of results.

The experimental apparatus for the pool boiling investigation was designed [9] at the boundary condition of constant surface temperature along the heating plate. As the energy supply for the phase transition we used the internal caloric energy of the single-phase oil flow. The high heat capacity and the intensive flow rate of the circulating oil flowing along the lower side of small heating plate caused a negligible



Sl. 2. Merilna proga (preizkusna naprava, oljna kopel, merilni sistem PIV)
Fig. 2. Experimental set-up (boiling vessel, oil bath, PIV measurement system)

energije vode nad ploščico se uporablja notranja energija enofaznega toka segretega olja. Velika toplotna zmogljivost oljnega toka in kratkotrajen stik le-tega s ploščico miniaturnih izmer zagotavlja zanemarljive spremembe temperaturnega polja vzdolž vrelnе ploščice. Glavna pomanjkljivost gretja z oljem tiči v: (1) problemih, ki so povezani s tesnjenjem oljne in vodne strani naprave in (2) potrebi po robustnejši gradnji, posledica česar so posebne osamitvene zahteve ter daljši prehodni pojav med zagonom preizkusa. Ob zasnovi preizkusne naprave, upoštevajoč robni pogoj nespremenljive gostote toplotnega toka, je mogoče ubežati vsem izmed omenjenih nevšečnosti, toda ta način je povezan z nekaj še bolj perečimi pomanjkljivostmi.

Z električnim uporovnim gretjem vrelnе ploščice je namreč nemogoče doseči enakomerno porazdelitev gostote toplotnega toka vzdolž same ploščice. Znatne in težko izsledljive temperaturne spremembe v tem primeru močno vplivajo na ponovljivost sprožitve zarodnega mesta. Dokazano je bilo tudi to, da pojav elektromagnetnega valovanja v precejšnji meri vpliva na potek in ponovitve mehurjenja [3].

Ne glede na izbiro gretja je pri zasnovi preizkusne naprave treba: (1) zagotoviti najmanjši vizualizacijski vpadni kot kamere, (2) z uporabo ravnih steklenih površin omejiti morebitno raztresanje monokromatične laserske svetlobe, ki se kaže skozi lomne in odsevne učinke in (3) vpeljati hladilni sistem za deaktivacijo potencialnih zarodnih mest na robovih omočenega dela vrelnе ploščice.

temperature variation of the boiling surface. The principle disadvantages of this heating-oil system are as follows: (1) it is necessary to ensure reliable sealing on both the water and the oil side of the boiling plate, and (2) the overall construction has to be more robust, which results in special insulating demands and causes a longer transition time from the cool state to the operational point at the saturation temperature. When designing experimental apparatus at constant-heat-flux boundary conditions over boiling surface, many of these weak points can be eliminated. However, this solution causes a variety of other problems, which have to be solved as well.

When electrical resistance heating is used as a boiling energy supply it is impossible to reach a uniform heat-flux distribution along the boiling surface. The intensive and undetectable temperature variations in this case affect the activity of the nucleation sites, which then become completely unstable. Furthermore, it was recognized recently that the electromagnetic field caused by electrical currents through the heating plate significantly affects the nucleation and bubbling process [10].

Irrespective of selected heating mode, the experimental apparatus has to satisfy the following demands: (1) the minimum visualization angle of the PIV camera in the measuring plane has to be ensured, (2) it is necessary to restrict the eventual dissipation of monochromatic light from the laser, which causes disturbing refraction and reflection effects, by using flat-glass windows, and (3) a cooling system for the deactivation of the peripheral nucleation sites on the boundaries of the boiling plate has to be built as a part of apparatus.

4 MERILNA TEHNIKA MHSSD

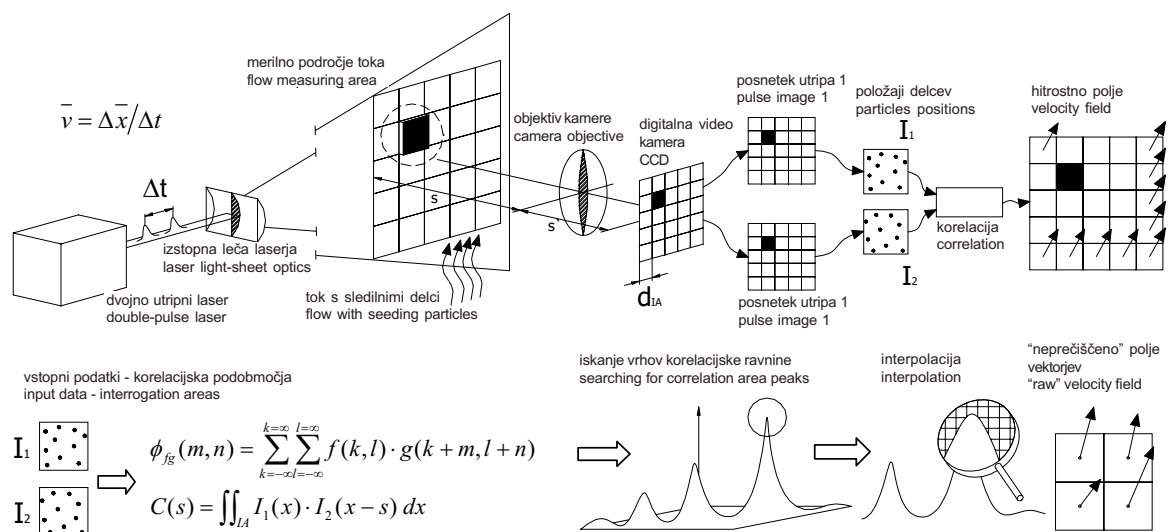
Kratika MHSSD označuje meritve hitrostnega polja s tehniko spremljanja osemenjevalnih delcev. Hitrostno polje tokovnega pojava se v izbrani merilni ravnini meri posredno na podlagi prepotovanih razdalj sledilnih delcev v določenem časovnem obdobju. Odboj laserske svetlobe na posameznih sledilnih delcih je s stroboskopskim učinkom ujet na časovno premaknjenem paru posnetkov MHSSD kamere. Celotno opazovano področje toka je nato razdeljeno na korelacijska podobmočja (sl. 3). Razsežnosti korelacijskega podobmočja določajo prostorsko resolucijo najmanjše sestave toka, katere vektor hitrosti se meri. S statistično metodo prečne korelacije se iščejo vrhovi korelacijske ravnine, ki se potem gladijo, z ustrezno interpolacijsko krivuljo pa se določi največja vrednost prečnokorelacijske funkcije. Položaj vrha v korelacijski ravnini neposredno ustreza povprečnemu vektorju premika sledilnih delcev znotraj obdelanega korelacijskega podobmočja [10]. Deljenje vektorja premika s časom med laserskima sunkoma definira hitrostni vektor. Kompozicija tako določenih vektorjev hitrosti čez vsa korelacijska podobmočja daje "neprečiščeno" hitrostno polje v merilni ravnini v točno določenem časovnem trenutku. Programska oprema na koncu omogoča odstranjevanje vseh čezmerno odstopajočih vektorjev.

Rezultat meritev MHSSD je časovno spremenljivo ravninsko hitrostno polje opazovanega področja. Za določitev tretje izmere vektorskega polja je potrebna posebna stereoskopska priprava. Pri merilni tehniki MHSSD je posebno pozornost treba nameniti ustreznemu izboru sledilnih delcev. Sedimentacijske in aglomeracijske lastnosti

4 PIV EXPERIMENTAL TECHNIQUE

PIV is the experimental method used for velocity-field measurement by tracing the seeding particles artificially added to a carrier fluid. The velocity distribution in the flow field is measured indirectly on the basis of the spatial displacement of groups of seeding particles in a defined time period. Laser-light reflection resulting from individual particles illuminated in the visualization plane is captured by a stroboscopic effect on temporally delayed image pairs of the PIV camera. During the PIV image processing a visualized region of flow is divided into the interrogation areas (Fig. 3). The spatial resolution of the smallest flow structure for which we want to measure the velocity vector is defined with the dimensions of the interrogation area. A statistical method of cross-correlation is then used to find a few of the highest peaks in the correlation plane. These maximum peaks are refined by a smoothing algorithm, and using suitable interpolation curves the maximum values of the cross-correlation function are determined. The maximum peak position in the correlation plane gives us directly a mean displacement vector of the seeding particles inside the considered interrogation area [10]. Dividing the displacement vector by the time between the successively delayed images defines the velocity vector. The combination of the resulting velocity vectors for each interrogation area presents a raw velocity field in the testing plane in a defined time.

The results of the PIV measurement protocol are the unsteady planar velocity field of the testing region. The third component of the velocity might have to be captured using specially designed stereoscopic equipment. When using the PIV method it is necessary to choose the seeding particle very carefully, following the main instructions of the manufacturer. The



Sl. 3. Osnove merilne tehnike MHSSD [10] (korelacijska podobmočja in algoritem obdelave posnetkov)
Fig. 3. Basic principles of the PIV technique [10] (investigation areas and data processing)

osemenjevalnih delcev ter njihova temperaturna občutljivost so bistvene značilnosti, ki narekujejo odmik dejanske od zaželeno homogene porazdelitve delcev. Velikost in gostota sledilnih delcev, njihova odsevnost oz. razpršilni količnik, moč svetlobnega vira, trajanje laserskega sunka in časovni presledek med sunkoma ter morebitni paralaktični učinki so odločilnega pomena za uspešnost opravljenih meritev.

5 POTEK MERITEV

Meritve so potekale pri nasičenem vrenju vode in atmosferskem tlaku. Površine vrelnice posode smo pred začetkom preizkusa vsakokrat očistili z razredčenim etanolom, posušili in izprali z destilirano vodo. Prehodni pojav, od zagona s sobne temperature do navidezustaljenih razmer v režimu mehurčastega vrenja, je trajal 30 min. Z namenom razplinjevanja vode v posodi, je ta pred začetkom meritev vrelnice najmanj 45 min.

Uporabili smo vrelnice ploščice iz valjane jeklene zlitine W.Nr.1.4301 (DIN) z izmero $120 \times 120 \times 1$ mm s svetlo poliranim sijajem površine (sl. 4a). Aritmetični srednji odstopek hrapavosti površine vrelnice ploščice R_a je v smeri valjanja znašal $0,08 \mu\text{m}$, v prečni smeri pa $0,1 \mu\text{m}$. Umetno zarodno vdolbinico (sl. 4b) smo ustvarili z nadzorovanim prodorom stožčaste konice iz karbidne trdnine s 30° kotom izteka (sl. 4c). Povprečni premer zarodne votlinice je znašal $106 \mu\text{m}$, ocenjena globina pa okrog $90 \mu\text{m}$. Pred začetkom meritev smo v segreto vodo dodali približno 4 g/l osemenjevalnih delcev najlona, povprečne velikosti $25 \mu\text{m}$ in specifične teže $1,03 \text{ kg/l}$.

V primeru, da se je temperatura vode v posodi znižala pod 98°C , je termostat ponovno vklopil sekundarni električni grelnik. Temperaturo vrelnice smo ovrednotili posredno, preko temperature

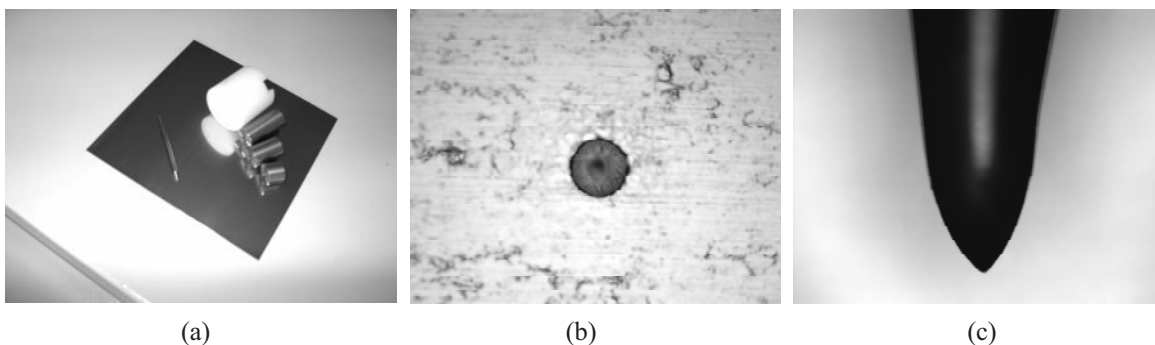
sedimentation and agglomeration properties of the seeding particles and their temperature sensitivity are the main features that have to be considered when we want to achieve a homogeneous distribution of added particles throughout the flow. Additional parameters concerning the seeding particles, which are important for successful data acquisition, are their size, density, and reflectivity, the power of the illumination system, the duration and delay of the laser pulses and the parallax effects.

5 MEASUREMENTS

All of the experimental results were achieved during the saturated boiling of distilled water at atmospheric pressure. Before the start of the experiment the internal surfaces of the boiling vessel were cleaned with diluted ethyl alcohol, dried and washed out in distilled water. The transition from cold state to the quasi-steady state condition in the nucleate boiling regime takes about 30 min., whereas the degasification of the water before the data acquisition lasts 45 min.

Fine polished boiling plates from rolled stainless-steel alloy W.Nr.1.4301 (DIN) with dimensions of $120 \times 120 \times 1$ mm were used as the boiling surface (Fig. 4.a). The average roughness, R_a , in the rolling and lateral directions was 0.08 and $0.1 \mu\text{m}$, respectively. A single micro-cavity (Fig. 4.b) on the boiling surface was produced by the mechanical impression of a needle nib, which was made from a hard metal. The conical peak of the impressing needle used here had a 30° angle at its tip (Fig. 4.c). The mean diameter of the produced cavities was $106 \mu\text{m}$, whereas the estimated depth of the cavities was around $90 \mu\text{m}$. The concentration of the added particles was approximately 4 g/l . The seeding particles were made from nylon, with a mean diameter of $25 \mu\text{m}$ and a specific density of 1.03 kg/l .

When the temperature of the water in the boiling vessel reaches 98°C , a secondary electrical heater is turned on by a thermostat immersed in the oil



Sl. 4. Vtiskovanje zarodne vdolbinice: (a) fotografski posnetek vrelnice ploščice s pripravo za vtiskovanje zarodne jamice (Fotona, d.d.), (b) mikroskopski posnetek zarodne jamice ob 20-kratni povečavi, (c) mikroskopski posnetek konice vtiskovalne igle ob 10-kratni povečavi (IJS - Reaktorski Center Brinje)

Fig. 4. Nucleation-site preparation: (a) photos of the boiling plate with micro-cavity immersion tools (Fotona, d.d.), (b) microscopic photos of artificially produced micro-cavity at a magnification of 20 times, (c) conical end of pitting needle at a magnification of 20 times (IJS - Reactor Center Brinje)

olja na odtoku in dotoku v oljno kopel. Temperaturno znižanje oljnega toka je pri sedanjosti osamitvi sistema znašal manj ko 1 °C.

Izstopni optični modul laserja in vstopni filter objektivna kamere sta bila od vizualizacijskih odprtih vrelnih posode oddaljena za 45 cm. Uporabili smo 1,3-kratno povečavo kamere, tako da smo iz dejanske velikosti opazovanega področja 76×61 mm dobili velikost posnetka 100×80 mm na 1280×1024 elementih zaslona kamere. Pri zbiranju podatkov je čas med dvema laserskima sunkoma znašal 1000 μs, svetlobna sunka sta trajala 0,01 μs, čas med zaporednima posnetkoma je bil 500 μs, velikost korelacijskega podobmočja pa je znašala 64×64 celičnih elementov.

6 REZULTATI MERITEV

Na slikah 5 do 8 so podani posnetki kamere in hitrostna polja opazovanega območja toka v štirih različnih časovnih trenutkih (t_0 , t_1 , t_2 , in t_3) med izvajanjem meritev. Glede na vrisani koordinatni sistem so lege središč mehurjev podane s koordinatami: sl. 6 (v trenutku t_1) $x=43,2$ mm, $y=5,9$ mm; sl. 7 (v trenutku t_2) $x=41,5$ mm, $y=16,1$ mm; sl. 8 (v trenutku t_3) $x=41,5$ mm, $y=37,6$ mm. Na sliki 8 je vidno nastajanje novega mehurja nad zarodnim mestom. Tokovno polje okrog tega mehurja ni zajeto v tukaj podanem prikazu rezultatov.

Na slikah 9 do 11 so podani diagrami poteka navpične komponente hitrosti v režimu vrenja v časovnih trenutkih t_1 , t_2 , in t_3 (polne krivulje). Vsakokrat smo za prikaz izbrali tri vodoravne prereze vzdolž hitrostnega polja, ki ustrezajo neposredni bližini mehurja na posnetku

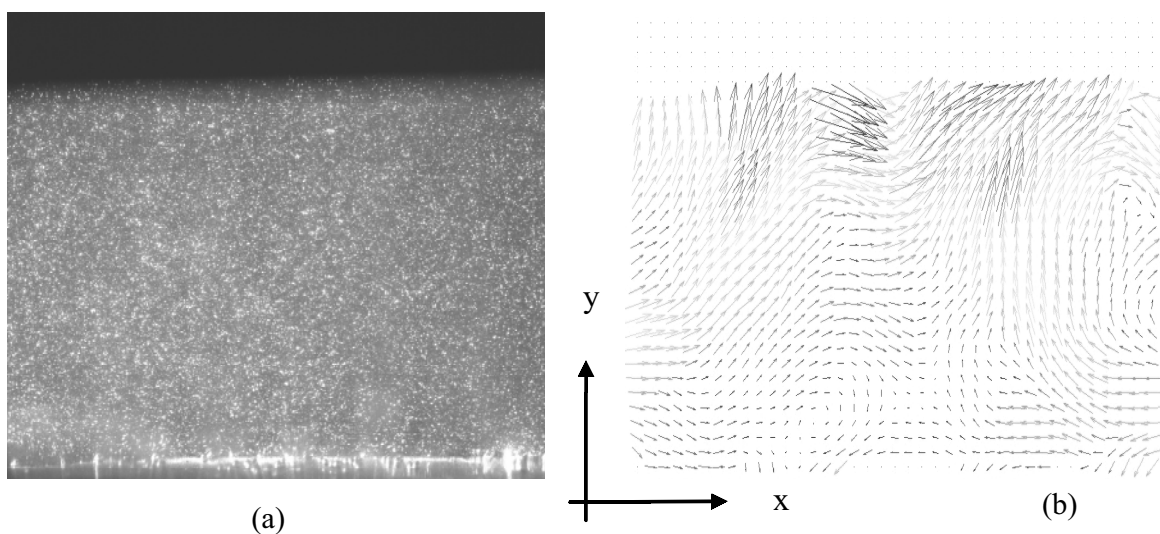
bath. The temperature of the boiling plate is estimated indirectly using the inlet and outlet temperatures of the oil bath. The temperature drop of the circulating oil was less than 1°C between these two points.

The light-sheet optics of the PIV laser and the green filter of the CCD camera objective are placed at a distance of 45 cm from the visualization openings of the boiling vessel. A magnification factor of 1.3 was used during the data acquisition. Thus, from 76×61 mm in physical space we obtained images with a size of 100×80 mm on the 1280×1024 elements of the light sensor. The time between two successive light pulses was 1000 μs, the duration of the light pulses was 0.01 μs and the time between successive images was 500 μs. A more suitable size of the investigated area was selected, i.e., 64×64 pixels.

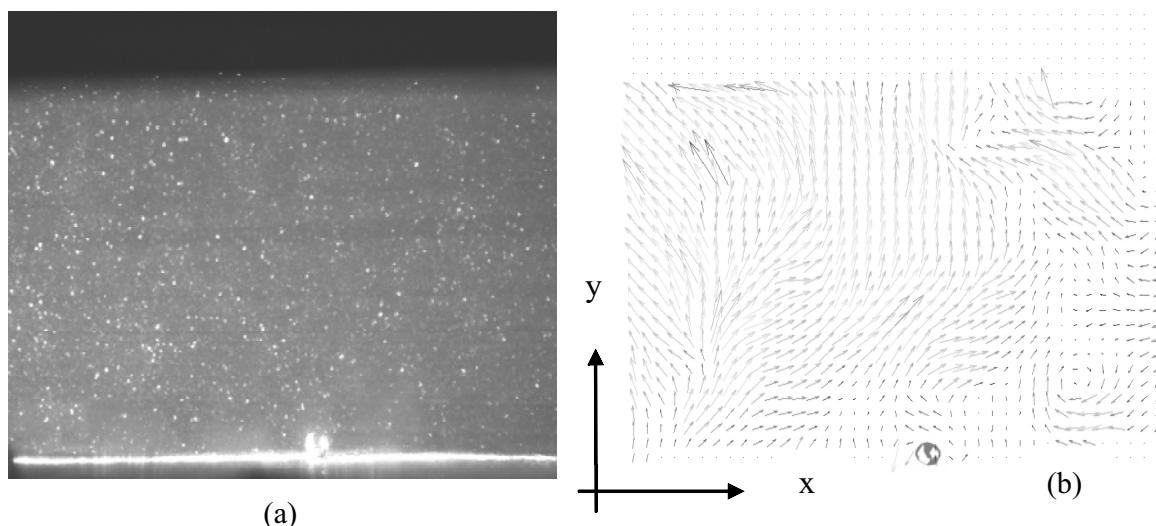
6 RESULTS

The PIV camera images and the resulting velocity fields for the selected visualization area are presented in Figures 5-8 for four different times (t_0 , t_1 , t_2 , in t_3 , respectively) during the experiment. For the drawn co-ordinate system the central positions of the vapour bubbles on these pictures are defined as follows: Fig. 6 (at time t_1) $x=43.2$ mm, $y=5.9$ mm; Fig. 7 (at time t_2) $x=41.5$ mm, $y=16.1$ mm; Fig. 8 (at time t_3) $x=41.5$ mm, $y=37.6$ mm. The formation of a new bubble over the nucleation site is also documented in Fig. 8. The velocity field around this bubble is not presented in the results analysed here.

The vertical velocity component profiles in the nucleate boiling regime at times t_1 , t_2 , in t_3 (full lines) are shown by the diagrams in Fig. 9-11. To produce these diagrams we used three horizontal sections along the velocity field, which are situated immediately in the vicinity of the vapour bubble position on the camera image. On each of the

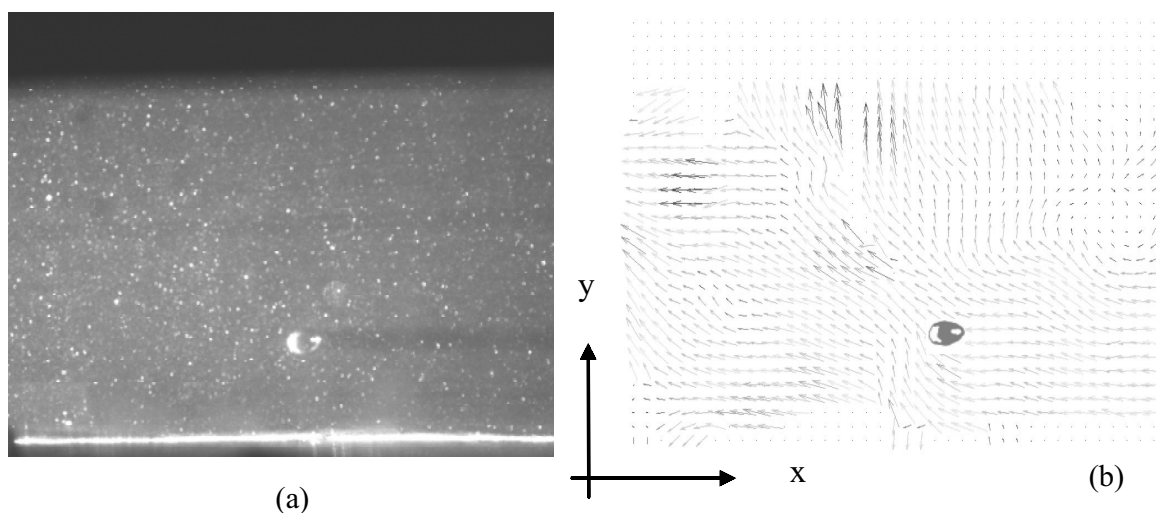


Sl. 5. Odsevi sledilnih delcev na posnetku digitalne video kamere (a) in pripadajoče hitrostno polje (b) v trenutku t_0 med potekom naravne konvekcije pred začetkom mehurjenja nad zarodnim mestom
Fig. 5. Light reflection from seeding particles on the CCD camera image (a) and resulting velocity field (b) at time t_0 during the natural convection before the onset of boiling over the nucleation site.



Sl. 6. Odsevi sledilnih delcev na posnetku digitalne video kamere (a) in pripadajoče hitrostno polje (b) v trenutku t_1 , med ločitvijo mehurja po začetku mehurjenja nad zarodnim mestom

Fig. 6. Light reflection from seeding particles on the CCD camera image (a) and resulting velocity field (b) at time t_1 during the bubble departure after the onset of boiling over the nucleation site.

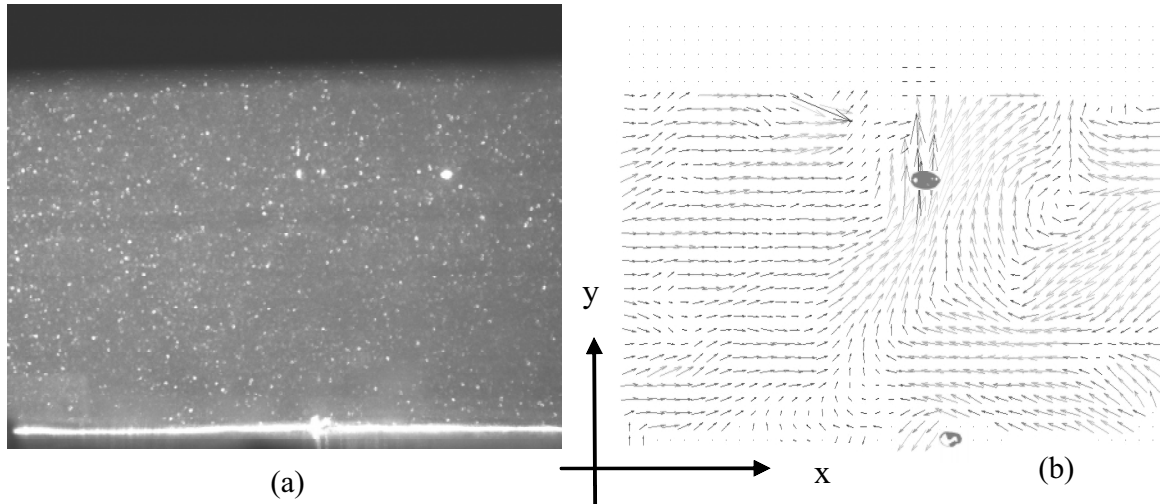


Sl. 7. Odsevi sledilnih delcev na posnetku digitalne video kamere (a) in pripadajoče hitrostno polje (b) v trenutku t_2 , med oddaljevanjem mehurja proti prosti gladini

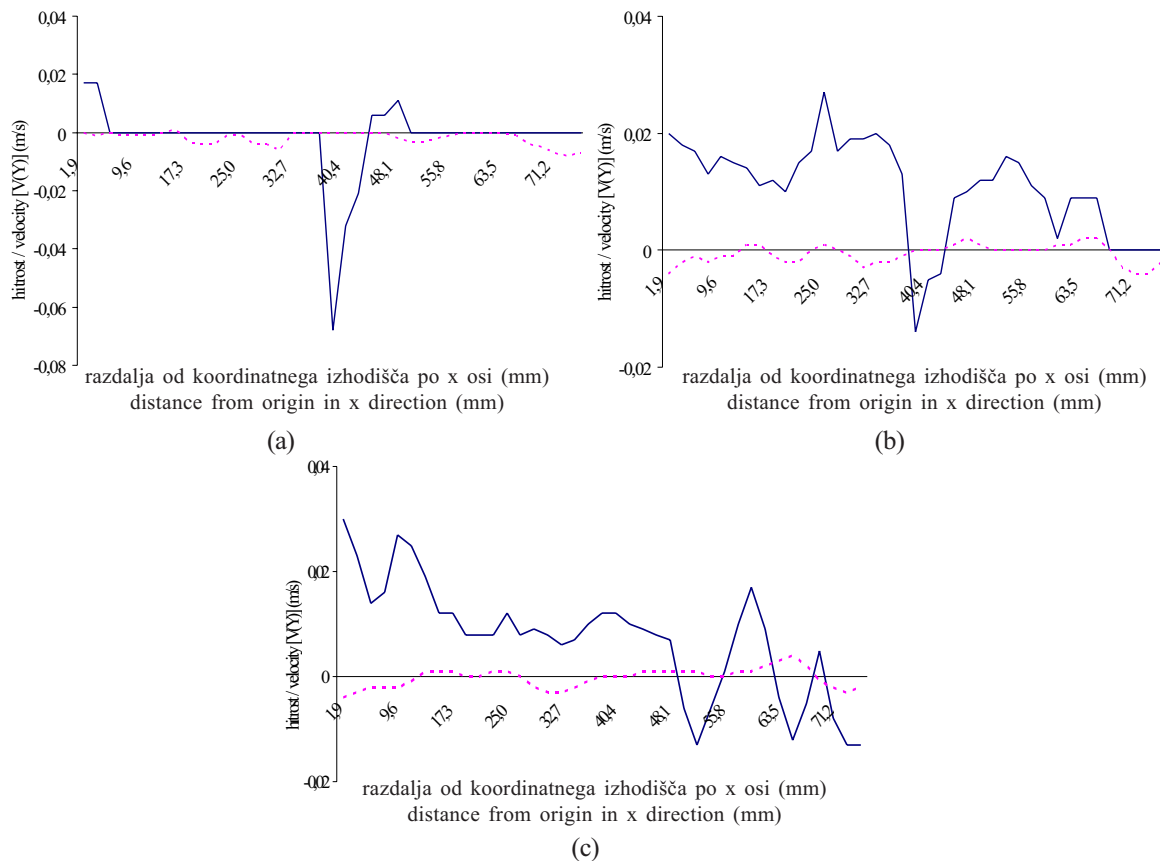
Fig. 7. Light reflection from seeding particles on the CCD camera image (a) and resulting velocity field (b) at time t_2 during the bubble rising towards the free surface.

kamere. V vseh primerih prva izmed prerezov sekata tokovno brazdo oz. področje za mehurjem, medtem ko je tretji prerez pred mehurjem v smeri njegovega dviganja. Za primerjavo smo vsem diagramom dodali poteke navpične komponente hitrosti v polju naravne konvekcije (črtkane krivulje), ki smo jih izmerili v primerjalnem trenutku t_0 pred začetkom mehurjenja. Višinsko se prerezi za prikaz navpične komponente hitrosti v polju naravne konvekcije ujemajo s prerezi, ki so bili izbrani za prikaz navpične komponente hitrosti v režimu vrenja.

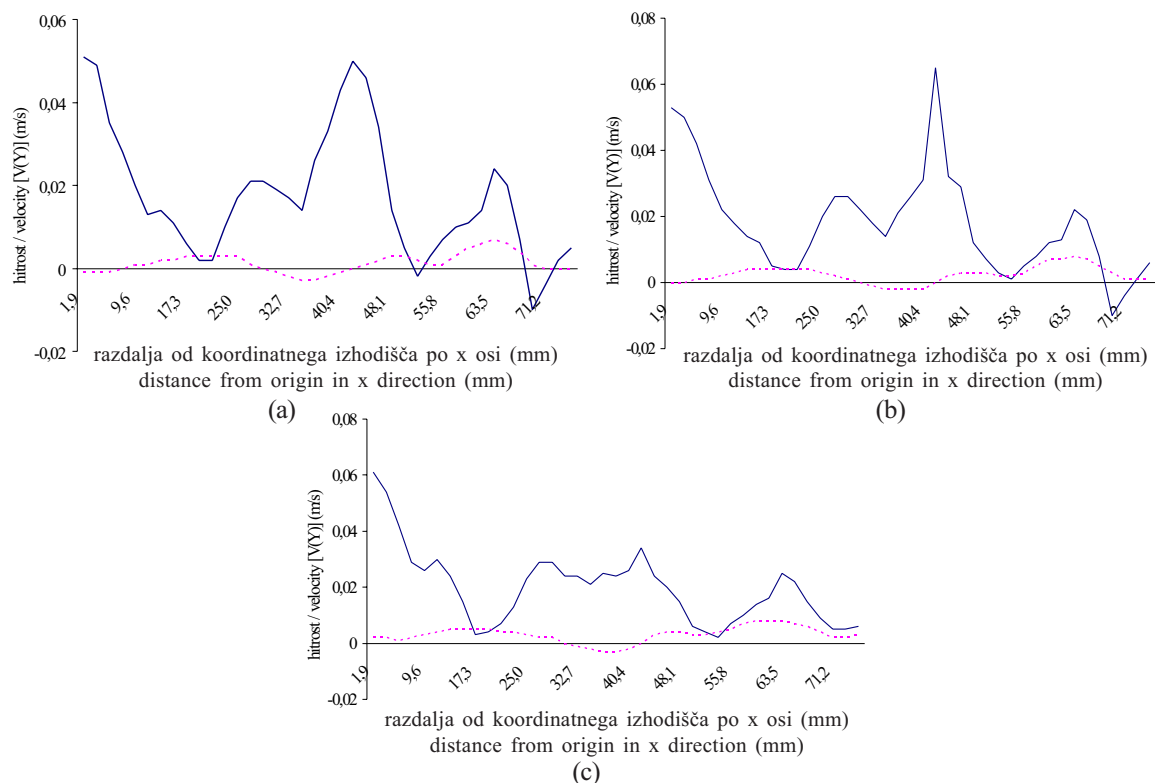
three presented sets of diagrams (a-c), the first two horizontal sections cross flow the field behind the bubbles, whereas the third one is placed immediately in front of the bubbles in the rising direction. Moreover, on each of the diagrams a vertical velocity component profiles in the natural convection, which were measured at time t_0 (dashed lines) before the onset of boiling are also added to simplify the comparison. The heights of the selected horizontal sections for the velocity profiles' presentation in the natural convection correspond to the heights of the sections chosen for the presentation of the velocity profiles extracted from the flow field during the nucleate boiling regime.



Sl. 8. Odsevi sledilnih delcev na posnetku digitalne video kamere (a) in pripadajoče hitrostno polje (b) v trenutku t_3 , med oddaljevanjem prvega in rastjo naslednjega mehurja nad zarodnim mestom
 Fig. 8. Light reflection from seeding particles on the CCD camera image (a) and resulting velocity field (b) at time t_3 during the rising of the first bubble and growth of another one over the nucleation site.



Sl. 9 (a do c). Diagrami navpične komponente hitrosti V_y med potekom vrenja v trenutku t_1 (sl. 6) (polne krivulje) in pred začetkom vrenja v trenutku t_0 (sl. 5) (črtkane krivulje) v izbranih vodoravnih prerezih merilnega polja. Višina prereza na sl. 9(a): $y = 1,9$ mm (področje za mehurjem); višina prereza na sliki 9(b): $y = 3,8$ mm (področje za mehurjem); višina prereza na sliki 9(c): $y = 5,8$ mm (področje pred mehurjem).
 Fig. 9 (a to c). Diagram of vertical velocity components V_y during the bubble boiling at time t_1 (Fig. 6) (full line) and before the onset of boiling at time t_0 (sl. 5) (dashed line) along the selected horizontal sections of flow field. Height of reference plane on Fig. 9(a): $y = 1.9$ mm (region behind the bubble); height of reference plane on Fig. 9(b): $y = 3.8$ mm (region behind the bubble); height of reference plane on Fig. 9(c): $y = 5.8$ mm (region in front of bubble).



Sl. 10 (a do c). Diagrami navpične komponente hitrosti V_y med potekom vrenja v trenutku t_2 (sl. 7) (polne krivulje) in pred začetkom vrenja v trenutku t_0 (sl. 5) (črtkane krivulje) v izbranih vodoravnih prerezih merilnega polja. Višina prereza na sl. 10(a): $y = 13,5$ mm (področje za mehurjem); višina prereza na sliki 10(b): $y = 15,4$ mm (področje za mehurjem); višina prereza na sliki 10(c): $y = 17,3$ mm (področje pred mehurjem).
 Fig. 10 (a to c). Diagram of vertical velocity components V_y during the bubble boiling at time t_2 (Fig. 7) (full line) and before the onset of boiling at time t_0 (Fig. 5) (dashed line) along the selected horizontal sections of flow field. Height of reference plane on Fig. 10(a): $y = 13,5$ mm (region behind the bubble); height of reference plane on Fig. 10(b): $y = 15,4$ mm (region behind the bubble); height of reference plane on Fig. 10(c): $y = 17,3$ mm (region in front of bubble).

Potek hitrosti v režimu mehurčastega vrenja na diagramih (a) in (b) na sliki 9 nazorno prikazuje zalitje vrelnih površin med ločevanjem mehurčka. Sesalni učinek in intenzivnost gibanja v tokovni brazdi za dvigajočim se mehurjem sta razvidna iz diagramov (a) in (b) na slikah 10 in 11. Izrazit hitrostni vrh v navpični smeri na diagramu (c) na sliki 11 je posledica pojemajoče tokovne brazde predhodnega mehurja. Primerjava navpičnih komponent vektorjev hitrosti kaže, da je intenzivnost gibanja kapljevine v navpični smeri v režimu vrenja za en velikostni razred večja od intenzivnost gibanja v isti smeri med potekom naravne konvekcije pred pričetkom mehurjenja.

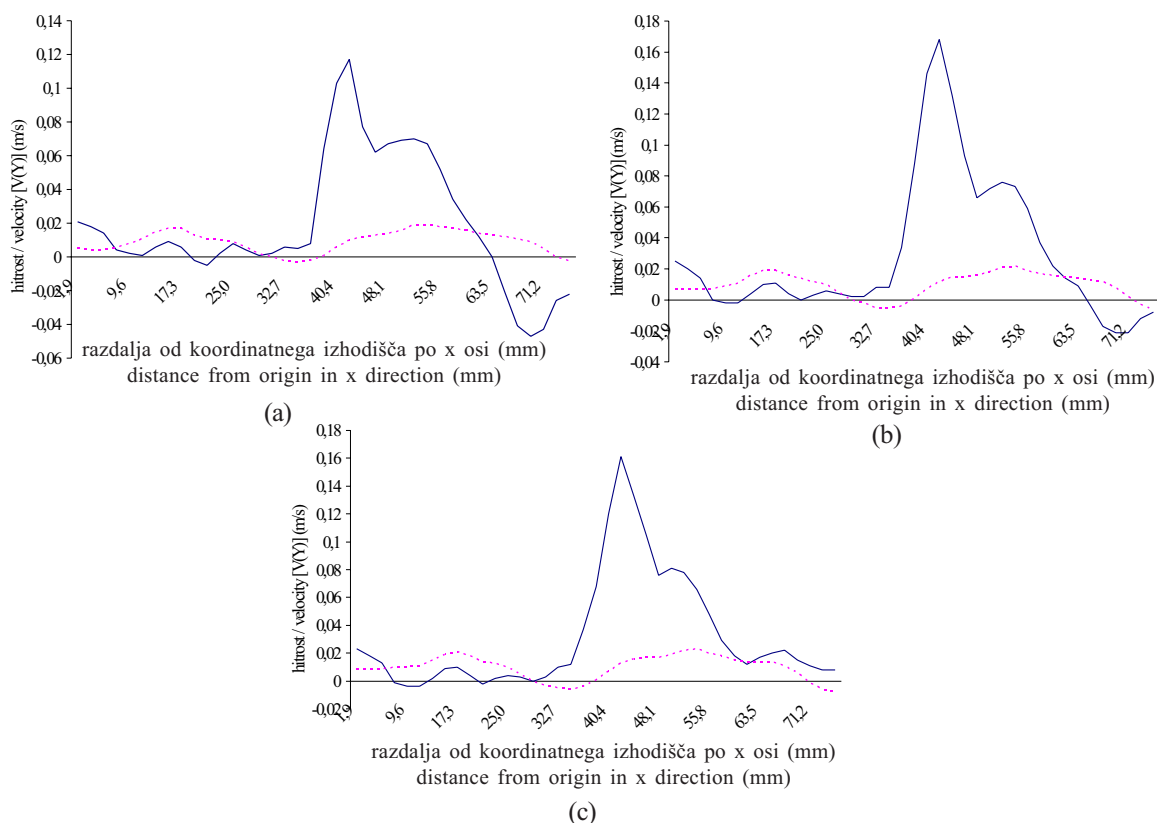
7 SKLEPI

Večina do sedaj opravljenih raziskav mehurčastega vrenja temelji na preučevanju temperaturnega polja vzdolž vrelnih površin. Meritve hitrostnega polja so redke. Visoka frekvenca tvorbe parnih mehurjev, majhna razsežnostna skala pojava, veliko število zarodnih mest ter pomanjkljivosti preizkusnih metod vrednotenja

From the vertical velocity component profiles shown by diagrams (a) and (b) in Figure 9 it is evident that an intensive immersion of the boiling surface occurs during the bubble departure over the nucleation site. The suction effect and the large velocity gradients in the flow wake behind the bubble are shown by diagrams (a) and (b) in Figures 10 and 11. The high-velocity peak in the vertical direction on the diagram (c) in Figure 11 appears as a result of the flow wake formed behind a previously released bubble. An analysis of the velocity distribution showed that the vertical velocity components during the bubbling process are one order of magnitude higher than in the regime of natural convection before the onset of boiling.

7 CONCLUSION

A large number of the investigations of nucleate boiling were conducted using experimental data of the temperature field along and over the boiling surface. Velocity-field measurements are almost unknown. The high released frequency of the vapour bubbles, the low dimensional scale of the phenomenon, the large number of nucleation sites and the crucial restrictions of the



Sl. 11(a do c). Diagrami navpične komponente hitrosti V_y med potekom vrenja v trenutku t_3 (sl. 8) (polne krivulje) in pred začetkom vrenja v trenutku t_0 (sl. 5) (črtkane krivulje) v izbranih vodoravnih prerezih merilnega polja. Višina prereza na sl. 11(a): $y = 34,6$ mm (področje za mehurjem); višina prereza na sliki 11(b): $y = 36,5$ mm (področje za mehurjem); višina prereza na sliki 11(c): $y = 38,5$ mm (področje pred mehurjem).
 Fig. 11 (a to c). Diagram of vertical velocity components V_y during the bubble boiling at time t_3 (Fig. 8) (full line) and before the onset of boiling at time t_0 (Fig. 5) (dashed line) along the selected horizontal sections of flow field. Height of reference plane on Fig. 11(a): $y = 34.6$ mm (region behind the bubble); height of reference plane on Fig. 11(b): $y = 36.5$ mm (region behind the bubble); height of reference plane on Fig. 11(c): $y = 38.5$ mm (region in front of bubble).

hitrostnega polja v režimu vrenja so bile v preteklosti težko premostljiva ovira. Z razvojem laserskih merilnih tehnik MHSSD in LDA so se tudi na tem področju odprle nove možnosti.

Kolikostno vrednotenje izsledkov preizkusnih raziskav hitrostnega polja, kjer bi bile zajete zapletene interakcije številnih zarodnih mest, njihova sprožitev in deaktivacija ter vpliv le-teh na prenos toplote z grelnika na tekočino, predstavlja zahteven fizikalno-matematični model. Tukaj smo ubrali bolj preprosto pot. Omejili smo se na analizo lokalnih tokovnih razmer v okolici osamljenega mehurčka, kar omogoča vpogled v temeljne fizikalne zakonitosti pojava. Doseženi rezultati potrjujejo pomen mikrokonvektivnih tokov kot enega izmed pomembnih mehanizmov prenosa med potekom vrenja. Določene izboljšave eksperimentalne naprave, vizualizacija in meritve tokovnega polja v neposredni okolici mehurja, združitev metode MHSSD s tehniko HDVK ter samodejna sinhronizacija merilne opreme z nastajanjem mehurjev na vrelni ploščici so naslednji koraki, ki bodo opravljeni v nadaljevanju raziskave.

experimental techniques affected the successful imaging of the flow field in bubble boiling. Non-invasive PIV and LDA techniques give us some new possibilities to research the hydrodynamics of the boiling process.

An investigation of the flow-field distribution, where it is needed to capture the mutual interactions between numerous nucleation sites, their activation and deactivation mechanisms and the impact of this process on the heat transfer, can be found as a very complex physical model. To avoid these difficulties we analysed the nucleation process only at one artificially produced nucleation site. A flow-field analysis in the vicinity of a single bubble allows us to obtain some insight into the fundamental features of the bubbling process. The results confirm microconvection as one of the important transport mechanisms during nucleate boiling. Some improvements to the boiling apparatus, the visualization and the measurements of the velocity field immediately in the vicinity of vapour bubble interface, the combination of PIV and DHSVC techniques and the synchronisation of the data-acquisition process with bubble production on the boiling surface will be done in the future.

8 LITERATURA

8 REFERENCES

- [1] Stephan, K. (1992) Heat transfer in condensation and boiling. *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.
- [2] Beer, H. (1969) Contribution to heat transfer in boiling. *Progr. Heat Mass Transfer* 2, 311-370.
- [3] Kandlikar, S.G., M. Shoji, V.K. Dhir (1999) Handbook of phase change: Boiling and condensation. *Taylor & Francis*, Philadelphia.
- [4] Kenning, D.B.R., Y. Yan (1996) Pool boiling heat transfer on a thin plate: Features revealed by liquid crystal thermography. *Int. J. Heat Mass Transfer*, 30, 3117-3137.
- [5] Forster, D.E., R. Greif (1959) Heat transfer to a boiling liquid – Mechanism and correlation. *J. Heat Transfer*, 81, 43-53.
- [6] Mikic, B.B., W.M. Rohsenow (1969) A new correlation of pool boiling data, including the effect of heating surface characteristics. *Journal of Heat Transfer*, 9, 245-250.
- [7] Judd, R.L., K.S. Hwang (1976) A comprehensive model for nucleate boiling heat transfer including microlayer evaporation. *J. Heat Transfer*, 98, 623-629.
- [8] FlowMap - Particle image velocimetry instrumentation. *Dantec Measurement Technology*, Denmark, 2000.
- [9] Durst, F. (2002) Osebno sporočilo. Friedrich-Alexander Universität - Technische Fakultät, Erlangen-Nürnberg.
- [10] Raffel, M., C.E. Willert, J. Kompenhans (1998) Particle image velocimetry. *Springer-Verlag*, Berlin Heidelberg.

Naslov avtorjev: mag. Sanib Bašič
prof. dr. Jure Marn
prof. dr. Leopold Škerget
Univerza v Mariboru
Fakulteta za strojništvo
Smetanova 17
2000 Maribor
sanib.basic@uni-mb.si
jure.marn@uni-mb.si
leo@uni-mb.si

Authors' Address: Mag. Sanib Bašič
Prof. Dr. Jure Marn
Prof. Dr. Leopold Škerget
University of Maribor
Faculty of Mechanical Eng.
Smetanova 17
2000 Maribor, Slovenia
sanib.basic@uni-mb.si
jure.marn@uni-mb.si
leo@uni-mb.si

Prejeto: 15.4.2004
Received:

Sprejeto: 30.9.2004
Accepted:

Odperto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

Primernost optičnih lastnosti slovenskih premogov za uplinjanje s koncentriranim sončnim sevanjem

The Radiative Properties of Slovenian Coals as an Absorptive Substance for Gasification by Concentrated Solar Radiation

Janez Oman

V prispevku je predstavljena zamisel o uplinjanju premoga s koncentriranim sončnim sevanjem. Izračuni so opravljeni na podlagi Mieove teorije sipanja elektromagnetnega valovanja z okroglimi delci poljubnih velikosti. Obravnavane so nekatere posebnosti računanja po Mieovi metodi, predstavljen je nov kriterij za zadostno konvergenco vrst pri računanju amplitudnih funkcij, predstavljen pa je tudi nov faktor učinkovitosti, s katerim je mogoče računati odbiti del vpadnega sevanja. Optične lastnosti delcev izbranih premogov, ki določajo zmožnosti absorbiranja in odbijanja sevanja, so izračunane po njihovi kemični sestavi. Lastnosti izbranih premogov so primerjane z lastnostmi drugih snovi iz ogljika, to so pirolitični ogljik, koks, antracit in črni premog. Izračunane vrednosti spektralnih količin so na podlagi standardiziranih spektralnih gostot sončnega sevanja preračunane v globalne vrednosti. Izbira primernih velikosti in snovi delcev temelji na količini odbitega in absorbiranega energijskega toka vpadnega sončnega sevanja. Določene so najbolj primerne velikosti delcev rjavega premoga za plinsko suspenzijo, pri katerih dosega postopek uplinjanja rjavega premoga s koncentriranim sončnim sevanjem velike izkoristke.

© 2004 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: premogi slovenski, lastnosti optične, uplinjanje premoga, sevanje sončno)

In this paper the idea of coal gasification by concentrated solar radiation is described. The calculations are performed on the basis of Mie's scattering theory for spheres of arbitrary sizes. Some aspects of the Mie calculations are discussed, a new criterion for the sufficient condition for the convergence of the amplitude functions is presented and a new efficiency factor for reflection is introduced. The optical properties of selected coals are determined on the basis of their chemical composition. The absorption and reflection properties of the coals and carbonaceous materials, such as carbon black, coke, anthracite and black coal, are determined. The results of the spectral properties' calculations are extended to the global properties on the basis of the spectral intensities of the solar radiation. The conditions for a high-efficiency process involving brown-coal gasification are defined by a determination of the most suitable sizes of brown coal particles for the particle-gas suspension.

© 2004 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: Slovenian coals, optical properties, coal gasification, solar radiation)

0 UVOD

Spreminjanje energije koncentriranega sončnega sevanja v toploto plinov je mogoče posredno prek segrelih sten absorberja ali neposredno s prostornimskimi absorbiranjem sončnega sevanja, pri katerem se energija prenaša med širjenjem skozi plast plina v absorberju. Prozorne, optično neaktivne pline naredimo absorptivne z dodajanjem trdnih, absorptivnih delcev v plin. Ta postopek je prvi opisal Hunt [1]. Take suspenzije je v absorberjih mogoče segreti s koncentriranim sončnim sevanjem do temperatur nad 700 °C. Zamisel uspešnega prostorninskega absorbiranja

0 INTRODUCTION

Heating gases to high temperatures by concentrating solar energy can be performed indirectly from hot receiver walls or directly in the gas itself by volumetric absorption. In the case of transparent gases, the absorption of the solar radiation can be achieved by adding solid, absorptive particles to the gas. This process was first described by Hunt [1]. In such absorbers the suspension can be heated to temperatures over 700 °C. The idea is based on the fact that a black fluid can act like a black body, and therefore be an

temelji na predpostavki, da vlogo črnega telesa prevzame prostornina črnega plina, ki naj tako postane idealni absorber sevanja. Lastnostim črnega telesa se približamo, če telo ni prozorno in odbija zanemarljivo majhen del vpadnega sevanja. Iz teh pogojev izhaja, da morajo imeti v plin dodani delci poudarjeno lastnost absorptivnosti in tudi kolikor je le mogoče šibko zmožnost odbijanja sončnega sevanja. Takšne lastnosti so tudi pogoj za velik izkoristek postopka v absorberju. Ker je specifična površina delcev prahu zelo velika, tudi več ko 50 kvadratnih metrov na gram snovi, se toplotni tok, ki ga delci absorbirajo, hitro prenaša v okoliški plin pri zelo majhnih temperaturnih razlikah. Plinu torej temperatura narašča praktično sočasno s temperaturo delcev.

Preizkusi absorbiranja sončnega sevanja v plinskih suspenzijah so pokazali ([2] in [3]), da so delci iz ogljika, ki nastanejo pri pirolitičnem razpadu acetilena, po svojih optičnih lastnostih zelo primerni za uporabo v absorptivni suspenziji. Problematični pa so zaradi visokih stroškov izdelovanja. Zaradi takih okoliščin postanejo kot snov delcev zanimivi tudi drugi naravni materiali iz črnega ogljika, posebno še premogi. Pri uporabi premogovih delcev za absorptivne suspenzije pa se hitro pojavi zamisel o uplinjanju premoga z uporabo zelo koncentriranega sončnega sevanja. Energija, potrebna za postopek uplinjanja premoga, se v takem postopku dobi iz koncentriranega sončnega sevanja in ne iz zgorevalne toplote premoga. Postopek vplinjania poteka v globokem absorberju, kjer je mogoča prostorska absorpcija sevanja skozi dano debelino plasti suspenzije [4]. Nosilni plin je zmes zraka in vodne pare. Namen prispevka je raziskati lastnosti domačih premogov in oceniti njihovo primernost za opisani postopek.

V začetnem delu prispevka je nekaj pozornosti namenjeno tehniki računanja Mieove teorije sipanja. Razvijanje numeričnih modelov za računanje Mieovih algoritmov kljub razvoju računalništva ne spada med trivialne numerične probleme, temveč je tematika s katero se avtorji še danes resno ukvarjajo ([5] in [6]). Predstavljene so nekatere posebnosti in specifične rešitve pri računanju Mieovih algoritmov. Rezultati matematičnih modelov izdelanih v skladu z Mieovo teorijo sipanja, na osnovi katerih so narejeni uporabljeni računalniški programi, so splošno veljavni pri računanju sipanja elektromagnetnega sevanja. Osrednji del prispevka je namenjen sestavi različnih snovi iz ogljika, raziskovanju povezave med zgradbo snovi in lomnimi količniki ter metodam določevanja optičnih lastnosti materialov iz ogljika. Pozornost je predvsem usmerjena na domače rjave premoge. Raziskave optičnih lastnosti, absorbiranja in odbijanja sončnega sevanja so omogočile določitev najbolj primerne vrste snovi in velikost delcev iz teh snovi. Izračunani so absorbirani in odbiti tokovi vpadne energije sončnega sevanja. Za oceno primernosti domačih rjavih premogov kot materiala za absorbiranje koncentriranega sončnega sevanja so uporabljeni podatki, ki so bili dobljeni z predhodno izvedenimi eksperimenti s pirolitičnim ogljikom.

ideal absorber of solar energy. The properties of a black body can be approached if two conditions are satisfied: a negligible fraction of the incident radiation is reflected, and the body must not be transparent. From this it follows that the added particles must have a high absorption ability and the lowest possible ability to reflect solar radiation. Such properties will ensure a highly efficient gas-particle absorber. The surface area per unit mass of the very small particles can be up to 50 m²/g, and more in some cases. Which means that the power absorbed by the particles is quickly converted into a thermal energy flux and transferred to the surrounding gas. As a result, the gas temperature increases almost as quickly as the temperature of the particles.

Experiments on the absorption of solar radiation applied to particle-gas suspensions ([2] and [3]) have indicated that acetylene carbon-black particles produced by the pyrolytic decomposition of hydrocarbons are very suitable in terms of their optical properties. Unfortunately, however, the production of carbon-black particles is expensive. For this reason other natural carbonaceous materials are of interest, e.g., coals with the appropriate composition. This realisation led to an idea. The process of coal gasification can be performed with the heat flux from highly concentrated solar radiation in the depth absorber of solar energy by volumetric absorption in a coal-particle-gas solar receiver. In this process the energy needed for volatilisation is obtained from the solar radiation instead of from burning the coal [4]. Carrier gas is the mixture of air and steam. The aim of this paper is to examine the properties of coals, especially domestic coals, and determine their suitability for the described process.

The paper begins with a discussion of some computational aspects of the Mie theory of light scattering by particles. The development of calculation methods for Mie scattering algorithms is not a trivial problem, see, for example, ([5] and [6]). In this paper some useful and interesting features of the Mie scattering-theory calculations are presented. The methods and models from which the programs used for the calculations are derived are applicable to electromagnetic-wave scattering in general. The central sections deal with the composition and optical properties of carbonaceous materials, especially the optical properties of domestic brown coals. The appropriate composition and the sizes of the coal particles are determined, and the absorbed and reflected energy fluxes are calculated. On the basis of the acquired data from experiments on carbon-black particles an estimation of the optical properties of some domestic coals and their suitability as absorptive matter are presented.

1 POSTOPKI RAČUNANJA IN IZHODIŠČA

1.1 Definiranje spektralnih veličin

Majhni, trdni delci sipanjo elektromagnetno valovanje sorazmerno z $\lambda^4 V^2$, in ga absorbirajo sorazmerno z $\lambda^{-1} V$, kjer je λ valovna dolžina vpadnega sevanja in V prostornina delca [5]. Če so torej delci zelo majhni, lahko postane absorpcija prevladujoči pojav. Spekter sončnega sevanja, kjer so gostote spektralnega svetlobnega toka velike, je v območju valovnih dolžin med $0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2,5 \mu\text{m}$.

V tem intervalu je približno 95% energijskega toka sončnega sevanja. Iz navedenega je razvidno, da pomeni pojem "zelo majhni delci" velikosti delcev s premerom enakim in manjšim od valovnih dolžin v navedenem intervalu sončnega sevanja.

Raziskovanje pojavov interakcije delcev in elektromagnetnega valovanja teh velikosti je mogoče z uporabo tako imenovane splošne teorije sipanja oziroma Mieove teorije sipanja z okroglimi delci. Optične lastnosti naključno razporejenih delcev so malo odvisne od oblike teh delcev, zato storimo majhno napako, če delcem premoga, čeprav ni nujno da so okrogli, pripišemo okroglo obliko. Ta predpostavka omogoča, da za računanje optičnih lastnosti premogovih delcev uporabimo Mieovo teorijo sipanja elektromagnetnega valovanja za okrogle delce poljubnih velikosti.

Teorija omogoča opis pojavov sipanja, prostorske porazdelitve sipanja, slabljenja gostote sevanja in absorbiranja elektromagnetnega sevanja z delci. Nazorno je predstavljena v delu Van de Hulst [5], izdelani matematični algoritmi, postopki računanja in računalniški modeli pa so predstavljeni v [6] in [8]. Pri izračunih je upoštevano, da delci lebdijo v prozornem, optično neaktivnem plinu. Rezultate teorije sipanja smo razširili s faktorjem učinkovitosti odboja s katerim lahko izračunamo energijski tok sevanja, ki ga delec odbija v polprostor (2π), to je v smeri proti viru sevanja [7].

Predstavili bomo le nekaj, za razumevanje najbolj potrebnih izrazov in definicij, ki jih nujno potrebujemo pri opisih in utemeljitvah. Najbolj pomembni in uporabni rezultati teorije sipanja so faktorji učinkovitosti, K_{sc} za sipanje, K_{ex} za slabljenje in K_{ab} za absorpcijo, za posamezni delec in za posamezno valovno dolžino svetlobe. S temi faktorji določamo sipani, oslabljeni in absorbirani spektralni energijski tok vpadnega sevanja. Faktor učinkovitosti sipanja je izražen:

$$K_{sc,\lambda} = \frac{1}{x^2} \int_0^\pi [|S_1(m, x, \theta)|^2 + |S_2(m, x, \theta)|^2] \sin \theta d\theta \quad (1),$$

faktor učinkovitosti slabljenja kot:

1 CALCULATION PROCEDURE AND SUBJECT LIMITATIONS

1.1 Definition of the spectral quantities

The scattering of electromagnetic radiation by small spherical solid particles is proportional to $\lambda^4 V^2$ whereas the absorption is proportional to $\lambda^{-1} V$, where λ is the wavelength of the incident radiation and V is the volume of the particle [5]. Thus, for very small particles, absorption becomes the predominant property. The spectrum of solar radiation under consideration is in the wavelength interval $0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2,5 \mu\text{m}$.

This interval includes about 95% of the energy flux of solar radiation. It is clear that that "very small particles" means particles with diameters in the same range as, or smaller than, the wavelength of the spectral solar radiation. When researching the optical properties of such particles, the light-scattering theory introduced by Mie should be applied.

The radiative properties of randomly oriented small particles are not very sensitive to their shape and therefore although the particles of pulverized coal cannot be spherical, the particles discussed in this paper will be considered as homogeneous spheres. This assumption makes it possible to predict the spectral properties of the particles by using the Mie scattering theory for spheres of arbitrary size.

The interpretation of the Mie theory as it applies to the scattering and absorption of electromagnetic radiation by small particles is comprehensively covered by Van de Hulst [5], while the mathematical models and calculation procedures are presented in [6] and [8]. For calculations it was assumed that the particles float in an optically inactive, transparent gas. The final results of the scattering theory were expanded, and an efficiency factor for reflection, K_{re} , which makes it possible to calculate the power reflected by the particle into the hemispherical angle (2π), was introduced [7].

For reasons of brevity, only a few extracts and the definitions of certain quantities applied when solving the given problem will be presented. The most important results of the scattering theory are the efficiency factors for scattering K_{sc} , extinction K_{ex} , and absorption K_{ab} , for individual particles. These factors make it possible to determine the scattered, the extincted and the absorbed parts of the incident power of the spectral radiation. The efficiency factor for scattering is expressed as:

the efficiency factor for extinction as:

$$K_{ex,\lambda} = \frac{4}{x^2} \operatorname{Re}\{S(m, x, 0)\}. \quad (2).$$

Faktor učinkovitosti absorpcije se računa posredno z izrazom:

The efficiency factor for the absorption is calculated indirectly from the equation:

$$K_{ab,\lambda} = K_{ex,\lambda} - K_{sc,\lambda} \quad (3).$$

Faktorji učinkovitosti se nanašajo na spektralne gostote energijskega toka. Računajo se, glede na nihanje električne poljske jakosti, z uporabo dveh komponent amplitudnih funkcij, ki sta kompleksni števili in izraženi s konvergenčnima vrstama:

The resulting efficiency factors, which refer to the spectral intensity, are expressed by the amplitude functions, which are in the form of complex numbers given by a converging series:

$$S_1(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n(n+1)} (a_n \pi_n + b_n \tau_n) \quad (4)$$

$$S_2(m, x, \theta) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2n+1)}{n(n+1)} (b_n \pi_n + a_n \tau_n) \quad (5).$$

Funkciji kotne odvisnosti τ_n in π_n v enačbah (4) in (5) sta izraženi z Legendrovimi polinomi in njihovimi odvodi. Kot sipanja θ je določen s smerjo širjenja vala in smerjo opazovanja.

The angular coefficients τ_n and π_n in equations (4) and (5) are defined in terms of Legendre polynomials and their derivatives. The scattering angle θ is determined by the forward direction of the incident wave and the direction of observation.

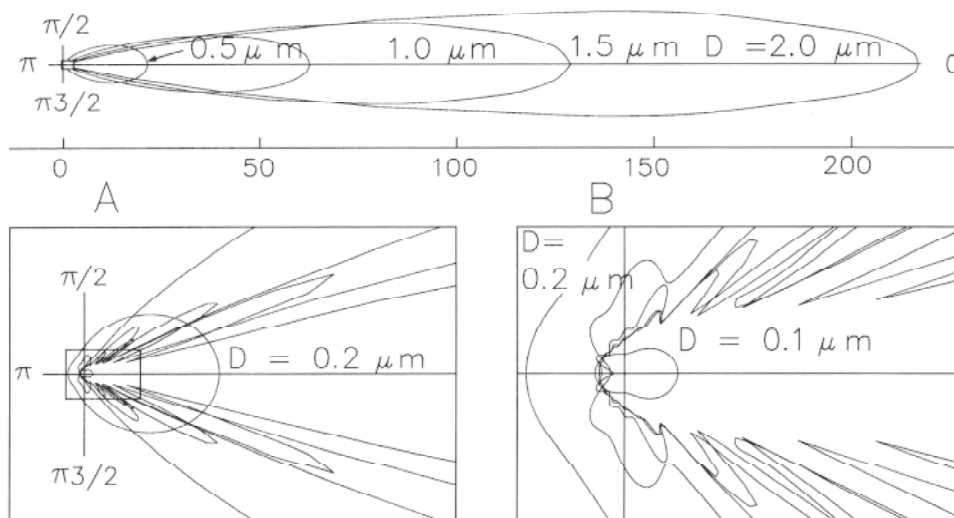
Optične lastnosti absorptivnih snovi določa kompleksni lomni količnik m , ki je tudi spektralna veličina:

The optical properties of the absorbing materials are characterized by the complex refractive index m , which is a spectral quantity:

$$m = n - i\kappa \quad (6)$$

za $n = \operatorname{Re}m$ in $\kappa = \operatorname{Im}m$. Vrednosti realne in imaginarne komponente lomnega količnika so odvisne od snovi in valovne dolžine vpadnega sevanja.

with $n = \operatorname{Re}m$, $\kappa = \operatorname{Im}m$. The values of the real and imaginary parts of the refractive index are functions of the substances and of the wavelengths of the incident radiation.



Sl. 1. Potek funkcije kotne porazdelitve sipanja pri valovni dolžini $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ za trboveljski rjavi premog in za delce premerov $D = 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 \mu\text{m}$. Izsek A je povečani segment iz osnovne slike, izsek B pa je povečan segment iz izseka A.

Fig. 1. Plot of the angular-efficiency function at wavelength $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$ for Trbovlje brown coal particles of diameters $D = 0,1, 0,2, 0,5, 1,0, 1,5, 2,0 \mu\text{m}$. The enlargement segment A is abstracted from the basic figure, the segment B is an enlargement of the segment denoted in segment A.

Brezrazsežni parameter velikosti x je izražen z razmerjem premera delca D in valovno dolžino λ vpadnega elektromagnetnega vala:

$$x = \frac{\pi D}{\lambda} \quad (7).$$

Koeficienta sipanja $a_n(x)$ in $b_n(x)$ v enačbah (4) in (5) sta izražena z cilindričnimi funkcijami, $\psi_n(x)$, $\zeta_n(x)$ in $\psi_n(y)$, pri realnem argumentu s polcelim pozitivnim in negativnim indeksom ter z odvodi teh funkcij:

$$a_n(x) = \frac{A_n(y)\psi_n(x) - m\psi_n'(x)}{A_n(y)\zeta_n(x) - m\zeta_n'(x)} \quad (8)$$

$$b_n(x) = \frac{mA_n(y)\psi_n(x) - \psi_n'(x)}{mA_n(y)\zeta_n(x) - \zeta_n'(x)} \quad (9),$$

tu je x realen, in $y = mx$, torej kompleksen. Funkcija $A_n(y)$ v (8) in (9) s kompleksnim argumentom je izražena kot:

$$A_n(y) = \frac{\psi_n'(y)}{\psi_n(y)} \quad (10).$$

Matematični modeli za računanje funkcij sipanja in amplitudnih funkcij ter njihova zgradba so prikazani v literaturi [6] do [8] in jih tu ne bomo obravnavali.

1.2 Faktor učinkovitosti odboja

Izkoristek absorberjev sončne energije je močno odvisen od odbitega toka energije vpadnega sevanja. Ta se iz energijskega toka vpadnega sevanja, ki vstopa v absorber, odbija nazaj proti viru sevanja. Da bi lahko določili odbiti tok energije vpadnega sevanja, smo vpeljali nov faktor, ki smo ga imenovali faktor učinkovitosti odboja [7].

Za ponazoritev pomena tega faktorja lahko uporabimo sliko 1, na kateri so prikazane lastnosti sipanja okoli delcev premoga. Sipanje v prostor okoli delca je prikazano z vrednostmi funkcije kotne porazdelitve sipanja. Središče delca je v prerezu križa, vpadno sevanje se širi od leve proti desni. Za odbito sevanje štejemo tisti del sipanega sevanja, ki se sipa v kot $\Theta: \pi/2, \pi, 3\pi/2$. Polni prostorski kot smo razdelili z ravnino skozi središče delca in pravokotno na vpadno sevanje, na prostorska kota $(2\pi)^+$ v smeri širjenja vpadnega sevanja (naprej) in prostorski kot $(2\pi)^-$ v smeri proti viru vpadnega sevanja (nazaj). Enako smo razdelili izraz (1), s katerim računamo sipanje delca, na faktor za sipanje nazaj in faktor za sipanje naprej [7]:

$$K_{sc,\lambda} = K_{re,\lambda} + K_{for,\lambda} \quad (11).$$

Prvi člen na desni strani enačbe (11) je faktor učinkovitosti odboja:

The dimensionless size parameter x denotes the relation between the particle diameter D and the wavelength of the incident radiation λ :

The scattering coefficients $a_n(x)$ and $b_n(x)$ in equations (4) and (5) are expressed by Ricatti-Bessel functions of half integral order with real and complex arguments $\psi_n(x)$, $\zeta_n(x)$ and $\psi_n(y)$ and their derivatives:

where x is real, and $y = mx$ and is, therefore, complex. The function $A_n(y)$ in (8) and (9) with the complex argument is expressed as:

The structure of the computational schemes for calculating the scattering and amplitude functions are presented in [6] to [8] and will not be discussed in this paper.

1.2 The efficiency factor for reflection

When considering the efficiency of solar-energy absorbers it is very important to know the power that is reflected from the incident radiation power that enters the absorber. In order to determine this energy flux we upgraded the scattering theory by introducing a new efficiency factor for the reflection [7].

As an illustration we can use Fig.1, where the angular-efficiency values are used to present the scattering abilities of the coal particles. The center of the particle is located at the center of the cross, and the incident radiation enters from the left-hand side. The backwards-reflected intensity is determined in terms of the angle $\Theta: \pi/2, \pi, 3\pi/2$. The plane through the center of the particle, perpendicular to the incident radiation, divides the total space around the particle into a hemispherical angle $(2\pi)^+$ in the direction of propagation of the incident radiation (forward), and a hemispherical angle $(2\pi)^-$ in the direction toward the source of the incident radiation (backward). Similarly, the integration in equation (1), which represents the scattering around the particle, is divided into backward scattering and forward scattering [7]:

The first term on the right-hand side of Equation (11) is the efficiency factor for reflection:

$$K_{re,\lambda} = \frac{1}{x^2} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi} [|S_1(m, x, \theta)|^2 + |S_2(m, x, \theta)|^2] \sin \theta d\theta \quad (12).$$

S tem faktorjem je mogoče računati tok energije, ki se odbija v prostorski kot (2π):

From which the spectral power reflected by the particle into the hemispherical angle (2π) can be calculated:

$$P_{re,\lambda} = K_{re,\lambda} A_c I_{0,\lambda} \quad (13).$$

1.3 Novi kriterij za zadostno konvergenco pri računanju $S_1(\Theta)$ in $S_2(\Theta)$

Zanesljivost računanja amplitudnih funkcij ni odvisna le od zanesljivega izračunavanja posameznih koeficientov $a_n(x)$ in $b_n(x)$. Pomembno odvisna je tudi od tega, koliko členov n koeficientov $a_n(x)$ in $b_n(x)$ bomo v enačbah (4) in (5) pri seštevanju določiti kot zadostno število členov, s katerimi je dosežena zelena točnost rezultata. V literaturi je splošno vzeto, da je potrebno število členov pod znakom seštevanja, s katerimi je zagotovljena zadostna konvergenca, nekaj večje od vrednosti parametra x . Opis problema zadostnega števila seštetih členov je Bohren (1998) [8] opisal dobesedno takole: "Opozoriti moramo bralca, ki ima računalnik velikih zmogljivosti, naj se ne pusti zapeljati razmišljanju, da lahko dosežemo večjo natančnost, če pač seštejemo večje število členov. Računanje funkcij ψ_n po rekurzijskih formulah za naraščajoči n je nestabilno, računati je treba v dvojni natančnosti, zato moramo poskrbeti, da ne generiramo več členov, kakor je nujno potrebno za razumno konvergenco." Rešitev tega problema je za primer kompleksnih lomnih količnikov z $\text{Imm} > 0$ grafično prikazana na sliki 2 v kompleksni ravnini. Prikazan je potek vrednosti členov $a_n(x)$ in $b_n(x)$ v območju $0,1 \leq x \leq 12$ pri $n = 1, 6, 12$ in 14 . Pri vse večjih vrednostih reda n vse več vrednosti funkcij $a_n(x)$ in $b_n(x)$ "izginja" v točki $(0,0i)$. To je posebno dobro razvidno za vrednosti funkcij pri $\chi = 12$. Ko se n zvečuje in ostaja x nespremenjen, lahko imaginarne komponente izračunanih vrednosti funkcij večkrat dosežejo vrednost nič, kar pa ne drži za realni del. Ta se približa vrednosti nič le enkrat, in to takrat, ko je vrednost n zadosti velika. Očitno je torej, da je edini kriterij za zadostno število členov pod znakom seštevanja v enačbah (4), (5) le zadosti majhna vrednost realne komponente funkcije, torej $\text{Re}\{a_n(x)\} \leq \varepsilon_1$ in $\text{Re}\{b_n(x)\} \leq \varepsilon_2$. Natančnost izračunanih vrednosti $S_1(\Theta)$ in $S_2(\Theta)$ je potem odvisna le od izbrane majhnosti za ε_1 in ε_2 .

1.4 Obnašanje funkcije $A_n(y)$ pri približevanju limitnih vrednosti

Obnašanje funkcije $A_n(y)$ postane zelo zanimivo, ko se zaradi večanja parametra velikosti x povečuje argument y , vrednost m pa ostaja

1.3 The new criterion of sufficient convergence for series $S_1(\Theta)$ and $S_2(\Theta)$

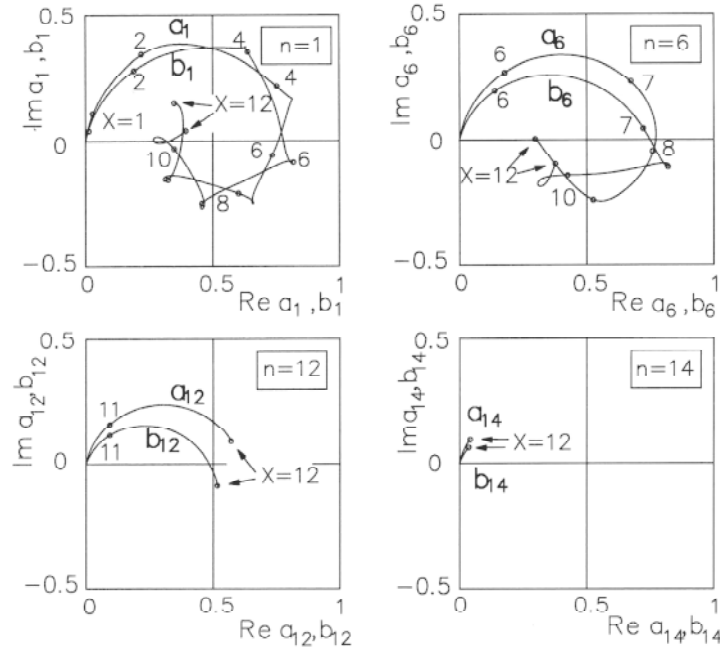
The accuracy of the calculation of amplitude functions does not depend only on the accuracy of the calculation of the scattering coefficients $a_n(x)$ and $b_n(x)$. When the summation in Equations (4), (5) is carried out, the main problem that influences the accuracy appears in determining the sufficient number n of terms $a_n(x)$ and $b_n(x)$ under the symbol for summation in order to achieve the desired precision of the result. In the literature it is generally accepted that the sufficient number of terms required for convergence is slightly more than the value of x . In connection with the problem of the sufficient number of terms, Bohren (1998)[8] pointed out literally: "But lest the reader with a large computer budget be seduced by the idea that if a certain number of terms is good then even more are better, we must issue a warning. Computation of ψ_n by forward recurrence is unstable, and it should be provided, that n is a double-precision variable and that one does not generate more orders of ψ_n than are needed for reasonable convergence." The way to solve this problem for a complex refractive index with $\text{Imm} > 0$ is graphically presented in Fig. 2 on a complex plane. Let us examine the changes to the terms of $a_n(x)$ and $b_n(x)$ in the interval $0,1 \leq x \leq 12$ for $n = 1, 6, 12$ and 14 . For each higher value of n more lower-order values of the functions $a_n(x)$ and $b_n(x)$ "vanish" at the point $(0, 0i)$. This is clearly shown in the picture for the functions values at $\chi = 12$. When n increases and x is constant, the values of the imaginary part of the function can frequently be zero, but this does not hold true for the real part, which approaches zero only once when the value of n increases sufficiently. It is evident that, at given conditions, only the sufficient small real part $a_n(x)$ and $b_n(x)$ value $\text{Re}\{a_n(x)\} \leq \varepsilon_1$ in $\text{Re}\{b_n(x)\} \leq \varepsilon_2$ is the criterion for the sufficient condition for cutting the summation in Equations (4), (5). The precision of the calculated values of $S_1(\Theta)$ and $S_2(\Theta)$ then depends on how small are the selected values of ε_1 and ε_2 .

1.4 Approaching the limit of the function $A_n(y)$

The behaviour of the function $A_n(y)$ when increasing the argument y by the size parameter x at constant m is very interesting. It is worth making a

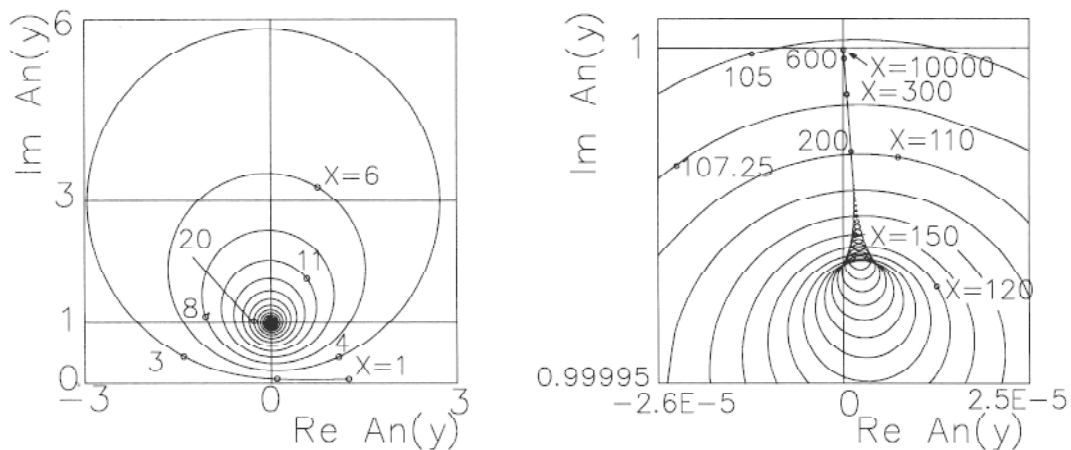
nespremenljiva. Na sliki 3 je graf funkcije $A_n(y)$ ko se njene vrednosti približujejo limiti funkcije $(0,+1i)$. V levem kvadratu potekajo vrednosti funkcije spiralno v širokem območju x -ov. V desnem kvadratu je narisano področje okoli limite, kjer postanejo argumenti veliki. Tu se obnašanje funkcije spremeni iz spiralne oblike v premočrtno, ko se vrednosti funkcije nekoliko asimetrično pomikajo proti limitni točki.

graphical presentation of the function $A_n(y)$ when it approaches its limit value $(0,+1i)$, (Fig. 3). In the left square the values of the function $A_n(y)$ spiral inward regularly within a wide interval of x . In the right square the area is enlarged around the limit, where the arguments of the function become big. The character of the curve changes and the values of the function become slightly unsymmetrical but form a straight line towards the limit point.



Sl. 2. Primeri vrednosti koeficientov sipanja $a_n(x)$ in $b_n(x)$ v območju $0,1 \leq x \leq 12$, za krogle $m = 1,29-0,0472i$ pri štirih različnih vrednostih n . Pri zadosti velikem n , vrednosti koeficientov $a_n(x)$ in $b_n(x)$ povsem "izginejo" v točki $(0,0i)$

Fig. 2. Examples of the values of the scattering coefficients $a_n(x)$ and $b_n(x)$, in the interval $0,1 \leq x \leq 12$, for spheres with $m = 1,29-0,0472i$, for four different values of n . For a sufficient number of terms n , the values of the coefficients $a_n(x)$ and $b_n(x)$, "vanish" fully at the point $(0,0i)$



Sl. 3. Vrednosti funkcije $A_n(y)$, $n = 1$, $m = 1,3-0,05i$, ko se v območju $1 \leq x \leq 10000$ približujejo limitni točki $(0,+1i)$. V kvadratu na desni strani je z veliko povečavo prikazano območje okoli limitne točke in obnašanje funkcije pri približevanju limitni točki.

Fig. 3. The values of function $A_n(y)$, $y = mx$, approaching the limit $(0,+1i)$ for $1 \leq x \leq 10000$, $m = 1,3-0,05i$ and $n = 1$. In the square on the right side is the segment of enlarged area around limit point.

1.5 Računanje globalnih vrednosti

Faktorji učinkovitosti določajo sipane in absorbirane tokove energij, ki jih delci z geometrijskim prerezom A_c prestrežejo iz energijskega toka spektralne gostote sevanja $I_{0,\lambda}$. Za določevanje absorbiranega in sipanega energijskega toka globalnega sevanja moramo z integracijo zbrati vse energijske tokove posameznih spektralnih gostot. Pri določanju gostot globalnega sevanja smo uporabili standardizirane vrednosti gostot spektralnih energijskih tokov sončnega sevanja na zemeljskem površju, v območju valovnih dolžin $0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2,5 \mu\text{m}$, po ISO [9]. Po integriranju spektralnih vrednosti prek območja valovnih dolžin sončnega sevanja dobimo izraze za globalne vrednosti:

$$P_{ab} = A_c \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{0,\lambda} K_{ab,\lambda} d\lambda, \quad P_{re} = A_c \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{0,\lambda} K_{re,\lambda} d\lambda, \quad P_{in} = A_c \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} I_{0,\lambda} d\lambda \quad (14).$$

Izraza P_{ab} in P_{re} določata za posamezni delec energijski tok, ki se je iz vpadnega sončnega sevanja absorbiral v delcu in energijski tok, ki se je iz vpadnega sončnega sevanja odbil v prostorski kot (2π) . Tu so $I_{0,\lambda}$ spektralne gostote sončnega sevanja. Absorbirani tok energije se v delcu spremeni v toploto. Integriranje prek območja valovnih dolžin sončnega sevanja od $\lambda_1 = 0,3 \mu\text{m}$ do $\lambda_2 = 2,5 \mu\text{m}$, s podintervali integriranja $\Delta\lambda = 0,5 \mu\text{m}$, smo izvajali z uporabo Simpsonovega pravila, posebej za vsako velikost delca. Ko izračunane energijske tokove podelimo z energijskim tokom, ki ga posamezni delec fizično prestreže, dobimo izraze P_{ab}/P_{in} in P_{re}/P_{in} , ki pomenijo absorbirani in odbiti energijski tok sončnega sevanja na enoto geometrijskega prereza delca.

2 ŽELENE OPTIČNE LASTNOSTI SNOVIDELCEV

Izgube energije koncentriranega sončnega sevanja, ki vstopa v absorber, so majhne, kadar imajo delci, razen poudarjene zmožnosti absorbiranja tudi kolikor je le mogoče majhno zmožnost odbijanja sončnega sevanja. Ti dve lastnosti sta odvisni od snovi delcev in od njihovih velikosti.

Obstaja široka paleta snovi s poudarjeno lastnostjo absorbiranja. Vsaki od teh snovi je lasten določen tip kompleksnega lomnega količnika. Posebnost za izbrano snov v našem primeru je, da mora imeti šibko zmožnost odbijanja in poudarjeno zmožnost absorbiranja predvsem v območju valovnih dolžin, pri katerih ima sončno sevanje največjo gostoto energijskega toka. Na sliki 4 so prikazane vrednosti faktorjev učinkovitosti za nekatere značilne tipe kompleksnih lomnih količnikov. Vrednosti teh faktorjev določajo, v kombinaciji z velikostjo, tudi optične lastnosti delcev. Senčeno področje v okviru na desni strani slike, ki pripada lomnemu količniku $m = 1,0 - i0,5$, pomeni območje, kjer kombinacija snovi in velikosti delcev daje zaželene lastnosti. V širokem območju valovnih dolžin in velikosti

1.5 Calculation of global quantities

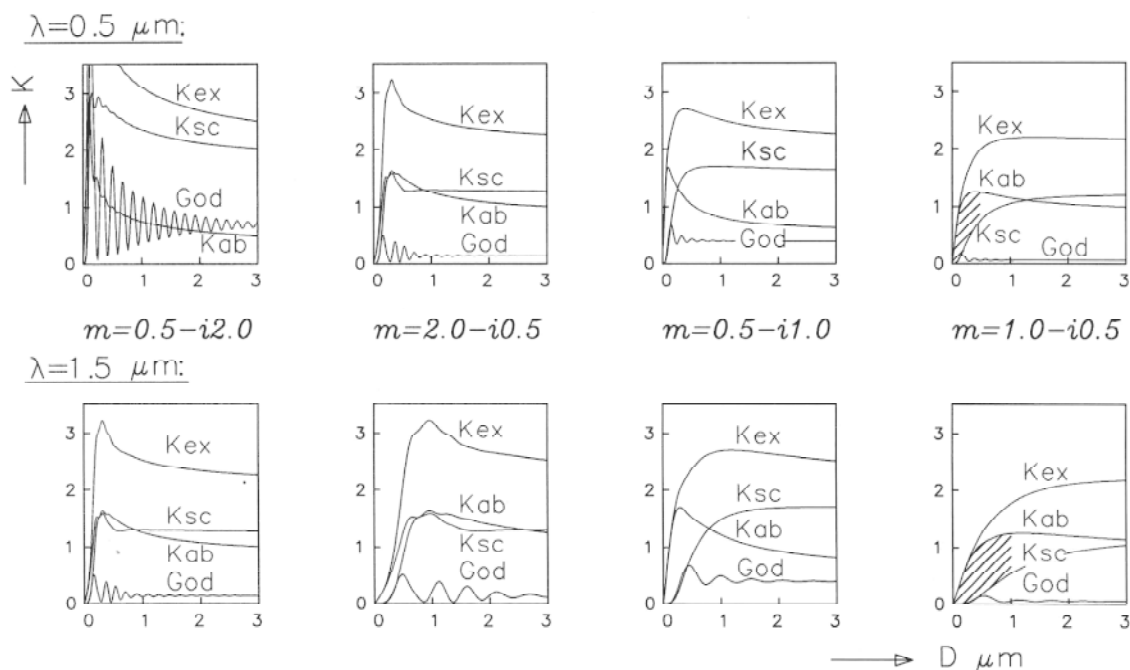
The efficiency factors make it possible to determine the power that a particle with a geometrical cross-section A_c intercepts from the incident radiation with spectral intensity $I_{0,\lambda}$ in the form of scattered and absorbed energy flux. To determine the global absorbed and scattered energy fluxes the energy fluxes of all the spectral intensities should be added together using integration. We determined the global radiative fluxes using the data for solar spectral irradiance on the earth's surface in the wavelength interval $0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2,5 \mu\text{m}$, taken from ISO [9]. The global quantities given by the integration of the spectral quantities over global solar irradiance are:

The expressions P_{ab} and P_{re} determine for each individual particle size, the power absorbed and the power reflected into the hemispherical solid angle (2π) from the incident solar radiation. $I_{0,\lambda}$ are the spectral intensities of solar radiation. The absorbed power P_{ab} is converted into thermal energy flux in the particle. The integrals over the wavelength interval of the solar spectral irradiance from $\lambda_1 = 0.3 \mu\text{m}$ to $\lambda_2 = 2.5 \mu\text{m}$ are calculated by applying the composite Simpson's rule for each particle size, with an integration subinterval $\Delta\lambda = 0.5 \mu\text{m}$. By normalizing with the power that each individual particle physically intercepts we get the expressions P_{ab}/P_{in} and P_{re}/P_{in} , which represent the power of the incident solar radiation absorbed and the power reflected per unit of particle cross-sectional area.

2 THE REQUIRED PROPERTIES OF THE PARTICLES' SUBSTANCE

To achieve the minimum energy losses of energy flux for the concentrated solar radiation that enters the absorber, the particle-gas suspension must have, in addition to high absorption, as low as possible a tendency to reflect the solar radiation. These properties depend on the size and the material of the particles.

There is a wide variety of absorbing materials and a corresponding variety of types of refractive indices. In terms of low reflection and high absorption, the optical properties of materials must match these requirements, especially in the wavelength intervals where the intensity of the solar radiation is the highest. Fig.4 shows plots of efficiency factors, which represent the optical properties of individual particles, for some types of complex refractive indices that depend on the particle's material. The hatched area at $m = 1.0 - i0.5$ on the right-hand side of the figure represents the intervals where the optical properties of the particles correspond to the desired values, i.e., for



Sl. 4. Vrednosti faktorjev učinkovitosti za nekatere značilne tipe lomnih količnikov v območju velikosti delcev do $3 \mu\text{m}$ za valovni dolžini $0,5 \mu\text{m}$ in $1,5 \mu\text{m}$

Fig. 4. Plot of the values of the efficiency factors for some different types of refractive indices in an interval of particle diameters up to $3 \mu\text{m}$ for wavelengths $0.5 \mu\text{m}$ and $1.5 \mu\text{m}$.

delcev je njihova absorptivnost velika, zmožnost odboja pa izredno šibka. Zmožnost odbijanja sevanja je na teh slikah predstavljena z vrednostmi faktorja neposrednega (radarskega) odboja G_{od} . Iz predstavitve lahko ugotovimo, da je med vsemi variantami tipov lomnih količnikov najprimernejši tip $m = 1,0 - i0,5$, ki pripada snovem iz črnega ogljika, to so pirolitični ogljik, koks, premogi in saje.

3 OPTIČNE LASTNOSTI SLOVENSKIH PREMOGOV

3.1 Lomni količniki

V Sloveniji imamo dve glavni vrsti premoga: lignit iz Velenja in rjavi premog iz Trbovelj. Premog iz Velenja ima lesnato strukturo, je svetlorjav, vsebuje prek 35 % vlage, veliko ksilita in je zelo neprimeren za fino mletje. Tudi njegova kemična sestava ne obeta izrazitih zmožnosti absorpcije.

Premog iz Trbovelj ima drugačne značilnosti. Je iz skupine temnejših rjavih premogov: po nemški klasifikaciji spada v skupino motno rjavih premogov, po mednarodni klasifikaciji v skupino SUBB B, oz. SUBB C in po ASTM klasifikaciji v skupino subbituminoznih premogov. Kot še uporabni premog lahko štejemo le frakcije, lažje od $1,4 \text{ t/m}^3$. Težje frakcije spadajo v razred karbomineralov in vsebujejo velik delež mineralnih snovi. Premogi z lastnostmi, prikazanimi v preglednici 1. so po ASTM D 385 standardni

a large interval of wavelength and particle diameters the absorption is high and the amount of direct reflection is low. Reflection is represented by the radar efficiency G_{od} . It is clear that the desired type of complex refractive index is $m = 1.0 - i0.5$, which corresponds to black carbonaceous materials, such as carbon blacks, coke, coals and soot.

3 THE OPTICAL PROPERTIES OF SLOVENIAN COALS

3.1 Refractive index

There are two main types of coal deposits in Slovenia: lignite from Velenje, and brown coal from Trbovlje. The coal from Velenje has a wooden structure; it is yellowish brown, contains over 35 % of water, a lot of ksilit and it is very unsuitable for fine pulverizing. Its chemical structure is also not promising in terms of being a strongly absorbing substance.

On the other hand, the coal from the Trbovlje mine has very different properties. It belongs to the group of dull brown coals: according to the German Classification it belongs to Mattbraunkohle (opaque brown coal), according to the International Classification it belongs to the group SUBB B or SUBB C, and according to ASTM it belongs to the subbituminous class. For our purposes only coal fractions with a volume mass lower than 1.4 t/m^3 can be considered suitable. Heavier fractions contain too large amounts of minerals and belong to the group of carbominerits. Coals with the properties listed in Table 1.

Preglednica 1. Trboveljski premog, analiza na suhi osnovi

Table 1. Coal from Trbovlje - Proximate Analysis (Moisture Free Basis)

Specifična masa Specific weight	t/m ³	≤ 1,05	1,3 – 1,4
pepel ash	%	8	14
neizparljiv ogljik, C^{MAF} fixed carbon, C^{MAF}	%	44	42
izparljive snovi, V^{MAF} volatile matter, V^{MAF}	%	48	44

klasifikaciji najbliže skupini subbituminoznih premogov SUB C. Vrednosti realne in imaginarne komponente kompleksnega lomnega količnika takih premogov zadovoljivo popiše izraza [13]:

$$\left. \begin{aligned} n(\lambda) &= A + 0.005\lambda + 0.004 \left[\frac{1}{1-(\lambda-3.5)^2} - \frac{1}{1+(\lambda-2.5)^2} \right] \\ \kappa(\lambda) &= 0.35 - 0.05 \frac{\lambda}{1+(\lambda-3)^2} + 0.1 \frac{\lambda-1}{1+(9\lambda-1)^2} \end{aligned} \right\} \quad (15).$$

Vrednosti lomnih količnikov, ki opisujejo obnašanje spektralnega sevanja na snoveh, so pridobljene z meritvami na vzorcih dejanskih snovi. To pomeni, da podatki izmerjenih optičnih stalnic upoštevajo tudi dejanske vsebnosti pepela, vode in drugih snovi v premogu. Iz enačbe (15) je razvidno, da ima elementna sestava premoga močan vpliv na imaginarno komponento lomnega količnika. To odvisnost popisuje izraz:

$$A = 1.1 + 0.01V^{MAF} \quad (16),$$

kjer pomeni V^{MAF} delež lebdečih delcev in C^{MAF} delež neizparljivega ogljika v masi premoga brez vode in pepela.

Spreminjanje deleža neizparljivega ogljika C^{MAF} ima močan vpliv na vrednosti n in κ , pri premogih z $C^{MAF} \geq 85\%$, zelo majhen pa je vpliv pri premogih z $C^{MAF} \leq 85\%$. V našem primeru je delež neizparljivega ogljika, C^{MAF} okoli 50%, zato spreminjanje vrednosti C^{MAF} malo vpliva na vrednosti kompleksnega lomnega količnika trboveljskega premoga.

Za te vrste premoga še velja, da je realni del lomnega količnika n odvisen od valovne dolžine vpadnega sevanja in tudi od deleža izparljive snovi, medtem ko je vrednost imaginarnega dela κ odvisna le od valovne dolžine vpadnega sevanja. Vrednosti realnega in imaginarnega dela lomnega količnika za trboveljski premog so v odvisnosti od valovnih dolžin v območju $0,3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2,5 \mu\text{m}$, narisane na sliki 5 v levem bloku prikaza. Za primerjavo so vrisane tudi vrednosti komponent lomnih količnikov za nekatere druge vrste premogov ([10] do [12]).

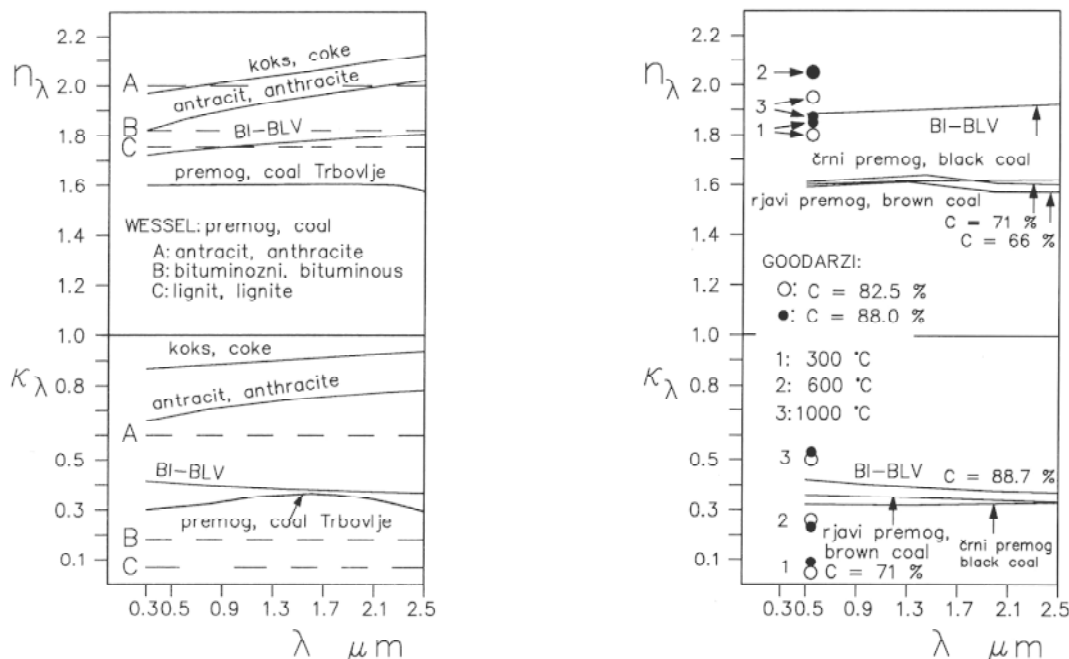
correspond closely to the subbituminous, highly volatile coals of group C, i.e., sub C, in accordance with the ASTM D 385 Standard Classification of coals. For the coals in this group the variations in the optical constants n and κ are described by the equations [13]:

The data for the refractive indices, which describe the interaction of the spectral electromagnetic radiation with the substance are determined by measurements on samples of real materials. This means that the values of the optical constants of the coals also depend on the actual ash and water contents of the coal. It is significant that the elemental composition of the coals only has a strong effect on the imaginary part of the refractive index. This influence is taken into account by the term:

where V^{MAF} represents the volatiles and C^{MAF} represents the fixed carbon content in a moisture-and-ash free mass of coal.

A change of C^{MAF} has a large influence on n and κ when $C^{MAF} \geq 85\%$, while for coals with values of $C^{MAF} \leq 85\%$ the optical constants n and κ depend little on the value C^{MAF} . In our case the value of C^{MAF} is a little less than 40% and so the influence of any variation in the fixed carbon content on the refractive index is negligible.

For the refractive indices of coal from Trbovlje is significant that the variation of the real part n depends on the wavelength of the incident radiation and also on the content of volatile matter, while the variation of the imaginary part κ is only a function of the wavelength of the incident radiation. The spectral values of the quantities n and κ for the coal from Trbovlje in the wavelength interval $0.3 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$ are presented in the left-hand part of Fig.5. For a comparison the values of the optical constants of several other coals of different types, ([10] to [12]) are also presented in Fig.5.



Sl. 5. Vrednosti realne in imaginarne komponente kompleksnega lomnega količnika za premoge in nekatere snovi iz ogljika v območju valovnih dolžin sončnega sevanja
 Fig. 5. Plot of the values of the real and imaginary parts of the complex refractive index for some coals and carbonaceous materials in the wavelength interval of solar radiation

3.2 Zmožnost premogovih delcev za absorpcijo in za odboj

Iz podatkov, prikazanih na sliki 7 in sliki 8, je razvidno, da so v območju istih velikosti izračunane vrednosti optičnih lastnosti rjavega premoga in pirolitičnega ogljika zelo podobne. Razlika je predvsem v tem, da so delci premoga optično mehkejši, kar pomeni, da sončno sevanje nekoliko manj intenzivno absorbirajo in nekoliko manj intenzivno odbijajo. Preizkusi slabljenja gostote energijskega toka sončnega sevanja, ki smo jih izvajali na suspenziji pirolitičnega ogljika iz acetilena, so potrdili veljavnost optičnih konstant pirolitičnega ogljika, ki smo jih izračunali po opisanih računskih postopkih ([2] in [3]). Rezultati teh preizkusov tudi potrjujejo zaupanje v vrednosti izračunanih optičnih značilnosti, ki smo jih za premoge predstavili v tem prispevku.

Raziskave sovplivanja majhnih delcev in sončnega sevanja so pokazale, da obstaja za vsako absorptivno snov neko specifično območje velikosti delcev, v katerem je zmožnost spektralnega odboja največja [2]. Na sliki 6 so predstavljene vrednosti spektralne absorptivnosti in reflektivnosti v izbranem območju velikosti delcev. Jasno so razvidna območja velikosti delcev z največjimi spektralnimi odboji.

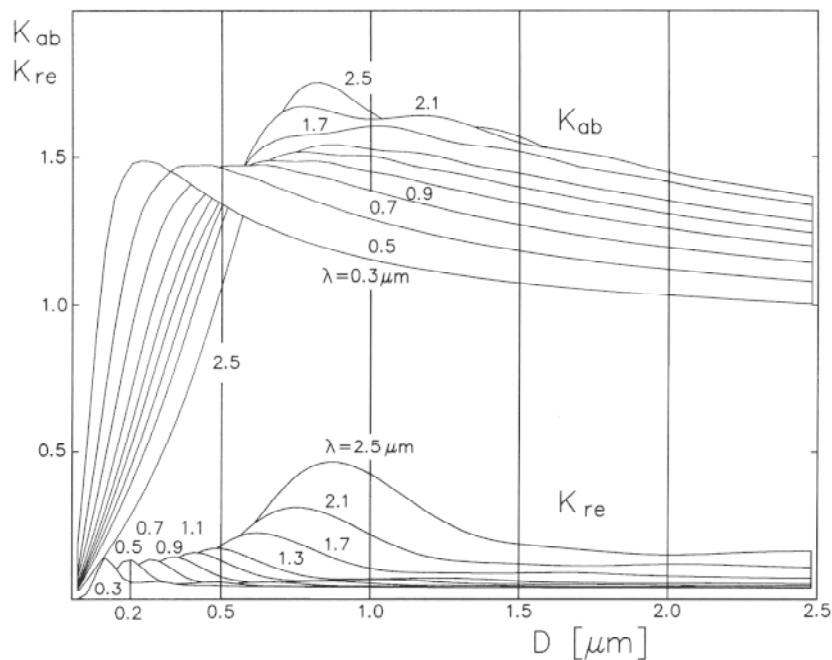
Globalne optične značilnosti ogljikovih snovi računamo po izrazih P_{ab}/P_{in} in P_{re}/P_{in} iz enačbe (14). Rezultat so vrednosti za specifično absorptivnost in specifično odbojnost za sončno sevanje, ki so prikazane v sliki 7 in sliki 8. Vrednosti za premog iz

3.2 The ability of the coal to absorb and reflect

From the data presented in Fig.7 and Fig.8 it is clear that within the interval of equal diameters the calculated optical properties of brown coal particles are very similar to the properties of carbon-black particles. The difference is only that brown coal particles are optically slightly softer, which means that they are less able to reflect and absorb. The experiments on the extinction of solar radiation intensity, which were performed with a suspension of acetylene carbon-black particles, confirmed the calculated optical properties of the carbon-black particles, which were calculated according described calculations ([2] and [3]). This means that we also can have confidence in the calculated values of the optical properties of the brown coal particles presented in this paper.

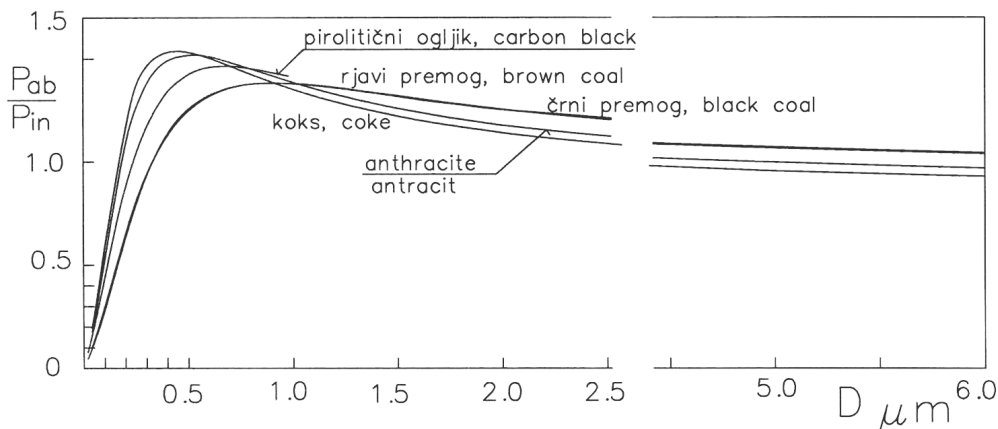
Previous research on the problems of the interaction of small particles with solar radiation has shown that the maximum level of reflection exists for each individual absorptive material in a specific interval of particle diameter [2]. Fig.6 presents the spectral absorption and reflection for a range of diameters. The region of maximum spectral reflectivity is clearly evident.

On the basis of Equations (14) and after normalisation with the power P_{in} we calculated the global optical properties of the carbonaceous materials. The results are the specific absorptivity and reflectivity of solar radiation, see Fig.7 and Fig.8.



Sl. 6. Vrednosti faktorjev učinkovitosti K_{ab} in K_{re} za delce rjavega premoga, ki ponazarjajo velikost absorbiranega in odbitega energijskega toka vpadnega sevanja enotnih spektralnih gostot pri nekaterih valovnih dolžinah v območju $0,025 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2,5 \mu\text{m}$.

Fig. 6. The values of the efficiency factors K_{ab} in K_{re} of brown coal particles which illustrate the absorbed and reflected uniform spectral intensities at different wavelengths in the interval $0.025 \mu\text{m} \leq \lambda \leq 2.5 \mu\text{m}$.



Sl. 7. Delež absorbiranega energijskega toka, ki ga delec absorbira iz vpadnega sončnega sevanja, ki pade na enoto njegovega geometrijskega prereza.

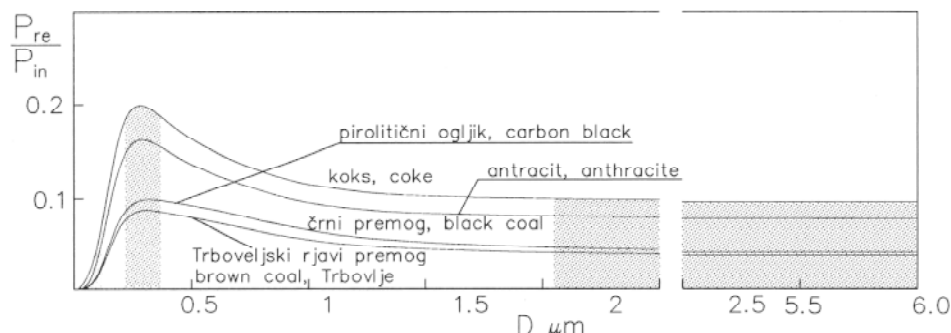
Fig. 7. Power of the global incident solar radiation absorbed by particles per unit of particle geometrical cross-section.

Trbovelj kažejo, da je največja specifična absorptivnost premoga dosežena pri delcih s premerom $D=0,9 \mu\text{m}$, največja specifična reflektivnost pa pri delcih premera okoli $D = 0,3 \mu\text{m}$. Največ se odbije 8,5 % energije sončnega sevanja, ki ga delec fizično prestreže. Specifični odboj je pri delcih vseh drugih premerov manjši.

Glede na velikost delcev snovi iz ogljika obstajajo v elektromagnetnem polju sončnega sevanja tri značilna območja (sl. 6 do 8). Prvo je območje najmanjših delcev, pri katerih je odbojnost na enoto geometrijskega prereza delcev najmanjša.

The results for the coal from Trbovlje show that the maximum specific absorptivity is attained for the diameter $D = 0.9 \mu\text{m}$, and the maximum specific reflectivity is attained at around $D = 0.3 \mu\text{m}$. The maximum reflected power is 8.5% of the solar radiation power that the particle physically intercepts. Particles of all other diameters reflect less energy flux.

Regarding the particle diameter of carbonaceous materials, there are three significant intervals of optical properties in the electromagnetic field of solar radiation, see Fig.6 to 8. The first is the interval of the smallest particles, where the reflection



Sl. 8. Delež odbitega energijskega toka, ki ga delec odbija iz vpadnega sončnega sevanja, ki pade na enoto njegovega geometrijskega prereza.

Fig. 8. Power of incident solar radiation reflected by particles per unit of particle geometrical cross section.

Pri delcih te velikosti je učinek absorbiranja sončnega sevanja lahko tudi do stokrat močnejši od učinka odbijanja. Največja absorptivnost in reflektivnost se pojavita v območju nekoliko večjih delcev. Pri nekaterih snoveh iz ogljika je odbojnost izredno poudarjena, saj npr. delci koks v tem območju velikosti odbijajo tudi do 20 % energijskega toka sončnega sevanja, ki pade na površino delca. Tretje območje je pri velikosti delcev nad 2,0 μm . Tu je absorptivnost sorazmerno velika pri vseh snoveh iz ogljika, reflektivnost pa je lahko bistveno različna. Očitno je reflektivnost najšibkejša pri delcih trboveljskega premoga.

4 RAZLAGA DOBLJENIH REZULTATOV

Iz prikazov spektralnih učinkovitosti absorpcije K_{ab} za rjavi premog na sliki 6 je razvidno, da se največji delež oslabiljene gostote sevanja spremeni v toploto v delcih najmanjših premerov. Računski podatki kažejo, da se faktor učinkovitosti absorpcije, torej zmožnost absorbiranja, hitro povečuje s premerom delcev in ostane visok pri vseh raziskanih snoveh in premerih delcev. Lastnost izrazite zmožnosti absorbiranja potrjujejo tudi vrednosti globalnih absorptivnosti, ki so prikazane na sliki 7. Posebnost je, da so v širokem območju premerov delcev iz ogljika vrednosti izraza P_{ab}/P_{in} večje od 1. To pomeni, da je energijski tok, ki se absorbira v delcu večji od energijskega toka vpadnega sevanja, ki ga delec fizično prestreže s površino geometrijskega prereza. Ta pojav je raziskan in v literaturi tudi opisan [14], njegova fizikalna osnova temelji na lomu svetlobe okoli majhnih delcev iz izrazito absorptivnih snovi. Iz prikazanih rezultatov je razvidno, da delci do velikosti 0,2 μm pri vseh obravnavanih snoveh ustrezajo pogojem za absorptivno snov v plinski suspenziji absorberja sončnega sevanja. Pri izvedbi absorberjev je treba upoštevati, da bo debelina absorptivne suspenzije večja pri uporabi delcev z manjšo zmožnostjo absorbiranja kakor pri suspenziji, v kateri bodo bolj absorptivni delci, seveda pri enaki

by a unit of a geometrical cross-section of particles is minimal. In this interval the absorption effect can be more than one hundred times stronger than reflection. The maximum reflectivity and absorptivity appears in the second interval. For some carbonaceous materials the reflectivity can be strong, for instance coke particles from this size interval can reflect up to 20% of the solar radiation power that a particle physically intercepts (Fig.8). The third is the interval where the particle diameters exceed 2.0 μm . In this interval the absorption is sufficiently high for almost all carbonaceous materials, but the reflection is the lowest for the brown coal from Trbovlje.

4 RESULTS AND DISCUSSION

On the basis of the value K_{ab} plotted in Fig.6, where the spectral properties are presented, it is obvious that most of the extinguished intensity is converted into heat flux by the particles with the small diameters. The calculations show that the efficiency factor for absorption and absorptivity rapidly increase with the diameter of the particles and remain high for all the substances and the particle diameters investigated. This property is also evident in the global absorptivity presented in Fig.7, from where we can see that over a wide range of diameters for the carbonaceous particles, the value of the term P_{ab}/P_{in} is greater than 1. This means that the energy flux that the particle removes and is absorbed from the incident flux is greater than the energy flux that falls on its cross-sectional area. This phenomena is known and has been investigated by several authors, [14]. Its physical nature is associated with the special character of the diffraction of electromagnetic waves from particles of some characteristic absorptive substances. If we use the smallest particles, with diameters up to 0.2 μm the absorptivity and reflectivity of all the investigated materials and particles fit the conditions for absorptive matter in a gas-particle receiver. In the case that the absorptivity is lower the suspension in the absorber with the same volumetric concentration of particles should be deeper than by using bigger particles with

prostorski koncentraciji delcev. Z večanjem premerov delcev se veča tudi zmožnost sipanja energijskega toka sevanja vendar predvsem v smeri širjenja sevanja (sl. 1). Izrazito nesimetrično sipanje pri delcih z $D \geq \lambda$ je značilno predvsem za delce ogljika. Energijski tok, ki ga delci sipajo naprej v smeri širjenja sevanja, v našem primeru ni toliko pomemben, bolj je pomemben energijski tok odbitega sevanja. S slike 6 je razvidno, da se največja vrednost faktorja učinkovitosti odboja pri delcu danega premera vedno pojavi pri isti valovni dolžini. Za delec premera $0,2 \mu\text{m}$ je na sliki 6 posebej označeno, da je največja spektralna učinkovitost odboja dosežena pri valovni dolžini $0,5 \mu\text{m}$. Isti primer je narisano tudi na sliki 1, kjer je prikazano sipanje elektromagnetnega sevanja z valovno dolžino $\lambda = 0,5 \mu\text{m}$. V povečanem izseku slike, označenem z B, je razvidno, da so vrednosti funkcije kotne porazdelitve sipanja največje pri delcu premera $D = 0,2 \mu\text{m}$. Največje vrednosti odboja obstajajo v določenem območju velikosti delcev tudi za globalno sončno sevanje (sl. 8).

Pri večanju premerov delcev naletimo pri obsevanju s sončnim sevanjem na tri značilna območja. Prvo je območje delcev velikosti do $0,1 \mu\text{m}$, v katerem je odbojnost šibka, absorptivnost pa sorazmerno velika pri vseh snoveh iz ogljika. V drugem območju velikosti delcev do $1,5 \mu\text{m}$ sta zmožnost absorpcije in zmožnost odbijanja sevanja največja. V tretjem območju velikosti delcev nad $2,0 \mu\text{m}$ postane zmožnost odbijanja opazno manjša, le pri delcih rjavega in črnega premoga. V tem območju odbijajo delci rjavega premoga od 3 do 4 %, delci antracita skoraj 8 % in delci oglja okrog 10 odstotkov vpadne energije sončnega sevanja. Rezultati torej kažejo, da imajo delci rjavega premoga iz Trbovelj izrazito najprimernejše optične lastnosti kot absorbenti sončnega sevanja. Delci tega premoga imajo visoko zmožnost absorpcije pri vseh velikostih, medtem ko je zmožnost odbijanja majhna predvsem pri velikih delcih. Pridobivanje premogovih delcev velikosti nad $2 \mu\text{m}$ je mogoče s postopkom sočasnega klasificiranja delcev med mletjem.

5 SKLEPI

Uplinjanje premogov s toploto sončne energije je mogoče izvajati s postopkom prostorninskega absorpcije zelo koncentriranega sončnega sevanja v plinski suspenziji premogovih delcev. Uplinjati je smiselno le premoge z velikim deležem lebdečih delcev. Trboveljski premog, ki vsebuje tudi do 50 % izparljivih snovi, je torej kot premog primeren za uplinjanje. Po kemični sestavi smo za snov in za delce trboveljskega premoga določili značilne podatke za absorpcije in odbijanje elektromagnetnega valovanja. Te značilnice lahko izračunamo s faktorji učinkovitosti, geometričnih

višje absorptivnosti. The scattering efficiency and the power that the particle scatters also rapidly increases with diameter, but primarily as forward scattering (Fig.1). Very strong asymmetric scattering when $D \geq \lambda$ is characteristic for most carbonaceous substances. The power scattered by the particles in the forward direction is not very significant in our case; the reflected power is more important. From Fig.6 it is evident that the maximum value of the efficiency factor for reflection exists at a given wavelength and diameter of particle. For a particle diameter of $0.2 \mu\text{m}$ the maximum spectral reflection appears at a wavelength of $0.5 \mu\text{m}$. The relation between the particle diameter, the wavelength and the maximum values of efficiency factor for the reflection is also illustrated in Fig.1, where the spectral scattering is presented for $\lambda = 0.5 \mu\text{m}$. In segment B we can see that the maximum values of the efficiency function for the reflected intensity are at the particle diameter $D = 0.2 \mu\text{m}$. The existence of a reflection maximum is also seen from the global values of the reflected solar energy flux after integration over the entire spectral irradiance, see Fig.8.

When increasing the diameter of the carbonaceous particles we can see that there are three significant intervals in connection with the absorbed and reflected solar energy flux. The first is the interval of the smallest particles, up to $0.1 \mu\text{m}$, where the reflection is minimal, but the absorption remains sufficient for all the treated substances. In the second interval of particle diameters, up to $1.5 \mu\text{m}$, the absorption and reflection are at the maximum. In the third interval, where the particle diameters are greater than $2.0 \mu\text{m}$, the reflection is significantly smaller again only for black and brown coal. In the third interval the brown coal particles reflect 3 % to 4 %, anthracite almost 8 % and char particles around 10 % of the energy flux of the incident solar radiation. The results therefore show that brown coal from Trbovlje has very appropriate optical properties for the absorption of concentrated solar radiation. The ability to absorb is very high for all particle diameters, while the ability to reflect is low, especially for bigger particles. The production of pulverised coal with a granulation greater than $2 \mu\text{m}$ is achievable by a micronising process with the simultaneous classification of particles.

5 CONCLUSIONS

The gasification of highly volatile coals with the heat from concentrated solar radiation is realizable by the process of volumetric absorption in a coal-particle-gas suspension. From the point of view that gasification is reasonable only by coals with high content of volatile matter, the separated coal from Trbovlje is very convenient since it contains up to 50 % of evaporative matter. On the basis of the chemical composition, the absorption and reflection properties of the coal particles from Trbovlje were determined. The radiative properties can be

prerezov delcev in spektralnih gostot vpadnega sončnega sevanja. Ker je zmožnost absorpiranja izrazita in ni problematična pri vseh velikostih delcev, smo posebej pozorno proučili energije sevanja, ki ga delci odbijajo. Šibka reflektivnost delcev je osnovni pogoj za visok izkoristek postopka absorpiranja v plinski suspenziji. Rezultati pokažejo, da je specifična odbojnost najmanjša pri delcih premera do premerov 0,1 μm . Proizvajanje delcev takih velikosti z mletjem premoga je izrazito težavno, problematično je tudi ohranjanje velikosti takih delcev zaradi izrazitega nagnjenja k aglomeriranju. Zaradi poudarjene zmožnosti odbijanja sončnega sevanja se je treba izogibati uporabi delcev velikosti med 0,15 μm in 1,5 μm .

Analiza rezultatov pokaže, da so delci premera s premeri, večjimi od 2 μm , tudi v pogledu optičnih lastnosti najbolj primerni. Imajo veliko specifično absorptivnost in šibko specifično odbojnost, saj odbijajo manj ko 5 % energijskega toka vpadnega sevanja. Za uspešen postopek uplinjanja trboveljskega premoga s sončno energijo ni potrebna priprava izrazito majhnih delcev premoga. Velik izkoristek postopka uplinjanja rjavega premoga s koncentriranjem sončnega sevanja v plinski suspenziji torej je mogoč tudi s premogovim prahom, ki ga pripravimo z običajnimi metodami mletja in so delci v njem zelo veliki v primerjavi z valovnimi dolžinami sončnega sevanja.

calculated in terms of the efficiency factors, the geometrical cross-sections of the individual particles and the spectral intensity of incident radiation. Our attention was focused on the reflection intensity, because the calculations show that the absorptivity is not problematic and remains high for all particle diameters. Low reflectivity of the particles is the condition for the high efficiency of the absorber, i.e., the process. The result shows that reflection by the smallest particles of diameters up to 0.1 μm is minimal. In any case the production of such coal particles is very difficult because of their high predisposition to agglomeration. On the other hand because, of their of maximum reflectivity, the usage of brown coal particles with diameters from 0.15 μm up to 1.5 μm should be avoided.

The results show that particles with diameters greater than 2 μm are the most appropriate as a result of their high specific absorptivity and low specific reflectivity, which is under 5%. In fact for brown coal from Trbovlje there is no need to produce extreme small particles because the highest efficiency of the particle-gas absorber can also be attained when the sizes of the particles are very large compared to wavelength of solar radiation and can be prepared by the common pulverized-coal systems.

6 LITERATURA

6 REFERENCES

- [1] Hunt, A.J. (1978) Small particle heat exchangers. *Lawrence Berkely Laboratory Report*, LBL 7841.
- [2] Oman, J. (1996) Extinction of solar radiation in particle-gas suspension. *Renewable Energy*, Vol.9, no.1/4, 1011-1014.
- [3] Oman, J., P. Novak (1996) Volumetric absorption in gas-properties of particles and particle-gas suspensions. *Solar Energy*, Vol. 56, No. 6, 597-606.
- [4] Oman, J., T. Žuža (1994) Optične lastnosti slovenskih premogov pri uporabi v plinskih absorberjih. Tretje mednarodno posvetovanje Komunalna energetika, Maribor, 10.-11. maj, *Zbornik del. Maribor; Tehniška fakulteta*.
- [5] Van de Hulst, H.C. (1957) Light scattering by small particles. *Wiley and Sons*.
- [6] Barber, P., S.C.Hill (1990) Light scattering by particles: Computational methods. *World Scientific Publishing Co*.
- [7] Oman, J. (1989) Absorption of solar radiation by solid particles in gas; Dr. thesis, *University of Ljubljana, Faculty of Mechanical Engineering*.
- [8] Bohren, C.F., D.R. Huffman (1998) Absorption and scattering of light by small particles. *John Wiley and Sons, Inc*.
- [9] ISO/DP 9339, (1987) Solar energy; Terrestrial solar spectral irradiance.
- [10] Goodarzi F., Murchison D.G. (1972) Optical properties of carbonized vitrinites; *Fuel*, Vol.51, p. 315.
- [11] Foster, P., C.R. Howarth (1968) Optical constants of carbon and coal in the infrared; *Carbon*, Vol.6, 719-729.
- [12] Wessel, R.A. (1985) Effective radiative properties for particle gas mixture; The 23. National Heat Transfer Conference, Denver, *ASME*, Vol.45, p. 239
- [13] Blokh, A.G. (1988) Heat transfer in steam boiler furnaces; *Springer-Verlag*.
- [14] Kerker, M. (1969) The scattering of light; *Academic Press*.

Avtorjev naslov: prof.dr. Janez Oman
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana
janez.oman@fs.uni-lj.si

Author's Address: Prof.Dr. Janez Oman
University of Ljubljana
Faculty of Mechanical Eng.
Aškerčeva 6
1000 Ljubljana, Slovenia
janez.oman@fs.uni-lj.si

Prejeto: 1.6.2004
Received:

Sprejeto: 30.9.2004
Accepted:

Odprto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year

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 preprostejšo 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 presledki med vrstami in s 3 cm širokim robom, da je dovolj prostora za popravke lektorjev. Najbolje je, da pripravite besedilo v urejevalniku Microsoft Word. Hkrati dostavite odtis članka na papirju, vključno z vsemi slikami in preglednicami ter identično kopijo v elektronski obliki.

Prosimo, 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.).

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

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. 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.).

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

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 pomanjšujemo.

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 podnaslovu 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] Tamg, 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 Wirtschaftskybernetik. *Carl Hanser Verlag*, München.

Podatki o avtorjih

Članku priložite tudi podatke o avtorjih: imena, nazive, popolne poštno 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
1001 Ljubljana
Telefon: (01) 4771-137
Telefaks: (01) 2518-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si

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] Tamg, 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 Wirtschaftskybernetik. *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
1001 Ljubljana, Slovenia
Telephone: +386 (0)1 4771-137
Fax: +386 (0)1 2518-567
E-mail: strojniksi.vestnik@fs.uni-lj.si