



**2009
SOKOBANJA**

ZBORNİK RADOVA BOOK OF PAPERS

**14. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE
14th Symposium on Thermal Science
and Engineering of Serbia**

Sokobanja, 13-16.10.2009

Društvo termičara Srbije
Mašinski fakultet u Nišu

ZBORNİK RADOVA

14. Simpozijum termičara Srbije SOKOBANJA, 13-16.10.2009.

Društvo termičara Srbije
Mašinski fakultet Niš

ISBN 978-86-80587-96-7

Izdavač:
Mašinski fakultet Niš

Međunarodni programski odbor:

dr Peter Novak, Slovenija
dr Jordan Hristov, Bugarska
dr Neven Dujčić, Hrvatska
dr Vesna Barišić, Finska
dr Petar Gvero, BiH, Republika Srpska
dr Maria Ichim, Rumunija

Programski odbor:

dr Milan Radovanović
dr Simeon Oka
dr Predrag Stefanović
dr Dragoslava Stojiljković
dr Goran Jankeš
dr Maja Đurović Petrović
dr Vladan Karamarković
dr Dragoslav Šumarac
dr Dušan Gvozdenc
dr Milun Babić
dr Branislav Savić
dr Gradimir Ilić
dr Bratislav Blagojević
dr Dragoljub Živković

Počasni odbor:

dr Miodrag Manić
dr Zoran Boričić
dr Dimitrije Voronjec
dr Slobodan Laković
dr Nenad Radojković

Organizacioni odbor:

dr Mladen Stojiljković
mr Dejan Mitrović
mr Mirjana Laković
dr Branislav Stojanović
dr Mića Vukić
dr Jelena Janevski
dr Gordana Stefanović
dr Velimir Stefanović
mr Goran Vučković
mr Predrag Živković
mr Dragan Kuštrimović
Mirko Stojiljković
Marko Ignjatović
Jasmina Bogdanović Jovanović

Predsednik organizacionog odbora

dr Mladen Stojiljković

14. Simpozijum termičara Srbije

pod nazivom

”Energija, ekologija, efikasnost”

u organizaciji

**Društva termičara Srbije i
Mašinskog fakulteta u Nišu**
pod pokroviteljstvom

Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj
Republike Srbije

pomogli su:

Generalni pokrovitelj:

TERMOVENT KOMERC - Beograd

Generalni sponzor:

INŽENJERSKA KOMORA SRBIJE – Beograd

Veliki sponzori:

FOSTER WHEELER – Poljska

Sponzori:

VIA OCEL – Beograd

ENERGOPROJEKT – ENTEL – Beograd

CENTROMETAL – Hrvatska

ETAŽ - Beograd

HERZ - Beograd

WILO - Beograd

VOGEL & NOOT - Hrvatska



14. SIMPOZIJUM TERMIČARA SRBIJE
13–16. oktobar 2009, Sokobanja



DRUŠTVO TERMIČARA SRBIJE

MAŠINSKI FAKULTET NIŠ



Република Србија
Министарство за науку и технолошки развој



ИНЖЕЊЕРСКА КОМОРА СРБИЈЕ



I ENERGETSKI IZVORI I POTENCIJALI

I.1	POTROŠNJA UGLJA U SRBIJI I EMISIJA CO2 NASTALA NJEGOVIM SAGOREVANJEM CONSUMPTION OF COAL IN SERBIA AND CO2 EMISSIONS RELATED TO IT'S COMBUSTION V. Milisavljević, V. Čokorilo, D. Zlatanović, J. Milenković	1
I.2	PRIRODNI GAS U PROGRAMU OSTVARIVANJA STRATEGIJE RAZVOJA ENERGETIKE THE NATURAL GAS IN THE REALIZATION PROGRAM FOR THE STRATEGY OF ENERGY V. Vuletić, N. Đajić**	8
I.3	ENERGETSKE REPERKUSIJE SVETSKE EKONOMSKE KRIZE IMPACTS OF WORLD ECONOMIC CRISIS ON ENERGY SECTOR M. Mesarović	17
I.4	UTICAJ CENA GORIVA NA RAZVOJ I PRIMENU OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE IMPACT OF FUEL PRICES ON DEVELOPMENT AND USE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES M. Mesarović	23
P.I.1	ENERGETSKA BUDUĆNOST SRBIJE THE FUTURE OF THE ENERGY SECTOR IN THE SERBIA B. Cvetanović	29

II STRUJANJE I PROSTIRANJE TOPLOTE I MATERIJE

II.1	IZBOR OPTIMALNIH PROFILA BRZINE I TEMPERATURE U LAMINARNOM GRANIČNOM SLOJU PRI OPSTRUJAVANJU RAVNE PLOČE PRIMENOM INTEGRALNOG METODA PRORAČUNA SELECTION OF OPTIMAL VELOCITY AND TEMPERATURE PROFILES IN LAMINAR BOUNDARY LAYER ALONG FLAT PLATE APPLYING INTEGRAL METHOD OF CALCULATION B. Stanković, S. Belošević, M. Sijerčić, V. Bakić	35
II.2	FREKVENTNI ODZIV TURBULETNOG OSNOSIMETRIČNOG MLAZA NA MODIFIKACIJU ZVUČNIM OSCILACIJAMA TURBULENT AXISYMMETRIC JET FREQUENCY RESPONSE ON MODIFICATION BY ACOUSTIC OSCILLATIONS D.B. Cvetinović, S.M. Čantrak	43
II.3	TERMOHIDRAULIČKI UDAR U TERMoeLEKTRANAMA CONDENSATION INDUCED WATER HAMMER IN THERMAL POWER PLANTS S. Prica, V. Stevanović, B. Maslovarić, M. Jovanović	56
P.II.1	NUMERIČKA SIMULACIJA TURBULETNOG DVOFAZNOG STRUJANJA AEROSMEŠE U KANALIMA SA JEDNOSTEPENIM TURBULATORIMA NUMERICAL SIMULATION OF TURBULENT TWO-PHASE AIR-COAL MIXTURE FLOW IN THE CHANNELS WITH SINGLE BLADE TURBULATORS R. Jovanović, B. Rašuo, D. Cvetinović, P. Stefanović, Z. Marković, Z. Pavlović	62

III ENERGETSKA EFIKASNOST I RACIONALNO GAZDOVANJE ENERGIJOM

III.1	PREGLED STANJA U ZAKONSKOJ REGULATIVI REPUBLIKE SRBIJE ZA UGRADNJU TNG INSTALACIJE U VOZILIMA REVIEW OF LEGISLATIVE PROCEDURES IN REPUBLIC OF SERBIA FOR LPG-INSTALLATION MOUNTING IN VEHICLES A. Stefanović, I. Klinar, B. Nikolić	75
III.2	OPŠTI PRISTUP ENERGETSKOJ EFIKASNOSTI U SEKTORU MLEČNE INDUSTRIJE A.S. Anđelković	81
III.3	ENERGETSKA EFIKASNOST KAO KRITERIJUM U PROCESU UPRAVLJANJA VOZIM PARKOVIMA ENERGY EFFICIENCY AS A CRITERION FOR VEHICLE FLEET MANAGEMENT PROCESS R. Mijailović, D. Vujanović, V. Momčilović, V. Papić	87
III.4	FREKVENTNA REGULACIJA RADA VENTILATORA I PUMPI KAO MERA POVEĆANJA ENERGETSKE EFIKASNOSTI SISTEMA KLIMATIZACIJE I VENTILACIJE HVAC SYSTEM ENERGY EFFICIENCY IMPROVEMENT WITH VARIABLE FREQUENCY CONTROL FOR FANS AND PUMPS I. Zlatanović, N. Rudonja, K. Gligorević	95
III.5	ENERGETSKA EFIKASNOST INDUSTRIJSKIH KONCENTRATORA SA EJEKTORSKOM TERMOKOMPRESIJOM V. Šarevski, M. Šarevski	101
III.6	TOPLOVODNI KOTAO SA DODATIM ZAGREJAČEM VODE ZA SAGOREVANJE BALIRANE BIOMASE HOT-WATER BOILER WITH ADDITIONAL WATER HEATER FOR BUNDLED BIOMASS COMBUSTION D. Tucaković, T. Živanović, D. Stojiljković, V. Jovanović, M. Todorović	112
III.7	UTICAJ REŽIMA PEČENJA NA KVALITET OPEKARSKIH PROIZVODA THE INFLUENCE OF FIRING REGIME ON QUALITY OF MASONRY PRODUCTS M. Vasić, Z. Radojević, M. Maričić	121

III.8	ENERGETSKA EFIKASNOST KUĆNIH APARATA I RASVETE NAJVEĆI ENERGETSKI IZVOR U NAŠOJ ZEMLJI ENERGY EFFICIENCY OF THE HOME APPLIANCES AND LIGHTING THE GREATEST ENERGY SOURCE IN OUR COUNTRY D. Stojanović, M. Bjekić, R. Krneta, S. Đukić	128
III.9	POSTUPAK IZBORA OPTIMALNOG RJEŠENJA I ANALIZA IZVODLJIVOSTI ZA MOGUĆE KORIŠĆENJE KOGENERACIJE U REPUBLICI SRPSKOJ PROCEDURE FOR CHOOSING OPTIMAL SOLUTION AND FEASIBILITY ANALYSES FOR POSSIBLE USAGE OF CO-GENERATION IN REPUBLIC OF SRPSKA V. Babić, Z.N. Milovanović	140
III.10	MODELI PRIMJENE SISTEMA KOGENERACIJE U REPUBLICI SRPSKOJ - ODRŽIV RAZVOJ I KORIŠĆENJE MODELS FOR IMPLEMENTATION OF THE SYSTEM OF CO-GENERATION IN REPUBLIC OF SRPSKA - SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND EXPLOITATION V. Babić, Z.N. Milovanović	146
III.11	ENERGETSKI POTENCIJAL ORGANSKOG OTPADA IZ KLANICA U OKOLINI KRAGUJEVCA ENERGY POTENTIAL OF ORGANIC WASTE FROM SLAUGHTERHOUSES IN THE VICINITY OF KRAGUJEVAC M. Despotović, S. Jovanović	152
III.12	MOGUĆNOST PROIZVODNJE BIOGASA OD OSTATAKA HRANE IZ RESTORANA PROCESOM KODIGESTIJE U POSTOJEĆEM POSTROJENJU ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA POSSIBILITZ FOR BIOGAS PRODUCTION FROM FOOD RESIDUES FROM RESTAURANTS BY CO-DIGESTION IN THE EXISTING WASTEWATER TREATMENT PLANT M. Despotović, D. Nikolić	157
III.13	HIBRIDNI MODEL MINI VETROGENERATORSKE TURBINE IZOLOVANOG SISTEMA NAPAJANJA ELEKTRIČNOM ENERGIJOM POSLOVNOG PROSTORA MINI WIND TURBINE HYBRID MODEL OF SINGLE FEEDING ELECTRICAL POWER SYSTEM FOR NON RESIDENTIAL BUILDINGS Ž.Ž. Stevanović, V.V. Bakić	162
III.14	ENERGETSKI MENADŽMENT U PROZVODNJI AUTO-GUMA ENERGY MANAGEMENT IN CAR TYRE MANUFACTURING P. Milosavljević, D. Živković	170
III.15	PROMENLJIVI REŽIMI RADA KONDENZATORA PARNOG BLOKA A-110 MW U TE „KOLUBARA“-A DIFFERENT WORK REGIMES OF THE CONDENSER IN THE STEAM TURBINE POWER PLANT A-110 MW „KOLUBARA“-A D. Živković, Z. Stajčić, V. Stefanović, M. Laković	179
III.16	UTICAJ PROMENE PRITISKA KONDENZACIJE NA SNAGU PARNE TURBINE A-110MW U TE „KOLUBARA“-A THE INFLUENCE OF THE CONDENSATION PRESSURE CHANGE ON POWER OF THE STEAM TURBINE IN POWER PLANT „KOLUBARA“-A D. Živković, Z. Stajčić, V. Stefanović, M. Laković	188
III.17	ENERGETSKA EFIKASNOST ZGRADA U SRBIJI-STANJE I PERSPEKTIVE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS IN SERBIA-STATE OF THE ART AND PERSPECTIVES D. Šumarac	197
P.III.1	NUMERIČKA SIMULACIJA TOPLOTNIH KARAKTERISTIKA STAMBENE ZGRADE SA DALJINSKIM GREJANJEM NUMERICAL SIMULATION OF THERMAL CHARACTERISTICS OF A RESIDENTIAL BUILDING IN DISTRICT HEATING SYSTEM V. Turanjanin, B. Vučićević, M. Jovanović, V. Bakić	216
P.III.2	SIMULACIJA POTROŠNJE ENERGIJE I MOGUĆNOSTI UŠTEDE U SISTEMIMA SA ETAŽNIM GREJANJEM SIMULATION AND ENERGY SAVINGS IN DECENTRALIZED HEATING SYSTEMS B. Vučićević, V. Turanjanin, V. Bakić, M. Jovanović, N. Mirkov*	223
P.III.3	OPTIMIZACIJA KOMBINOVANOG POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU POTROŠNE TOPLE VODE COMBINED SYSTEM OPTIMIZATION FOR DOMESTIC HOT WATER PRODUCTION V. Bakić, V. Turanjanin, M. Jovanović, M. Pezo, N. Miloradović	231
P.III.4	ENERGETSKA EFIKASNOST I ŠTEDNJA ENERGIJE U INDUSTRIJI I USLUŽNIM DELATNOSTIMA ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING IN INDUSTRY AND SERVICES R.V. Filkoski, I.J. Petrovski, A.T. Nošpal, V.M. Stojkovski	237
P.III.5	IDEJNI PROJEKAT GASNE DISTRIBUTIVNE MREŽE PIROTA V. Stefanović, D.S. Živković D.S. Milčić	245
P.III.6	IDEJNI PROJEKAT TOPLOTNE DISTRIBUTIVNE MREŽE TOPLANE „SENJAK“ U PIROTU V.P. Stefanović, M.S. Laković, D. Ćirić, M. Tošić	254

P.III.7	RACIONALNOST IZBORA RADNIH PARAMETARA I OPREME ZA POVRATNO HLADJENJE PARNOG BLOKA RATIONALITY OF CHOICE OF WORKING PARAMETERS AND EQUIPMENT FOR POWER PLANT CLOSE-CYCLE COOLING S. Laković, M. Laković, V. Stefanović, M. Stojiljković	261
P.III.8	DNEVNA PROMENA PRITISKA U KONDENZATORU POVRATNO HLAĐENOG PARNOG BLOKA ZA LETNJI DAN STEAM POWER PLANT CONDENSING PRESSURE DAILY VARIATION DUE TO ATMOSPHERIC AIR PARAMETERS VARIATION DURING SUMMER PERIOD M.S. Laković, S.V. Laković, M. Stojiljković, V. Stefanović, P. Živković, D. Živković	269
P.III.9	MARKETING ENERGETSKE EFIKASNOSTI - PODIZANJE SVESTI I EDUKACIJA ZAPOSLENIH MARKETING ENERGY EFFICIENCY – AWARENESS RAISING AND EDUCATION EMPLOYEES S. Živadinović	278
P.III.10	SPEKTI GAZDOVANJA ENERGIJOM U GUMARSKOJ INDUSTRIJI ASPECTS OF ENERGY MANAGEMENT IN THE RUBBER PROCESSING INDUSTRY S. Živadinović	285

IV TEHNOLOGIJE I POSTROJENJA

IV.1	REDLOG IZGRADNJE NOVE TOPLANE-ELEKTRANE U ZAJEČARU PRIMENOM TEHNOLOGIJE SAGOREVANJA U FLUIDIZOVANOM SLOJU PROPOSAL FOR DESIGN OF NEW CO-GENERATION THERMAL POWER PLANT IN ZAJEČAR BASED ON CIRCULATING FLUIDIZED BED TECHNOLOGY S. Oka, V. Čokorilo, N. Lilić, Z. Dragosavljević	292
IV.2	PRIKAZ PROJEKTA I TEHNOEKONOMSKE ANALIZE POSTROJENJA REKUPERACIJE TOPLOTE OTPADNOG VAZDUHA CPV-2 SISTEMA KLIMATIZACIJE VMA U BEOGRADU B. Aleksić, D. Gajić, D. Voronjec	310
IV.3	UTICAJI POSTAVLJENOSTI I RAZMEŠTAJA REŠETKI KOD DISTRIBUCIJE VAZDUHA C. Dimitrieska, G. Trombev, M. Serafimov, V. Trombev	318
IV.4	PROIZVODNJA VENTILACIONIH I KLIMATIZACIONIH KANALA U SRBIJI – TEHNOEKONOMSKA ZASNOVANOST I MOGUĆA TEHNIČKA REŠENJA PRODUCTION OF DUCT FOR VENTILATION AND AIR CONDITIONS IN SERBIA –TECHNO-ECONOMIC BASED AND POSSIBLE TECHNICAL SOLUTIONS A. Marinković, N. Rudonja, M. Komatina, D. Antonijević, N. Dondur, P. Milićević	324
IV.5	ODREĐIVANJE OPTIMALNE RAZLIKE TEMPERATURE HLADNE VODE U SISTEMU DALJINSKOG HLAĐENJA PRIMENOM ABSORBCIONE RASHLADNE MAŠINE Š. M. Bajmak	330
IV.6	PROCES GENERISANJA TOPLOTE KOD FRIKCIONOG ZAVARIVANJA SA MEŠANJEM - FSW HEAT GENERATION WITHIN FRICTION STIR WELDNG PROCESS M.M. Mijajlović, D.S. Milčić, M.B. Đurđanović, D.J. Mitić, A.B. Živković	338
IV.7	MOGUĆNOSTI SMANJENJA EMISIJE DIMA I AZOTOVIH OKSIDA PRIMENOM SISTEMA HLAĐENE RECIRKULACIJE IZDUVNIH GASOVA DIZEL MOTORA THE POSSIBILITIES OF DIESEL ENGINE NITRIC OXIDES AND SMOKE EMISSION REDUCTION BY APPLICATION OF COOLED EXHAUST GAS RECIRCULATION D. Knežević, S. Petrović, M. Tomić	347
IV.8	RAZVOJ BENZINSKOG MOTORA DMB 1.4 SA TURBOPUNJENJEM I ELEKTRONSKIM UBRIZGAVANJEM DEVELOPMENT OF GASOLINE ENGINE DMB 1.4 WITH TOURBOCHARGING AND ELECTRONIC FUEL INJECTION M. Tomić, S. Petrović, S. Popović, N. Miljić	353
IV.9	PNEUMATSKO-AKUMULACIONA TERMOELEKTRANA NA PRIRODNI GAS COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE POWER PLANT ON NATURAL GAS V. Vuletić, M. Mesarović	363
P.IV.1	ANALIZA UTICAJA STRUJNIH I KONSTRUKTIVNIH VELIČINA NA KARAKTERISTIKE AKSIJALNIH VENTILATORA ANALYSIS OF INFLUENCE OF FLOW AND CONSTRUCTIVE PARAMETERS ON OPERATING CHARACTERISTICS OF AXIAL FANS Ž. Spasić, D. Milenković, B. Bogdanović, J. Bogdanović-Jovanović	369
P.IV.2	ZATVORENI GRADSKI BAZEN U PIROTU- IZVOD IZ STUDIJE OPRAVDANOSTI PRIMENE ENERGETSKI VISOKOEFIKASNOG POLIGENERACIJSKOG POSTROJENJA ZA PROIZVODNJU TOPLOTNE ENERGIJE V. Stefanović, D.S. Živković, M.S. Laković, S.R. Pavlović	375
P.IV.3	KONSTRUKTIVNE I RADNE KARAKTERISTIKE REKUPERATORA TOPLOTE VAZDUH-VAZDUH CONSTRUCTIVE AND WORKING CHARACTERISTIC OF AIR TO AIR HEAT RECUPERATOR M. Ignjatović, B. Stojanović, J. Janevski, M. Stojiljković, D. Mitrović, M. Vukić	385

V NOVI I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

V.1	UTICAJ STABILNOSTI ATMOSFERE NA VERTIKALNE PROFILE BRZINE VETRA ATMOSPHERE STABILITY IMPACT TO VERTICAL WIND VELOCITY PROFILES N. Mirkov, Ž. Stevanović, B. Grubor, Ž. Stevanović	392
V.2	PRIMENA ALGORITAMA ODLUČIVANJA U OBLASTI OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE UTILIZATION OF DECISION-MAKING ALGORITHMS WITHIN THE AREA OF RENEWABLE ENERGY SOURCES D. Ninković	406
V.3	REZULTATI ISPITIVANJA SAGOREVANJA BALIRANE BIOMASE NA EKSPERIMENTALNOM KOTLU RESULTS OF BALLED BIOMASS COMBUSTION RESEARCH ON EXPERIMENTAL BOILER B.S. Repić, D.V. Dakić, D.M. Đurović, A.M. Erić	412
V.4	PRIMENA STANDARDA ZA PROCENU POTENCIJALNIH LOKACIJA ZA IZGRADNJU VETROELEKTRANA APPLICATION OF STANDARDS FOR ASSESSMENT OF POTENTIAL SITES FOR WIND FARM BUILDING Ž. Stevanović, Ž. Stevanović, B. Grubor, P. Živković, G. Ilić, M. Vukić	418
V.5	KARAKTERISTIČNA OGRANIČENJA UTICAJA NA ŽIVOTNU SREDINU PRI IZBORU LOKACIJA ZA IZGRADNJU VETROELEKTRANA U SRBIJI SPECIFIC CONSTRAINS OF ENVIRONMENTAL IMPACT TO SERBIAN SITES SELECTION FOR WIND FARMS BUILDING Ž. Stevanović, Ž. Stevanović, B. Grubor, P. Živković, G. Ilić, M. Vukić	434
V.6	PRODUKCIJA BIOMASE MISCANTHUS GIGANTEUS SA ASPEKTA ENERGETSKE I EKOLOŠKE EFIKASNOSTI EKOSISTEMSKOG PROCESORA G. Dražić, M. Mitić, N. Mihailović, A. Đorđević, S. Marković	450
V.7	BIOFUELS IMPROVING SUSTAINABILITY OF TRANSPORT IN CROATIAN TOURIST RESORTS B. Čosić, G. Krajačić, N. Duić	456
V.8	PREDNOSTI ENERGIJE VETRA I NJENA UPOTREBA U VETROELEKTRANAMA BENEFITS OF WIND ENERGY AND ITS USAGE IN WIND TURBINE V. Miltenović, J. Stefanović-Marinović, M. Banić *	462
V.9	TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA MOGUĆNOSTI KORIŠĆENJA BIOMASE KAO ENERGENTA ZA PROIZVODNJU BIOGASA TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF UTILIZING BIOMASS AS AN ENERGY SOURCE FOR BIOGAS PRODUCTION S.B. Milunović, S.N. Čurčić, S.M. Dragičević	468
V.10	UTICAJ PROMENLJIVOG MAGNETNOG POLJA NA SMANJENJE STVARANJA NASLAGA PRI PROTOKU GEOTERMALNE VODE IMPACT VARIABLE MAGNETIC FIELD FOR REDUCTION OF DEPOSITS CREATING WHEN FLOW OF GEOTHERMAL WATER D.T. Stojiljković, N.Č. Mitić, S.T. Stojiljković, M. Đurović-Petrović, Ž. Tasić	474
V.11	UBACIVANJE BIOGASA DOBIJENOG IZ POSTROJENJA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA U MREŽU PRIRODNOG GASA BIOGAS FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT INJECTION INTO THE NATURAL GAS NETWORK M. Despotović, N. Nikolić	482
V.12	KORIŠĆENJE BIOGASA IZ POSTROJENJA ZA TRETMAN OTPADNIH VODA KAO TRANSPORTNOG GORIVA BIOGAS FROM WASTEWATER TREATMENT PLANT AS TRANSPORT FUEL M. Despotović, N. Nikolić	488
V.13	STANDARDI ZA PROCENU POTENCIJALNIH LOKACIJA ZA IZGRADNJU VETROELEKTRANA STANDARDS FOR ASSESSMENT OF POTENTIAL SITES FOR WIND FARM BUILDING Ž. Stevanović, Ž. Stevanović, B. Grubor, P. Živković, G. Ilić, M. Vukić	494
P.V.1	ISPITIVANJE RADA KOTLA SNAGE 1,5 MW ZA GREJANJE PLASTENIKA U PKB-U KORIŠĆENJEM BALIRANE BIOMASE TESTING 1,5 MW BOILER FOR HEATING GREENHOUSES IN PKB USING BALLED BIOMASS D.Dakić, D.Đurović, B.Repić, A.Erić, M.Mladenović, G.Živković, A.Stojanović	508
P.V.2	EKONOMSKA ANALIZA MOGUĆNOSTI PROIZVODNJE TOPLOTNE I ELEKTRIČNE ENERGIJE KORIŠĆENJEM POLJOPRIVREDNE BIOMASE ECONOMIC ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF COMBINED HEAT AND ELECTRICITY PRODUCTION BURNING AGRICULTURAL BIOMASS D.Dakić, D.Đurović, B.Repić, A.Erić, M.Mladenović, G.Živković	514
P.V.3	OPCIJE ENERGETSKIH SISTEMA KOJE KORISTE GAS I OBNOVLJIVE IZVORE ENERGIJE ZA DOBIJANJE SANITARNE TOPLE VODE I PROCENA NJIHOVE ODRŽIVOSTI ENERGY SYSTEM OPTIONS WHICH USE GAS AND RENEWABLE ENERGY RESOURCES FOR SANITARY HOT WATER PRODUCTION AND ASSESSMENT OF THEIR SUSTAINABILITY M. Jovanović, Valentina Turanjanin, Biljana Vučićević,	520

P.V.4	ENERGETIC POTENTIAL OF MORUS SP. BIOMASS PLANTS M. Ichim, D. Tanase, M. Yungen	527
P.V.5	ECOLOGICAL - ENERGY UTILIZATION OF WASTE BIOMASS IN TECHNOLOGICAL PROCESS Z. Đukić, S. Kovačević	533
P.V.6	POTENCIJALI ENERGIJE VETRA U PLANINSKIM OBLASTIMA SRBIJE WIND ENERGY POTENTIALS IN MOUNTAINEOUS REGIONS OF SERBIA P.M. Živković, G.S. Ilić, M.V. Vukić, Ž.M. Stevanović	539
P.V.7	EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE PERMEABILNOSTI BALIRANOG SOJINOG OSTATKA EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE BALLED SOYA RESIDUE PERMEABILITY A. Erić, D. Dakić, S. Nemoda, M. Komatina	547

VI ISPITIVANJE POSTROJENJA U POGONU I EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA POSTROJENJA

VI.1	EXTREME VALUES FROM THE CLIMATIC CURVE AND THEIR INFLUENCE ON TPP'S "BITOLA" COLD-END I.N. Mijakovski, V.I. Mijakovski	553
VI.2	DETERMINATION OF EVAPORATION LOSSES IN HYPERBOLIC WET COOLING TOWER V.I. Mijakovski, I.N. Mijakovski	559
VI.3	FAKTOR PRENOSA TOPLOTE KOD RAZMENIVAČA TOPLOTE HEAT TRANSFER FACTOR AT HEAT EXCHANGERS K.J. Popovski	565
VI.4	EMISSION CHARACTERISTICS OF A LEAN PREMIXED SWIRL COMBUSTOR M. Adžić, M. Živković, V. Fotev, A. Milivojević	571
VI.5	EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE TOPLOTNIH SVOJSTAVA ZEMLJIŠTA KAO IZVORA TOPLOTE ZA GEOTERMALNE TOPLLOTNE PUMPE EXPERIMENTAL DETERMINATIONS OF THERMOPHISICAL CHARACTERISTICS OF SOIL AS A HEAT SOURCE OF GEOTHERMAL HEAT PUMPS M. Banjac	577
P.VI.1	EKSPERIMENTI SAGOREVANJA RAZLIČITIH TEČNIH GORIVA U LOŽIŠTU SA FLUIDIZOVANIM SLOJEM THE EXPERIMENTS OF FLUIDIZED BED COMBUSTION OF DIVERSELY LIQUID FUEL M. Mladenović, S. Nemoda, D. Dakić, B. Repić, A. Erić, D. Đurović, M. Komatina	585
P.VI.2	EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA REKUPERATORA TOPLOTE VAZDUH- VAZDUH EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CHARACHTERISTIC AIR TO AIR HEAT RECUPERATOR B. Stojanović, J. Janevski, M. Ignjatović, M. Stojiljković, D. Mitrović, M. Vukić	593

VII POUZDANOST PROCESA, OPREME I POSTROJENJA I AUTOMATIZACIJA I KONTROLA PROCESA

VII.1	METODOLOGIJA OCENE EKSPLOATACIONA POUZDANOST I UNAPREĐENJA MERA ODRŽAVANJA MAGISTRALNIH CEVOVODA SPROVEDENA NA PRIMERU SERVICE RELIABILITY ASSESSMENT METHODOLOGY AND MAITENANCE IMRUVEMENT OF MAGISTRAL PIPELINES THROUGH EXAMPLE G.M.Bakić, V.B.Šijački, M.B.Đukić, B.M.Rajičić, B.M.Anđelić	599
VII.2	PROCJENA POUZDANOSTI TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA NA MAKRONIVOU ESTIMATION OF RELIABILITY OF THERMO-ENERGY PLANTS ON MACRO-LEVEL Z.N. Milovanović, V. Babić	605
VII.3	UPRAVLJANJE PROJEKTOM PODIZANJA KONKURENTNOSTI TERMOENERGETSKIH POSTROJENJA MANAGEMENT OF PROJECT FOR RAISING INDUSTRIAL COMPETITIVENESS OF THERMO- ENERGY PLANTS Z. N. Milovanović, V. Babić	611
VII.4	MODELOVANJA PROCESA U ENERGETSKIM BLOKOVIMA TERMOELEKTRANA – TRENAŽER ZA POSTROJENJA U TE-TO MODELING OF ENERGY IN THERMAL POWER PLANT BLOCKS - TRAINER FOR PLANTS IN TE- TO S. Stevanović, N. Radmilović, M. Milojević, N. Krajnović	617
VII.5	TERMOVIZIJA KAO SAVREMENI METOD ZA PREVENTIVNO ODRŽAVANJE, MONITORING I DIJAGNOSTIKU TRANSFORMATORSKIH STANICA THERMOVISION AS CONTEMPORARY METHOD FOR PREVENTIVE MAINTENANCE, MONITORING AND DIAGNOSE OF ELECTRIC POWER SUBSTATIONS D. Mančić, Z. Petrušić, I. Jovanović	625
P.VII.1	PRIMENA DETEKTORSKIH SISTEMA U REGULISANJU SAOBRAĆAJA APPLICATION OF DETECTION SYSTEMS IN TRAFFIC CONTROL M. Milošević, D. Stamenković, Lj. Vasin	640
P.VII.2	PRIMENA INTELIGENTNOG UPRAVLJANJA NA POSLOVNU ZGRADU U PROKUPLJU APPLICATION OF INTELLIGENT CONTROL TO A BUSSINES BUILDING IN PROKUPLJE S.M. Stojiljković, Ž.M. Čojbašić, M.S. Stoiljković	646

TERMIČKA ANALIZA STRUKTURE VRELOVODNIH KOTLOVA METODOM KONAČNIH ELEMENATA

FINITE ELEMENT THERMAL ANALYSIS OF HOT WATER BOILERS

**Dragan S. Milčić, Dragoljub S. Živković, Velimir P. Stefanović,
Milan S. Banić, Miroslav M. Mijajlović**

Mašinski fakultet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš

Abstract: Paper presents application of the Finite Elements Analysis for stress and strain calculation of the hot water boiler's structure. Goal of the work was to investigate influence of the boiler scale to the thermal stresses and strain in the structure of the hot water boilers. Result show that maximal thermal stresses appear in the zone of the pipe carrying wall of the first heat diverting chamber. This indicates that most critical parts of the boiler are weld spots of the smoke pipes and pipe carrying plates, what in the case of the huge boiler scale can lead to the cracks in the welds and water leaking from the boiler. As a reference object boiler Viessmann - Vitomax 200 HW, with installed power of 16,5 MW has been used. CAD modeling is done within Autodesk Inventor and stress and strain analysis is done within ANSYS Software.

Key words: Hot water Boiler, Thermal analysis , Finite Element Analysis

1. UVOD

JKP Gradska toplana u Kruševcu raspolaže sa dva vrelovodna kotla: tip -Viessmann Vitomax 200-HW, proizvođački broj 187006356 i 187006357, godina proizvodnje 2007, toplotne snage 16,5 MW, snage loženja 18,2 MW, dozvoljenog radnog natpritiska 16,0 bar. U periodu probnog puštanja kotlova u rad, početkom 2008. godine, javila su se curenja oba kotla. Mašinski fakultet u Nišu je angažovan da uradi ekspertizu oštećenja na vrelovodnim kotlovima [5].

Vizuelni pregled plamene i dimnih cevi sa vodene strane ostvaren je neposrednim posmatranjem ovog dela kotla kroz kontrolne otvore na gornjoj i donjoj strani kotla. Vizuelnim pregledom plamene cevi ustanovljene su naslage kamenca različite debljine duž cele plamenice i po čitavom obimu

Najveće naslage kamenca nalaze se na gornjoj strani plamene cevi u udubljenjima valova i njihova mestimična debljina dostiže vrednost od skoro 5 cm



Slika 1. Naslage kamenca na gornjoj strani plamene cevi

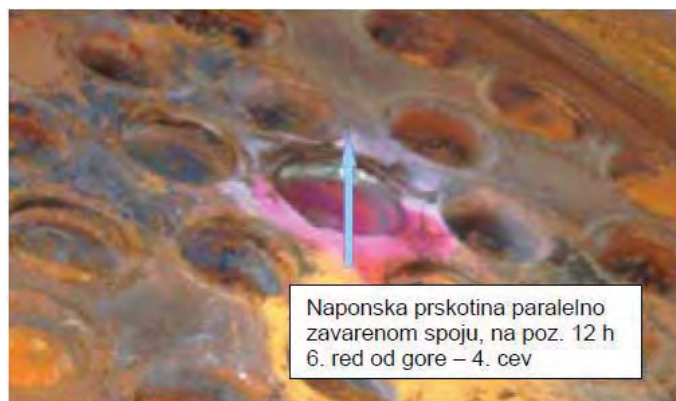
Na spojevima dimnih cevi i cevne ploče skretne komore, na ulazu i izlazu druge promaje (posmatrano sa strane dimnih gasova), kao i na ulazu treće promaje, primećene su izuzetno velike naslage kamenca



Slika 2. Naslage kamenca na spojevima dimnih cevi i cevne ploče skretne komore

Vizuelni pregled plamene i dimnih cevi, kao i cevne ploče skretne komore sa gasne strane ostvaren je neposrednim posmatranjem ovog dela kotla ulaskom u skretnu komoru i samu plamenu cev. Kotao 1 imao je jedno mesto curenja na cevnom zidu skretne komore napred. U ovom slučaju oštećena je leva strana cevnog zida. Osim toga, utvrđena je deformacija cevnog zida, od 2. do 4. reda. Cevni zid naspramne prednje skretne komore nije pokazivalo nikakvo oštećenje.

Kotao 2 imao je dva mesta curenja na cevnom zidu skretne komore napred. U ovom slučaju su i leva i desna strana cevnog zida oštećene (slika 3). Slika oštećenja i ovde jasno ukazuje da se radi o naponskim prslinama na zavarenim spojevima. I na ovom kotlu je deformisan cevni zid skretne komore. Indikativno je da je cevni zid najviše deformisan između dimnih cevi (slika 4).



Slika 3. Uočene prsline na cevnom zidu



Slika 4. Deformacija cevnog zida

2. TERMIČKA ANALIZA STRUKTURE VRELOVODNOG KOTLA

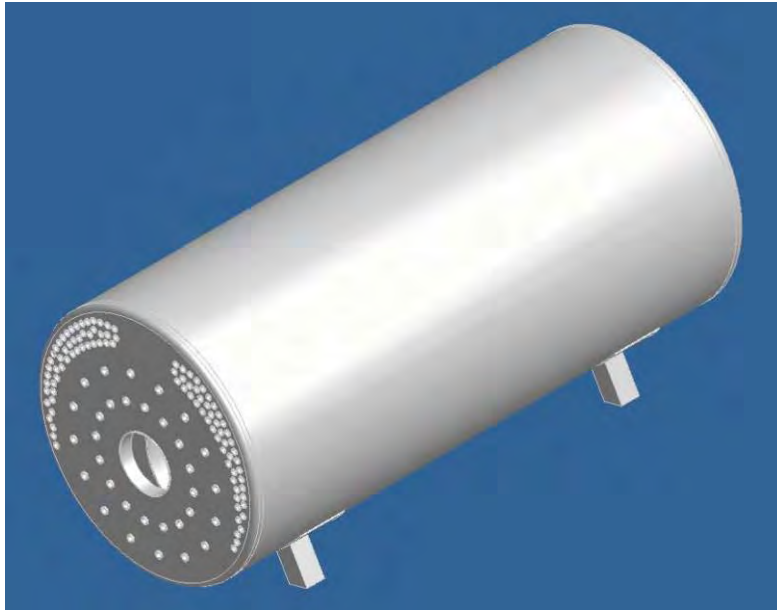
Analiza naponsko-deformacionog stanja konstrukcije u eksploataciji zahteva detaljnu sveobuhvatnu analizu njegove eksploatacije, opterećenja i ponašanja. Osnovni cilj analize predstavlja iznalaženje kvalitetne kompleksne identifikacije stanja i ponašanja konstrukcije u njenoj eksploataciji. Postizanje ovog cilja je moguće samo razvojem i primenom numeričkih i eksperimentalnih metoda i tehnika dijagnosticiranja stanja i ponašanja konstrukcije. Takođe, stalno praćenje i nadzor eksploatacije konstrukcije putem merenja potrebnih veličina predstavlja neophodnost postizanja navedenog cilja.

Osnovni zadatak dijagnostike stanja i ponašanja opreme predstavlja iznalaženje uzroka problema koji se javljaju pri njenoj eksploataciji, kao i iznalaženje rešenja problema koje treba da obezbedi pouzdanu eksploataciju opreme u dužem vremenskom periodu uz smanjenje troškove održavanja. Razaranje mašinskih konstrukcija nastaje usled ekstremnih vrednosti napona koji su izazvani u njima. Često su značajne i druge veličine, jer razaranje ne mora nastati uvek na mestima maksimalnih napona. Za određivanje ekstremnih vrednosti napona potrebno je utvrditi raspodelu napona u konstrukciji. Ona se određuje na više načina i

to pomoću: faktora koncentracije napona, metode krutog laka, fotoelastičnom metodom i metodom konačnih elemenata.

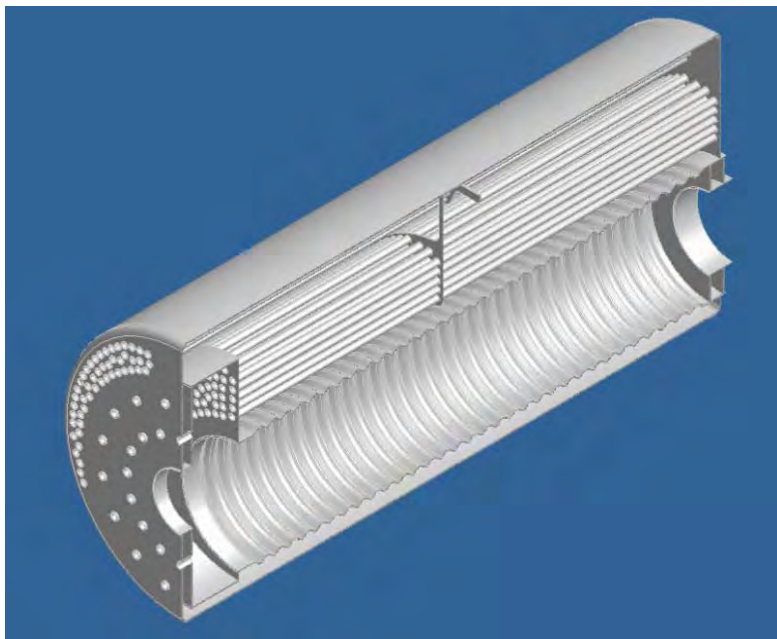
Dijagnostika ponašanja konstrukcije vrelovodnog kotla firme Viessmann - Vitomax M 238 048, toplotne snage 16,5 MW, zasnovana na termomehaničkom proračunu koji je realizovan primenom metode konačnih elemenata, korišćenjem softvera ANSYS i ANSYS Workbench.

Virtuelni model vrelovodnog kotla je urađen primenom CAD softvera Autodesk Inventor. Za modeliranje kotla korišćena je dokumentacija firme Viessmann. 3D model kotla dat je na slici 5.



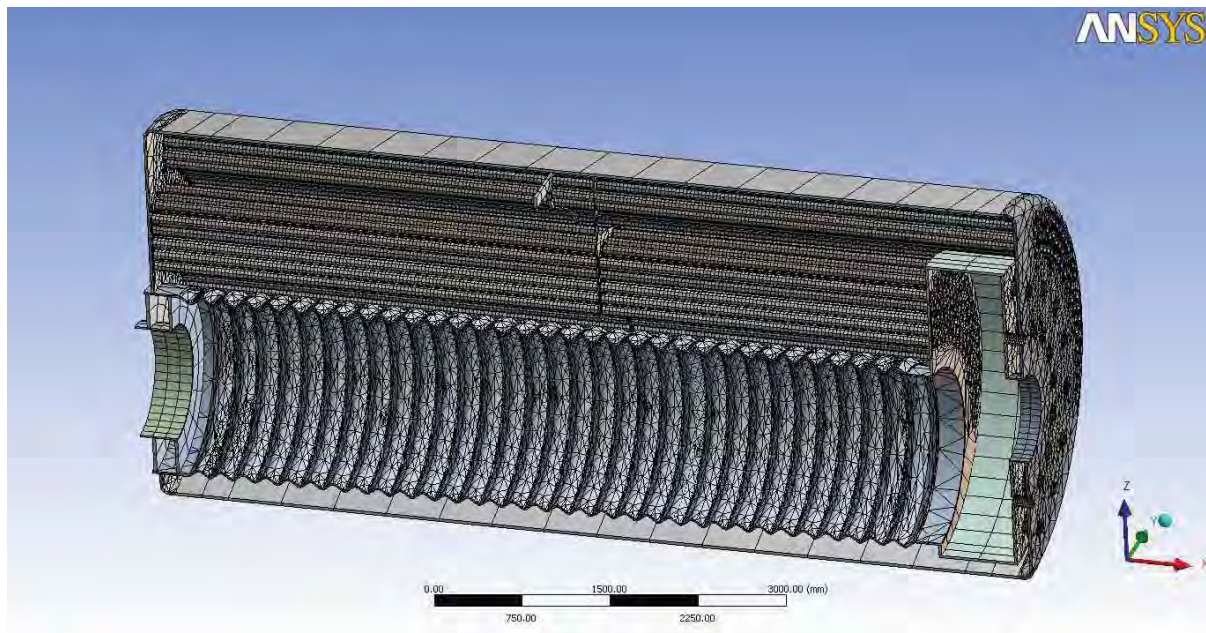
Slika 5. Virtuelni model vrelovodnog kotla

S obzirom na geometrijsku simetriju kotla i na pretpostavljenu simetriju toplotnog opterećenja, za termomehaničku anлізу vrelovodnog kotla dovoljna je polovina geometrijskog CAD modela (slike 6).

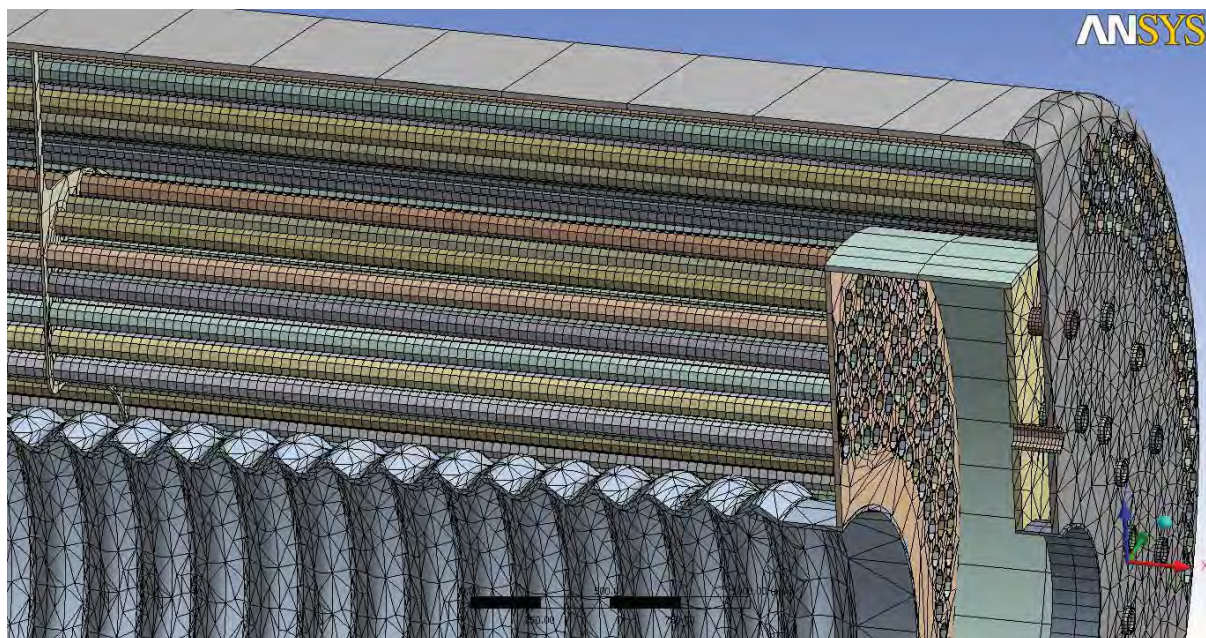


Slika 6. Virtuelni model polovine vrelovodnog kotla

Urađeni CAD model vrelovodnog kotla implementiran je u softver ANSYS Workbench. U procesu predprocesiranja izvršena je diskretizacija modela kotla. Diskretizovani model kotla ima 597932 čvora koji formiraju 289682 konačnih elemenata. Diskretizovani model polovine kotla dat je na slikama 7 i 8.

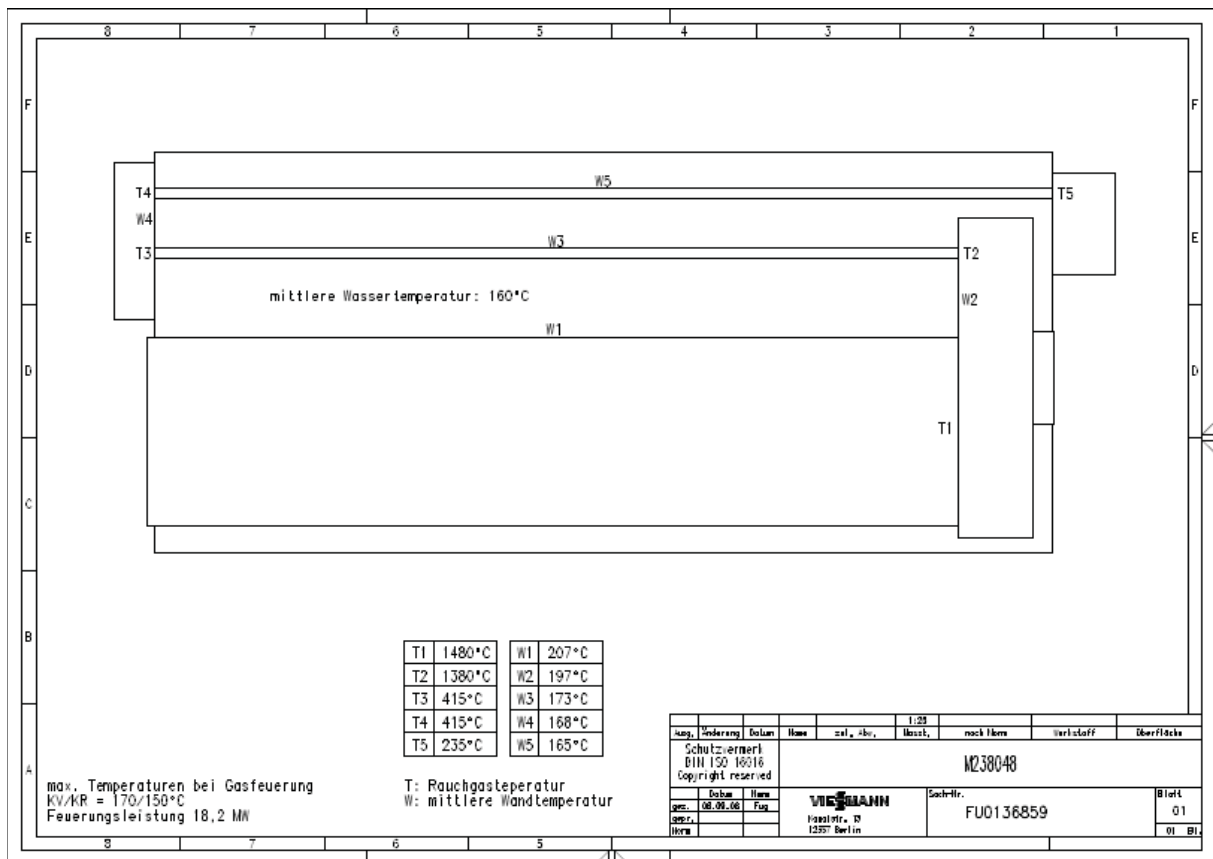


Slika 7. Numerički model diskretizovane strukture vrelovodnog kotla



Slika 8. Deo numeričkog modela diskretizovane strukture vrelovodnog kotla

Termički proračun vrelovodnog kotla je rađen na osnovu srednjih temperatura konstrukcije na strani dimnih gasova i na strani vode za konstrukciju kotla bez kamenca – podaci firme Viessmann (slika 9).



Slika 9. Srednje temperature strukture kotla na strani vode i na strani dimnih gasova

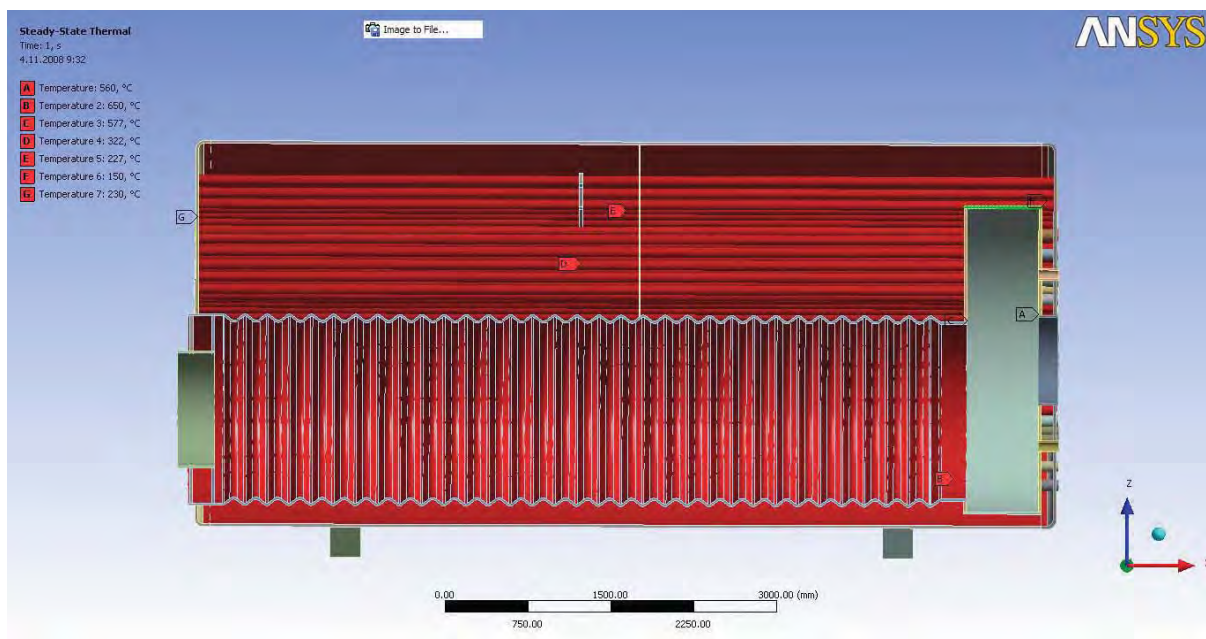
Usled zaprljanja kotla mogu se srednje temperature konstrukcije kotla povećati (prema podacima Viessmann) i to za slučaj:

- 1 mm kotlovskog kamenca (bogat gipsom CaSO₄, toplotna provodljivost 2 W/mK)
 - Plamena cev: 258 °C
 - Skretna komora: 239 °C
 - Dimne cevi ²⁾: 188 °C

 - 2 mm kotlovskog kamenca (bogat gipsom CaSO₄, toplotna provodljivost 2 W/mK)
 - Plamena cev: 404 °C
 - Skretna komora: 361 °C
 - Dimne cevi ²⁾: 233 °C

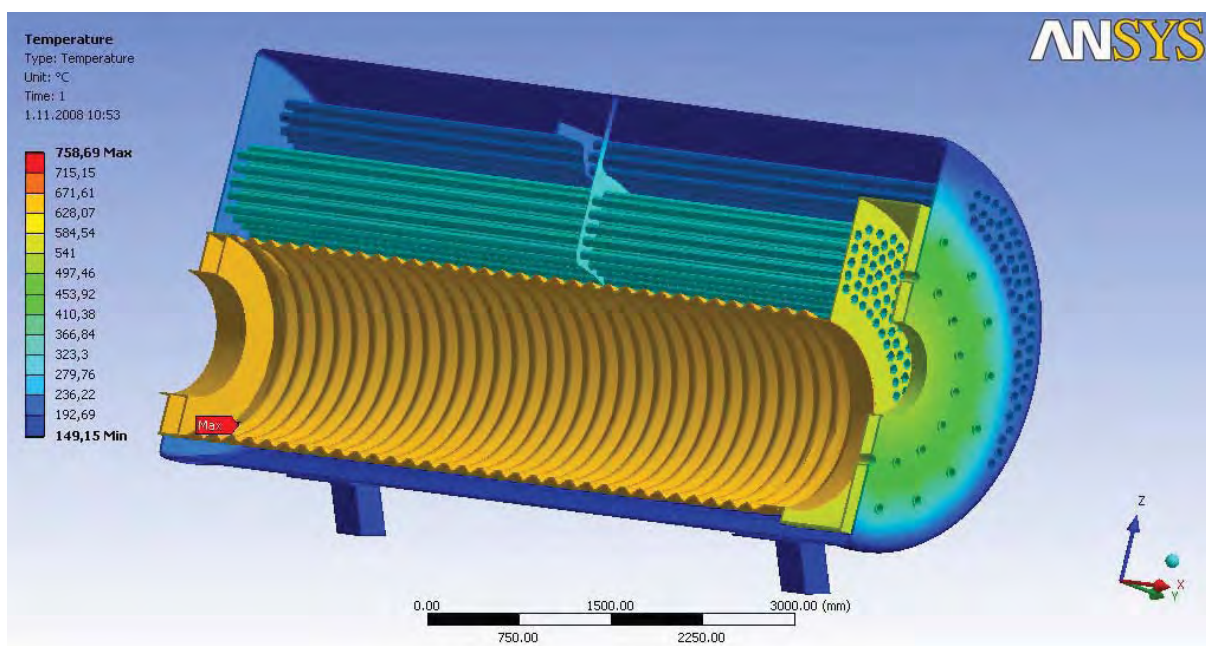
 - 1 mm kotlovskog kamenca (bogat silikatima SixOy, toplotna provodljivost 0,2 W/mK)
 - Plamena cev: 646 °C
 - Skretna komora: 577 °C
 - Dimne cevi ²⁾: 322 °C
- ²⁾ Odnosi se na dimne cevi 2.promaje

Za slučaj kamenca bogatog silikatima i pretpostavljene debljine 1 mm, definisane su ulazne temperature konstrukcije vrelovodnog kotla (slika 10).

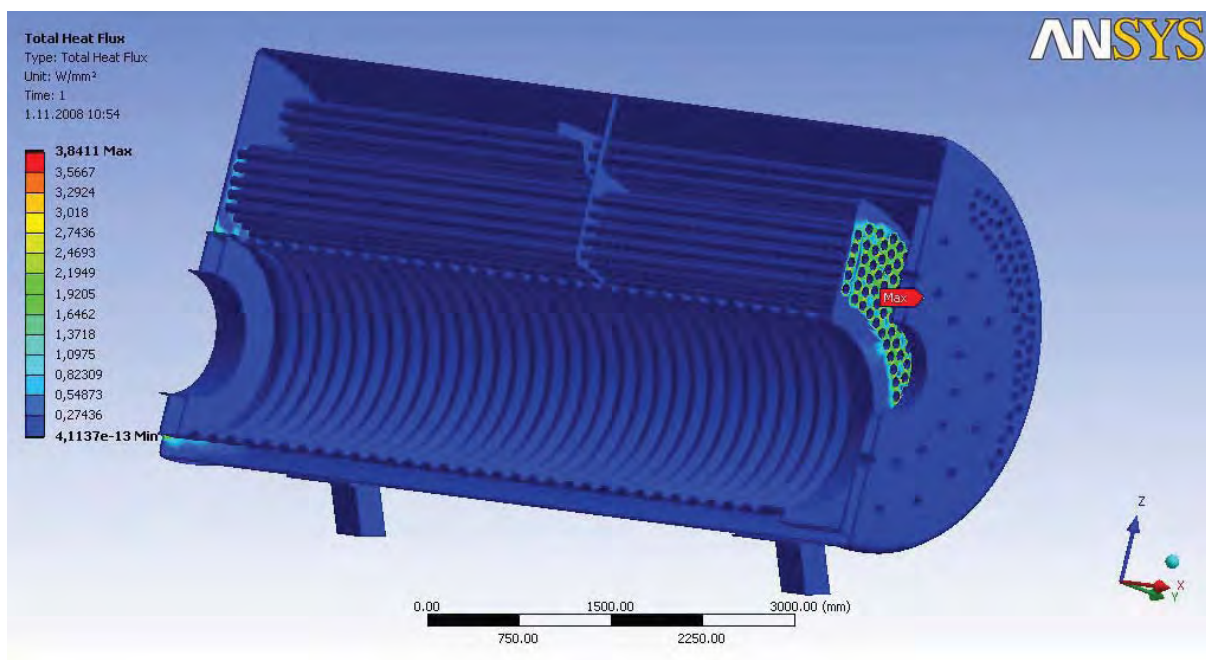


Slika 10. Definisane ulazne srednje temperature konstrukcije vrelovodnog kotla

Termička analiza je urađena u softveru ANSYS Workbench. Rezultati termičke analize – temperaturno polje i polje toplotnog fluksa su dati na slikama 11 i 12.

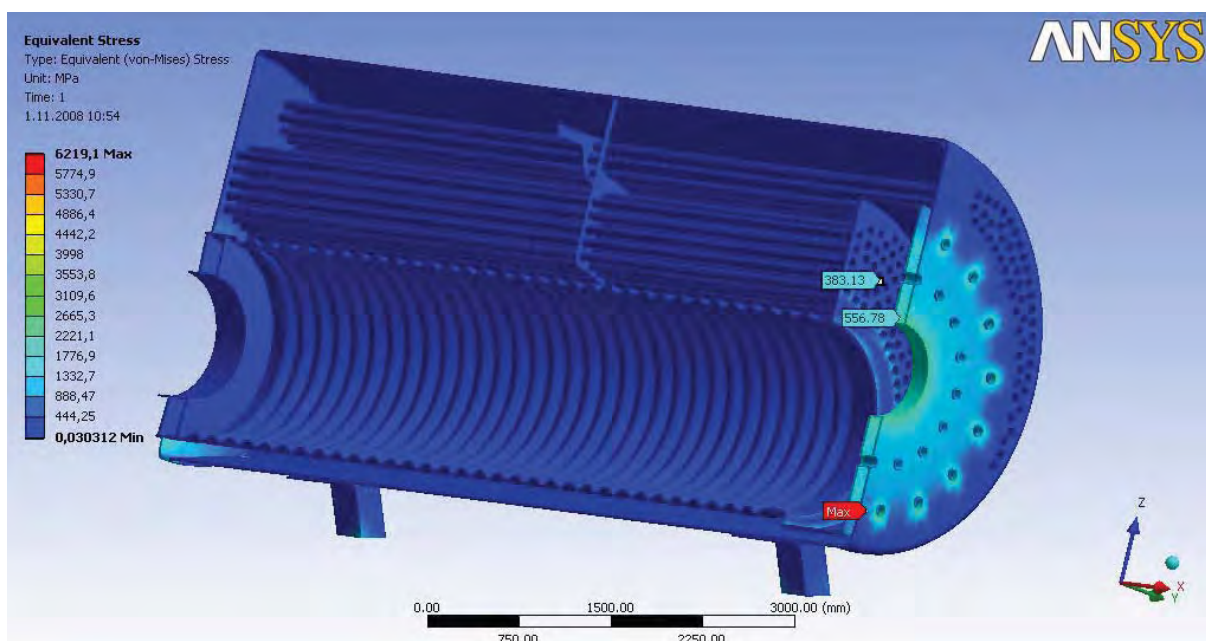


Slika 11. Temperaturno polje konstrukcije kotla

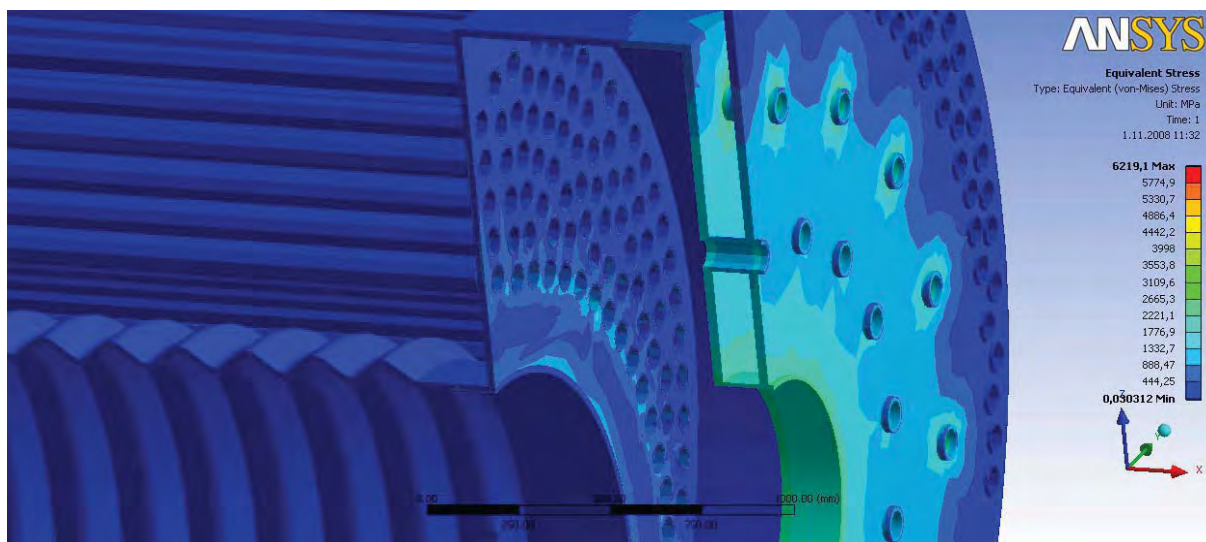


Slika 12. Polje toplotnog fluksa konstrukcije kotla

Analiza naponsko-deformacionog stanja, na osnovu rezultata termičke analize, je urađena u ANSYS-u. Naponsko stanje konstrukcije kotla dato je na slikama 13 i 14.



Slika 13. Naponsko stanje konstrukcije kotla



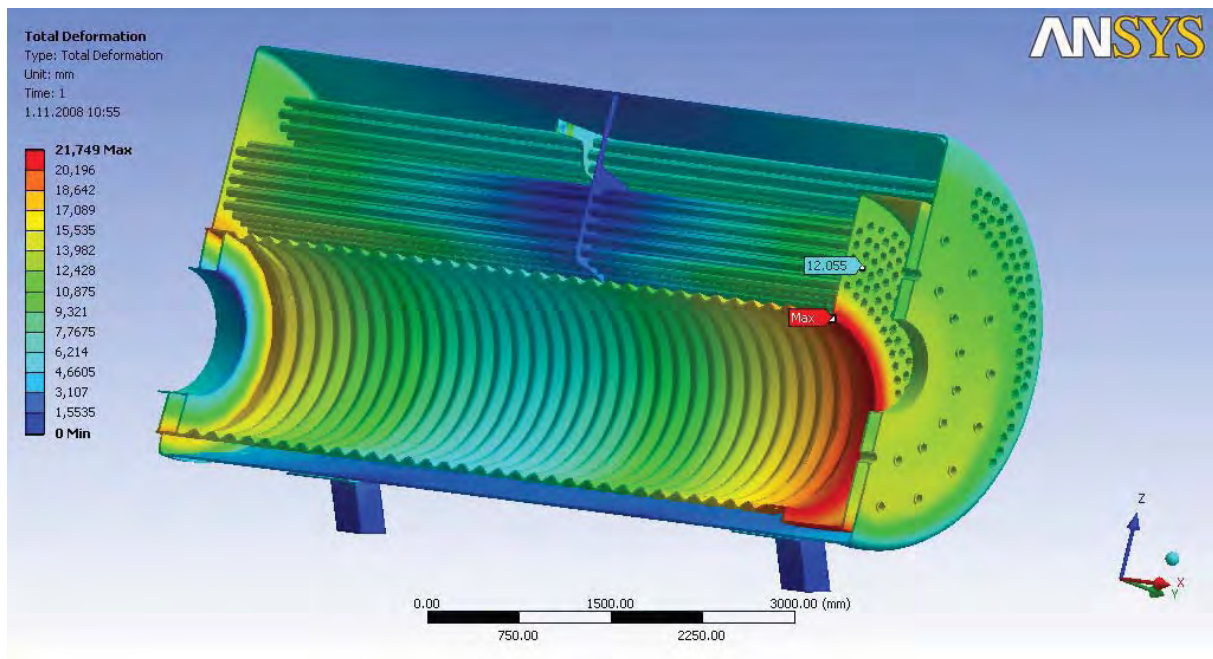
Slika 14. Naponsko stanje cevnom zidu druge promaje vrelovodnog kotla

Deformaciono stanje konstrukcije kotla dato je na slici 15.

3. REZULTATI PRORAČUNA

Na osnovu rezultata termomehaničkog proračuna izvršenog primenom FEA analize može se zaključiti sledeće:

1. Najveći naponi se javljaju u kontaktu osovica i posteljice ležišta u osloncima na zadnjem cevnom zidu kotla. To je i očekivano. Rezultati napona u osloncima su nerealno veliki zbog urađenih uprošćenja modela kotla, tako da ovi rezultati proračuna nisu merodavni za analizu.
2. Naponi na cevnom zidu druge promaje, gde su se dogodila i oštećenja, se kreću do 600 N/mm^2 .
3. Karakteristike materijala 1.0425/P265GH DIN EN 10028-2 od kog je izrađen cevni zid su zatezna čvrstoća $R_m=410 \text{ N/mm}^2$, granica tečenja $R_p=265 \text{ N/mm}^2$. Kako su radni naponi veći ne samo od granice tečenja, već i od zatezne čvrstoće, to je moguća havarija na vrelovodnim kotlovima firme Viesmann usled nastalog kamenca silikatnog tipa debljine 1 mm. Moguće procurivanje vrelovodnog kotla je na mestu zavara cevnom zidu i cevi.
4. Deformacije cevnom zidu druge promaje su do 20 mm što takođe ukazuje na potencijalnu havariju procurivanja kotla.



Slika 15. Deformaciono stanje konstrukcije kotla

4. ZAKLJUČAK

U radu je data analiza naponsko-deformacionog stanja konstrukcije vrelovodnog kotla za slučaj stvorenih naslaga kamenca. Poznato je da naslage kamenca utiču na stanje termičkih napona i deformacija u delovima strukture vrelovodnih kotlova. Proračun je izveden za slučaj preovladavajućeg silikatnog kamenca debljine 1 mm. Rezultati proračuna pokazuju da se najveći termički naponi i deformacije javljaju u zoni cevnog zida prve skretne komore. Usled ovoga posebno su ugroženi zavareni spojevi dimnih cevi i cevne ploče što u slučaju pojave velikih naslaga kamenca može dovesti do pojave prsline na zavarenom spoju i curenja vode iz kotla.

REFERENCE

Knjiga

- [1] Zienkiewicz, O.C., Taylor, R.L., The Finite Element Method, Fifth edition, Butterworth-Heinemann, 2000.
- [2] Bathe K.J., Finite Element Procedures in engineering analysis, Prentice Hall, 1982
- [3] Živković, M., Maneski, T., Termomehanički naponi cevovoda i posuda, SMEITS, Beograd, 2006.

Konferencije

- [4] Milčić, D., Živković, D., Stefanović, V., Banić, M., Mijajlović, M., Proračun napona i deformacija strukture vrelovodnih kotlova primenom MKE, PROCESING 09, 22. međunarodni kongres o procesnoj industriji, Zbornik rezimea radova, Beograd 2009, s. 46 (Rad u celini na CD)

Izveštaji

- [5] Stefanović, V., Živković, D., Milčić, D., Radenković, G. i dr, EKSPERTIZA OŠTEĆENJA NA KOTLOVIMA "VISSMANN" MODEL VITOMAX 200 HW - TIP M238048, SNAGE 16,5 MW U JKP GRADSKA TOPLANA U KRUŠEVCU, Niš, 2008.
- [6] ANSYS Release 10.0, Documentation for ANSYS.