

Tehnička rešenja kao fundamentalni rezultati projekta iz programa tehnološkog razvoja

Prof. dr SRĐAN BOŠNJAK, prof. dr ZORAN PETKOVIĆ,
MILOŠ ĐORĐEVIĆ, dipl. inž., Mašinski fakultet
Univerziteta u Beogradu

Pregledni rad
UDC: 62+66:001.892

U radu su prezentirana tri tehnička rešenja nastala tokom realizacije projekta iz programa tehnološkog razvoja. Dva tehnička rešenja predstavljaju unapređenja postojećih mašina – redizajn dvotočkovnih kolica guseničnog kretača i obrtne platforme rotornih bagera. Njihovom primenom omogućen je pouzdan rad sistema površinske eksploatacije. Treće tehničko rešenje predstavlja nov proizvod – sistem mehanizacije bočnog navoza brodogradilišta rečno – morskih brodova, čije performanse gotovo dvostruko prevazilaze performanse koje se u referentnoj literaturi navode kao granične. Izgradnja brodogradilišta "Bomex 4M" i realizacija originalnih rešenja sistema za vuču kolica, značajno je proširila izvozne mogućnosti naše zemlje kada je reč o brodogradnji.

Ključne reči: *tehnička rešenja, dvotočkovna kolica guseničnog kretača, obrtna platforma nadgradnje rotornog bagera, mehanizovani bočni navoz*

1.0. UVODNA RAZMATRANJA

Po svojoj prirodi, tehnička rešenja, možda, predstavljaju najvredniju klasu rezultata koji se ostvaruju tokom realizacije projekata iz programa tehnološkog razvoja. Ona, u suštini, predstavljaju sintezu rezultata istraživačkog i inženjerskog – stručnog rada. Njegova realizacija zahteva, najčešće, koordiniran timski rad. Istraživačka komponenta tehničkog rešenja dokazuje se upoređivanjem sa referentnim svetskim istraživanjima. Dakle, tehničko rešenje kao naučni rezultat, pored ostalog, implicira i prezentaciju rezultata istraživanja na naučno – stručnim skupovima, kao i publikovanje u odgovarajućim časopisima.

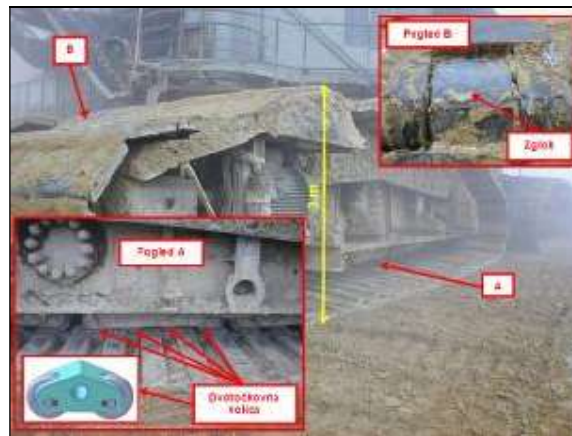
U nastavku rada izložena su neka od tehničkih rešenja nastalih tokom realizacije projekta pod nazivom „Razvoj mašina visokih performansi i metoda za identifikaciju njihovog odziva na unutrašnje i spoljašnje poremećaje“, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

2.0. SLUČAJ 1 – DVOTOČKOVNA KOLICA GUSENIČNOG MEHANIZMA ZA KRETANJE ROTORNOG BAGERA

Intenzivna eksploatacija rotornih bagera u ekstremno teškim uslovima, slike 1 i 2, dovodi do otkaza vitalnih elemenata mehanizma za kretanje, slika 3.

Adresa autora: Prof. dr Srđan Bošnjak, Mašinski fakultet, Beograd, Kraljice Marije 16
Rad primljen: 01. 10. 2010.

Otkazi elemenata guseničnog kretača izazivaju direktnu materijalnu štetu, kao i indirektnu štetu zbog zastoj u proizvodnji, što u značajnoj meri umanjuje efekte eksploatacije bagera [2]. Osim toga, zamena delova u otkazu odvija se na licu mesta, često u surovim radnim uslovima, slika 4, što znatno produžava zastoj BTO sistema.



Slika 1 – Gusenični kretač rotornog bagera SchRS 1760 [1]

Da bi se utvrdio uzrok otkaza kolica, formiran je, najpre 3D model, slika 5. Potom je izvršena diskretizacija 3D modela tela kolica, slika 6. Rezultati konačnoelementne analize pokazali su da je osnovni uzrok otkaza tela dvotočkovnih kolica nedovoljna čvrstoća pri dejstvu bočnih sila koje se javljaju tokom kretanja u krivini, slike 7 i 8. Maksimalna vrednost

uporednih napona prevazilazi minimalnu vrednost zatezne čvrstoće čelika od koga je izrađeno telo kolica – S355J2G3, $\sigma_{TS} = 520$ MPa.



Slika 2 – Propadanje gusenice

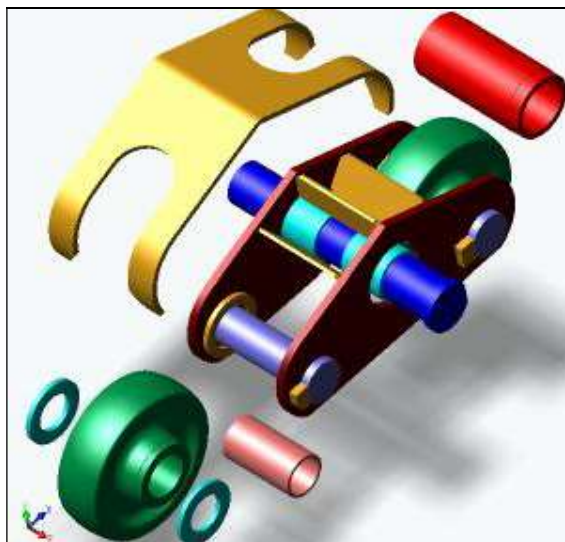


Slika 3 – Havarisano telo dvotočkovnih kolica

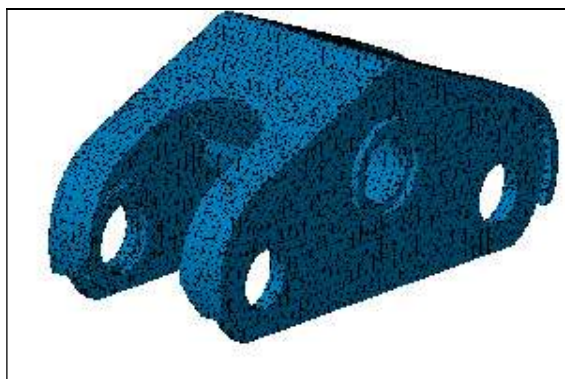


Slika 4 – Demontaža oštećenog tela dvotočkovnih kolica

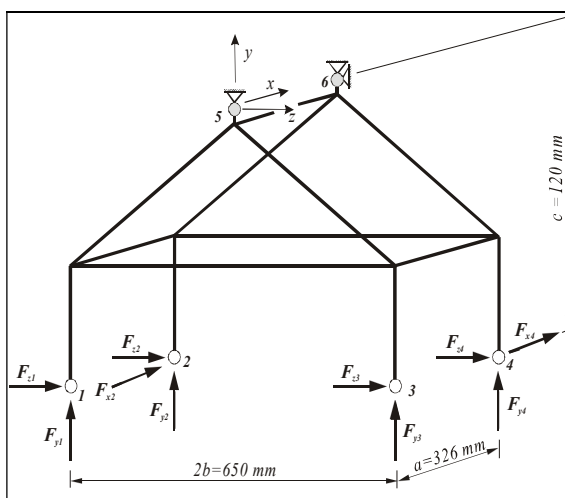
Redizajnom tela kolica, slika 9, pri čemu su poštovana sva ograničenja koja nameću uslovi ugradnje i funkcionalnosti postojećih kretača, otklonjena su slaba mesta strukture [4]. Maksimalna proračunska vrednost napona, slika 10, smanjena je za 2,3 puta.



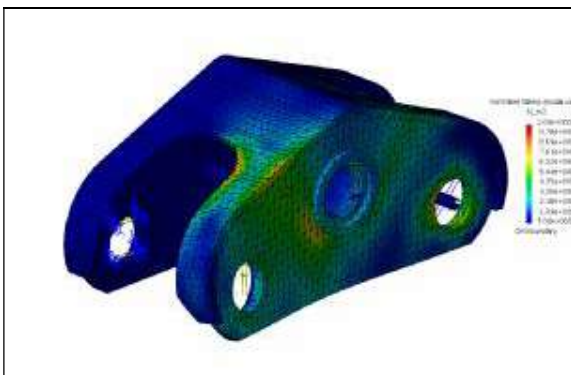
Slika 5 – 3D model originalne konstrukcije dvotočkovnih kolica [3]



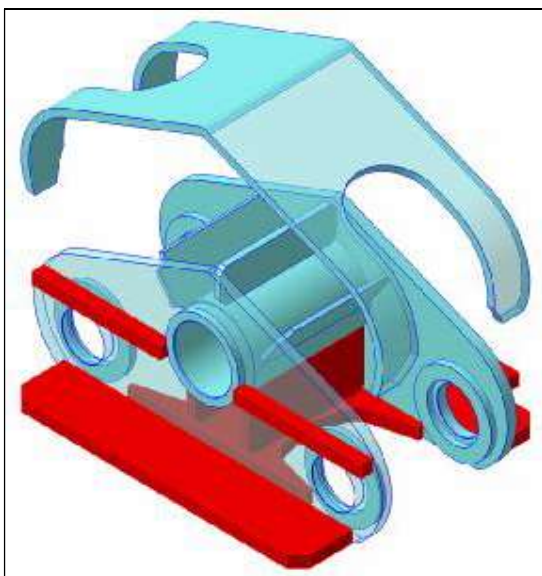
Slika 6 – Konačnoelementni model tela originalne konstrukcije dvotočkovnih kolica [3]



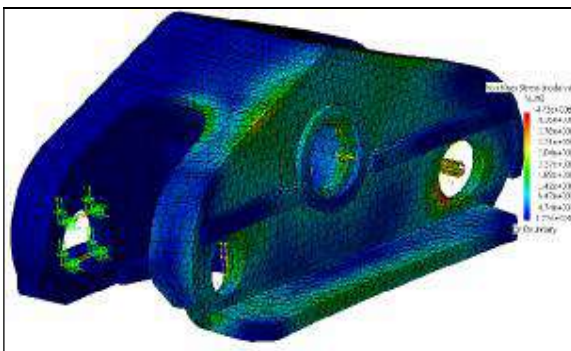
Slika 7 – Shema oslanjanja i opterećenja tela dvotočkovnih kolica [3]



Slika 8 – Naponsko polje (von Misses) tela originalnih dvotočkovnih kolica [3]



Slika 9 – Redizajnirano telo dvotočkovnih kolica



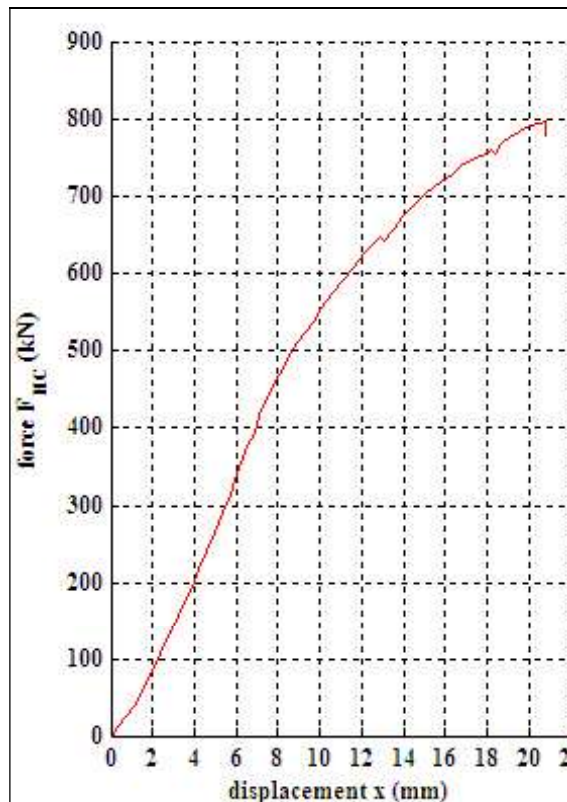
Slika 10 – Naponsko polje (von Misses) tela redizajniranih dvotočkovnih kolica [3]

Eksperimentalna istraživanja sprovedena na originalnom ispitnom stolu, slika 11, u potpunosti su potvrdila rezultate konačnoelementne analize, slike 12 i 13. Otkazi i plastične deformacije tela originalnih kolica, slika 14, javljaju se pri opterećenjima koja su

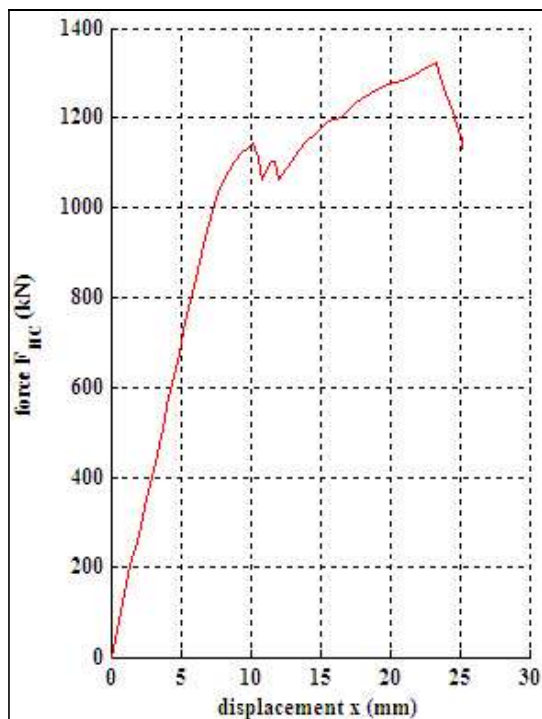
znatno nižeg intenziteta od opterećenja koje odgovara granici proporcionalnosti tela redizajniranih kolica. Kada su prilikom ispitivanja redizajniranih kolica bočna opterećenja točkova dostigla intenzitet 1150 kN, došlo je do pojave znatnih deformacija probnog stola, slika 13, i, u kasnijoj fazi, pucanja zavarenih veza elemenata njegovog postolja. Nakon toga, ispitivanje je prekinuto. Vizuelnim pregledom i kontrolom geometrije nisu uočene plastične deformacije niti bilo kakva oštećenja redizajniranih kolica.



Slika 11 – Ispitivanje originalnih dvotočkovnih kolica



Slika 12 – Kriva sila-pomeranje originalnih dvotočkovnih kolica (merno mesto 2)



Slika 13 – Kriva sila-pomeranje redizajniranih dvotočkovnih kolica (merno mesto 2)



Slika 14 – Plastične deformacije i lom viljuške originalnih dvotočkovnih kolica tokom ispitivanja

3.0. SLUČAJ 2 – OBRтна PLATFORMA ROTORNOG BAGERA

Obrtna platforma predstavlja bazni deo strukture rotornog bagera, slika 15, na koji se oslanja toranj sa strelom protivtega. Ona prima celokupno opterećenje nadgradnje i prenosi ga, posredstvom radiaksijalnog ležaja, na donji stroj sa guseničnim mehanizmom za kretanje.

Tokom višegodišnje eksploatacije šest bagera SRs 1200 x 24/4 (400 kW) + VR na površinskim kopovima „Kolubara“, dolazilo je do pojava prslina i pukotina u strukturi obrtne platforme, u zoni oslanjanja zadnjih stubova tornja nadgradnje. Pomenuta ošte-

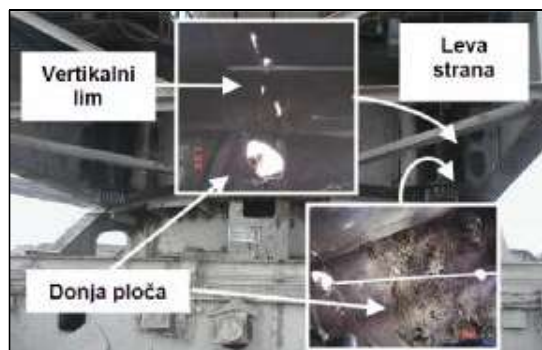
ćenja strukture platforme bagera interne oznake G6 locirana su na donjoj ploči i vertikalnim limovima, slike 16 i 17.



Slika 15 – Rotorni bager Srs 1200 [4]



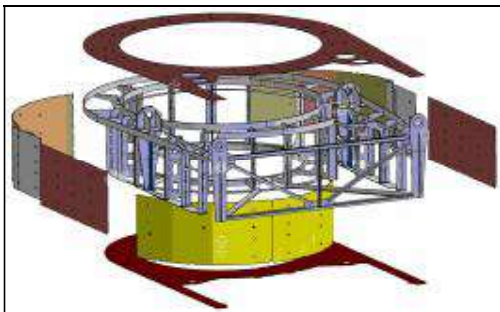
Slika 16 – Lokacije i izgled pukotina donje ploče i vertikalnog lima obrtne platforme – pogled spolja [5]



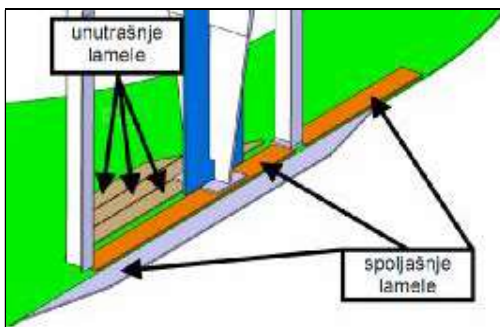
Slika 17 – Lokacije i izgled pukotina donje ploče i vertikalnog lima obrtne platforme – pogled iznutra [5]

3D model originalne strukture obrtne platforme, slika 18, diskretizovan je konačnim elementima tipa tetraedra. Na osnovu rezultata konačnoelementne analize utvrđeno je [6] da je osnovni uzrok pojave pukotina visoko naponsko stanje u zoni oslanjanja zadnjih stubova, praćeno intenzivnom promenom polja deformacija. Sanacijom pukotina i ugradnjom unutrašnjih i spoljašnjih lamela, slika 19, ostvaren je znatno niži nivo naponskih stanja u kritičnoj zoni, uz

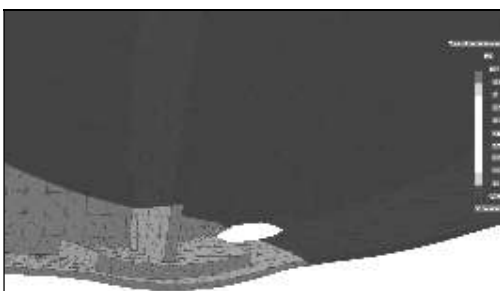
znatno blažu promenu polja deformacija, slika 20. Maksimalne vrednosti vrednosti ekvivalentnih napona niže su od vrednosti koju dopušta standard DIN 22261-2 ($24,0 \text{ kN/cm}^2$) u razmatranom slučaju opterećenja. Rezultati merenja u realnim radnim uslovima, slika 21, u potpunosti su potvrdili valjanost primenjenog koncepta redizajna obrtne platforme.



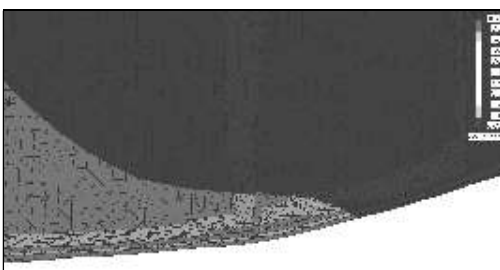
Slika 18 – 3D modeli podstruktura originalne obrtne platforme [5]



Slika 19 – Detalj 3D modela redizajnirane obrtne platforme [5]

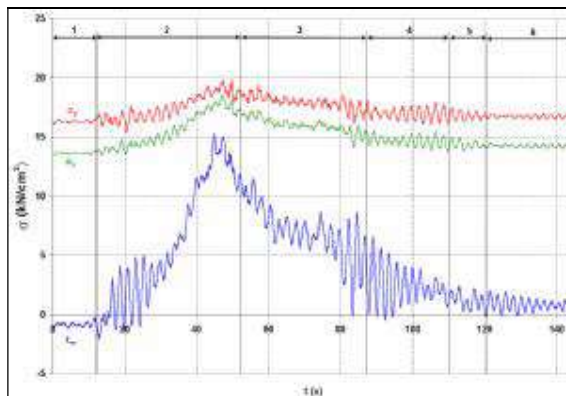


(a) originalna struktura obrtne platforme



(b) redizajnirana struktura obrtne platforme

Slika 20 – Detalj polja pomeranja [7]



Slika 21 – Detalj polja pomeranja (1-početak rada, prazan hod; 2,4-leva rotacija nadgradnje; 3,5-desna rotacija nadgradnje; 6-završetak rada, sopstvene oscilacije strukture) [8]

4.0. SLUČAJ 3 – MEHANIZOVANI NAVOZ BRODOGRADILIŠTA REČNO – MORSKIH BRODOVA

Imajući u vidu sledeće činjenice [9,10,11,12,13]:

- na evropskom tržištu prisutan je trend rasta potražnje rečno – morskih plovila;
- na domaćem tržištu vrlo je izražena potreba za održavanjem i revitalizacijom rečne flote, čija prosečna starost iznosi 30 godina;
- procedura održavanja plovila prema važećoj regulativi podrazumeva da se na svakih pet godina izvrši nadzor, uz obavezni pregled podvodnog dela korita;
- tokom eksploatacije plovila dolazi do oštećenja korita, što zahteva izvođenje sanacija, nakon čega je obavezna provera i sertifikacija;
- zbog vlasničke transformacije i teškoća u kojima se nalaze, postojeća domaća brodogradilišta nisu u stanju da odgovore aktuelnim zahtevima tržišta.



Slika 22 – Brodogradilište "Bomex 4M" [16]

Na reci Begej 2008. godine izgrađeno je Brodograđilište „Bomex 4M“, slika 22, 500 m nizvodno od ustave „Stajičevo“, slika 23. To je prvo brodograđilište koje je izgrađeno u Srbiji posle 25 godina. Namenjeno je za izgradnju korita rečno – morskih brodova i remont brodova ukupne mase do 1800 t, maksimalne dužine do 140 m. Tehničke performanse novoizgrađenog bočnog navoza znatno prevazilaze one koje se navode u referentnoj literaturi.

Osnovu mehanizovanog navoza [14,15] čini 10 malih kolica spregnutih u 5 tandem (nosivost svakog tandema iznosi 300 t) i jedna velika kolica (nosivost 300 t), slika 24. Svaki tandem malih kolica i velika kolica pogone se jednim velikim i jednim malim vitlom. Dakle, sistem sadrži ukupno 6 istovetnih velikih vitala i 6 istovetnih malih vitala.



Slika 23 – Lokacija brodograđilišta "Bomex 4M" [16]



Slika 24 – Osnovni funkcionalni elementi mehanizovanog navoza: 1 – kolica nosivosti 300 t; 2 – tandem kolica nosivosti 2 x 150 t; 3 – vitlo maksimalne vučne sile 282 kN („veliko vitlo“); 4 – vitlo maksimalne vučne sile 75.5 kN („malo vitlo“); 5 – rolne za vođenje i usmeravanje užadi; 6 – upravljački pult; 7 – portalna dizalica nosivosti 10 t, raspona 17 + 8 m; 8 – proizvodna hala; 9 – otvoreno skladište limova [16]

Koncept sprežavanja kolica u tandem, pogonjen samo jednim vitlom, predstavlja originalno projektantsko rešenje. Osim toga, konstrukciono rešenje strukture kolica, uz suptilnu analizu naponsko – deformativnog stanja svih elemenata sistema, omogućilo je da se zadovolji vrlo oštro ograničenje pri projektovanju

– mogućnost porinuća plovila maksimalnih gabarita i mase i pri najnižem vodostaju reke Begej.

Sistem mehanizacije navoza u celini je proizveden u Srbiji. Vitla, vučne koturove, rolne za vođenje užadi i sklopove balansira kolica izradila je „GOŠA FOM“, po projektnoj dokumentaciji Mašinskog fakul-

teta. Čeličnu konstrukciju svih kolica i portalnog kрана za proizvelo je Brodogradilište „Bomex 4 M“, takođe po projektnoj dokumentaciji Mašinskog fakulteta.

Navoz novoizgrađenog brodogradilišta zahvaljujući performansama sistema transporta, omogućava izgradnju rečno – morskih brodova, čime se u znatnoj meri unapređuju izvozne mogućnosti Srbije, kada je reč o brodogradnji. Celokupna do sada ugovorena i isporučena, slika 25, proizvodnja novoizgrađenog brodogradilišta namenjena je inostranom tržištu.



Slika 25 – Porinuće prvog plovila 2007. godine [16]

11.0. ZAKLJUČAK

Prezentirana tehnička rešenja koja se odnose na rotorne bagere, kao i redizajn pretovarnih mostova za ugajl – tehničko rešenje [17, 18] realizovano u prêthodnom ciklusu projekata iz programa tehnološkog razvoja, predstavljaju racionalan put očuvanja i podizanja performansi teške mehanizacije u našoj energetici. Iskustva stečena rešavanjem problema otkaza mehanizama i struktura posmatranih klasa mašina za mehanizaciju, predstavljaju važan segment baze znanja neophodnog za realizaciju projekata revitalizacije. Na taj način mogu da se u značajnoj meri smanje gubici izazvani otkazima razmatranih mašina i sistema. O značaju smanjenja pomenutih gubitaka upečatljivo svedoči i podatak da se, na primer, 1 sat zastoja rotornih bagera normira kao finansijski gubitak u iznosu od 10.000 € do 15.000 €, zavisno od njihovog kapaciteta i vrste materijala koji se otkopava (ugajl ili jalovina).

Kosi navoz novoizgrađenog brodogradilišta „Bomex 4 M“, zahvaljujući performansama sistema mehanizacije, omogućava izgradnju rečno – morskih brodova, čime se u znatnoj meri unapređuju izvozne mogućnosti Srbije, kada je reč o brodogradnji. Realizacija koncepta tandema kolica, otklonila je potrebu ugradnje 5 velikih i 5 malih vitala za pogon kolica nosivosti 150 t. Time je u procesu izgradnje navoza ostvarena ušteda od oko 500.000 €, a ušteda na održavanju pogonskih sistema procenjuje se na 15.000 € na godišnjem nivou.

Konačno, namera autora ovog rada bila je i da se ukaže na značaj tehničkih rešenja kao rezultata proje-

kata iz programa tehnološkog razvoja, koje finansira Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije. Istovremeno, autori se nadaju da će ovaj rad, možda, doprineti otklanjanju nedoumica o uslovima koje mora da ispuni tehničko rešenje, da bi predstavljalo i naučni rezultat. Insistiranje na publikovanju tehničkih realizacija u referentnim međunarodnim časopisima kao „conditio sine qua non“ jednog tehničkog rešenja kao naučnog rezultata, može, objektivno, da stvori određene poteškoće zbog, često, dugog vremenskog perioda do prihvatanja rada u odnosu na vreme trajanja jednog ciklusa projekata. Međutim, imajući u vidu brojnost međunarodnih skupova, kao i mogućnost bržeg objavljivanja radova u domaćim časopisima, autori smatraju da bi stavljanje na uvid kritičkom sudu naučne i stručne javnosti (publikovanje tehničkih rešenja) moralo da bude obavezan uslov da bi se priznao naučni karakter tehničkog rešenja.

Rad predstavlja rezultat istraživanja izvršenih tokom realizacije projekta TR 14052, finansiranog od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Bošnjak S., Petković Z., Zmić N., Pantelić M., Obradović A., Failure analysis and redesign of the bucket wheel excavator two-wheel bogie, Engineering Failure Analysis, Volume 17, Number 2, pp. 473-485, 2010
- [2] Dreyer E., Cost-effective prevention of equipment failure in the mining industry, International Journal of Pressure Vessels and Piping, Volume 61, Number 1-2, pp. 329-347, 1995
- [3] Bošnjak S., Petković Z., Đorđević M., Studija čvrstoće dvotočkovnih kolica guseničnog mehanizma za kretanje rotornog bagera SchRS 1760, urađeno za PD RB “Kolubara” – Lazarevac, Mašinski fakultet, Beograd, 2008, 122 s
- [4] Bošnjak S., Zmić N., Petković Z., Numerical – experimental analysis of structural strength of bucket wheel excavator revolving platform, Proceedings of Second International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading, pp. 1185-1193, Association for Materials Research and Testing (DVM), Darmstadt, 2009
- [5] Bošnjak S., Neki problemi dinamike i čvrstoće mašina visokih performansi, iipp, Volume 8, Number 1, strane 1-12, 2010
- [6] Bošnjak S., Petković Z., Zmić N., Simić G., Simonović A., Cracks, repair and reconstruction of bucket wheel excavator slewing platform, Engineering Failure Analysis, Volume 16, Number 16, pp. 1631-42, 2009

- [7] Bošnjak S., Petković Z., Simonović, A., Studija čvrstoće obrtne platforme rotornog bagera SRs 1200, urađeno za PD RB "Kolubara" – Lazarevac, Mašinski fakultet, Beograd, 2007, 272 s
- [8] Bošnjak S., Petković Z., Zrnić N., Dragović B., Gnjatović N., Comparative stress analysis – The basis of efficient redesign of the bucket wheel excavators substructures, Proceedings of the 9th International Conference "Research and Development in Mechanical Industry" RaDMI 2009, pp. 15-25, SaTCIP (Scientific and Technical Center for Intellectual Property) Ltd., Vrnjačka Banja, 2009
- [9] Rawson K. J., Tupper E. C., Basic ship theory, Butterworth-Heinemann, Oxford, 2001
- [10] Sorić Z., Vugrinec R., Kvasnička P., Kišiček T., Galić J., Matešić L., A slipway structure for river ship repair, Proceedings of the International symposium on water management and hydraulic engineering, pp. 247-254, Ottenstein/Austria, 2005
- [11] Brnardić N., Pekas P., Bilić Prčić I., Ziha K., Zaplatić T., Uroda T., New slipway on river Sava, Proceedings of the XVI symposium SORTA 2004, strana 1-8, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2004
- [12] Šuša, M., Tehnologija brodogradnje, Univerzitet u Beogradu – Mašinski fakultet, Beograd, 2007, 267
- [13] Petković Z., Lepović M., Brodogradilište "Bomex 4M" – Studija opravdanosti, Mašinski fakultet, Beograd, 2006
- [14] Petković Z., Bošnjak S., Idejni projekat bočnog navoza za rečno – morske brodove dužine do 140 m i mase korita do 1800 t, urađeno za brodogradilište „Shipyard Bomex 4M” – Zrenjanin, Mašinski fakultet, Beograd, 2006, 98 s
- [15] Petković Z., Bošnjak S., Gnjatović N., Đorđević M., Glavni mašinski projekat bočnog navoza za rečno – morske brodove dužine do 140 m i mase korita do 1800 t, urađeno za brodogradilište „Shipyard Bomex 4M” – Zrenjanin, Mašinski fakultet, Beograd, 2007, 576 s
- [16] Petković Z., Bošnjak S., Gnjatović N., Đorđević M., High - Performance Mechanized Side Slipway for River, Sea and Oversea Ships, Proceedings of the 19th International Conference on Material Handling, Constructions and Logistics - MHCL'09, Faculty of Mechanical Engineering Belgrade, pp. 89-94, Belgrade, 2009
- [17] Bošnjak S., Petković Z., Gašić V., Zrnić N., Pretovarni mostovi sa elevatorima – Deo I: Identifikacija opterećenja, proračun strukture i zakošavanje, Tehnika – Mašinstvo (55), Godina LXI, Broj 6, strane 1-8, 2006
- [18] Bošnjak S., Petković Z., Gašić V., Zrnić N., Pretovarni mostovi sa elevatorima – Deo II: Konstrukciono rešenje, tehnologija i proračun rekonstruisane strukture, Tehnika – Mašinstvo (56), Godina LXI, Broj 1, strane 7-13, 2007

SUMMARY

TECHNICAL SOLUTIONS AS FUNDAMENTAL RESULTS OF THE PROJECT FROM THE TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT PROGRAM

This paper presents three technical solutions that have emerged during the realization of the project from the technological development program. Two of these solutions are in fact improvements to the existing machines – the redesign of the crawler two wheel bogie and the slewing platform of the bucket wheel excavator. The application of these solutions enabled safe operation of the surface mining system. The third technical solution is a new product: high - performance mechanized side slipway for river, sea and oversea ships, the performances of which exceed almost doubly those listed as limit ones in the referenced literature. The construction of the "Bomex 4M" shipyard and the realization of the transport system's original design, significantly raised our country's export possibilities when it comes to shipbuilding.

Key words: *technical solutions, crawler two wheel bogie, slewing platform of the bucket wheel excavator, mechanized side slipway*