

UDK: 65.012.2

*Originalni naučni rad
Original scientific paper*

UNAPREĐENJE KONSTRUKCIJE MAŠINE K2S POMOĆU DINAMIČKE ANALIZE STABLA OTKAZA

Miloš S. Matejić*, Dobrivoje Čatić

Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

Sažetak: Mašina K2S je mašina koja služi za klasiranje i pakovanje krompira. Dosadašnja eksploatacija ove mašine ukazala je na neke njene nedostatke. Mašina K2S se sastoji od jednog trakastog transporterera koji služi za dodavanje i dva oscilatorna transporterera koja služe za klasiranje krompira. U ovom radu je korišćenjem dinamičke analize stabla otkaza napravljen predlog revizije mašine u cilju povećanja njenih kapaciteta, otkaljanja nedostataka i produžavanja radnog veka. Dinamička analiza stabla otkaza je izabrana pored ostalih metoda pouzdanosti zbog njene mogućnosti za uračunavanje redosleda događaja otkaza. U radu su dati prikazi stare mašine, dinamička analiza stabla otkaza sistema za pobudu oscilacija kao i predlog revizije mašine. Na kraju rada izvršena je diskusija postignutih rezultata i dati su pravci mogućeg daljeg unapređivanja ove mašine.

Ključne reči: mašina, klasiranje, pakovanje, pouzdanost, dinamička analiza stabla otkaza

UVOD

Pri projektovanju pouzdanosti mašinskih sistema najrasprostranjenija je Analiza stabla otkaza, *Failure tree analysis – FTA*, metoda [1]. Analiza stabla otkaza je deuktivna metoda koja se zasniva na vršnom događaju koji predstavlja otkaz sistema. Ovaj vršni događaj se dalje razvija na događaje nižeg reda koji dovode do vršnog događaja. Praktično, analiza stabla otkaza predstavlja metodu koja tehnički sistem sa aspekta otkaza pretvara u logički dijagram [2, 3].

* Kontakt autor. E-mail adresa: mmatejic@kg.ac.rs

Priprema za polaganje ispita Projektovanje pouzdanosti mašinskih sistema na doktorskim akademskim studijama, Fakultet inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu

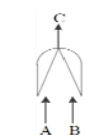

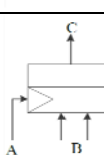
Kod klasične analize stabla otkaza postoje i određeni nedostaci. Glavni nedostatak ove metode je izostavljanje uticaja vremena jednog događaja u odnosu na drugi. Mnogi događaji su uslovljeni jedan drugim kao lančana reakcija. Uvođenjem zavisnosti između vremena odvijanja događaja metoda analize stabla otkaza se transformiše u dimačku analizu stabla otkaza, *Dynamic fault tree – DFT*. U radu [4], autori su detaljno objasnili prednosti ove metode u odnosu na klasičnu analizu stabla otkaza. Takođe, razvili su i matematički model procene pouzdanosti sistema na osnovu dinamičke analize stabla otkaza. U radovima [5-8] autori su u kombinaciji metode dinamičke analize stabla otkaza sa metodama *Markov*-ih lanaca i simulacione metode *Monte Carlo* ispitivali konkretne sisteme. Rezultati ispitivanja ovim metodama se u mnogome razlikuju od ispitivanja klasičnom metodom analize stabla otkaza. U radu [9] autori su koristili strukturne funkcije za razvijanje dinamičkog stabla otkaza. U ovom radu je dat i matematički model prevođenja strukturne funkcije u dinamičko stablo otkaza. U radu [10] je dat *Weibull*-ov pristup koji je prilagođen dinamičkoj analizi stabla otkaza.

U ovom radu je izvršena dinamička analiza stabla otkaza sistema za pobudu oscilacija mašine za pakovanje krompira K2S. Analiza je izvršena u cilju sveopšteg unapređivanja mašine pre izrade prve revizije. Nakon analize izvedeni su zaključci i dat je predlog revizije.

DINAMIČKA ANALIZA STABLA OTKAZA

Logičke kapije koje se koriste u dinamičkoj analizi stabla otkaza su date i u Tab. 1.




Tabela 1. Logičke kapije kod dinamičke analize stabla otkaza

Naziv kapije <i>Gate name</i>	Izgled simbola kapije <i>Symbol appearance</i>	Opis kapije <i>Gate description</i>
Uslovna kapija I <i>Conditional gate AND</i>		Uslovna kapija I označava kapiju kod koje je uslovljeno da se prvo dogodi događaj A, pa tek onda događaj B, dok njihovo dešavanje izaziva događaj C. <i>AND gate means event A happens before B. Both events triggers event C.</i>
Kapija sa rezerviranjem <i>Spare gate</i>		Kapija sa rezerviranjem znači da u slučaju događaja A, system može da se osloni na komponentu koja predstavlja događaj B. Tek kad ne postoji rezerviranje pokreće se događaj C. <i>Spare gate means that when event A happens, system is using B component. When all spares is gone event C is starting.</i>
Kapija sa uzrokujućim događajem <i>Trigger event gate</i>		Kapija sa uzrokujućim događajem označava da se nakon događaja A, pokreću događaji B, što na kraju uzrokuje događaj C. <i>Trigger event gate means that before A, the event B is triggered, which causes event C.</i>

Simboli koji označavaju vršne, nearzvijene, bazične i ostale događaje identični su i u dinamičkoj analizi stabla otkaza i u klasičnoj analizi stabla otkaza. Simboli događaja su dati u Tab. 2.

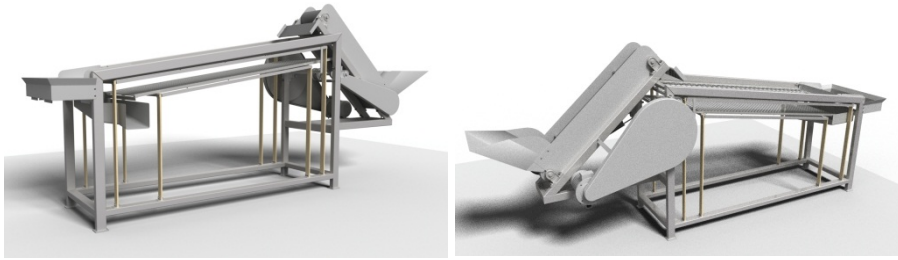
Dinamička analiza stabla otkaza predstavlja transformisanu klasičnu analizu stabla otkaza u zavisnosti od vremena. U zavisnosti od potrebne dubine dinamičke analize stabla otkaza moguće je i uvođenje vremenske matrice, koja sadrži sve događaje. Razlika u odnosu na klasičnu analizu stabla otkaza nalazi se u logičkim kapijama.

Tabela 2. Simboli događaja kod klasične i kod dinamičke analize stabla otkaza

Naziv događaja <i>Event name</i>	Izgled simbola događaja <i>Event symbol appearance</i>	Opis događaja <i>Event description</i>
Vršni događaj <i>Top event</i>		Pravougaonik označava događaj na izlazu iz logičke kapije (vršni ili posredni), koji se javlja kao posledica logičke kombinacije ulaznih događaja. <i>Fault event resulting from the logical combination of the input events, which are operating through the logic gate.</i>
Bazični događaj <i>Basic fault event</i>		Krug označava bazični inicirajući događaj koji ne zahteva dalje razvijanje. <i>Circle to mark a basic initiating fault requiring no further development.</i>
Nerazvijeni događaj <i>Undeveloped event</i>		Romb označava događaj koji nije razvijen do sopstvenih uzroka zbog nedostatka potrebnih informacija, ili malog značaja posledica, ili izbegavanja paralelnosti analize. <i>Fault event which is not developed up to its own cause, either because of absence of required information's, or because the low level of risk, or because of avoiding duplication of the analysis.</i>

RAZVIJANJE DINAMIČKOG STABLA OTKAZA MAŠINE K2S

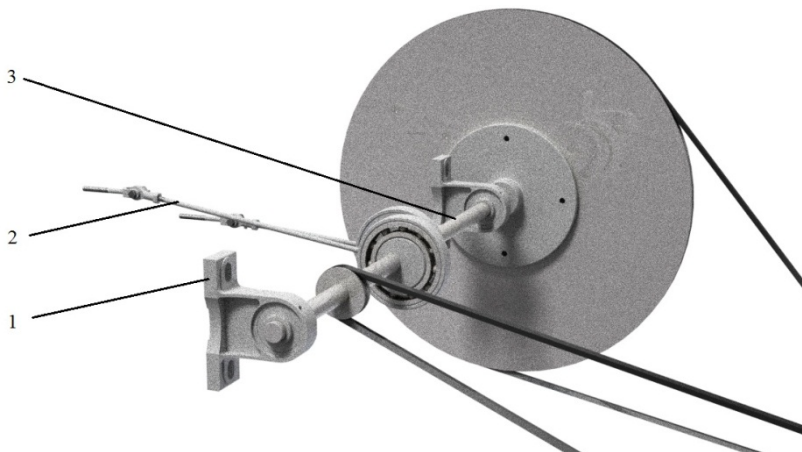
Mašina za klasiranje krompira K2S sastoji se iz jednog trakastog transportera koji služi za doziranje i transport krompira do oscilarnih transportera, koji služe za sortiranje krompira. Oscilatorni transporteri se nalaze jedan ispod drugog i razdvajaju krompir na klasu jelovnih i na klasu semenskih krompira. Svi transporteri su spojeni u celinu preko rama mašine. Prenos snage od elektromotora do oba transportera ostvaren je remenim kaišnim prenosom. Remeni kaišni prenosnici su zaštićeni oblogama od tankog lima radi postizanja bezbednosti u radu. Promena broja obrtaja vratila koje služi za pogon obe vrste transportera se vrši preko frekventnog regulatora napona. Dodatno pojačavanje ili smanjivanje doziranja krompira moguće je izmenama na traci transportera, montažom ili demontažom profila za povlačenje krompira. Dodatno ubrzanje ili usporenje kretanja krompira kroz oscilatorni transporter moguće je promenom nagiba mašine, koja se vrši produženjem ili skraćanjem prednjih stopa mašine. Izgled mašine za klasiranje i pakovanje krompira K2S dat je na Sl. 1.



Slika. 1 K2S mašina za klasiranje i pakovanje krompira

Figure 1. The design of K2S machine

Njakritičniji deo mašine K2S je sistem za pobudu oscilacija i prenos snage na trakasti transporter. Sistem je konstruisan tako da su kretanja transportera sinhronizovana preko pogonskog vratila, svi pogonski elementi se nalaze na jednom vratilu. Ovakvo izvođenje sistema podrazumeva srazmernu promenu obrtaja svih elemenata na vratilu u odnosu na promenu obrtaja pogonske remenice. Sistem za pobudu oscilacija dat je na Sl. 2.



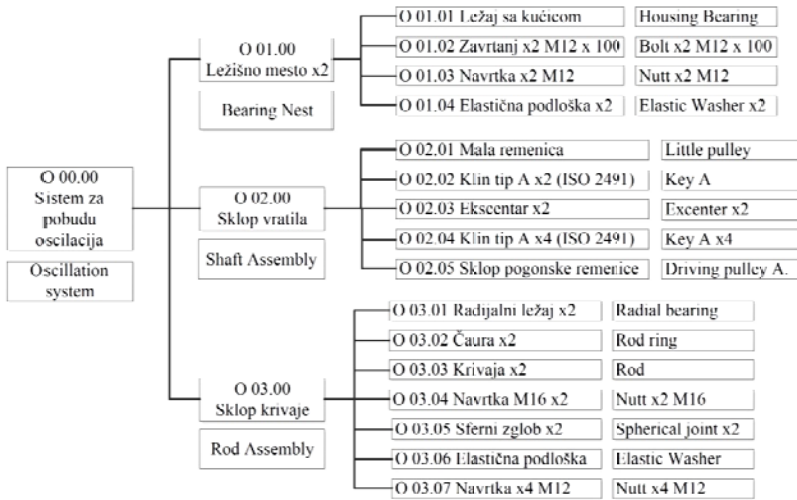
Slika 2. Sistem za pobudu oscilacija: 1. ležišno mesto; 2. sklop vratila; 3. sklop krivaje

Figure 2. The oscillation system: 1. bearing nest; 2. shaft assembly; 3. rod assembly

Sistem za pobudu oscilacija se sastoji od tri sklopa. Prvi je sklop ležišnih mesta koji vezuje ovaj sistem za ram mašine. U ovom sistemu postoje dva ležišna mesta. Drugi je sklop krivaje za pobudu oscilacija. Sistem za pobudu oscilacija takođe sadrži dva sklopa krivaje da bi oba oscilatorna transportera mogla biti opslužena. Treći je sklop vratila. Sklop vratila povezuje sve ove elemente u celinu.

Pre prevođenja sistema za pobudu oscilacija na logički dijagram dinamičkog stabla otkaza potrebno je definisati njegovu strukturu sa svim sastavnim delovima sistema. Kako se ovaj sistem sastoji od tri sklopa, njegova struktura se širi u tri grane, koje se

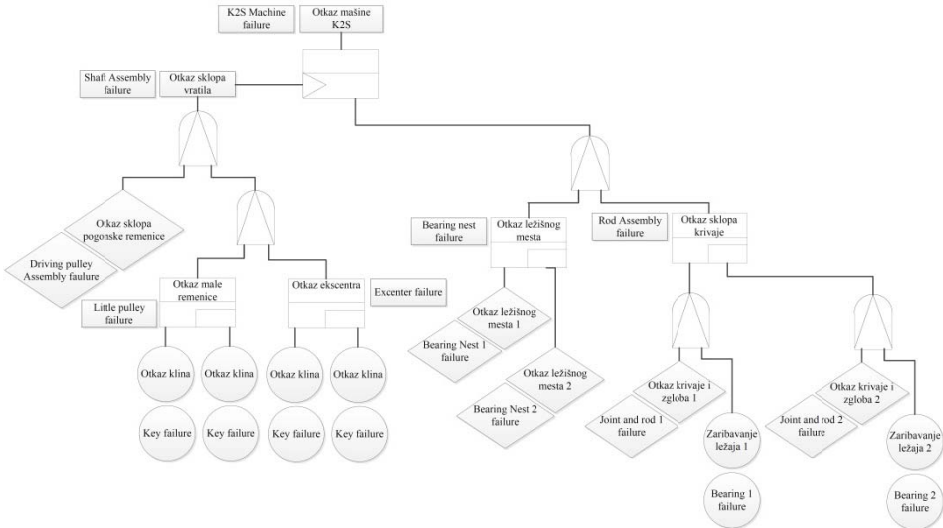
zatim šire na sastavne delove sklopova. Struktura sistema za pobudu oscilacija data je na Sl. 3.



Slika 3. Struktura sistema za pobudu oscilacija

Figure 3. The oscillation system structure

U logičkom dijagramu dinamičke analize stabla otkaza uvedena je vremenska zavisnost događaja. Ova zavisnost mora da prati i mogućnosti otkaza i način funkcionisanja mašine. Razvijeno dinamičko stablo otkaza sistema za pobudu oscilacija dato je na Sl. 4.



Slika 4. Dinamičko stablo otkaza sistema za pobudu oscilacija

Figure 4. The oscillation system dynamic fault tree

Vršni događaj dinamičkog stabla otkaza je otkaz mašine. Sa Sl. 4 se vidi da se ovo stablo otkaza deli na tri grane. Događaj koji uzrokuje ostale događaje na prvoj kapiji je otkaz sklopa vratila. On se posle deli uslovnom kapijom na otkaz pogonske remenice koji je primarni i kaskadno sa ostalim elementima sklopa vratila, koji su sekundarni događaji. Otkaz pogonske remenice je predstavljen kao nerazvijeni događaj, zbog pojednostavljena analize. Otkaz pogonske remenice automatski znači permanentni otkaz mašine. Kaskadno podeljeni sekundarni događaji koji se uslovno dešavaju nakon otkaza pogonske remenice su otkazi male remenice, koja služi za pogon trakastog transportera, i otkaz ekscentara. Pošto je otkaz male remenice za pogon trakastog transportera po funkciji stariji u odnosu na otkaz ekcentara, on je primarni u kaskadnoj kapiji. Za oba otkaza napravljeno je preventivno rezerviranje u vidu od po dva klina po elementu koji su postavljeni pod 180° jedan u odnosu na drugi. Događaji otkaza klinova su predstavljeni kao bazični događaji.

Druge dve grane otkaza su otkaz ležišnog mesta i otkaz sklopa krivaje koji su respektivno podeljeni uslovnom kapijom. Primarni je otkaz ležišnih mesta koji je stariji po funkciji. On je zbog pojednostavljenja analize predstavljen kao nerazvijeni događaj. Kod otkaza ležišnog mesta takođe postoji rezerviranje u vidu dva ležišna mesta. Kada bi se događaj otkaza ležišnog mesta razvio, to bi bilo u pravcu zaribavanja ležaja i slabljenja ili pucanja zavrtanjske veze sa ramom.

Sekundarni događaj u uslovnoj kapiji koja odvaja druge dve grane dinamičkog stabla otkaza je otkaz sklopa krivaje. Otkaz sklopa krivaje prolazi kroz kapiju sa rezerviranjem, zbog toga što postoje dva identična sklopa. Otkaz ovog sklopa se deli uslovnom kapijom na otkaz ležaja, koji je predstavljen kao bazični događaj, i na otkaz podsklopa zgloba krivaje koji je predstavljen kao nerazvijeni događaj. Otkaz sklopa krivaje je predstavljen kao nerazvijeni događaj, takođe zbog pojednostavljenja analize.

DISKUSIJA DINAMIČKOG STABLA OTKAZA I PREDLOG REVIZIJE K2S MAŠINE

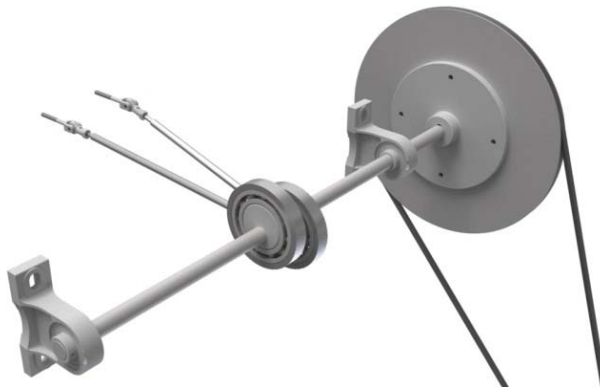
Na osnovu dinamičkog stabla otkaza mašine za klasiranje i pakovanje krompira K2S i njegovog opisa može se zaključiti da funkcije koje obalja ova mašina dolaze obrnutim redosledom (Sl. 2.) :

1. pobuda oscilacija na donjem oscilatornom transporteru;
2. pobuda oscilacija na gornjem oscilatornom transporteru i
3. prenos snage i broja obrtaja na preko remenog kaišnog prenosnika na trakasti transporter.

Da bi se povećali efikasnost, kapaciteti i pouzdanost mašine K2S potrebno je da se izmeni redosled funkcija mašine. Ovakva izmena bi dovela do znatnog pojednostavljenja dinamičkog stabla otkaza. Međutim, ovakva operacija promene konstrukcije mora biti izvedena tako da u najmanjoj meri utiče na promenu cene mašine kao i na mogućnost efikasnog rukovanja njome i održavanja. Dakle, funkcije koje mašina obalja moraju da dolaze sledećim redosledom, tj. onako kako se dešavaju u radu mašine:

1. prenos snage i broja obrtaja na preko remenog kaišnog prenosnika na trakasti transporter;
2. pobuda oscilacija na gornjem oscilatornom transporteru i
3. pobuda oscilacija na donjem oscilatornom transporteru.

Da bi se postigao ovakav redosled funkcija, na mašinu mora biti dovedena još jedna pogonska jedinica, ili se mora promeniti redosled elemenata na sklopu vratila. Na predlogu revizije odlučeno je da se pogon mašine razdvoji na dve pogonske jedinice, zbog jednostavnije montaže i održavanja. Takođe je napravljena i promena redosleda ekscentara, tako da prvo dobija snagu ekscentar koji pobuđuje oscilacije na gornjem oscilatornom transporteru, a tek onda ekscentar koji pobuđuje oscilacije na donjem oscilatornom transporteru. Predlog revizije sistema za pobudu oscilacija dat je na Sl. 5.



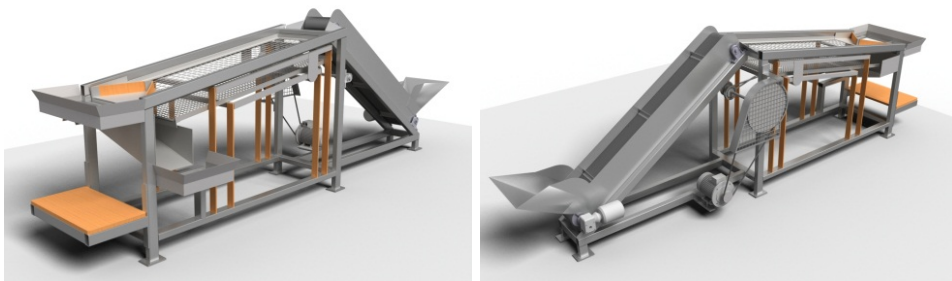
Slika 5. Predlog novog sistema za pobudu oscilacija

Figure 5. Proposal of the oscillation system

Pored promena na sistemu za pobudu oscilacija napravljene su još neke izmene u predlogu revizije mašine:

1. trakasti transporter je produžen i spušten do poda radi lakšeg opsluživanja mašine;
2. dodati su radni stolovi i za jelovne i za semenske krompire i
3. oscilatorni transporteri su skraćeni zbog samnjenja vremena klasiranja.

Kompletan predlog revizije mašine K2S dat je na Sl. 6. Sa Sl. 6 se vidi da je u predlogu revizije mašine data samo jedna zaštitna obloga za veliku remenicu na vratilu. Druga zaštitna obloga, kao i kaišni prenos nisu potrebni na reviziji mašine zbog ugradnje još jedne pogonske jedinice.



Slika 6. Predlog revizije K2S mašine

Figure 6. Proposal of the K2S design revision

ZAKLJUČAK

Korišćenjem dinamičke analize stabla otkaza daleko se brže dolazi do zaključaka u odnosu na klasičnu analizu stabla otkaza, kako u fazi projektovanja mašinskih sistema tako i u fazi eksploatacije. Najveća prednost ove metode u odnosu na klasičnu metodu analize stabla otkaza je uzimanje u obzir vremena i uslova za razvoj pojedinih događaja.

Na osnovu dinamičke analize stabla otkaza sistema za pobudu oscilacija napravljen je predlog revizije mašine za klasiranje i pakovanje krompira K2S. Revizija je u odnosu na osnovnu verziju mašine poboljšanja:

- sa aspekta povećanja pouzdanosti mašine u radu napravljeno je poboljšanje tako što su funkcije koje mašina vrši dovedene u redosled koji ispunjava operacijski redosled od ulaza ka izlazu. Povećanje sa aspekta pouzdanosti se ogleda u pojednostavljenju dinamičkog stabla otkaza;
- sa aspekta povećanja kapaciteta mašine izvršeno je poboljšanje koje se ogleda u spuštanju trakastog transportera prema podu i skraćanju oscilatornih transportera radi bržeg klasiranja krompira i
- sa aspekta poboljšanja mogućnosti rukovanja mašinom napravljen je pomak koji se ogleda u uvođenju još jedne pogonske jedinice, tako da kretanja trakastog i oscilatornih transportera ne zavise direktno jedno od drugog, kao što je to bio slučaj u osnovnoj verziji.

Međutim, sva ova poboljšanja u funkcionisanju mašine imaju određeni kontraefekat u podizanju osnovne cene koštanja izrade mašine. Zbog toga se vodilo računa o uštedi materijala, npr. kod skraćivanja oscilatornih transportera.

Mogući dalji pravci istraživanja na ovu temu bili bi zasnovani na izradi prototipa revizije mašine, kod kog bi bili praćeni kako predviđeni uzroci otkaza, tako i eksploatacijske karakteristike u odnosu na osnovnu verziju mašine.

LITERATURA

- [1] Catic, D., Krstic, B., Miloradovic D. 2009. Criticality Analysis of Elements of Automobile Steering System. *Journal of the balkan tribological association*. Vol. 15 No. 3, pp. 309-322.
- [2] Catic, D., Ivanovic, G., Jeremic, B., Globocki, G.L. 2011. Determination Of Reliability Of Motor Vehicle Steering System Tie-rod Joint. *Journal of the balkan tribological association*. Vol. 17 No. 1, pp. 151-160.
- [3] Guberinic, R., Milojevic, I. 2009. Determination of the reliability function of motor vehicles as complex systems. *Vojnotehnički glasnik*. Vol. 2, pp. 31-45.
- [4] Čepin, M., Mavko B. 2002. A dynamic fault tree. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 75, pp. 83-91.
- [5] Manno, G., Chiacchio F., Compagno L., D'Urso D., Trapani, N. 2012. MatCarloRe: An integrated FT and Monte Carlo Simulink tool for the reliability assessment of dynamic fault tree. *Expert Systems with Application*. Vol 39. pp. 10334-10342.
- [6] Buccia, P., Kirschenbauma, J., Mangan, L. A., Aldemir T., Smith, C., Wood, T. 2008. Construction of event-tree/fault-tree models from a Markov approach to dynamic system reliability, *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 93, pp. 1616-1627.

- [7] Rao, K. D., Gopika, V., Rao, V.V.S, Kushwaha H.S., Verma A.K., Srividya, A. 2009. Dynamic fault tree analysis using Monte Carlo simulation in probabilistic safety assessment. *Reliability Engineering and System Safety*. Vol. 94, pp. 872-883.
- [8] Bouissou, M., Bon, J. L. November 2003. A new formalism that combines advantages of fault-trees and Markov models: Boolean logic driven Markov processes, *Reliability Engineering & System Safety*. Volume 82, Issue 2, pp. 149-163.
- [9] Merle, G., Roussel, J. M., Lesage, J. J. 2011. Dynamic Fault Tree Analysis Based On The Structure Function. Published in: *Annual Reliability and Maintainability Symposium*. Nachlas, J. A., pp 462-467. Lake Buena Vista, Philadelphia, United States.
- [10] Chiacchio, F., Cacioppo, M., D'Urso, D., Manno, G., Trapani, N., Compagno, L. January 2013. A Weibull-based compositional approach for hierarchical dynamic fault trees. *Reliability Engineering & System Safety*. Volume 109, pp. 45-52.

IMPROVING K2S MACHINE DESIGN ACCORDING TO DYNAMIC FAULT TREE ANALYSIS

Miloš S. Matejić, Dobrivoje Čatić

Faculty of Engineering University of Kragujevac

Abstract: The K2S is machine for sorting and packing potatoes. Exploitation of this machinery so far point to some weakness of it. The K2S machine consists of one belt conveyer, which is used to transport potatoes to oscillating transporter, and two oscillation transporters, which is used for sorting potatoes. This paper presents using of dynamic fault tree method in order to make revision proposal of K2S. Revision of K2S should provide incision of the capacity, removing the weaknesses, and prolonging of the machine life cycle. The dynamic fault tree method is chosen among other methods because of its ability to put events in time order. This paper also shows old design, dynamic fault tree of the oscillation system and proposal of the machine revision. Paper concludes with the discussion of the achieved results. At the end of the paper other possible directions of improving machine design are given.

Key words: machine, sorting, packing, reliability, dynamic fault tree

Prijavljen: 26.05.2014
Submitted:
Ispravljen:
Revised:
Prihvaćen: 18.10.2014.
Accepted: