

NEW TECHNICAL SOLUTIONS FOR INCREASING FORKLIFT STABILITY

Boban Cvetanović

Academy of Technical-Educational Vocational Studies - Department of Niš, Serbia

boban.cvetanovic@akademijanis.edu.rs

Dušan Radosavljević

Academy of Technical-Educational Vocational Studies - Department of Niš, Serbia

dusan.radosavljevic@akademijanis.edu.rs

Abstract: The forklift is one of the most frequently used work machines in internal transport. It has a whole range of advantages compared to similar machines used in cargo handling, first of all, great maneuverability and easy adaptability to changes in the technological process. When talking about disadvantages, there seems to be only one, and that is working at the limit of stability. The concept of stability in a forklift is defined as its ability to avoid tipping over. In most cases, accidents with forklifts are the result of poor handling by the operator, that is, it is a subjective factor. However, large manufacturers of forklifts, such as Kalmar, Toyota, Caterpillar, Linde and others, with new technological solutions on forklifts, they are trying to reduce the possibility of endangering the stability and overturning of the forklift. Although there are many such solutions, some of which are still in the realm of theoretical research, in this work four solutions have been selected and analyzed, which have their own commercial application. It should be acknowledged that although there is no research to show the success of these solutions in the field, through the reduced number of accidents, the stability of the forklift is undoubtedly increased. Although in the paper, the analyzed solutions are not ranked in order of importance, the opinion of the author of this paper is that Toyota's active stability system is the pinnacle of a technical solution that ensures safe and secure operation. It is a technology that ensures both static and dynamic stability, that is, it provides assistance both during driving and when working with loads at height. Another solution is the use of automatically guided forklifts in internal transport. It is a driverless forklift that autonomously follows a series of pre-determined programmed instructions to perform activities given by a central automatic controller. Moving along the programmed paths, there is no possibility that the stability of the forklift is compromised. Although the active stability system and driverless forklifts have undoubted qualities, the number of such forklifts in Serbia is at the level of a statistical error, probably due to the high price compared to classic forklifts. The solution with increasing the dimensions of the forklift is good, but applicable only for forklifts with a large capacity, which make up 1% of the total number of forklifts. In the end, although the use of special gripping devices is probably the weakest solution, in a technical sense, it is probably also the most acceptable because it is not excessively financially demanding.

Keywords: forklift, stability, accident, technical solution

НОВА ТЕХНИЧКА РЕШЕЊА ЗА ПОВЕЋАЊЕ СТАБИЛНОСТИ ВИЉУШКАРА

Бобан Цветановић

Академија техничко-васпитачких струковних студија-Одсек Ниш, Србија,

boban.cvetanovic@akademijanis.edu.rs

Душан Радосављевић

Академија техничко-васпитачких струковних студија-Одсек Ниш, Србија,

dusan.radosavljevic@akademijanis.edu.rs

Резиме: Виљушкар је једна од најчешће коришћених радних машина у унутрашњем транспорту. Има читав низ предности у односу на сличне машине које се користе при претовару терета, пре свега велику маневарску способност и лаку прилагодљивост променама технолошког процеса. Када се говори о недостацима, чини се да има само један, а то је рад на граници стабилности. Појам стабилности код виљушкара се дефинише као његова способност да избегне превртање. У највећем броју случаја, незгоде са виљушкарима последица су лошег манипулисања од стране руковооца, односно у питању је субјективни фактор. Ипак, велики произвођачи виљушкара, као што су Калмар, Тојота, Катерпилар, Линде и др. покушавају да новим технолошким решењима на виљушкарима, смање могућност да дође до угрожавања стабилности и превртања виљушкара. Иако оваквих решења има доста, од чега су нека још у домену теоријских испитивања, у овом раду су изабрана и анализирана четири решења, која имају своју комерцијалну примену. Треба признати да, иако не постоји истраживање које би показало успех ових

решења на терену, кроз смањен број незгода, стабилност виљушкара је несумњиво повећана. Иако у раду, анализирана решења нису поређана по важности, мишљење аутора овог рада је да је Тојотин систем активне стабилности врхунац техничког решења које осигурава сигуран и безбедан рад. То је технологија која осигурава и статичку и динамичку стабилност, односно пружа помоћ и током вожње и током рада са теретом на висини. Друго решење је коришћење аутоматски вођених виљушкара у унутрашњем транспорту. Ради се о виљушкару без возача, који аутономно прати низ унапред одређених програмираних инструкција за обављање активности које даје централни аутоматски контролер. Крећући се програмираним путањама, не постоји могућност да стабилност виљушкара буде угрожена. Иако и систем активне стабилности и виљушкари без возача имају несумњиве квалитете, на простору Србије број таквих виљушкара је на нивоу статистичке грешке, вероватно због високе цене у односу на класичне виљушкаре. Решење са повећањем габарита виљушкара је добро, али примењиво само код виљушкара велике носивости који чине 1% укупног броја виљушкара. На крају, иако коришћење специјалних захватних уређаја представља вероватно најслабије решење, у техничком смислу, оно је вероватно и најприхватљивије јер није претерано финансијски захтевно.

Кључне речи: виљушкар, стабилност, незгода, техничко решење

1. UVOD

Viljuškar je radna mašina koja se koristi za utovar, pretovar i istovar tereta. Zahvaljujući svojim izuzetnim karakteristikama, danas je neizostavno i, uz dizalice, najbrojnije pretovarno sredstvo. Ipak, čini se da nijedno sredstvo pretovara nije tako često učesnik nezgoda, pri obavljanju svojih redovnih zadataka. Najveći broj nezgoda je posledica lošeg i neodgovornog manipulisanja viljuškarom od strane samog operatera, usled čega dolazi do gubitka stabilnosti tereta i cele konstrukcije viljuškara i, vrlo često, do njegovog prevrtanja. Kao rezultat ovih nezgoda nastaje oštećenje tereta i samog viljuškara, a po pravilu dolazi i do povreda (pa i smrtnih slučajeva), kako samog operatera na viljuškaru, tako i radnika u njegovom okruženju. Zato se svaki potencijalni korisnik viljuškara mora upoznati sa pojmom stabilnosti viljuškara i u kojim situacijama ona može da bude ugrožena.

2. POJAM STABILNOSTI VILJUŠKARA

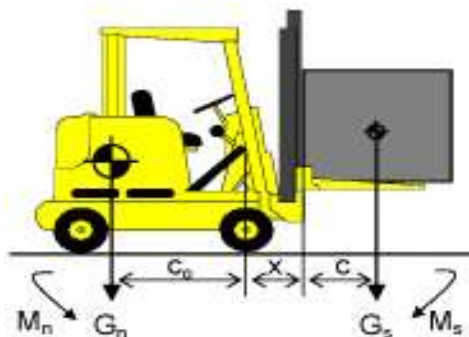
Stabilnost viljuškara predstavlja njegovu otpornost na prevrtanje, odnosno sposobnost da izbegne prevrtanje. Na stabilnost mogu da utiču mnogi faktori poput: težine tereta, položaj tereta na zahvatnom organu, težina samog viljuškara, konstrukcija viljuškara, raspored statičkih i dinamičkih sila koje deluju na viljuškar, kvalitet pneumatika, brzina podizanja i spuštanja tereta, brzina pri vožnji i sl. Generalno, može se govoriti o:

- statičkoj stabilnosti, i
- dinamičkoj stabilnosti.

Statička stabilnost je stabilnost u podužnom pravcu i odnosi na prevrtanje oko ose koju čine dodirne tačke prednjih točkova sa tlom. Naziva se statičkom jer se posmatra viljuškar koji miruje, a pokreću se samo njegov zahvatni organ i teret. Sa druge strane, dinamička stabilnost je bočna ili uzdužna stabilnost, koja je ugrožena pri ulasku u krivinu, zbog dejstva centrifugalne sile

Iako su aktivnosti podizanja i spuštanja tereta, vremenski kratke, najveći broj nezgoda dolazi upravo zbog ugrožavanja statičke stabilnosti, što pokazuje da je trenutak uzimanja i odlaganja tereta najrizičniji. Pri proračunima, statička nosivost se definiše kao odnos statičkih momenata sopstvene težine viljuškara G_n i tereta G_s , oko prednje osovine (slika 1).

Slika 1. Merodavne veličine za proračun statičke stabilnosti viljuškara



Sa slike je očigledno da se momenti sila G_s i G_n , u odnosu na tačku oslanjanja prednjih točkova o tlo, koja predstavlja osu prevrtanja, M_s i M_n , mogu izraziti kao:

$$M_s = G_s(x + c)$$

$$M_n = G_n \cdot c_0$$

Pri tome, da bi viljuškar bio stabilan, odnos ovih momenata, koji predstavlja i koeficijent statičke stabilnosti, treba da je veći od jedan

$$\sigma = M_n / M_s > 1$$

Obično se viljuškar smatra stabilnim ako je $\sigma \approx 1,7$.

Iz prikazanih jednačina mogu se izvući interesantni zaključci, bitni za obezbeđivanje stabilnog rada viljuškara. Ukoliko se želi što veća nosivost, to će za posledicu imati i veću sopstvenu težinu viljuškara. S obzirom da se sa slike 1, vidi da u formiranju momenata, pored težina, ulogu igraju i rastojanja, veća nosivost se može ostvariti i povećanjem rastojanja težišta viljuškara od ose prevrtanja tj. od prednjih točkova (konstruktivna dimenzija c_0 viljuškara). Kao posledica toga, danas su viljuškari velikih nosivosti karakteristični po tome što im je dužina, znatno veća nego kod malih viljuškara (preciznije, znatno je udaljenije težište viljuškara od ose prevrtanja), o čemu će kasnije biti reči.

3. NOVE TEHNOLOGIJE ZA POVEĆANJE STABILNOSTI

3.1. Sistem aktivne stabilnosti viljuškara

Kompanija Toyota je prozvela seriju viljuškara, opremljenu patentiranim sistemom aktivne stabilnosti (SAS sistem). Ova jedinstvena tehnologija podrazumeva upotrebu aktivnog sistema za pomoć horizontalnoj stabilnosti pri vožnji i aktivne kontrole rama, radi povećanja bezbednosti rada sa teretom na visini. Ovaj sistem radi tako što stalno nadgleda rad viljuškara i automatski preduzima zaštitne mere, kad je to potrebno. Radi se o efikasnom sistemu, koji ima preko 3000 očitavanja u sekundi za otkrivanje nesigurnih radnih uslova. Sistem se sastoji od deset senzora, tri davača i jednog kontrolera, koji štite vozača, vozilo i ljude u okolini, a istovremeno olakšavaju efikasno i produktivno rukovanje materijalima (slika 2). Na slici su senzori označeni crvenom bojom, davači (aktuatori) zelenom, a kontroler crnom bojom. Većina senzora je skoncentrisana u kabini, tik uz vozača.

Najvažnije funkcije koje obavlja SAS sistem su:

- Zaključavanje zadnje osovine
- Automatska regulacija brzine pri skretanju
- Kontrola nagiba rama viljuškara napred i nazad
- Nivelacija rama
- Aktivni sinhronizator upravljanja

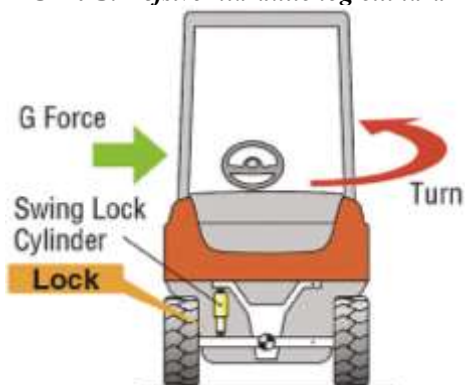
Slika 2. Raspored senzora, davača i kontrolera u SAS sistemu



Sistem analizira sve faktore koji izazivaju bočnu nestabilnost viljuškara. Kada postoji opasnost da dođe do bočnog prevrtanja, SAS sistem vrši aktiviranje hidrauličnog cilindra (swing lock cylinder) na zadnjoj osovinu viljuškara, čime povećava stabilnost celog viljuškara (slika 3). Princip rada se sastoji u tome da u zavisnosti od smera dejstva bočne (centrifugalne) sile, koja može da izazove prevrtanje viljuškara, hidraulični cilindar formira kontra silu, koja

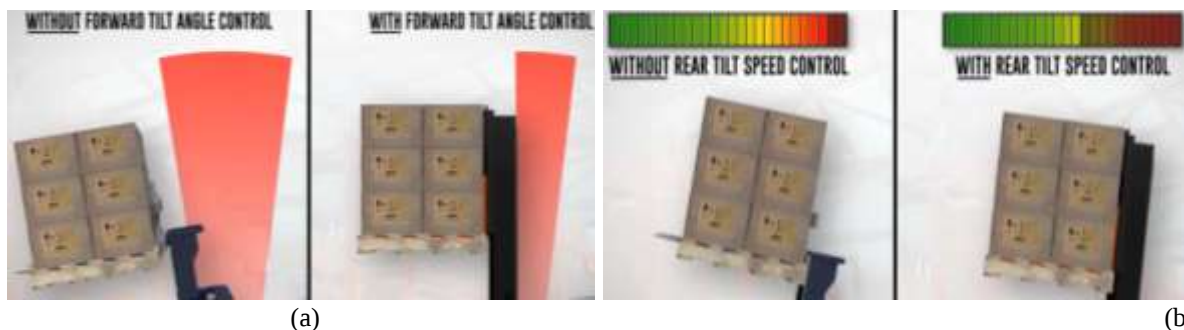
stabilizuje zadnju osovinu (smanjenjem ili potpunim poništavanjem bočne sile) i omogućava da viljuškar ostane i dalje stabilan tj. da ne dođe do njegovog prevrtanja.

Slika 3. Dejstvo hidrauličnog cilindra



SAS sistem ima mogućnost da izvrši i stabilizaciju rama sa teretom, čime se onemogućava prevrtanje viljuškara preko podužne ose. Naime, veliki problem kod većine viljuškara je relativno veliki ugao nagiba rama unapred, što za posledicu ima veliko naginjanje rama, naročito u situacijama prijema i ostavljanja tereta na većim visinama. Ti trenuci postaju kritični jer može doći do prevrtanja viljuškara. SAS sistem omogućava kontrolu nagiba rama i time povećava stabilnost (slika 4a). Takođe, jedan od čestih problema pri radu sa viljuškarima je i prevelika brzina kretanja rama unazad, usled čega može doći do pada tereta sa viljuški. SAS sistem koriguje ručnu kontrolu operatera i ograničava ugao, kako bi se smanjile šanse za prosipanje terete (slika 4b)

Slika 4. Regulacija ugla nagiba (a) i brzine kretanja (b) rama pomoću SAS sistema



3.2. Automatski vođeni viljuškari (eng.automated guided forklifts)

Automatski vođeni viljuškari (slika 5), sve više postaju glavni oslonac u proizvodnim pogonima i distribucionim centrima, gde su zadaci visoko standardizovani, ponavljaju se i lako se izvode bez potrebe za direktnim ljudskim učešćem. Automatski vođen viljuškar se uvek ponaša prema unapred programiranim instrukcijama i kreće programiranim putanjama, tako da ne postoji mogućnost da stabilnost viljuškara, sa teretom ili bez njega, bude ugrožena. Osim povećane pouzdanosti, izuzetna je i produktivnost jer su ovakvi viljuškari, neosetljivi na dužinu radnog vremena i broj smena i mogu da rade 24 sata dnevno, 7 dana nedeljno bez pauze.

Senzori na infrastrukturi i na viljuškaru daju podatke o lokaciji i brzini vozila na osnovu kojih upravljački sistem šalje vozilu odgovarajuće komande kako bi moglo da prati određene trajektorije i da se kreće odgovarajućom brzinom.

Automatski vođen viljuškar sastoji se od vozila, on – board kontrolera, upravljačkog, komunikacionog i navigacionog sistema. On – board kontroler je zadužen za uključivanje i isključivanje viljuškara, rukovodi pogonom, upravljačkim i kočionim sistemom vozila, kontroliše njegov rad i izdaje neophodne komande za korekciju greške. Upravljački sistem služi za optimizaciju putanja (ruting problem) i vremensko planiranje operacija koje treba izvršiti (scheduling). Komunikacioni sistem prenosi podatke između viljuškara i centralnog upravljačkog sistema i obratno. Navigacioni sistem obezbeđuje upravljanje i vođenje viljuškara pri radu.

Vodjenje viljuškara može biti po fiksnoj i po slobodnoj putanji. U prvom slučaju on ne može da promeni putanju kretanja, a u drugom je menja posredstvom online informacija, sistema za detekciju prepreka, kao i sistema za izbegavanje sudara sa drugim vozilima.

Slika 5. Automatski vođeni viljuškari



3.3. Korišćenje specijalnih zahvatnih organa

Iako primena specijalnih zahvatnih uređaja postavlja i određena ograničenja (koja se uglavnom odnose na redukciju nosivosti), pojedina zahvatna sredstva mogu da utiču na povećanje stabilnosti viljuškara. Jedno od takvih sredstava je hvatač (eng.spreader), koji se koristi za preтовar kontejnera (slika 6). Ovaj uređaj se sastoji od četiri okretne brave koje rade zajedno sa sigurnosnim sastavom za zaključavanje. Ako je samo jedna od brava, iz bilo kog razloga blokirana, tada se ni ostale brave ne mogu zaključati i ostaće u otvorenom položaju, a vizualni indikator će viljuškaristi istaknuti stanje otključanosti hvatača. Za razliku od klasičnih viljuškara kod kojih se smanjuje stabilnost pri dizanju tereta, kod viljuškara sa hvatačem se to ne dešava.

Slika 6. Korišćenje hvatača kao zahvatne naprave



U poslednje vreme se umesto klasičnih viljuški i rama, sve više koristi teleskop sa različitim zahvatnim organima (slika 6 desno). Konstrukcija sa teleskopom je takva da on polazi sa zadnje strane šasije, tako da je stabilnost čitavog viljuškara mnogo veća. Jedna od opcija za povećanje stabilnosti je i traverza ili noseća greda koja se postavlja na originalne viljuške i obezbeđuje da se na njenim krajevima nosi različit teret bez opasnosti da dođe do prevrtanja. Naravno, tereti sa obe strane traverze bi trebalo da budu približno jednakih težina.

3.4. Promena gabaritnih dimenzija

Jedna od malobrojnih mana viljuškara je nepovoljan odnos sopstvene težine i nosivosti, koji iznosi 2:1. Ovo znači da viljuškari velike nosivosti, da bi imali zadovoljavajuću stabilnost, moraju da imaju i veliku sopstvenu težinu. Tako na primer, viljuškar nosivosti 30 tona trebalo bi da ima sopstvenu težinu od 60 tona. Neki od proizvođača viljuškara, u cilju obezbeđivanja stabilnosti i smanjenja sopstvene težine, promenili su klasičan dizajn viljuškara i povećali njegovu dužinu i širinu, odnosno razmak između osovina i između točkova (slika 7).

Vodeći proizvođač viljuškara velike nosivosti, švedska kompanija Kalmar (Cargotec), uspela je na ovaj način da odnos sopstvene težine i nosivosti svede na odnos ispod 1:1,5 ne ugrožavajući stabilnost viljuškara (tako gorespomenuti viljuškar nosivosti 30 tona, ima sopstvenu težinu od 41, a ne 60 tona).

Slika 7. Viljuškar velike nosivosti kompanije Kalmar



4. ZAKLJUČAK

Nema sumnje da će viljuškari i u budućnosti biti jedno od najčešće korišćenih mašina pri pretovaru. Bez obzira na njihovo osavremenjavanje i primenu novih tehničkih rešenja, nezgode pri radu sa njima će se i dalje dešavati jer su, pre svega i najčešće, posledica ljudskog faktora. S obzirom da najznačajniju ulogu u sigurnom radu i dalje ima sam viljuškarista, treba raditi na što boljoj njegovoj pripremi i obuci za konkretne radne aktivnosti. Ovo ne znači, da se ne treba i dalje posvetiti razvijanju novih tehnoloških rešenja, kako bi viljuškari dobili veću stabilnost i sigurnost pri radu. Iako su ovakva rešenja, po pravilu, dosta finansijski zahtevna, velike kompanije, koje koriste viljuškare, moraju biti svesne da entualne povrede radnika, u nezgodama, mnogo više koštaju samu kompaniju.

LITERATURA

- Collins, J.W., Smith, G.S., Baker, S.P., Landsittel, D.P., & Warner et al. (1999). A case-control study of forklift and other powered industrial vehicle incidents. *American Journal of Industrial Medicine*, 36 (5), 522-531
- Deshmukh, P., & Wadhwa, G.K. (2018). Impact of shifting load centers on the stability of the forklift, *International Journal of Computer Engineering in Research Trends*, 5(4), 92-97.
- Gai, Y., & Pang, R. (2022). Research on key parameter for forklift stability. [Journal of Mechanical Strength](#), 44(2), 432-439
- Kichkin, A., & Kichkina E. (2010). The design of a system to control the stability of a forklift. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*, 10A, 250-256.
- Kim, J.B., Shin, W., & Park, J.H. (2015). Stability analysis of counterbalanced forklift trucks. *J Korean Soc Saf*; 30(2), 1-8.
- Lambert, J. et al. (2003). Forklift Stability and Other Technical Safety Issues. Accident Research Centre Monash University Victoria 3800 Australia an initiative funded by WorkSafe, Victoria.
- Sarker, A., Amin, S.A., Tamzid, S., & Chisty, N.A. (2017). Design and implementation of a forklift with dynamic stability, *2017 IEEE Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC)*, 658-663.

- Uday Kumar, R. (2021). Design and Development of Forklift in Manufacturing. International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology, 8(10), 18349-18353.
- Yuru, S. (2014). Design and analysis of new flexible and safe forklifts. Northeastern University Master's Theses. <https://www.toyotaforklift.com/resource-library/material-handling-solutions/safety/toyota-sas-innovative-forklift-stability-system> (site visited in 2022)