

## RAZVOJ KARDANSKIH VRATILA KROZ ISTORIJU

*Aleksandar Ašonja<sup>1</sup>, Danilo Mikić<sup>2</sup>*

**Rezime:** U radu je hronološki predstavljen proces razvoja mehanizma „kardanskog vratila” kroz istoriju. Akcenat samog razvoja usmeren je na „kardanski zglob” kao njegov najodgovorniji i najsloženiji deo. Sam proces primene mehanizma „kardanskog vratila” opisan je kroz niz primera primena u poljoprivrednoj proizvodnji.

Cilj rada je bio da se upoznaju svi korisnici ovog mehanizma sa njegovom istorijom, kako bi isti možda u potencijalnoj budućnosti donekle mogli unaprediti njegov rad, koji danas i posle više hiljada godina od njegovog početnog razvoja u potpunosti nije savršen.

**Ključne reči:** razvoj, kardansko vratilo, kardanski zglob, poljoprivredne mašine.

## DEVELOPMENT OF CARDAN SHAFTS THROUGH HISTORY

**Summary:** This paper presents a chronological development process of „cardan shaft” mechanism in history. The focus of the development is aimed at the „cardan joint” as its most responsible and most complex part. The process of „cardan shaft” mechanism application is described through a series of examples of applications in agriculture.

The aim of this paper was that all users of this mechanism learn about its history, so that same people in the future can improve its work, which is not entirely perfect neither after several thousand years since its initial development.

**Key words:** development, cardan shaft, cardan joint, agricultural machines

### 1. UVOD

Od četiri načina prenosa snage (mehanički, hidraulični, električni i pneumatski) od traktora do priključne mašine, u praksi najveći značaj imaju mehanički i hidraulični prenos. Za sada je mehanički daleko više zastupljen od hidrauličnog [5]. Mehanički prenos snage kod poljoprivrednih mašina ostvaruje se: direktno, remenicama, lančanicima, zupčanicima, kardanskim vratilima i elastičnim vratilima.

Nagli razvoj kardanskih mehanizama i njihova sve veća primena nastaje sa razvojem poljoprivrednog i transportnog mašinstva. Za pokretne transportne i poljoprivredne mašine, koje se pri kretanju podvrgavaju znatnom treskanju i promeni položaja pojedinih svojih

---

<sup>1</sup> Mr Aleksandar Ašonja, dipl. inž. - Srpski akademski centar, Novi Sad, E-mail: [info@sac.rs](mailto:info@sac.rs)

<sup>2</sup> Mr Danilo Mikić, prof. mašinstva- Srpski akademski centar, Novi Sad, E-mail: [vtsm@open.telekom.rs](mailto:vtsm@open.telekom.rs)

vratila, bila je neophodna ugradnja takvih mehanizama koji ne reaguju na promene položaja ose vratila, a pri tome dobro održavaju eksploataciona svojstva mašine, [20].

Razvoj i primena kardanskih vratila je, pored ostalih tehničkih dostignuća, ostvario težnju čoveka da se što više oslobodi teških fizičkih poslova, tj. da ga mašina zameni u svim tim poslovima, kako bi imao više vremena za intelektualni i kreativno stvaralački rad. Danas se već uveliko koriste razne poljoprivredne mašine koje mehanizovano uspešno obavljaju određene operacije u poljoprivrednoj proizvodnji (setva, žetva, površinska obrada, dorada i sl.) koje je čovek do pre nekoliko desetina godina ručno obavljao, ili pak polumehanizovano sa dosta utroška ljudskog rada [4].

Razvoj poljoprivrednih mašina zadnjih godina ide u pravcu povećanja učinka rada, brzina i radnih zahvata, što predstavlja povećan zahtev kardanskom vratilu u pogledu kinematskih i dinamičkih parametara pouzdanosti rada. Međutim, za stabilan i kvalitetan rad poljoprivrednih priključnih mašina neophodan je konstantan dotok snage odn. obrtnog momenta do nje. Da bi kardansko vratilo ispunilo ove zahteve moraju se steći odgovarajući preduslovi, a to je da [5]:

- ose priključnih vratila i međuvratila moraju da leže na istom pravcu u početnom položaju da bi u toku rada zauzimale „Z” ili „W” radnu varijantu zakretanja i
- tačka priključivanja mora da se nalazi na sredini između dva kardanska zgloba, u tom slučaju je obezbeđena jednakost uglova prvog i drugog kardanskog zgloba ( $\alpha_{12}=\alpha_{23}$ ) u toku rada.

Kardanska vratila imaju značajnu ulogu u prenošenju obrtnog momenta sa radne mašine (traktora) na priključnu mašinu. Danas, na skoro svim priključnim mašinama u poljoprivredi (prese, sejalice, rasipači mineralnog đubriva, vadilice krompira itd.) obrtni moment i snaga od traktora, uglavnom se prenosi preko kardanskog vratila, pri čemu ose spojenih vratila obrazuju neki ugao  $\alpha$  koji u toku rada može imati stalnu ili promenljivu vrednost. Kardanski prenos se široko primenjuje kod poljoprivrednih mašina zato što pri procesu rada uzajamni položaj vratila prenosnog mehanizma može neprekidno da se menja zavisno od reljefa terena ili karaktera tehnološkog procesa. Pored ovoga, kardanska vratila za poljoprivredne mašine treba da su jednostavna za rukovanje, da su predviđena za rad u nepovoljnim uslovima i robusno izvedena. Zahteva se još da su podesna za održavanje i popravke [15].

Takođe, danas se kardanski mehanizmi, sem na poljoprivrednim mašinama primenjuju i u drugim granama i delatnostima, i to na: transportnim mašinama, automobilima, lokomotivama, radioelektronskim uređajima, mašinama alatkama, bušilicama i pumpama naftne industrije, a takođe im je široka primena u: upravljačkim mehanizmima aviona i helikoptera, drvnoj industriji, tekstilnoj industriji itd. [20].

Ne retko u svetskoj literaturi se pominju identični termini za isti mehanizam, poput kardanski zglob (hukov zglob ili univerzalni zglob), čiji će se nazivi detaljnije u radu obrazložiti. Isto tako, učestalost ponavljanja ovih termina u radu isključivo je zavisila od autora koji su citirani, odn. koji su naziv usvojili kao zvaničan.

## 2. PROBLEMATIKA KARDANSKIH VRATILA

Istraživanje problematika kardanskih vratila je veoma zahtevan i kompleksan poduhvat. Da

bi se ono do kraja realizovalo na početku se mora upoznati kako istorija kardanskih zglobova, tako i istorija kotrljajnih ležajeva. Bez insistiranja za dubokom analizom razvoja navedenih mehanizama kroz istoriju ne bi se do detalja mogla sagledati problematika koja je mučila istraživače, kao i načini na osnovu kojih su oni prevazilazili sve probleme do kojih su dolazili.

Predmet razmatranja u ovom istraživanju je kardansko vratilo. Kardansko vratilo ima veliku primenu u različitim vrstama industrijskih i transportnih mašina. Elementi kardanskog vratila su opterećeni kombinovanim naprežanjem na savijanje, uvijanje, smicanje i površinski pritisak. Tokom eksploatacije, usled preopterećenja može doći do različitih vidova razaranja materijala i loma delova kardana. Najčešća mesta loma su u korenu kraka viljuški, a inicijalne pukotine kao početak razaranja najčešće se javljaju na krstastoj osovinu u zoni otvora ispod mazalice.

### 3. RAZVOJ KARDANSKOG ZGLOBA TOKOM ISTORIJE

Iako kinezi nisu znali elemente univerzalnog zgloba, oni su ga prvi izumeli i koristili pre više od 2.000. godina. Kinezi su u to vreme izrađivali tamjanske plemenike sa držačima koji su imali kardanske prstenove. U suštini, oni su bili identični sa modernim kardanskim prstenovima koji su omogućavali brodskim kompasima da ostanu u horizontalnom položaju čak i kada su se brodovi ljuljali [4].

Prvo izvesno opisivanje mehanizama za prenos snage i obrtnog momenta između dva vratila, koja su postavljena pod uglom, sadrži rukopis arhitekta Villard de Honnecourt koji je živio u 13. veku [4].

Prvi CV kardanski zglobovi (kardanski zglobovi konstantne brzine) su izmišljeni pre više stotina godina. Jedan od prvih takvih prenosa je korišćen na tornju Strazburške katedrale na časovniku izgrađenom 1351. godine. Danas ih, velike kompanije kao što su „GKN” grup u *Birmingham-u*, (Engleska), i *Lohmar-u*, (Nemačka), proizvode za automobile. Nove ideje i konstrukcije kardanskih zglobova su i dan danas predmet inovativnih potuhvata [12].

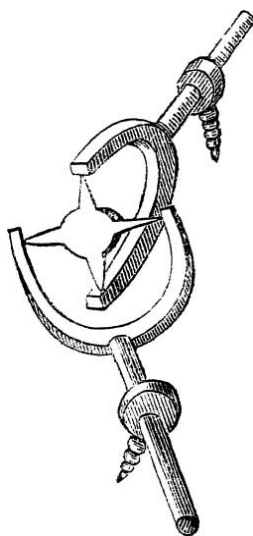
Osnovni koncept univerzalnog zgloba se zasniva na dizajnu kardanskih prstenova, koji su u upotrebi od davnina. Značajan napredak u razvoju kardanskih zglobova se desio kada je, veliki italijanski matematičar i pronalazač Girolamo Cardano (1501-1576), kineske kardanske prstenove 1545. godine (koji su se do tada već proširili van Kine) detaljno opisao (i nagovestio mogućnost prenosa) kako bi se oni mogli koristiti za prenos obrtnog momenta sa jednog vratila na drugo. Kao rezultat toga, danas je, običan univerzalni zglob poznatiji kao kardanski zglob. Međutim, zanimljivo je da Girolamo Cardano nije zapravo konstruisao takav zglob [13], koji će tek u narednom veku biti proizveden.

Prema [3] prvi univerzalni zglob podesan za prenos obrtnog momenta pripada svetom rimskom caru Charles V (1548. godine). Međutim, ovo delo u inženjerstvu bez takmaca je htelo da prikaže pronalazača, (po kome je dobila ime) prvenstveno tražeći prepoznatljivog čoveka, ali u suštini je bilo mnogo više od toga. Čovek kojem je pošlo za rukom da čuveni mehanizam po njemu dobije ime je bio Girolamo Cardano, čovek koji pripada suštinski renesansnoj tradiciji. Nije retko da se u literaturi pominje i da je Leonardo da Vinci (1452 - 1519) takođe imao viziju univerzalnog zgloba.

Kao što je već rečeno, naziv za kardansko vratilo odn. kardanski zglob, potiče od italijanskog matematičara i mehaničara Girolamo Cardano (1501-1576), koji je određenu

modifikaciju sfernog četvorougla upotrebio kao mehanizam za vešanje busole na brodovima. Tako je prema [7] dobar glas često davan Girolamo Cardano-u, mada su njegovi kardanski prstenovi bili neodgovarajući za univerzalni zglob u modernom smislu.

Christopher Polhammar (1661-1751) poznatiji kao *Christopher Polhem* švedski naučnik, pronalazač i industrijalac, izmislio je naziv „Polhemsknut” (univerzalni zglob) u Švedskoj. Mehanizam je kasnije 1664. godine opisan u knjizi *Technica curiosa sive mirabilia artis* od strane nemačkog juzeiste i naučnika na polju matematike, fizike i nauke o prirodi *Gaspar Schott*-a (1608-1666), koji je mehanizam nazvao „paradoxum”, tvrdeći da zglob nema konstantnu brzinu, sl.1 [16].

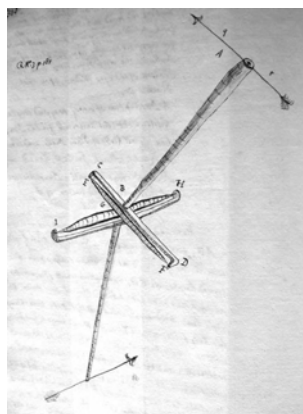


*Sl.1. Univerzalni zglob „paradoxum” od Gaspar Schott, (Reprodukcija slike iz biblioteke Muzeja istorije nauke u Oksfordu)*

Engleski mehaničar fizičar, astronom i pronalazač Robert Hooke (1635-1703) je 1664. godine patentirao mehanizam namenjen za prenos snage i obrtnog kretanja između dva vratila koja su postavljena pod uglom. Mehanizam je dobio ime „Hukov zglob”. S tačke gledišta strukture i kinematike kardanski zglob i Hukov zglob su ekvivalentni, razlika je jedino u tome ko ih je konstruisao. Od tada, pa do današnjih dana, razvija se sve veća potreba za prenošenjem snage i obrtnog kretanja između dva vratila koja su postavljena pod uglom ili menjaju položaj osa u toku rada [5].

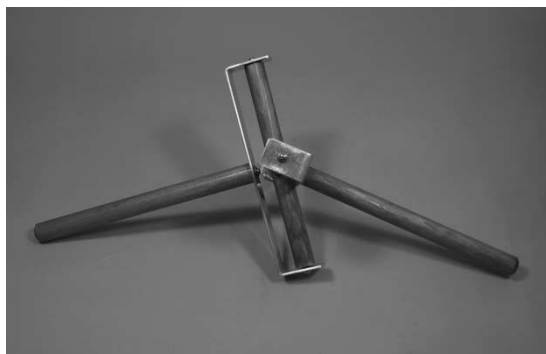
Sledeći značajan napredak u razvoju kardanskog mehanizma se dogodio između 1667 i 1675. godine kada je Robert Hooke imao potrebu da usavrši mehanizam njegovog helioskopa. On je analizirajući zglob na helioskopu otkrio da je brzina obrtanja neravnomerna, ali da bi se ovo svojstvo moglo koristiti za praćenje kretanja senke ispred sunčevog časovnika, sl.2 i 3 [16]. U stvari, komponenta jednačine vremena koja računa nagib ekvatorijalne ravni u odnosu na prividnu putanju sunca je potpuno analogna matematičkom opisu univerzalnog zgloba. Tačnije, jednačinom kojom uzima u obzir vreme, Hooke matematički proračunava univerzalni zglob. Tako da je prva zabeležena upotreba termina kardanskog zgloba za ovaj izum od strane Robert Hooke zabeležena 1676.

godine, u njegovoj knjizi „Helioscopes”. On je 1678. godine proglasio opis dobijen korišćenjem zajedničkih termina Hukov zglob u engleskom govornom području [22]. A tek je ovaj termin univerzalni zglob postao poznat u 18. veku i mnogo više u 19. veku.



*Sl.2. Prvi nacrt sunčanog časovnika Robert Hooke iz 1667. godine*

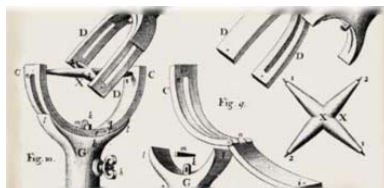
Robert Hooke-ov dizajniran univerzalni zglob, danas je poznatiji po krstastoj osovine koja spaja dve viljuške. Hooke je 1683. godine bio svestan da takav zglob ne prenosi nepromenljiv ili konstantan obrtni moment, tako da on uvodi dva identična zgloba pod 90°, koji su razdvojeni srednjim vratilom, kako bi se postigla konstantna brzina [4].



*Sl.3. Prvi moderan izrađen model sunčanog časovnika Robert Hooke*

Hooke-ova naprava je tokom 1667. godine previše laka i nepromenljivo funkcionisala zadovoljavajući kao ugibljiva spojnica za prenos obrtnog momenta bez promene ugla, iako se tada tvrdilo da se ne može dalje unaprediti proces obrtanja, i imati druge mehaničke koristi. Međutim, promena oblika 1675. godine na kraju se pokazala mnogo važnija kao spoj koji se rotira pod nekim uglom, nego kao sunčani časovnik. To je bila Hooke-ova studija kretanja univerzalnog zgloba, a njegova zalaganja i primena mehanizma, dovela su danas do njegovog uobičajenog naziva „Hukov zglob”, sl.4. Veoma brzo njegovu primenu su našli zaposleni u holandskim vetrenjačama koji su zglob iskoristili za vezu osovine krila

vetrenjače i arhimedove zavojnice (spiralni transporter), koja je u stvari služila za vađenje vode iz kanala, [25]. U ovoj aplikaciji to ne bi bilo važno (a možda i ne bi bilo realizovano) da izlazna brzina nije nepromenljiva.



Sl.4. Hukov zglob

Termin univerzalni zglob korišćen je u 18. veku i bio je u opštoj upotrebi sve do 19. veka [22]. Edmund Morewood (1812-1887) je 1844. godine patentirao prvi od čelika izrađen mehanizam koji je nazvao univerzalni zglob, kako bi uskladio male greške poravnjanja između motora i valjanog čeličnog vratila [17]. Najverovatnije je takav mehanizam primenio na postrojenje parnog mlina koji je izgradio na vlastitom imanju [18]. Irski naučnik Dionysis Lardner (1793-1859) 1877. godine u svojoj knjizi opisuje u detalje udvojene univerzalne zglobove, i primećuje da se oni mnogo koriste na linijama vratila u fabrikama pamuka [14]. Nemački matematičar i inženjer Jules Weisbach (1806-1871) opisao je matematiku univerzalnog zgloba i udvojenog univerzalnog zgloba. Univerzalni zglob u njegovoj raspravi o mehanici je objavljen na engleskom jeziku 1883. godine [24].

Kontrola vratila koja su bila povezana preko univerzalnih zglobova, u Northumberland-ovom teleskopu na Univerzitetu u Cambridge, ostvarena je u 1843. godini. Ephriam Shay (1839-1916) je 1881. godine registrovao patent, u kojem je on koristio udvojeni univerzalni zglob u lokomotivama na sistemima za prenos snage preko vratila. Prvi minijturni (mali) univerzalni zglob je korišćen od strane Charles Amidon (1856-1937) koji je izradio prva svrdla, patent za isto je prihvaćen 1884. godine.

U 19-tom veku upotreba univerzalnih zglobova imala je veoma široke spektre primene. Mnogobrojni univerzalni zglobovi su korišćeni za povezivanje vratila i njihovu kontrolu nad Northumberland-ovim teleskopom na Univerzitetu Kembridž 1843. godine [1]. Ephriam Shay-ova lokomotiva patentirana 1881. godine, na primer, koristi udvojen univerzalni zglob u lokomotivnim pogonjenim vratilima. [19]. Charles Amidon koristi dosta manji univerzalni zglob u njegovom svrdlu patentiranom 1884. godine [2].

Termin „Cardan joint” (kardanski zglob) se veoma kasno počeo upotrebljavati na engleskom jeziku. Brojne rane primene koje su se koristile u 19-tom veku pojavljuju se u prevodima sa francuskog jezika ili su pod jakim uticajem francuskog ophođenja. Primeri uključuju „Exposition Universelle” (opšte izlaganje) iz 1868. godine [6] i članak o dinamometru u prevodu sa francuskog 1881. godine. [18].

Nemci nazivaju ovaj mehanizam „kardanski zglob” (16 vek), dok britanci koriste naziv „Hukov zglob”, pripisujući ga Robert Hooke (1676-ta godina), a u Sjedinjenim Američkim Državama naziva se „univerzalni zglob” [8].

Najveća kolekcija modela kinematičkih mehanizama na svetu u 19-tom veku, delo su

velikog nemačkog inženjera i profesora Franz Reuleaux (1829-1905) sa Berlinskog Tehničkog Univerziteta [23]. Modeli dizajnirani od strane Franz Reuleaux čuvaju se na Cornell Univerzitetu od 1882. godine. Većina njegovih modela su kupljeni za potrebe Cornell univerziteta za 8.000 dolara, kao poklon od Hiram Sibley. U kući modela Cornell osnovan je i muzej mehanizama i mašina, koji je opisan u 1885. priča o nauci Amerike [23]. Modeli kolekcija univerzalnog zgloba i udvojenog univerzalnog zgloba prikazani su na sl.5 i 6. U dizajnu svojih modela, Reuleaux dozvoljava predavačima i studentima da vrše podešavanja uglova na modelu [9].



*Sl.5. Univerzalni zglob (Hukov ili Kardanov). Model No P1, Voigt katalog, Cornell Reuleaux kolekcija*



*Sl.6. Model udvojenog kardanskog zgloba ,Model No.P2, Voigt katalog, Cornell Reuleaux kolekcija [23].*

Čekalo se čak 240. godina da ideju kardanskog zgloba neko uvede u primenu, to je prvi učinio mladi Clarence W. Spicer diplomirani inženjer na Cornell univerzitetu. On je izgradio svoj automobil koji je služio za demonstriranje i manipulisanje na njegovom univerzalnom zglobu. Odlučnost da sprovede svoju ideju je dovela do njegovog uspeha kao proizvođača.

Spicer-u je 1903. godine prihvaćen patent za univerzalni zglob u vreme dok je studirao na Cornell univerzitetu, sa kojim je počeo proizvodnju njegove inovacije pod imenom Spicer Manufacturing Company u Plainfield-u (Now Jork), 1. aprila 1904. godine. Njegova fabrika u New Jersey-ju radila 16. nedelja dan i noć, šest dana u nedelji da proizvede 96. univerzalnih zglobova i prenosnih vratila, što se nikako ne može porediti sa sadašnjom nedeljnom proizvodnjom koja je više od 1.400.000 komada u deset fabrika širom sveta [23].

Ovim pronalascima automobilskom i industrijskom društvu krenulo je odmah nabolje. Pre je univerzalni zglob bio deo problematičnog lanca i lančanika ili lanaca adaptiranog za korišćenje u vozilima. Gospodin Spicer je priznat kao mašinski genije, ali mu svakako treba i odati priznanje kao vrhunskom prodavcu. Imao je ideju i bio zaista uveren u svoje mogućnosti, tako da je on nastavio da ga prodaje, i nije bilo sumnje da će sa ovakvom primenom univerzalnog zgloba napraviti giganta automobilske industrije. Spicer-ova pronicljivost da primeni univerzalni zglob je seme koje je poraslo tako da je donosilo milijardu dolara godišnje korporaciji „Dana” i još uvek raste i posle 90. godina [11].

Na Međunarodnom nivou prvo praktično pokretanje kardanskih vratila preko poljoprivrednih traktora predstavljeno je na jednom imanju tek 1918. godine. Pogon 540 %/min sa poljoprivrednog traktora, zaštitne obloge, i ruda za vuču predstavlja standard koji je razvijen od strane Instituta proizvođača opreme (EMI) i Američkog udruženja poljoprivrednih inženjera (ASAE) 1926. godine. U 1958. godini je donet standard sa 1.000 %/min, dok je tokom 1966. godine donet standard koji zalazi dublje u razvoj konjskih snaga kod traktora. Donošenjem ASAE S203 standarda podrobnije su dimenzionisane dimenzije vratila i klase konjskih snaga [10].

#### 4. ZAKLJUČAK

I pored činjenice da istraživanja na prenosu snage pod uglom na kardanskim mehanizmima, tačnije na kardanskim zglobovima traju više od 4.000 godina, može se zaključiti da mehanizam i pored više razvijenih tipova kardanskih zglobova nije u potpunosti savršen i pouzdan za rad. Najveći problemi danas se javljaju pri prenosu snage na poljoprivrednim mašinama (sa radne na priključnu mašinu) i to najčešće pod uslovom kada je ugao loma  $>20^\circ$  ili kada se ulazni i izlazni uglovi ne poklapaju. Iz ovih i sličnih razloga zadnjih godina aktuelna u svetu su i učestala ispitivanja pouzdanosti kardanskih vratila na laboratorijskim stolovima.

#### 5. LITERATURA

- [1] Airy, G. B. (1844). Account of the Northumberland Equatorial and Dome Attached to the Cambridge Observatory, Cambridge University Press, pr.14, 17, 20, 23, 33; and plates VI, VII, IX, XI, XV, XVII.
- [2] Amidon, C. H. (1884). Bit-Brace, U.S. Patent 298,542, May 13, 1884.
- [3] Ashworth, A. (1999). Cardano's Solution", History Today.
- [4] Ašonja, A. (2012). „Dijagnostika stanja kotrljajnih ležajeva i njen uticaj na pouzdanost kardanskih vratila na poljoprivrednim mašinama”, Doktorska disertacija, Tehnički fakultet „Mihajlo Pupin” Zrenjanin.
- [5] Ašonja, A., Gligorić, R., Mikić, D. (2011). Analiza eksploatacione pouzdanosti poljoprivrednih kardanskih vratila, Traktori i pogonske mašine, Časopis Naučnog društva za pogonske mašine, traktore i održavanje, Vol.16, No.4, 56-62.
- [6] Blake, W. P. (1868). Report of the Commissioner to the Paris Exposition, 1867, Chapter 1, Transactions of the California State Agricultural Society, During the Years 1866 and 1867, Vol. X, Gelwicks, Sacramento.
- [7] Davison, Charles St. C. B. (1963). Gear Power Transmission, Engineering Heritage: Highlights form the History of Mechanical Engineering, Heinemann, London, Vol.1, pp.118-123.



- [8] Digital Library of Kinematiss Cardan: Hooke's Universal Joint:  
[http://ecommons2.library.cornell.edu/web\\_archive/explore.cornell.edu/scene465f.html?scene=Digital%20Library%20of%20Kinematics&stop=DLK%20%2D%20Gallery&view=DLK%20%2D%20Gallery%2016](http://ecommons2.library.cornell.edu/web_archive/explore.cornell.edu/scene465f.html?scene=Digital%20Library%20of%20Kinematics&stop=DLK%20%2D%20Gallery&view=DLK%20%2D%20Gallery%2016)
- [9] Francis., C. Moon (2003). Franz Reuleaux: Contributions to 19th C. Kinematics and Theory of Machines, Sibley School of Mechanical and Aerospace Engineering Cornell University, Ithaca, New York.
- [10] Hansen G. N. P., Mayhew R.D. (2004). Agricultural Implement Drivelines.
- [11] [http://www.drivelinesnw.com/industry\\_history.html](http://www.drivelinesnw.com/industry_history.html)
- [12] [http://www.ehow.co.uk/about\\_6402491\\_purpose-cv-joint\\_.html](http://www.ehow.co.uk/about_6402491_purpose-cv-joint_.html)
- [13] [http://www.monasfts.com/e\\_refer\\_01.htm](http://www.monasfts.com/e_refer_01.htm)
- [14] Lardner, D. (1877). Handbook of Natural Philosophy, pp.292-293.
- [15] Marčetić, D. (1982). Ispitivanje kardanskih vratila i elemenata kardana, Diplomski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- [16] Mills, A. (2007). Robert Hooke's 'universal joint' and its application to sundials and the sundial-clock, Notes & Records of the Royal Society, No.61, pp.219-236.
- [17] Morewood, E.P. (1844). Improvement in Coating Iron and Copper, U.S. Patent 3, 74, Sept. 17.1844.
- [18] Owens., M. E. Eweg., M. J. (2003). Extension Delivery for Small-Scale Sugarcane Growers In South Africa: A Public/Private Joint Venture. AIAEE 2003 Proceedings of the 19th Annual Conference Raleigh, North Carolina, USA, pp.496-508.
- [19] Shay, E. (1881). Locomotive-Engine, U.S. Patent 242,992, June 14, 1881.
- [20] Tanasijević, S. (1994). Mehanički prenosnici, Jugoslovensko društvo za tribologiju, Kragujevac.
- [21] The Dynamometer Balance. (1881). Van Nostrand's Engineering Magazine, Vol.XXV, No.CLVI, pp.471.
- [22] The Monthly Review or Literary Journal.(1774). Review of Ferdinand Berthoud's Treatise on Marine Clocks, Appendix Art. VIII, Vol. L, London, 565.
- [23] The Reuleaux Collection of Kinematic Mechanisms at Cornell University. (2004). An ASME Mechanical Engineering Heritage Collection housed in Cornell's Duffield-Baum Atrium and Upson Hall in Ithaca, New York.
- [24] Weisbach, J., Herrmann G. (1883). Mechanics of Engineering and of Machinery, Vol.III, Chapter I, Sections 26 and 27, Wiley, pp.81-91.
- [25] Willis R. (2007). Principles of mechanism 1870 Longmans Green London.