

HIDRODINAMIČNA SPOJKA I POBOLJŠANJE POGONA KOD NEPREKINUTOG TRANSPORTA

HYDRODYNAMIC COUPLING AND DRIVE IMPROVEMENT IN CONTINUOUS TRANSPORT

UDK 532.5

Stručni članak

Professional paper

Sažetak

U radu se iznosi teorijska osnova rada hidrodinamičnih (Föttinger) spojka. Prikazane su spojke s konstantnim punjenjem i spojke promjenjive brzine s mogućnošću promjene količine tekućine. Različitost početnog momenta na traci konvejera koji spojke moraju svladati, utječe na dulje vrijeme uhodavanja i mnogostruko povećana naprezanja u traci.

Ključne riječi: hidrodinamična spojka, zakretni moment, skliz, traka konvejera, kompenzacijska komora.

Summary

The paper deals with theoretical operating principle of hydrodynamic (Föttinger) couplings. Constant filling couplings and variable-speed couplings with possible change of fluid amount have been presented. The couplings must overcome the difference of the initial moment on the conveyor belt. This difference effects the longer time of running in and multiple stress increase in the belt.

Key words: hydrodynamic coupling, torque, slipp, conveyor belt, compenstion chamber.

Uvod

Introduction

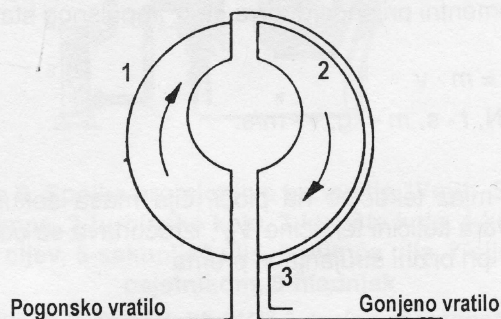
Hidrodinamične spojke rabe se već nekoliko desetljeća u pogonu terenskog konvejera. Današnja dostupna suvremena tehnologija komputora i senzora, omogućuje daljnji razvitak prijenosa i pogona.

Rukovanje rasutim teretima preko trake u neprekinutom transportu postaje svakim danom sve

važnije. U želji za većom učinkovitošću, trake postaju šire a njihove brzine sve veće. Zato postaje sve presudnijom sposobnost laganoga starta i ravnomjernoga rada pogonskoga sustava. Pojačana naprezanja u traci konvejera pri startu mogu postati prevelika i izazvati rasipanje tereta, čak i oštećenje uređaja pa tako i nepotrebne troškove i gubitke.

1. Hidrodinamična spojka Hydrodynamic coupling

Teorijsku osnovu rada hidrodinamičnih spojka postavio je Föttinger [5] pa se one ponekad nazivaju i Föttinger-spojke. Rad dinamičkih spojka ostvariv je pomoću jednostavnog prijenosa za koji je potrebna centrifugalna pumpa i turbina. Hidraulične spojke sastoje se od dva glavna dijela i to pumpe kao primarnog kola i turbine kao sekundarnog kola. Oba rotora zatvorena su kućištem, slika 1. Ova spojka radi kao klizna spojka.



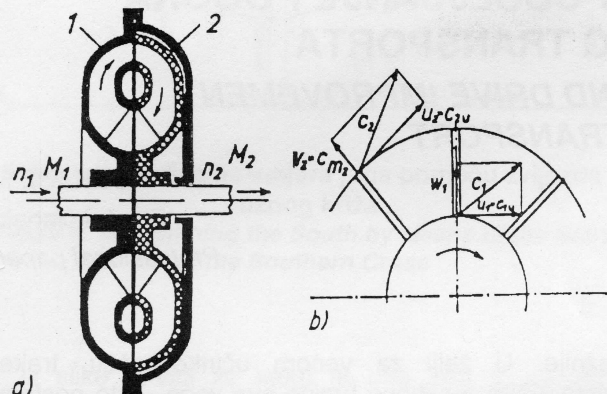
Slika 1. Shema hidrodinamične spojke,
1-pumpno kolo, 2-turbinsko kolo, 3-kućište

Figure 1. The scheme of hydrodynamic coupling,
1 - pump wheel, 2 - turbine wheel, 3 - housing

Način djelovanja lopatica (1) i (2) slika 1, zasniva se na postavlci da između njih struji određena količina tekućine, čije se centrifugalno djelovanje s pumpe prenosi na turbinu. Tako se moment vrtnje s

Mr. sc. Antun Matic
Veleučilište u Dubrovniku

pogonskog vratila prenosi na gonjeno vratilo. Povećanim brojem okreta turbine raste centrifugalna sila koja sve više omogućuje tekućini koja struji ulazak u kružni tok optoka. Kad tekućina zauzme položaj na većem promjeru kola, prestaje cirkulacija nakon potpunog izjednačenja broja okreta vratila pumpe i turbine.



Slika 2. Hidrodinamična spojka
1-pumpno kolo, 2-turbinsko kolo,
a) izvedba spojke, b) rotor s ravnim krilcima i paralelogram brzina

Figure 2. Hydrodynamic coupling
1 - pump wheel, 2 - turbine wheel,
a) coupling design, b) rotor with flat vanes and speed parallelogram

Radni volumen torusnog oblika ispunjen je tekućinom (uljem). Za ovu spojku vrijedi da je moment na pumpnom kolu M_p (M_1) jednak momentu na turbinskom kolu M_t (M_2). Dakle vrijedi

$$M_1 = M_2 \tag{1}$$

Momentni prijenos dobiva se iz impulsnog stavka

$$F \cdot t = m \cdot v \tag{2}$$

F - N, t - s, m - kg, v - m/s.

Za mlaz tekućine na ploči, čija masa sekundno odgovara količini tekućine V_S , izračunava se udarna sila F pri brzini strujanja v prema

$$F = \rho \cdot V_S \cdot v \tag{3}$$

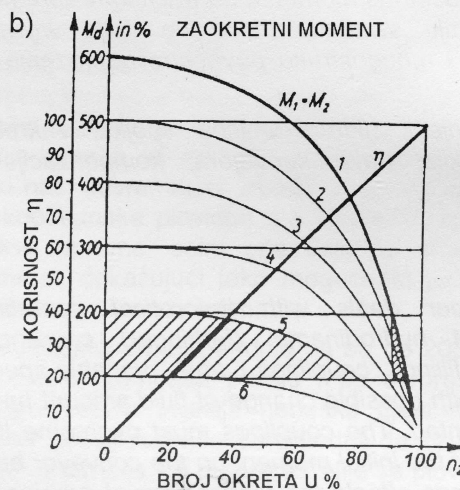
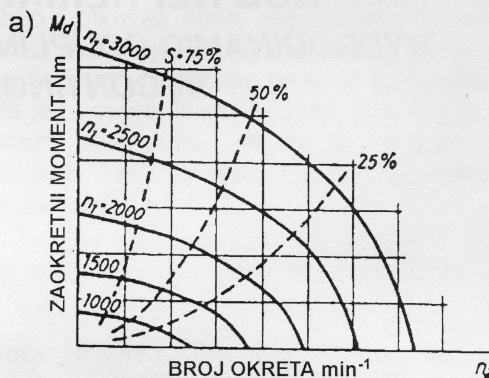
Razvijajući momentnu jednadžbu za hidraulične strojeve, gdje je:

$$\rho \cdot V_S = m / t$$

dobiva se zakretni moment, prema slici 2b,

$$M_d = m \cdot (c_{2U} \cdot r_1 - c_{1U} \cdot r_2) / t = m \cdot \Delta c_U / t \tag{4}$$

- c - apsolutna brzina strujanja,
- c_U - radijalna komponenta brzine,
- $c_{1U} r_1$ - izlazna torzija,
- $c_{2U} r_2$ - ulazna torzija.



Slika 3. Karakteristika zakretnog momenta hidrodinamične spojke: a- u ovisnosti o zanošenju kod različitog pogonskog broja okreta s krivuljama skliza (dizelov motor), b- kod promjenjivog faktora punjenja

Figure 3. Torque characteristic of hydrodynamic coupling: a- depending on the deviation in various number of revolutions with slipping curves (diesel engine), b) in inconstant filling factor

Karakteristika prijenosnog momenta spojke u ovisnosti o izlaznom broju okreta n_2 , (primjer kod motora s unutarnjim izgaranjem), vidi se na slici 3a. Karakteristika prijenosnog momenta kod pogonskog stroja s konstantnim pogonskim brojem okreta vidi se na slici 3b. Odatle i mogućnost da kod zastajanja rotora turbine, dakle u radnoj točki, zakretni moment bude najveći (učinak momenta kočenja).

$$M_{d1} = M_{d2} = \lambda n^2 D^5 \quad \text{Nm} \quad (5)$$

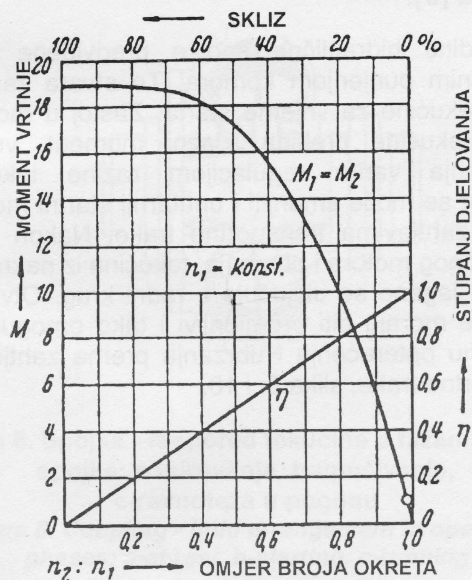
λ - karakteristika, kg/m^3
 n - broj okreta, s^{-1}
 D - promjer, m

Snaga koja se pri tome prenosi (6) ovisi o trećoj potenciji broja okreta i petoj potenciji promjera.

$$P_1 = \lambda \cdot n_1^3 \cdot D^5 \quad \text{kW} \quad (6)$$

Karakteristika λ uzima u obzir odnose trenja i strujanja u spojci kao stalne. Na slici 3.a vidi se sposobnost prijenosa zakretnog momenta u ovisnosti o promjeni broja okreta n_1 (to su slučajevi kod pogona s motorom na unutarnje izgaranje).

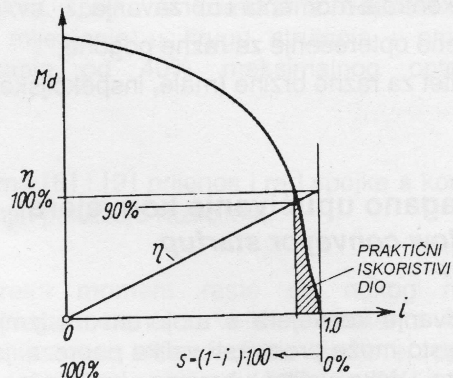
Spojka prenosi zakretni moment uz izvjesno klizanje radnih kola. Vrijednosti klizanja su od 100% pa do 0% (kad se oba kola okreću teoretski s jednakim brojem okreta). Promjena momenta snage i stupnja korisnosti, ovisno o prijenosnom odnosu, "i" vidi se na izlaznoj karakteristici spojke, slika 4.



Slika 4. Krivulja momenta vrtnje kod konstantnog pogonskog broja okreta ovisno o stupnju djelovanja, skliza i omjera broja okreta n_2/n_1

Figure 4. Rotation curve in constant number of revolutions depending on the efficiency, slipp and the ratio of number of revolutions n_2/n_1

Na slici 5. može se najbolje uočiti, praktični iskoristivi dio, odnosno stvarni radni dio na kojem treba spojka raditi. Neki mali skliz mora postojati, a on se kreće oko 3%. U tom dijelu su radne vrijednosti stupnja djelovanja spojke i zakretnog momenta. Prema nekim autorima skliz može biti i drugih vrijednosti, a ovisi o značajkama tekućine i izvedbi oba dijela spojke [5].



Slika 5. Krivulja zakretnog momenta ovisna o sklizu, stupnju djelovanja i omjeru broja okreta kod Föttinger-spojke ($n_1 = \text{konst.}$)

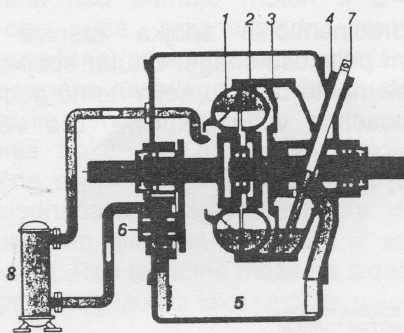
Figure 5. Torque curve depended on the slipp, efficiency and the ratio of number of revolutions in Föttinger-coupling ($n_1 = \text{constant}$)

Prijenosni omjer spojke je

$$i = n_t / n_p \quad (7)$$

n_t - broj okretaja turbinskog kola, min^{-1} ,
 n_p - broj okretaja pumpnog kola, min^{-1} .

Kod nekih konstrukcija hidrauličnih spojka postoji i radijalno pokretna cijev kojom se može najfinije ugoditi uljne slojeve spojke. Ovu cijev može pokretati aktuator koji se lako uključuje u kontrolni sustav pogona, slika 6.



Slika 6. Spojka promjenjive brzine tip "Voith SVTL" 1-pumpa, 2-turbinsko kolo, 3-kućište kola, 4-kućište za cijev, 5-sakupljač ulja, 6-pumpa ulja, 7-cijev s osjetnikom, 8-hladnjak

Figure 6. The "Voith SVTL" design of inconstant speed coupling

1-pump wheel, 2-turbine wheel, 3-shell, 4-scoop tube housing, 5-oil sump, 6-oil pump, 7-scoop tube, 8-cooler

Ovim sustavom lako se postižu potrebne osobine za moderan prijenosni pogon. To su:

- precizna i brza kontrola momenta,
- lako uključivanje u kontrolni sustav,

- točna kontrola momenta i ubrzanja,
- određeno opterećenje za razne pogone,
- kapacitet za razne brzine (male, inspekcijske i sl.).

2. Lagano upućivanje konvejera *Slow conveyor startup*

Upućivanje konvejera s motorom na izmjeničnu struju često može proizvesti velika naprezanja trake konvejera i jako velika ubrzanja. Izmjenični motori vrlo često prijeđu 250% zakretnog momenta za vrijeme starta. Struja motora može dostići do 600% maksimalnog opterećenja za vrijeme ubrzanja. Ovo je uzrokom povećanoga zagrijavanja koje jako smanjuje trajnost motora. S malim opterećenjem trake konvejera, krajnja naprezanja mogu eventualno nadmašiti dopušteno projektno opterećenje trake.

Svi problemi koji nastaju pri zastoju i možebitnom pucanju remena rješavaju se "mekanim" startom što ga omogućuje hidrodinamična spojka. Ove spojke projektirane su kako bi omogućile lagano ubrzanje konvejske trake, pri čemu se održava početno naprezanje od oko 40% maksimalnog opterećenja. To se postiže kontrolom ubrzanja i sprječavanjem udaraca i vibracija.

3. Rad hidrodinamičnih spojka *Hydrodynamic couplings operation*

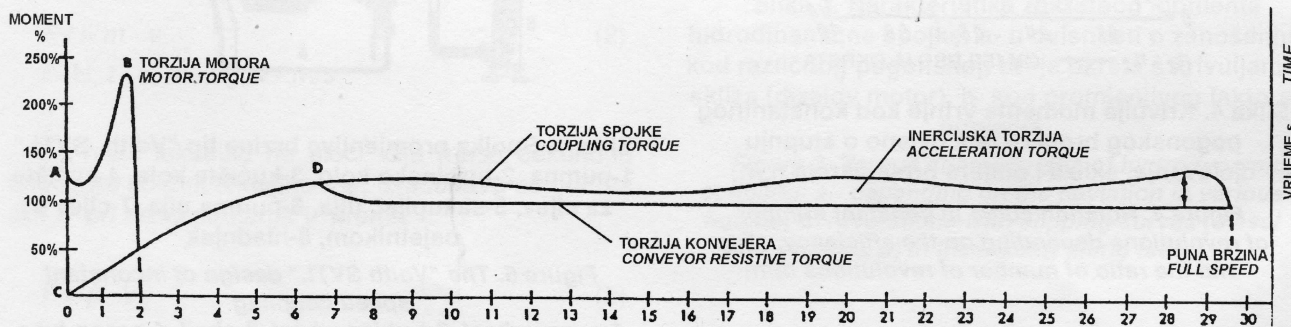
Rad hidrodinamičnih spojka zasniva se na hidrauličnom prijenosu snage. Unutar spojke su dva rotacijska elementa između kojih nema dodira. Njih povezuje posebna vrsta tekućine. Dio vezan na

pogonski motor je pumpa, a dio koji se pogoni je turbinski dio. Između pogonskog i gonjenog vratila nema dodira. Radom izmjeničnog motora, pogonski rotor počinje pumpati tekućinu unutar spojke na obod pumpnog dijela. Povećavanjem momenta počinje rotirati i gonjeni dio, počinje se ubrzavati i prenositi moment odnosno preuzimati opterećenje koje stvara traka konvejera.

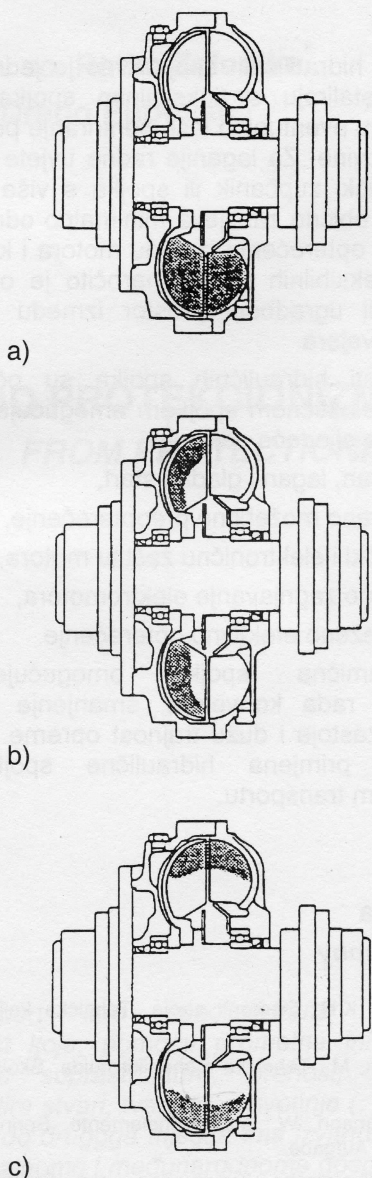
Početna naprezanja se povećavaju i kontroliraju polaganim preuzimanjem normalnog opterećenja, slika 7. Vrijeme koje je potrebno hidrauličnoj spojci za start i povećanje opterećenja ovisi o čimbenicima kao što su moment vrtnje, hidrodinamičkih inercija i čvrstoća trake. Većina Hidrodinamičnih spojka ubrza se u rasponu od 8 do 50 sekunda. Ovo vrijeme ovisi o pogonskim i radnim uvjetima konvejera.

Moment na pogonskoj strani (pumpa) počinje od nule u točki C i povećava se, kako tekućina u dijelu rotora dobiva ubrzanje, do točke D. Kada tekućina u spojci dobije takvo naprezanje da gonjeni dio potpuno preuzme startni moment, pogonski stroj je u cijelosti preuzeo pogon trake s maksimalnom brzinom i maksimalnim stupnjem djelovanja. Ovo se može rasporediti u vremenskom razdoblju do 50 sekunda [9].

Pojedine hidraulične spojke predviđene su s naknadnim punjenjem komora. To stvara zastoj u krugu tekućine za vrijeme starta. Zastoj u radu tog kruga tekućine prekida izlazni moment, vrijeme ubrzanja varira regulacijom razine tekućine. Također se može smanjiti i unutarnji startni moment prema zahtjevima transportne trake. Nakon starta izmjeničnog motora i ubrzanja, tekućina iz naknadnih komora lagano se uključuje u radni krug. Otvori za punjenje moraju biti promjenjivi i tako omogućavati promjenu opterećenja i ubrzanja prema zahtjevima transportne trake, slika 6. i 10.



Slika 7. Dijagram "moment-vrijeme" kod hidraulične spojke
Figure 7. Hydraulic coupling - "moment-time" diagram



Slika 8. Spojka - raspored tekućine u fazama rada spojke: a-mirovanje, b-upućivanje, c-ravnoteža u pogonu

Figure 8. Coupling - fluid arrangement in operation phases: a-at rest, b-starting, c-running

Ovakva spojka s komorama dopušta tekućini sporo mijenjanje u krugu strujanja i omogućuje naprezanja od 40% maksimalnog opterećenja snage.

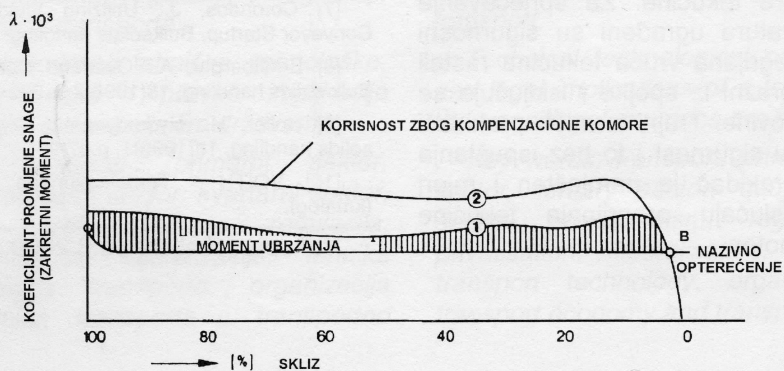
Prema [6] i [9] prijenos i rad spojke s komorama i bez njih pokazuje različitost.

Zakretni moment raste od nekog nazivnog opterećenja, točka A, za veličinu momenta ubrzanja i usporenja, zbog retardacijske komore, pri čemu vrijednost skliza pada od 100% na 0% u točki B, slika 5. Spojka ova kolebanja mora svesti na što manju vrijednost i u što kraćem vremenskom razdoblju [10].

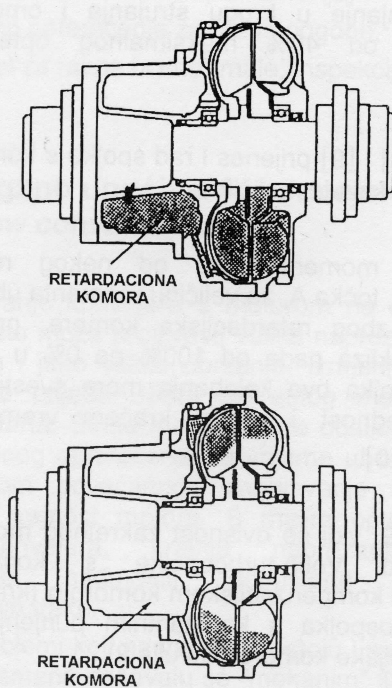
Na slici 9. vidi se ovisnost zakretnog momenta i skliza kod Voith-turbospojke s konstantnim punjenjem i kompenzacijskom komorom (krivulja 1) i Voith -turbospojka s konstantnim punjenjem bez kompenzacijske komore (krivulja 2).

Hidraulična spojka kod maksimalnog opterećenja ostvaruje visoki učinak. Postoji nekoliko mehaničkih gubitaka iako sve mehaničke komponente (osovinske brtve, ležaji, prijenosnici i rotori) rade vrlo učinkovito. Stupanj djelovanja hidraulične spojke određuje se usporedbom izlazne snage sa snagom izmjeničnog motora.

Labano vrijeme starta, sposobnost rada s 100% proklizavanjem čini spojku vrlo korisnom. U slučajevima kad startaju motori s 3-4 sekunde razlike, oba, puna i prazna startna vremena mogu još biti povećana, minimalizirajući probleme padanja linijskog napona nastalog zbog visokih struja. Takve konfiguracije mogu također reducirati velika naprezanja trake, što produžava njezino trajanje. Hidraulične spojke također omogućuju jednostavan način izjednačavanja opterećenja za dva ili više prijenosa istom glavnom osovinom ili sekundarnim remenicama. Rad tekućine može se lagano povećati ili smanjiti, omogućujući tako različite prijenose.



Slika 9. Dijagram koeficijenta promjene snage i skliza
Figure 9. Coefficient diagram of power and slipp changes



Slika 10. Faze rada spojke s komorama
Figure 10. Operation phases with chambers

4. Zaštita preopterećenja Overload protection

Hidraulične spojke predstavljaju stvarnu zaštitu kod startanja konvejera. Naročito štite pogonsku opremu u slučajevima visokih opterećenja i sličnih nepovoljnih pojava u radu. U slučajevima povećanih zastoja trake, tekućina u spojci otklanja učinak inercije na motor. Tako spojke djeluju kao ublaživači, smirujući rad konvejera kroz proklizavanje spojke. Ako se postupno pojavi preopterećenje trake, proklizavanje spojke će se ponovo povećati, smanjujući izlaznu brzinu spojke i omogućujući prijenosu siguran rad. Ponavljanje starta pod punim opterećenjem može prouzročiti kod spojke povećanje temperature tekućine. Za sprječavanje neprihvatljivih temperatura ugrađeni su sigurnosni čepovi za zaštitu. Pregrijana vruća tekućina rastali čep i tekućina se isprazni iz spojke i isključuje se prijenos pogonske osovine. Trajni termički prekidači omogućuju dugotrajnu sigurnost i to bez ispuštanja tekućine. Termički prekidač je namješten i mjeri temperaturu, i u slučaju pregrijanja tekućine isključuje izmjenični motor.

Zaključak/Conclusion

Ugradnja hidrauličnih spojka vrlo je jednostavna. One se instaliraju s fleksibilnim spjkama koje kompenziraju eventualno loše centriranje pogonske i gonjene osovine. Za laganije radne uvjete često se rabi mehanički zupčanik ili spojka s više diskova. Ova spojka obično zahtijeva minimalno održavanje i izjednačava opterećenje između motora i konvejera. Ugradnja fleksibilnih spojka naročito je opravdana kad je mali ugradbeni prostor između motora i uređaja konvejera.

Pogodnosti hidrauličnih spojka su očite i uz ugradnju s elastičnom spjkom omogućuju da čitav konvejer ima sljedeće odlike:

- kontroliran, lagan i gladak start,
- kontrolirano može bitno preopterećenje,
- mehanički i elektroničnu zaštitu motora,,
- minimalno zagrijavanje elektromotora,
- uravnoteženo efektivno opterećenje.

Hidrodinamična spojka omogućuje bolju učinkovitost rada konvejera, smanjenje troškova, smanjenje zastoja i dužu trajnost opreme. Stoga je sve veća primjena hidraulične spojke i u neprekinutom transportu.

Literatura

Bibliography

- [1] Decker, K.H: Elementi stroja, Tehnička knjiga, Zagreb 1989.
- [2] Pečornik, M.: Tehnička mehanika fluida, Školska knjiga, Zagreb, 1989.
- [3] Tochtermann, W.: Maschinenelemente, Springer Verlag, Berlin 1956, 7. Aufgabe.
- [4] Hydrodynamische Kupplungen, das Fachwissen des Ingenieurs I, Teil I, 3. Auflage, VEB Fach Buchverlag, Leipzig 1967.
- [5] Ziebart, E.: Stromungstechnische Grundlagen hydrodynamischer Getriebe und Kennlinien....., "Eisenbahntechnische Rundschau", Heft 11(1959).
- [6] Kugel, F.: Voith-Turbogetriebe und Voith-Turbokupplungen, "Voith Forschung und Konstruktion", Heft 6, 11(1959).
- [7] Coroneos, J.: Utilizing Fluid Couplings to Improve Conveyor Startup, Bulk solids handling, 18(1998)1, p.107-109.
- [8] Ernstberger, A.: Overland Conveyor Drive Technology, Bulk solids handling, 18(1998)2, p.272-273.
- [9] Holler, H.: Hydrodynamic Couplings in Belt....., Bulk solids handling, 18(1998)1, p.87-92.
- [10] VOITH - Turbokupplungen mit konstanter Füllung, (katalog).

Rukopis primljen: 18.8.2000.