

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Дипломске академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Трибологија машинских система

Број индекса: 115/1995

Маријо Н Радић

**Триболошки процеси код ланчаних
преносника
дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Блажа Стојановић, доцент - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране:

Оцена:

У оквиру дипломског рада кандидат треба да изврши анализу триболошких процеса код ланчаних преносника. Кандидат најпре треба да изврши поделу и класификацију ланчаних преносника. Такође, треба да објасни принцип спрезања ланца са ланчаником. На основу кинематске анализе, потребно је да кандидат прикаже који су главни фактори који утичу на хабање ланаца. На крају рада кандидат треба да прикаже најчешће врсте отказа ланчаних преносника, њихове узроке, као и начине отклањања.

Препоручена литература:

- [1] Танасијевић, С., *Механички преносници*, Машински факултет, Крагујевац, 1994
- [2] Николић, В., *Машински елементи*, Машински факултет, Крагујевац, 2004
- [3] Танасијевић, С., *Основи трибологије машинских елемената*, Научна књига, Београд, 1989

Крагујевац, 2015

ментор:

Др Блажа Стојановић, доцент

Резиме

Ланчани преносници представљају један од најчешће примењених и коришћених механичких преносника снаге. У раду су дате основне карактеристике ланчаних преносника, њихова подела, као и предности и недостаци. Посебно тежиште рада односи се на триболошке процесе код ланчаних преносника. Приказане су најчешће врсте хабања ланаца као и приказ најчешћих фактора који утичу на хабање. На крају рада дати су најчешћи откази који се јављају код ланчаних преносника, њихови узроци, као и мере за њихово отклањање.

Кључне речи: ланчани преносници, трење, хабање, отказ

Summary

Chain drives represent one of the most widely applied and used mechanical power transmitter. This work presents the basic characteristics of chain drives, their division, as well as advantages and disadvantages. One particular focus of the work refers to the tribological processes in the chain drives. Displayed are the most common types of wear chains as well as the most frequent factors that affect wear. At the and of the work, the most common failures that occur in chain drives, their causes, as well as measures for their removal.

Keywords: chain drives, friction, wear, failure

Садржај:

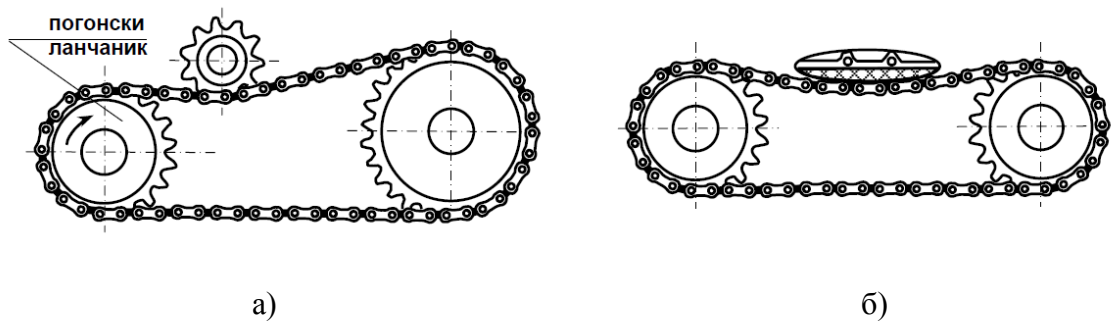
1. УВОД.....	5
1.1 ЛАНЧАНИ ПРЕНОСНИЦИ.....	5
1.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА.....	6
1.3 КОНСТРУКЦИОНО ИЗВОЂЕЊЕ ЛАНЧАНИКА.....	9
1.4 ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА.....	10
1.5 ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ.....	11
2. КИНЕМАТИКА ЛАНЧАНОГ ПРЕНОСА.....	13
2.1 ОСНОВНЕ ГЕОМЕТРИЈСКЕ И КИНЕМАТСКЕ ВЕЛИЧИНЕ ЛАНЧАНИКА.....	13
2.2 СПРЕЗАЊЕ ЛАНЦА СА ЛАНЧАНИКОМ.....	15
2.3 ПОЛИГОН ЕФЕКАТ.....	16
3. ТРИБОЛОШКИ ПРОЦЕСИ КОД ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА.....	19
3.1 ОСНОВНИ ПОЈМОВИ ИЗ ТРИБОЛОГИЈЕ.....	19
3.2 НАЈЧЕШЋЕ ВРСТЕ ХАБАЊА МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА.....	21
3.3 КАРАКТЕРИСТИКЕ ТРИБОЛОШКИХ ПРОЦЕСА КОД ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА.....	24
3.4 ФАКТОРИ ХАБАЊА ЛАНАЦА.....	30
3.5 ПОДМАЗИВАЊЕ ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА.....	34
4. ОТКАЗИ КОД ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА И МЕРЕ ЗА ЊИХОВО ОТКЛАЊАЊЕ.....	36
5. ЗАКЉУЧАК.....	48
6. ЛИТЕРАТУРА.....	49

1. УВОД

1.1 ЛАНЧАНИ ПРЕНОСНИЦИ

Ланчани преносници су механички преносници код којих се пренос снаге остварује гипким елементима-ланцима. У саставу једног ланчаног преноса су ланчаници, ланац, као и уређаји за затезање и подмазивање[1].

Један крак ланца (дужина између осног растојања) назива се радни или вучни, а други крак слободни (нерадни). Радни крак увек наилази на погонски ланчаник и по правилу треба да је са доње стране. Да би се повећао захват између ланца и ланчаника, користи се затезни ланчаник или посебан механизам[2].



Слика 1-Основни делови ланчаног преноса [2]
а) са затезним ланчаником, б) са пригушивачем осцилација

Ланчани преносници се користе за преношење обртног момента између вратила постављених на релативно великом растојању као и тамо где се не може користити каишни пренос због лоших просторних и преносних услова или растојања оса. Најједноставнији ланчани пар се састоји од два ланчаника и обвојног елемента-ланца. Зупци ланчаника захватају елементе ланца и принудно га покрећу. С обзиром на овакав пренос снаге и кретања, онемогућено је клизање и проклизавање чиме се постиже константан преносни однос[3].

Код ланчаних парова пожељно је да горњи крак буде вучни иначе је потребан затезни ланчаник. Према положају ланчани парови се изводе као хоризонтални и нагнути, а изузетно као вертикални. Нагнути положај преносника је повољан под условом да угао нагиба ланца не буде већи од 60° . Вертикалан положај ланца је веома неповољан јер долази до неправилног захвата ланца и доњег ланчаника, а ланац је изложен интензивном хабању и осциловању. Да би се то избегло поставља се пригушивач осцилација и затезни ланчаник. Затезни ланчаници су потребни и у случајевима када један ланац покреће више ланчаника.

1.2 КАРАКТЕРИСТИКЕ ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА

У поређењу са каишним преносницима ланчани парови су погоднији за пренос већих обртних момената при мањим обимним брзинама. Зато се ланчани парови, обично, уграђују на последњем степену преноса, где су ови услови остварени.

Ланчани парови се употребљавају за преношење снаге у врло широком опсегу (до 1000 kw) и за обимне брзине до 25(30) m/s.

Такође, оптерећење вратила и лежајева је мање јер није потребно претходно затезање ланца (што је неопходно код каишних преносника). Зато су вратила код ланчаних преносника изложена само дејству радног оптерећења, укључујући динамичке силе и тежину ланца.

Ланчани парови могу пренети знатно веће снаге, у поређењу са каишним преносницима, при мањим обвојним угловима и мањем осном растојању.

Поделу ланаца, према основним карактеристикама које испољавају у експлоатацији, можемо поделити у три основне групе:

- **Погонски,**
- **Теретни и**
- **Вучни.**

Погонски ланци су најраспрострањенији. Они преносе снагу и остварују кретање од извора енергије. Примењују се како при малим, тако и при већим брзинама (до 30-35 m/s). Један ланац може преносити снагу на више вратила истовремено, при различитим осним растојањима ланчаника. Степен корисног дејства ове групе ланаца достиже вредност 0,97-0,99. У групу погонских ланаца спадају:

- Ваљкасти,
- Чаурасти и
- Зупчасти ланци.

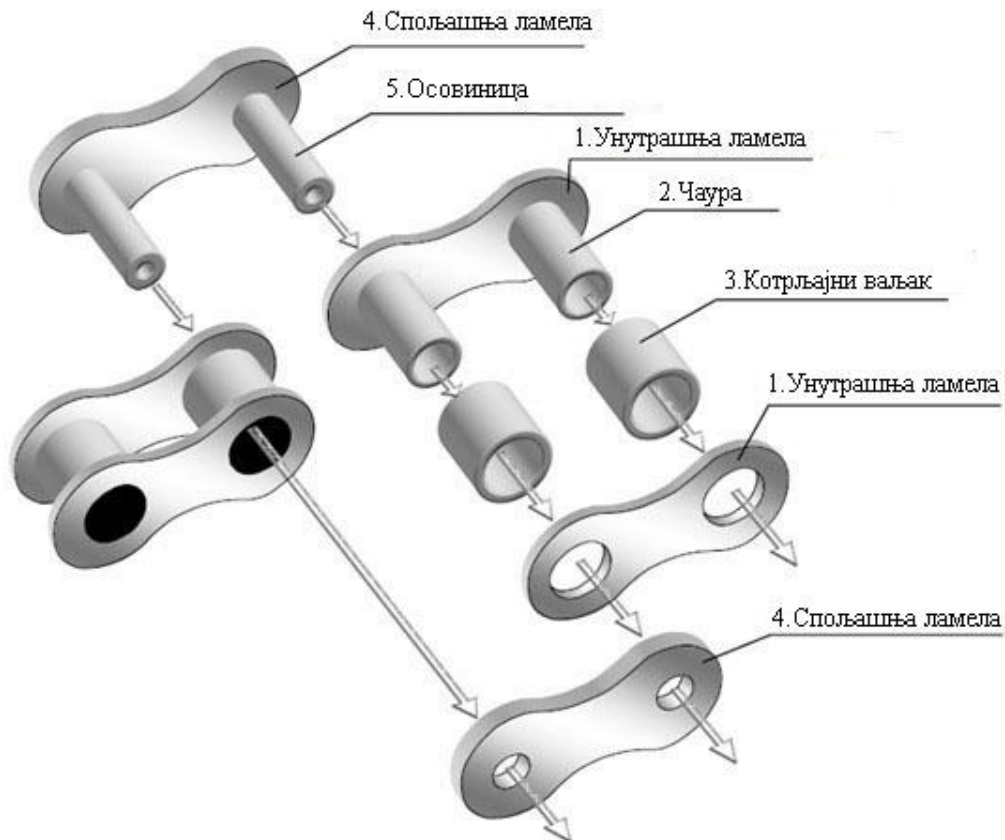
Теретни ланци служе за вешање, дизање и премештање терета код котурача, витла, дизалица, хидротехничких објеката и других механизма периодичне примене. Раде у условима малих брзина, 0,25-0,5 m/s. Веома им је ретка примена код ланчаних преносника и ланчаних уређаја непрекидног дејства.

Вучни ланци служе за транспорт и премештање терета код транспортних машина: конвејера, дизалица, ескалатора, елеватора и других ланчаних уређаја. Брзина кретања ове групе ланаца обично не прелази 2m/s.

Од целокупне производње ланаца, најраспрострањенија је група погонских ланаца и представља приближно 93% целокупне продукције[1].

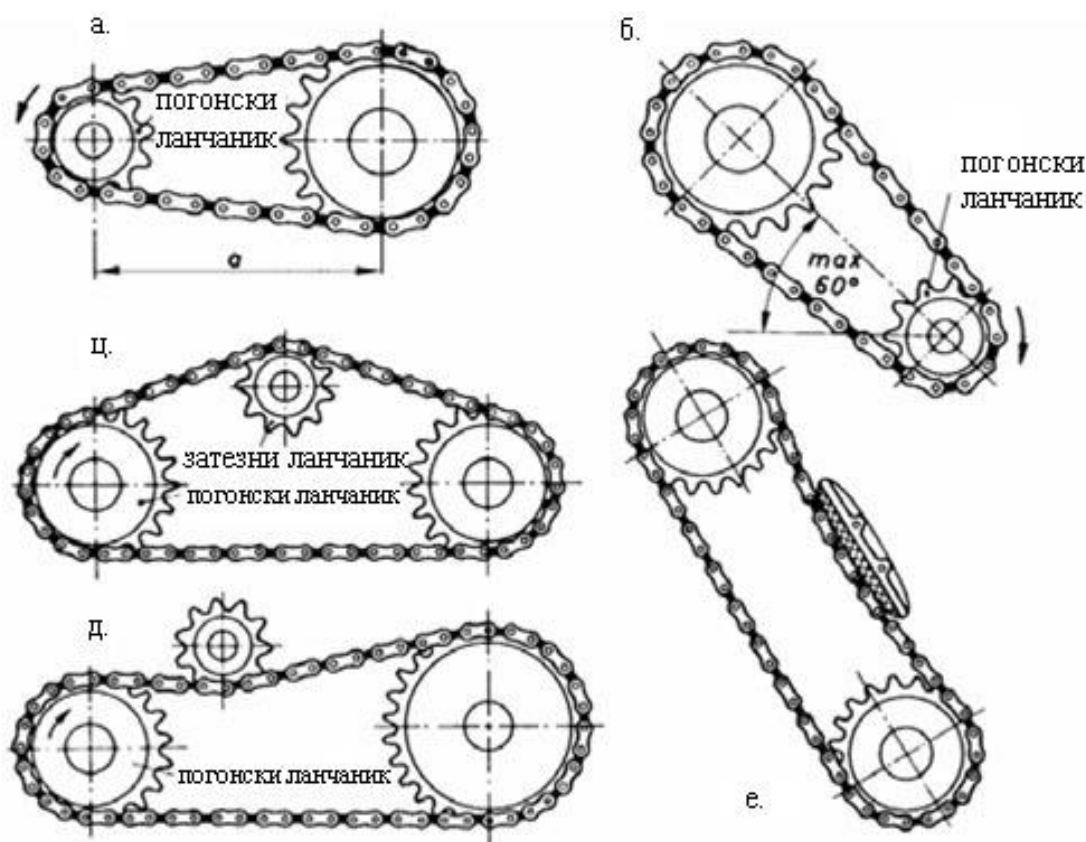
Ланци са ваљцима се највише користе у пракси. Основни саставни делови ланаца су: два или више паралелних редова плочица (ламела) одређеног облика, осовинице, чауре и ваљци. Могу бити једноредни, дворедни, троредни и вишередни. Такође се изводе са кратким и дугим чланцима, са савијеним ламелама, ламелама специјалног облика, итд.

Монтажа делова једноредног ваљкастог ланца може се описати на следећи начин. У отвор унутрашње ламеле (1) упресована је чаура (2) на коју је, у циљу смањења хабања ланчаника, слободно навучен котрљајни ваљак (3). У отвор спољашње ламеле (4) упресована је осовиница (5).



Слика 2-Основни делови ваљкастог ланца [2]

На слици 3 приказани су неки облици ланчаних парова. Могу имати хоризонтални и кос положај. Вертикални положај није погодан због лошег захвата ланца на доњем ланчанику. Захват ланца на зупце ланчаника вертикалних и других преносника може се побољшати затезним ланчаницима, слика 3ц и 3д, или посебним механизмом, слика 3е. Тиме се пригушују и попречне вибрације вучног огранка ланца. Захват ланца и ланчаника је бољи ако је вучни огранак са горње стране, у супротном је потребан затезни ланчаник. Ако су осе вратила вертикалне, ламеле ланца су изложене интензивном хабању те је овај положај веома непогодан за ланчане парове[4].



Слика 3-Облици извођења ланчаних парова [4]

С обзиром да су ланчани преносници изложени интензивном хабању, потребно је добро подмазивање и разрађивање преносника. При малим брзинама, за подмазивање се користи маст, док се при већим брзинама користи уље. Подмазивање уљем се изводи потапањем ланца у уље, брызгањем или капањем. Због тога је потребан и додатни систем за довођење и пречишћавање уља. Често је потребан и неки заштитник да би се спречило продирање прашине. Хабање елемената ланца доводи до повећања корака, односно истезања ланца (око 2%). Ова појава се отклања уградњом затезног ланчаника.

1.3 КОНСТРУКЦИОНО ИЗВОЂЕЊЕ ЛАНЧАНИКА

С обзиром да од свих погонских ланаца највећу примену имају ланци са ваљцима то ће највише о ланчаницима за овај тип ланаца бити речи. Венац ланчаника са зупцима изводи се тако да ланац скоро без трења улази и излази из захвата. При томе треба, узимајући у обзир и издужење ланца од око 2%, обезбедити сигуран и миран рад у току предвиђеног радног века[5].

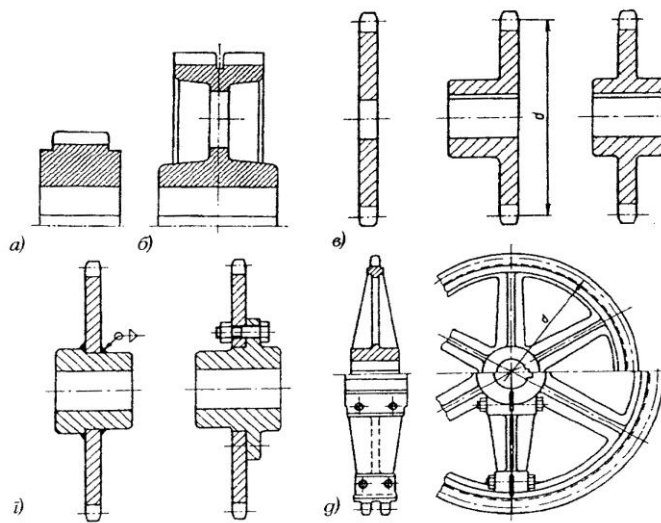
Димензије ланчаника су стандардизоване. За ланце са ваљцима према DIN 8187 димензије ланчаника дефинише DIN 8196.

Облик тела ланчаника зависи од броја зубаца и снаге која се преноси. Различити конструкциони облици ланчаника дати су на слици 4. Код мањих ланчаника венац и тело ланчаника изводе се изједна док код већих, венац и тело ланчаника могу бити посебно израђени, а да се спајање затим изврши заваривањем или завртњевима. Код већих ланчаника венац и тело ланчаника могу бити спојени паоцима.

Конструкционо извођење ланчаника за ланце са зупцима са спољашњим и унутрашњим вођењем приказани су на сликама 4а и 4б, а за ланце са ваљцима на сликама 4в, 4г и 4д.

За брзине ланаца испод 7 m/s ланчаници се израђују од Č 1530, Č 1730 и Č3130. За веће брзине и неповољније услове рада за израду ланчаника користе се и челици за цементацију Č 1220, Č 1221, Č 4120, Č 4320.

Ланчаници са више од 30 зубаца и код већих серија раде се од челичног лива, а код мањих оптерећења и од сивог лива SL 200, SL 250.



Слика 4-Конструкционо извођење ланчаника [5]

1.4 ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАЦИ ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА

Предности ланчаних преносника:

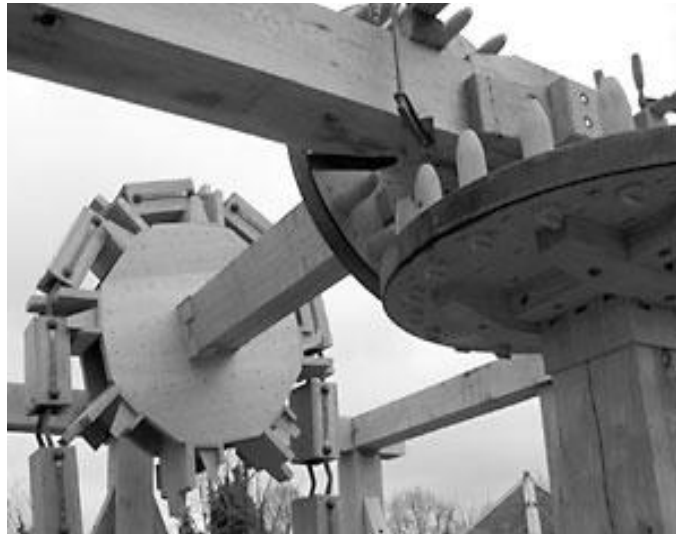
- Једноставна конструкција,
- Мали габарити у поређењу са каишним преносом,
- Висок степен корисног дејства ($\eta=0,97-0,99$),
- Константна вредност средњег преносног односа,
- Могућност истовременог преноса снаге од једног извора на неколико вратила једном ланчаном контуром,
- Мање оптерећење вратила и лежајева,
- Висока поузданост,
- Једноставна монтажа,
- Одсуство клизања и проклизавања,
- Релативно дуг век трајања,
- Мали трошкови одржавања (само подмазивање) и
- Неосетљивост према повишеним температурама и влази.

Недостаци ланчаног преноса:

- Скупљи су од каишних преносника због сложеније израде,
- Хабање ланаца и повећање корака,
- Ланци су у раду изложени осцилацијама (нарочито у погону са ударима),
- Неравномерност брзине обртања гоњеног ланчаника, као последица променљивог полупречника погонског ланчаника,
- Нееластични пренос обртног момента,
- Стварају буку у току рада,
- Осетљивост у фази разрађивања (уходавања) и
- Лом елемената ланца услед замора.

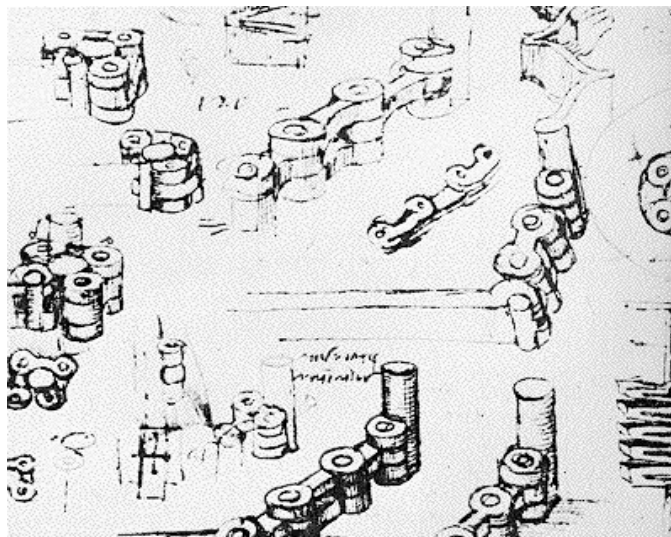
1.5 ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ

Први ланчани пренос су користили Римљани за подизање воде:



Слика 5-Ланчани пренос за подизање воде [6]

Прве идеје конструкционог решења ланаца налазе се у цртежима генијалног Леонарда да Винчија (*Leonardo Da Vinci*) из 15. века, слика 6.



Слика 6-Прве скице конструкционог решења ланаца [6]

Најстарији цртеж ланчаног преноса потиче од Полиа (*Romer Marcus Vitruvius Pollio*) из 16. века.

Ширу примену ланчани преносници су добили тек при откривању парне машине у 18. веку.

Француз Андре Гале (*Andre' Galle*) је 1929. године патентирао своју конструкцију ланца, која је данас позната као *галов ланац*, слика 7.



Слика 7-Галов ланац [7]

Од тада па до данас ланци су се мањали по својој конструкцији, материјалу, термичкој обради итд. и налазили своје место у машинској техници. Данас се користе у:

- Пољопривредним машинама,
- Грађевинским машинама,
- Дизалицама и транспортним машинама,
- Текстилним машинама,
- Опреми за бушење нафте,
- Саобраћајним средствима (бициклима, мотоциклима, моторима) итд.

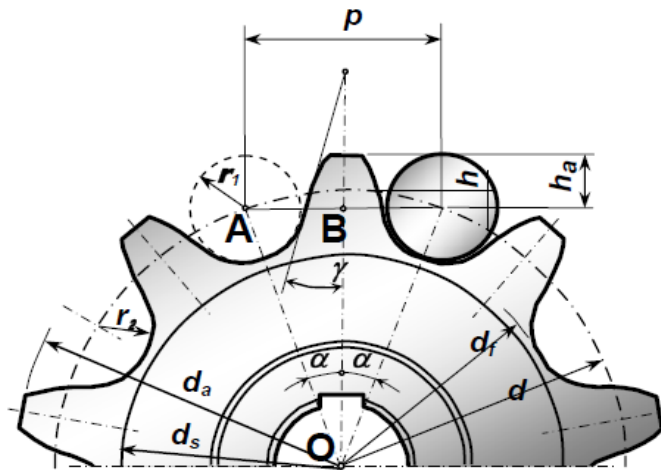
2. КИНЕМАТИКА ЛАНЧАНОГ ПРЕНОСА

2.1 ОСНОВНЕ ГЕОМЕТРИЈСКЕ И КИНЕМАТСКЕ ВЕЛИЧИНЕ ЛАНЧАНИКА

Ланчаници, слично зупчаницима, састоје се из главчине, венца и паока. На венцу се налазе зупци, облика прилагођеном врсти ланца.

Пречник подеоног круга (d) одређује се у зависности од броја зубаца (z) и корака (p). Из троугла ΔABO , слика 8, следи:

$$\sin \alpha = (p/2)/(d/2) = p/d \quad 2.0$$



Слика 8-Основне величине ланчаника [2]

Обзиром да је: $z \cdot \alpha = 180^\circ$, може се написати:

$$d = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z}} \quad 2.1$$

Пречник подножног круга (d_f) се израчунава:

$$d_f = d - 2 \cdot r_1 \quad 2.2$$

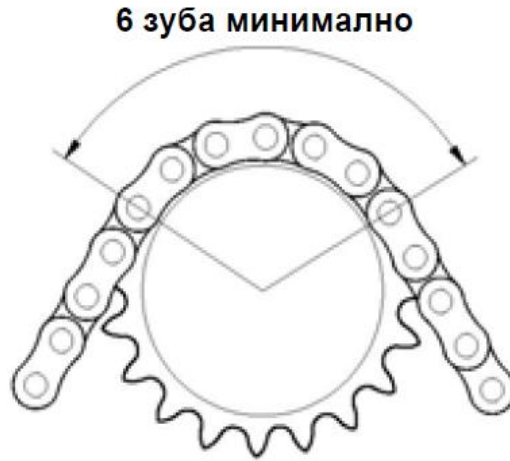
Пречник теменог круга (d_a):

$$d_a = p \cdot \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z} + 0,5 \quad 2.3$$

$$d_{a \max} = d + 1,25 \cdot p - 2 \cdot r_1 \quad 2.4$$

$$d_{a \min} = d + 1 - \frac{1,6}{z} - 2 \cdot r_1 \quad 2.5$$

Минимални број зубаца ланчаника у спрези са ланцем је **6**, док је минимални обвојни угао ланца око ланчаника **120°**, слика 9.



Слика 9-Спрезање ланца са ланчаником [2]

Преносни однос ланчаног пара је:

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{z_2}{z_1} \quad 2.6$$

Где су:

n_1 -број обртаја погонског ланчаника,

n_2 - број обртаја гоњеног ланчаника,

z_1 -број зубаца погонског ланчаника и

z_2 -број зубаца гоњеног ланчаника.

Потребан број чланака ланца износи:

$$z = \frac{z_1 + z_2}{2} + \frac{(z_2 - z_1) \cdot \gamma}{\pi} + \frac{2 \cdot a \cdot \cos \gamma}{p} \quad 2.7$$

Где је:

$$\sin \gamma = \frac{(d_2 - d_1)}{2 \cdot a} = \frac{(z_2 - z_1) \cdot p}{2 \cdot \pi \cdot a} \quad 2.8$$

Ако је познат број чланака, онда је осно растојање дато изразом:

$$a = \frac{p}{2 \cdot \cos \gamma} \cdot \left(z - \frac{z_1 + z_2}{2} - \frac{z_2 - z_1 \cdot \gamma}{\pi} \right) \quad 2.9$$

2.2 СПРЕЗАЊЕ ЛАНЦА СА ЛАНЧАНИКОМ

У току експлоатације ланчаног преноса, ланци својим зглобовима улазе у спрегу са зупцима ланчаника. Непосредни додир се остварује преко бокова или удубљења зубаца. Врста спрезања се карактерише узајамним положајем зглобова зубаца[1].

Сила која се јавља при преносу снаге, код погонског ланчаника делује у правцу кретања ланца. Код гоњеног ланчаника, сила која делује на ланац има супротан смер. Ако у конструкцији преносника постоји ланчаник за затезање или одржавање правца и ако се занемари отпор трења у ослонцима, ланац не прима додатну силу од ових елемената.

Узајамни положај зглобова и зубаца при спрезању зависи од односа корака ланца и ланчаника. Сагласно томе, могуће је разликовати два потпуно различита спрезања[1]:

- **нормално**, при коме је корак ланца већи од корака ланчаника и
- **специјално**, при коме је корак ланца мањи од корака ланчаника .

Теоретска и експериментална испитивања експлоатације ланчаних преносника, потврдила су суштинску предност нормалног начина спрезања. При нормалном начину спрезања, део ланца улази у контакт са горњим деловима зубаца и удаљава се од ланчаника. Тако је зглобовима ланчаника обезбеђен слободан улаз и излаз из спреге, а у преносу снаге учествују сви зупци погонског и гоњеног ланчаника.

Захваљујући несумњивој предности спреге у којој је корак ланца већи од корака ланчаника, стандарди и технички услови многих земаља захтевају од нових ланаца позитивно одступање средњег корака од номиналног, на величину која не прелази 0,3%. За ланчанике се препоручује само негативно одступање у кораку.

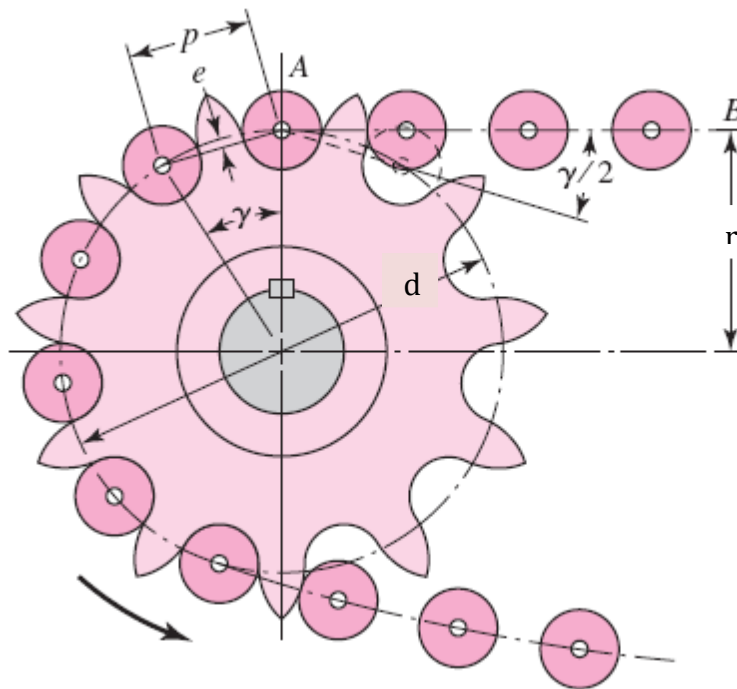
Нормално спрезање у процесу експлоатације не мења се и њега је могуће успешно применити не само код погонских, већ и код гоњених ланчаника. Специјално спрезање се може користити само на погонским ланчаницима.

Поред специфичности у расподели силе, врста спрезања утиче и на равномерност и хабање ланчаног преноса.

При довољно тачном конструкционом облику зубаца ланчаника, зглобови ланаца, под оптерећењем, наилазе на погонски ланчаник, слободно се размештају на активне делове зубаца, продужавају спрезање у току неког времена, а понекад и скоро до самог изласка из спреге. При нормалном спрезању и правилном облику зубаца, са увећањем корака, ланци се аутоматски прилагођавају новим димензијама ланчаника. При оваквој врсти спрезања, у додиру је више зубаца и зглобова, а у преносу снаге, истовремено учествује неколико зубаца ланчаника.

2.3 ПОЛИГОН ЕФЕКАТ

Једна од основних мана ланчаног преноса је неравномерност обимне брзине гоњеног ланчаника.



Слика 10-Тренутни положај ланца у односу на ланчаник [3]

Промена брзине је последица промене спрегнутог полупречника погонског ланчаника.

Ротацијом ланчаника спрегнути полупречник r се мења, од r_{max} до r_{min} , слика 10, при чему је:

$$r_{max} = \frac{d}{2} \quad 2.10$$

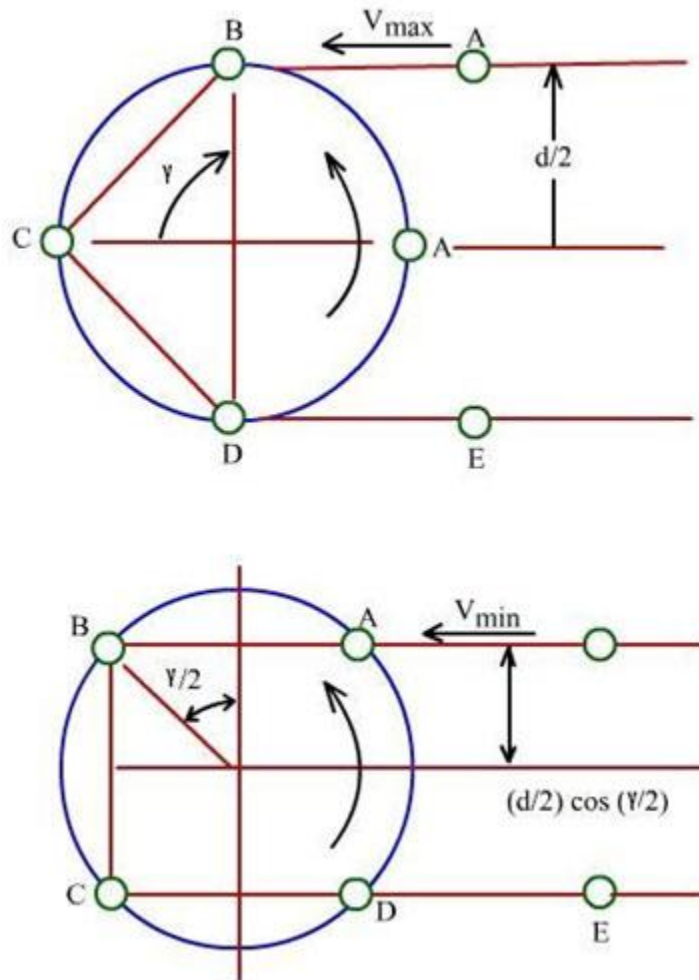
$$r_{min} = \frac{d}{2} \cdot \frac{\cos \gamma}{2} \quad 2.11$$

Како је,

$$V = r \cdot \omega \quad 2.12$$

брзина ланца се периодично смањује и повећава.

С обзиром да ланац обавија ланчанике и да се савија само у зглобовима, при чему ваљци (или зупци) ланца упадају у међузубље ланчаника, то се добија слика полигона, упрошћено приказана на слици 11.



Слика 11-Илустрација полигона при спрезању ланца и ланчаника [8]

Изрази за брзине према слици 11 су:

$$V_{max} = \frac{d}{2} \cdot \omega \quad 2.13$$

$$V_{max} = r \cdot \omega \quad 2.14$$

$$V_{max} = \frac{p}{2 \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})} \cdot \omega \quad 2.15$$

$$V_{min} = \omega \cdot r_{min} \quad 2.16$$

$$V_{min} = \omega \cdot r \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \quad 2.17$$

$$V_{min} = \omega \cdot \frac{p}{2 \cdot \sin \frac{\gamma}{2}} \cdot \cos \frac{\gamma}{2} \quad 2.18$$

$$V_{min} = \omega \cdot \frac{p}{2 \cdot \operatorname{tg} \frac{\gamma}{2}} \quad 2.19$$

Промена обимне брзине је:

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} \quad 2.20$$

$$\Delta V = \omega \cdot \frac{p}{2 \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})} - \omega \cdot \frac{p}{2 \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})} \cdot \cos(\frac{\gamma}{2}) \quad 2.21$$

$$\Delta V = \omega \cdot \frac{p}{2 \cdot \sin(\frac{\gamma}{2})} \cdot 1 - \cos \frac{\gamma}{2} \quad 2.22$$

$$\Delta V = V_{max} \cdot \{1 - \cos(\frac{\gamma}{2})\} \quad 2.23$$

Промена брзине зависи од броја зубаца ланчаника. Већа је при мањем броју зубаца, али је учестаност промене мања и обрнуто.

За број зубаца мањи од 15 промена брзине нагло расте. Зато се при великим брзинама ланца, усваја и велики број зубаца ланчаника.

Промена брзине доводи до убрзања и успорења покретних маса. При познатој угаоној брзини ω [s^{-1}], и кораку ланца p , максимално убрзање је:

$$a_{max} = p \cdot \frac{\omega^2}{2} \quad 2.24$$

Уздужне и попречне вибрације ланца последица су, такође, промена брзине ланца. Присутне су и торзионе вибрације ланчаника. Неравномерност брзине доводи и до појаве знатних унутрашњих динамичких сила које се у прорачуну узимају у обзир преко фактора унутрашњих динамичких сила K_v [9].

3. ТРИБОЛОШКИ ПРОЦЕСИ КОД ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА

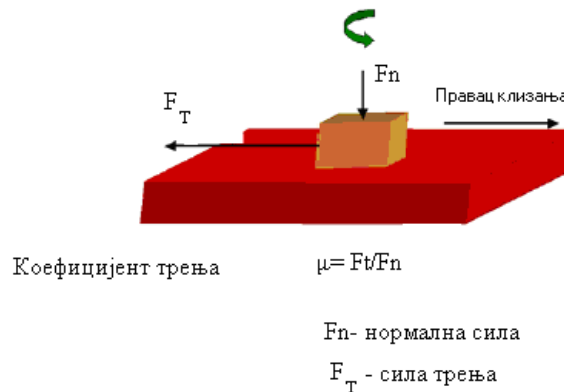
3.1 ОСНОВНИ ПОЈМОВИ ИЗ ТРИБОЛОГИЈЕ

Све машине, склопови и механизми састоје се, по правилу, од свега неколико покретних машинских елемената: лежачева (клизних и котрљајних), зупчаника, вођица, ланчаних преносника и челичних ужади[10].

У свим тим елементима основна појава је релативно кретање различитих површина у директном или индиректном контакту, слика 12.

Такво кретање може бити:

- Клизање једне површине по другој,
- Котрљање једног елемента (точак, кугла, ваљак) по равној површи,
- Комбиновано кретање.



Слика 12-Кретање тела једно у односу на друго [10]

На месту контакта јављају се сложене механичке, термичке, али и хемијске појаве.

Два основна процеса која се јављају при релативном кретању машинских елемената су трење на додирним површинама и хабање материјала са површина које су у међусобном контакту.

Трење, неодвојиво својство површине парова материјала у контакту је непожељно у огромној већини елемената и машинских склопова, и других машинских уређаја (сем код кочница и механичких спојница где је користан процес). Појава силе трења при клизању и котрљању површина у контакту не доводи само до некорисног утрошка енергије (претварање изгубљене механичке енергије у топлоту), већ услед хабања и разарања површина, до могућих тешких оштећења елемената и склопова и, коначно, до отказивања рада машине и постројења.

Сложени механизми и процеси у појављивању трења и њихове последице при различитим условима, а посебно процеси хабања површина и могућност њиховог смањивања, предмет су истраживања науке под називом ТРИБОЛОГИЈА.

Интернационални назив трибологија изведен је од речи $\tau\rho\iota\beta\omicron\varsigma$ - трење и $\lambda\omicron\chi\omicron\varsigma$ - наука. Док је у појединим земљама позната под називом трење, хабање и подмазивање.

Иако новија наука, трибологија изучава појаве познате веома дуго и као таква не представља никакву новину. Суштина је у новом прилазу проблемима трења и хабања материјала и улози мазива и подмазивања.

Хабање и оштећења површина материјала машинских елемената у посредном или непосредном контакту и међусобном релативном кретању свде на врло ниске вредности. То осигурава, у највећем броју случајева, врло споре промене геометријског облика површина или толеранција и димензија машинских елемената и мале промене металуршких и механичких својстава материјала. Све то повлачи са собом дуг век трајања елемената (поготово машинских), промену њихових перформанси у дозвољеним границама, а тиме и повећану сигурност у изненадном отказивању њихове функционалности.

Поред одређеног умереног хабања материјала површина, коју данас сматрамо нормалном појавом у знатном броју случајева, у пракси наилазимо и на појачана и абнормално висока хабања површина која, у релативно кратком временском периоду, доводе до отказивања и лома машинског елемента, а тиме и до отказивања рада машина па и целог погона.

Хабање се, у најширем смислу, дефинише као непожељно одстрањење материјала са површине без обзира на узрок. Одређено хабање материјала површина у контакту и међусобном релативном кретању у одређеној средини морамо сматрати нормалном појавом.

Трење представља отпор релативном кретању површина у додиру и захтева утрошак одређене количине енергије за његово савлађивање. У већини случајева, у многобројним и различитим покретним елементима машина, уређаја и постројења, трење је непожељна и штетна појава. На савлађивање силе трења, као отпора кретању било које врсте, троши се знатна количина механичке енергије. Као последица трења на површинама у контакту долази до хабања и загревања површина материјала, па чак резултира и губитку радне способности. Утрошена механичка енергија прелази у непожељну и изгубљену топлотну енергију.

3.2 НАЈЧЕШЋЕ ВРСТЕ ХАБАЊА МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА

У зони фрикционог контакта механичких преносника и узајамног деловања елемената система настају сложени нестационарни механички и физичко-хемијски процеси, као и процеси трења и хабања.

Процеси трења у механичким преносницима дефинисани су структуром и општом функцијом система.

Дефинисање тренутних вредности коефицијената трења у свакој тачки контакта у току периода спрезања је веома тешко[11].

Основни параметри који утичу на коефицијент трења, као брзина клизања, мењају величину и правац у периоду спрезања, а други параметри утицаја (оптерећење, одступање геометрије) додатно отежавају општу математичку анализу. Због тога је довољно да се при конципирању конструкције и током целог процеса конструисања користе средње вредности коефицијената трења којих има у многим систематизованим информацијама.

Трење клизања, које може бити велико, условљава низак степен корисног дејства који код мултипликатора може бити испод 0,5.

Разлике у геометријским облицима трибоелемената, сложена и различита кинематска кретања, присуство мазива и многи други фактори условљавају и различите механизме настајања трења. Свака врста преносника има своје специфичности функционисања, али и своје карактеристике процеса трења.

Хабање као прогресивни процес губитка материјала са контактних слојева и природни процес који се не може потпуно елиминисати, веран је пратилац сваког трибо-механичког система (ТМС) за пренос снаге у експлоатацији. Утицај великог броја фактора и њихова комплексна повезаност учинили су да се на контактним површинама ТМС-а јављају различите врсте хабања.

Различите по механизму настајања, интензитету развоја и коначно по општој опасности на век трајања реализоване конструкције. Хабање се не може потпуно елиминисати, али се може минимизирати до границе могућег.

У табели 1 дате су карактеристичне врсте хабања механичких преносника које се најчешће срећу у експлоатацији.

Табела 1 - Врсте хабања механичких преносника[11].

ВРСТЕ ХАБАЊА	МЕХАНИЧКИ ПРЕНОСНИЦИ	УЗРОК	ОПШТЕ ПРЕПОРУКЕ ЗА ОТКЛАЊАЊЕ И УСПОРАВАЊЕ ДАЉЕГ
Заморно хабање (ПИТИНГ)	✓ Зупчасти преносници ✓ Зупчасти каишини преносници ✓ Планетарни преносници ✓ Кардански преносници ✓ Фрикциони преносници (подмазивани) ✓ Каишини преносници (каиш) ✓ Ремени преносници (ремен)	✘ Циклична напрезања у току дужег периода рада ✘ Преоптерећење и концентрација напона напрезања ✘ Укључци у материјалу ✘ Неподесно подмазивање ✘ Неподесна технологија завршне обраде (технолошко наслеђе) ✘ Нарушени режим хемијско-термичких обрада	• Редукција контактних напона и учесталости цикличних напрезања • Смањење оптерећења • Коришћење материјала веће отпорности на заморно хабање • Коришћење мазива веће вискозности и мазива са ЕП адитивима • Коришћење оптималних режима технологија обраде • Коришћење оптималних режима хемијско-термичких обрада
Абразивно хабање	✓ Сви механички преносници	✘ Абразивно-агресивна средина ✘ Преоптерећење ✘ Недовољна тврдоћа контактних површина	• Отклањање извора загађења • Побољшање заптивања (уградња заштитника) • Смањење оптерећења • Повећање тврдоће контактних површина • Повећање дебљине мазивог слоја
Корозионо хабање	✓ Зупчасти пр. ✓ Ланчани пр. ✓ Зупчасти каиш-ни пр. (каишник) ✓ Планетарни пр. ✓ Кардански пр. ✓ Фрикциони пр. ✓ Каишини пр. (каишник) ✓ Ремени пренос. (ременица)	✘ Агресивна средина ✘ Влага ✘ Неподесно подмазивање	• Побољшање заптивања • Коришћење мазива са корозионим инхибиторима • Коришћење материјала отпорних на корозију

Табела 1 (наставак) - Врсте хабања механичких преносника[11].

Фретинг - корозија	✓ Ланчани преносници (ланац) ✓ Кардански преносници (телескоп)	✧ Вибрације ✧ Недовољна чврстоћа склопа ✧ Агресивна средина	. Елиминисање или апсорбовање вибрација . Коришћење пригушних материјала . Повећање чврстоће склопа . Заштита контактних површина од корозионо-заморних процеса . Побољшање заптивања . Коришћење мазива са корозионим инхибиторима
Скоринг	✓ Зупчasti prenosnici ✓ Planetarni prenosnici ✓ Kardanski prenosnici ✓ Frikcioni prenosnici (podmazivani)	✧ Преоптерећење ✧ Гранично подмазивање ✧ Неподесно подмазивање ✧ Недовољно подмазивање ✧ Изостанак периода уходавања	. Редукција оптерећења, брзине и температуре . Коришћење компатибилних материјала . Повећање количине мазива . Хлађење мазива . Коришћење мазива веће вискозности . Коришћење адитива за високе притиске . Примена триболошких превлака

3.3 КАРАКТЕРИСТИКЕ ТРИБОЛОШКИХ ПРОЦЕСА КОД ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА

Анализом примене ланчаног преноса у конструкцијама, као и годишњом производњом ланаца код нас и у свету, може се закључити да су у употреби најчешће погонски ланци: ваљкасти и чаурасти (скоро 90% укупне продукције). На основу тог податка разматрају се углавном триболошки проблеми везани за ове две врсте ланаца[12].

Испитивања триболошких карактеристика ланаца, а посебно зглоба као виталног склопа (осовине, чауре и ваљка), показују да се ланац повлачи из експлоатације најчешће услед прекомерног повећања средњег корака ланца $\Delta p = 3\%$ при нормалном веку трајања од 15000 часова.

Повећање корака наступа углавном као резултат хабања елемената зглоба, али може настати и као резултат слабљења или нарушавања чврстоће склопа осовине и чауре са спољашњом и унутрашњом ламелом.

Хабање елемената зглоба највећим делом настаје при наилажењу и силажењу ланца са ланчаника. На интензитет хабања велики утицај имају осциловања ланаца, а нарочито попречне осцилације, као и уздужни и попречни удари при наилажењу чланка на зубац ланчаника.

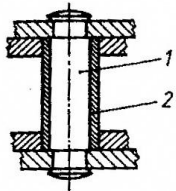
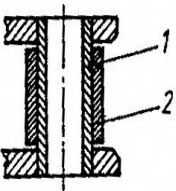
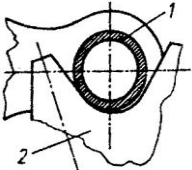
И поред великог броја радова посвећених хабању ланаца, особине хабања елемената зглоба при његовом пролажењу по контури су недовољно проучене. Обично се претпоставља да је пут трења-стална величина за осовиницу и чауру и да је одређен углом узајамног обртања елемената зглоба. При томе се изоставља да се сила притиска зуба ланчаника мења по величини и правцу, а да је пут трења дефинисан особинама релативног померања осовинице и чауре, и условима контакта зглоба и зупца ланчаника.

Анализа великог броја похабаних ланаца у експлоатацији и лабораторијским условима показује да се на елементима трибо-механичких система ланчаног преноса могу јавити различити облици хабања и повреда. Утицај великог броја међусобно повезаних фактора, при чему измена само једног фактора може повући за собом и измену утицаја другог или чак неколико других фактора, условљава да се на контактним површинама елемената ланца најчешће јављају више облика хабања истовремено.

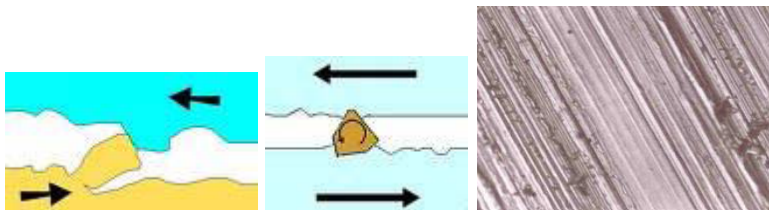
Треба напоменути да је један од облика хабања увек најизразитији и да он у многоме предодређује развој хабања и коначно век трајања ланца.

У табели 2 дат је преглед трибо-механичких система ланчаних преноса и облици хабања који се на њима најчешће јављају.

Табела 2 - Преглед трибо-механичких система ланчаних преноса и облици хабања [12].

Бр.	ТРИБО-МЕХАНИЧКИ СИСТЕМ		ЕЛЕМЕНТ СИСТЕМА	ВРСТА КРЕТАЊА	ВРСТА ХАБАЊА	НАЈЧЕШЋА ВРСТА ХАБАЊА
	Слика	Назив				
1		Осовиница(1)- Чаура(2)	Осовиница	-Удар -Клизање	-Абразија -Скоринг -Пластично течење -Фретинг -Корозија -Спалинг -Замор	✓ ✓ ✓ ✓ ✓
			Чаура		-Абразија -Скоринг -Корозија -Фретинг -Замор	✓ ✓ ✓ ✓
2		Чаура(1)- Ваљак(2)	Ваљак	-Удар -Клизање	-Абразија -Замор -Корозија -Пластично течење	✓ ✓
3		Ваљак(1)- Зубац ланчаника(2)	Зубац ланчаника	-Удар -Клизање -Котрљање	-Замор -Абразија -Корозија	✓ ✓

Најчешће идентификовани облик хабања осовинице и чауре је абразивно хабање (*abrasive wear*). Типично је за отворене преноснике, мада се јавља и код затворених преносника који раде у атмосфери пуној прашине (пољопривредне, рударске, грађевинске машине). Карактерише се зарезивањем, а делимично и резањем активних површина, тврдим честицама-абразивима, слика 13.

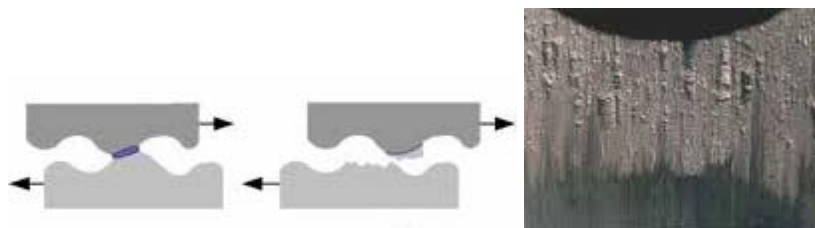


Слика 13-Процес абразивног хабања и последице на контактної површини [13]

Затворена конфигурација система осовинице-чаура отежава одвођење продуката хабања и честица доспелих из загађене околине, што условљава веома интензивно хабање. Продукти хабања ће остати претежно метални, или ће, што је чешће услед отежаног подмазивања оксидисати након ослобођења. Пошто је тврдоћа оксида (Fe_3O_4) већа од тврдоће похабане осовинице, оксиди на контактної површини остављају зарезе и жљебове.

Интересантно је приметити да присуство честица у зглобу и у ма ком облику смањује трење. Веће и чвршће честице понашају се као котрљајни елементи, а присуство оксидних честица обезбеђује малу отпорност на смицање и смањује адхезивна међусобна деловања. Адхезионо хабање (*adhesive wear*) ће бити смањено, али је процес абразивног, чисто механичког хабања веома јако изражен.

Адхезионо хабање је хабање које настаје због раскида фрикционих веза у зони контакта чврстих тела и преноса материјала са једне на другу површину и околину, слика 14[13].



Слика 14-Процес адхезионог хабања и последице на контактної површини [13]

Присуство меких, неметалних честица у зглобу има и позитиван ефекат. У току дуготрајног контакта, честице се мељу, постају веома ситне и имају улогу неке врсте мазива, спречавајући контакт метала по металу.

Геометрија зглоба, релативна кретања елемената са мањим осцилаторним померањима у систему осовиница-чауре и присуство вибрација, условљава честе појаве фретинг хабања (*Fretting wear*) контактних површина осовинице и чауре.

Фретинг хабање је процес који се јавља у зони контакта два тела која се осцилаторно крећу са малим амплитудама, слика 15.



Слика 15-Фретинг [14]

Присуство оксидационе спољне средине која хемијским реакцијама изазива оксидисање контактних површина и њихово даље разарање, условљава појаву фретинг-корозије. Фретинг процеси су праћени адхезионим деловањем, оксидацијом, корозијом и заморним разарањем контактних површина.

Фретинг корозија (*Fretting corrosion*) је хабање код кога корозија има основни утицај на развој процеса. У зони контакта формирају се јамице испуњене оксидом који после одвајања делује као абразивна честица, слика 16.



Слика 16-Фретинг корозија [13]

Контактна површина обухваћена фретинг корозијом обично је покривена превлаком црвеног оксида (Fe_2O_3), која најпре избија из зглоба и коју је лако уочити и на спољним ламелама чланка. Контактна површина осовинице и чауре је обухваћена површинским микропукотинама и јамицама, испуњеним продуктима хабања.

Затворена контура зглоба, тешко продирање мазива и гранично подмазивање контактних површина, уз присуство веома високих оптерећења су извршни предуслови за честу појаву атхезионог хабања на контактним површинама осовинице и чауре. Насупрот очекивању, скоринг (*scoring*) и други видови атхезионог хабања су мање изражени но што би се очекивало.

Скоринг (*задирање*) је тежак облик хабања на контактним површинама елемената трибосистема који се манифестује појавом формирања канала и огреботина (рисева и зареза) у правцу клизања, слика 17.



Слика 17-Скоринг [13]

Теже одвођење продуката хабања и присуство оксидационих честица у зглобу смањује атхезивна међусобна деловања и условљава појаву мање израженог скоринга (*scoring-a*), скафинга (*scuffing-a*), галинга (*galling-a*) и других атхезионих хабања.

Скафинг је изједање, хабање контактних површина уз појаву рисева, пластичних деформација и преноса материјала, слика 18.



Слика 18-Скафинг [15]

Галинг је оштећење контактних површина које се јавља при високим контактним притисцима. Врста хабања контактних површина које карактерише појава чупања или кидања материјала на макро нивоу, слика 19.



Слика 19-Галинг [14]

Код ланчаних преносника честе су и следеће врсте хабања:

Пластично течење (*Plastic deformation*) је трајна промена облика и димензија чврстог тела без промене његове масе. У зони контакта пластична деформација дела контактних слојева је увек присутна, слика 20.



Слика 20.-Пластично течење [13]

Корозија (*Corrosion*) је разарање металних површина под хемијским или електрохемијским дејством околине, слика 21.



Слика 21-Корозија [14]

Замор материјала (*Material fatigue*) је појава разарања материјала у површинским контактним слојевима елемената трибосистема под дејством динамичког оптерећења које не прелази границу чврстоће.

3.4 ФАКТОРИ ХАБАЊА ЛАНЦА

Механизам спрезања ланчаног преноса, као и конфигурација трибо-механичких система, условљавају да на хабање ланаца утиче велики број фактора. Њихов утицај је веома сложен, па је то један од главних разлога што је и данас у техничкој литератури недовољно информација из ове области.

Фактори утицаја могу се поделити на:

- Факторе ланца,
- Факторе ланчаника,
- Факторе узајамног деловања и
- Факторе експлоатационих услова.

У даљем тексту биће речи о факторима чији је утицај на хабање ланаца доста изражен. Из великог броја фактора извучени су они чији је утицај унеколико већи и чије деловање условљава интензивније хабање ланаца.

Погонски ланци се најчешће израђују од челика за цементацију или челика за побољшање. Да би им се повећала отпорност на хабање, елементи ланца се термички обрађују. Испитивања су показала да при абразивно загађеном подмазивању, при притисцима у зглобу ланца 45-52 [daN/cm²], термообrada смањује хабање више од 2 пута. При већим притисцима, 155-565 [daN/cm²], термичком обрадом се при истим условима може смањити хабање и до 10 пута. При абразивном загађењу неподмазиваних ланаца, термичка обрада (цементација, HRC 58-62), повећава отпорност на хабање приближно 4 пута[16].

Повећање отпорности на хабање ланаца се најчешће постиже повећањем тврдоће контактних површина, а што се постиже следећим облицима термичке и хемијско-термичке обраде:

- Каљењем,
- Цементацијом,
- Азотирањем,
- Хромовањем и др.

Хромовањем се може добити тврдоћа и до HRC 70-72. Даље повећање тврдоће је неоправдано пошто материјал постаје крт, а и обрада контактних површина отежана.

Испитивања вршена у VNIPTMAŠ-у показују да при присуству абразива у зглобовима подмазиваних ланаца, каљење чаура и од челика за побољшавање повећава њихову отпорност на хабање више од 80%[12]. Цементацијом се повећава отпорност 3-3,5 пута, а нитроцементацијом 4-10 пута при оптерећењу зглоба 150-560 [daN/cm²].

Значајно је напоменути да најмање хабање елемената ланаца налазимо у случајевима када контактне површине имају подједнаку и највећу тврдоћу. Такође и да структура материјала значајно утиче на хабање као и остале физичко-механичке карактеристике материјала.

Испитивања су показала да на хабање ланаца имају утицај и грешке при изради и монтажи. При томе треба тежити ка оптимуму између повећања трошкова израде и монтаже са једне стране и дужег времена експлоатације, са друге стране.

Бацање ланаца и грешка корака утичу на равномерност кретања, па тако и на осциловање преносника. Допунска динамичка оптерећења која се том приликом јављају утичу на повећање хабања ланаца. Са повећањем ексцентрицитета, прогресивно расте и хабање.

Уколико ланчаници не леже тачно у истој равни, то по правилу не изазива знатна повећања динамичких оптерећења. Повећање хабања се у првом реду јавља услед насталих погоршаних услова контакта у зглобу. Истовремено, повећава се интензитет хабања зупца ланчаника.

Испитивања су показала да хабање нагло расте са повећањем грешке корака[16]. Са повећањем грешке корака расте интензитет хабања. Наведени резултати показују да је утицај грешке у кораку до 0,3% занемарљив и да је оправдано коришћење нормалног спрезања у коме је корак ланца већи од корака ланчаника. Добре особине оваквог начина спрезања омогућиле су да стандарди и технички услови многих земаља захтевају од нових ланаца позитивно одступање средњег корака од нормалног, на величину која не прелази 0,3%. За ланчанике се препоручује само негативно одступање у кораку.

Грешке у основном растојању (до 6% у односу на номинално растојање) не утичу суштински на повећање издужења ланца, уколико се ланац правилно подмазује.

Беспрекорна монтажа зглоба ланца је један од услова дуготрајног, поузданог, рада ланаца. У случају неквалитетне монтаже могуће је:

- Несиметрично упресовање чауре у унутрашњу ламелу и померање чауре ка једној од ламела,

- Ексцентрични положај чауре према осовиници, што отежава довођење мазива и стварање уљног филма,
- Непаралелност спољашњих и унутрашњих ламела, због нецилиндричности осовинице.

Као резултат некавалитетне монтаже јавља се недовољна чврстоћа склопова између осовинице, чауре и ламела. Недовољна чврстоћа склопова брзо доводи до њиховог разарања и деформације отвора који губе своју праву форму. Као резултат оваквог стања, осовиница и чаура добијају могућност обртања у отворима ламеле, што неизбежно доводи до повећања хабања ланца. Испитивања су показала да је хабање оваквих ланаца 2-3,5 пута веће од нормалног хабања. Век трајања некавалитетно монтираних ланаца је знатно краћи, уколико у ланцу не наступе и превремени ломови појединих елемената.

Испитивања ланчаних преносника су показала да интензивно хабање и разарање елемената ланца може наступити и при погрешној монтажи ослонца вратила[12]. Непаралелност вратила које се том приликом најчешће јавља изазива искошење ланца, услед чега долази до допунског хабања ламела, посебно унутрашњих, и оптерећења ламела и осовиница силама савијања. Услед искошења долази до концентрације специфичног притиска и интензивног хабања чаура и осовиница. Хабање ламела доводи до слабљења њиховог пресека, што условљава превремено разарање ланца.

Интензивно хабање ланаца могуће је знатно успорити и променом технологије израде његових елемената[17]. При класичном штанцовању ламела на кривајним пресема, контактна површина отвора ламела се јавља на 15-30% њене дебљине. Пробојац гура испред себе метал што онемогућава довољно квалитетно формирање контактних површина. Истовремено на пробојцу се образују насlage метала које се прекидају тек у случају појаве високих напрезања. На цилиндричној површини отвора ламела образују се микропукотине, нарочито у последњој зони кретања пробојца[12].

У случају израде ламела штанцовањем са прецизним исецањем отвора, добијена цилиндрична површина је глатка и обухвата 80-90% дебљине ламеле. Коришћењем оваквих технологија израде, носивост ланаца се повећава за 48%, а сила истискивања осовинице и чауре за 200% у поређењу са класичним штанцовањем[12].

Чауре ваљкастих ланаца при класичној изради савијањем из челичне траке, носе на себи и грешку облика која није мања од 50-90 μm . Савремена технологија по којој се чауре после савијања подвргавају калибрисању на истој аутоматској линији смањује грешку на 20-50 μm [12].

Применом нове технологије исецања отвора ламела и калибрисањем чаура после савијања смањује се хабање и продужава век ланаца. Хабање ланца 2 пута је мање, а век трајања ланца дужи за скоро 25%. Такође, применом нове технологије, период уходавања се скраћује скоро 2 пута. Истовремено је и одржавање једноставније, пошто је број затезања ланца у експлоатацији мањи[12].

При пројектовању ланчаног преноса, често се не предвиђају уређаји за затезање ланаца. Непостојање уређаја за затезање омогућава неправилно спрезање ланца и ланчаника, проузроковано повећањем корака ланца. Ланац се размешта изнад подеоног пречника ланчаника, а са издужењем ланца настаје прескакање чланака ланца, тј. он улази у наредно међузубље ланчаника. У тренутку кад се ланац размести на главу ланчаника, долази до његовог интензивног истезања које најчешће доводи до кидања. Овакав начин размештања ланца узрокује повреду ваљака, а преко њега и повреду унутрашњег чланка. Неблаговремена замена унутрашњег чланка изазива повреду и разарање чаура, ламела и осовиница суседних чланака, а као резултат насталих повреда настаје и превремено кидање ланца, пре него што истезање достигне допуштену границу од 3%[12].

Анализа механизма преношења оптерећења и узајамних деловања елемената трибомеханичког система зглоба ланца, показују да се у зглобу јављају повратно-обртна кретања, уз присуство веома високих притисака и релативно малих брзина кретања. Затворена конструкција чак и при обилном подмазивању условљава полусуво трење, тј. трење са непотпуним подмазивањем и непосредним контактом спрегнутих површина. При томе, оптерећење које се преноси представља један од основних фактора који утичу на хабање зглоба. Притисак у зглобу који се јавља, утиче на величину стварне површине контакта, механизам хабања и коначно, интензитет хабања[12].

Сложеност проблема изучавања законитости хабања, велики број фактора који утичу на хабање елемената зглоба, као и дуготрајност експерименталних испитивања, могу донекле објаснити разлику у мишљењима појединих истраживача о утицају специфичног притиска на хабање ланаца.

Зависност између хабања ланаца (издужење средњег корака) и специфичног притиска се по Stolbin-у може представити као[12]:

$$I = a \cdot p^x \quad 3.0$$

где су:

I -хабање ланца,

a -коефицијент пропорционалности,

p - специфични притисак у зглобу.

Константа x је приближно 1,3-1,5. Постојање линеарне зависности између притиска и хабања присутно је само при абразивном хабању.

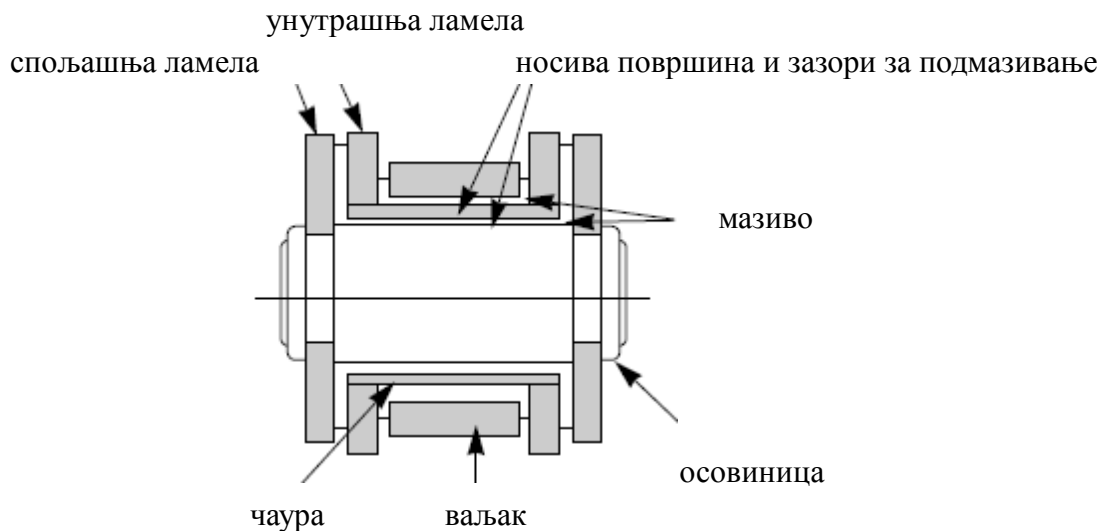
3.5 ПОДМАЗИВАЊЕ ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА

Испитивања су показала да утицај оптерећења на хабање ваљкастих и чаурастих погонских ланаца, показују да при довољном и оскудном подмазивању, у случајевима присуства и одсуствовања абразивног загађења, постоји линијска или блиска линијска зависност између издужења средњег корака и притиска у зглобу. У већини случајева издужење средњег корака ланца је управо пропорционално специфичном притиску у зглобу. Наведена зависност је веома вредна карактеристика јер омогућава изналажење важних параметара погонских ланаца[18].

Правилно и правовремено подмазивање одговарајућим мазивом ланчаних преносника у експлоатацији је један од битних услова за дуги век ланца. Нормални услови рада одређени су присуством мазива у зглобу ланца и на зупцу ланчаника.

Правилним подмазивањем повећава се отпорност на хабање и ублажава удар чланака о зупце ланчаника. Добро подмазивање повећава степен корисног дејства, смањује загревање ланца, шум ланчаног преноса и повећава век трајања.

Статистичка истраживања показују да скоро 60% свих оштећења ланца је углавном изазвано неподесним системом подмазивања и подмазивањем неодговарајућим мазивом. За успешно подмазивање необично је важно да мазиво продре кроз зазоре спољашње и унутрашње ламеле у простор између осовинице и чауре, као и кроз зазоре унутрашње ламеле и ваљка у простор између чауре и ваљка, слика 22.



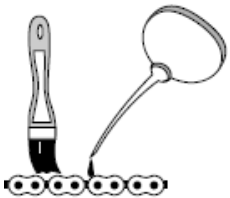
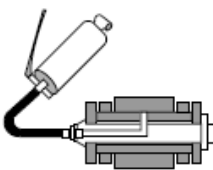
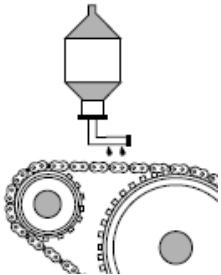
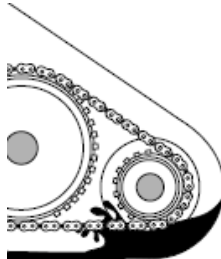
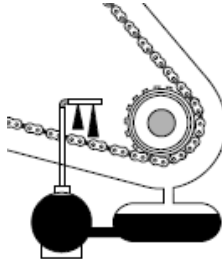
Слика 22-Подмазивање зглоба ланца [12]

Затворена конструкција зглоба отежава продирање мазива у област контактних површина, тако да чак и при обилном довођењу мазива елементи трибо-механичких система раде у условима граничног подмазивања.

У зависности од услова рада и димензија ланаца, данас се примењују следећи начини подмазивања:

- I- Периодично подмазивање ручном четком или мазалицом,
- II- Непрекидно подмазивање капањем,
- III- Картерско и центрифугално подмазивање и
- IV-Подмазивање под притиском.

Табела 3 - Начини подмазивања ланаца

Не-аутоматско		Полу-аутоматско	
Начин подмазивања	I-Периодично	IV-Под притиском	II-Непрекидно
	Четком или мазалицом	Ручном пумпом	Капањем
			
Аутоматско			
Начин подмазивања	III-Картерско	III-Центрифугално	IV-Под притиском
	Ланац је потопљен у уље	Ланчаник баца уље на ланац	Пумпа прска уље на ланац
			

Напомена: Најбољи резултати и најмање хабање добија се подмазивањем зглобова на месту непосредног напуштања спрезања и силаска са погонског ланчаника.

4. ОТКАЗИ КОД ЛАНЧАНИХ ПРЕНОСНИКА И МЕРЕ ЗА ЊИХОВО ОТКЛАЊАЊЕ

Хабање представља најчешћи узрок отказа код ланчаних преносника. На хабање ланчаних преносника, како је у поглављу 3.4 наведено, утиче велики број фактора. Они узрокују да се на контактним површинама елемената ланца најчешће јављају више облика хабања истовремено. Наравно, један облик хабања је увек најизразитији и он у многоме предодређује развој хабања и коначно, век трајања ланца.

У наредним табелама дате су најчешће врсте отказа ланца, узроци њиховог настајања, као и мере за њихово отклањање:

Табела 4 - Преоптерећење

 Slika 23 [14]	Врста отказа	Озбиљно оштећење осовинице погонског ланца и лом чауре ланца.
	Узрок настајања отказа	Отказивања чауре услед замора дешавају се као последица преоптерећења у раду. Напрснуће настаје у одређеној тачки на унутрашњој површини чауре и шири се по дужини или по обиму док не дође до потпуног прелома. Отказивање такође може да буде последица неодговарајуће производње или избора ланчаника.
	Мера за отклањање отказа	Замор чауре може да се превазиђе елиминисањем преоптерећења, повећањем величине ланчаника и заменом ланчаника који су врло похабани или имају превелики доњи пречник.

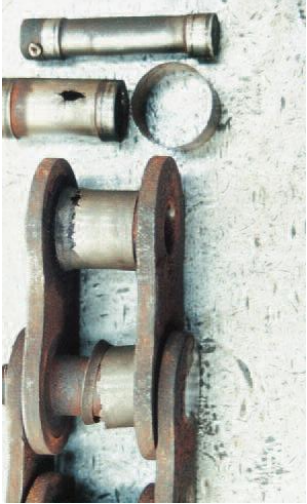
Табела 5 - Несаосност

 Slika 24 [14]	Врста отказа	Похабаност услед задирања на површини спољашњих ламела, крају спољашњих ламела и крају осовинице.
	Узрок настајања отказа	Ланац је задирао о неку фиксну тачку при раду. То је могло да изазове оштећење делова система вођења или прибора за причвршћивање.
	Мера за отклањање отказа	Изнова поравнати погон ланца пре него што оштећења ланца постану преозбиљна и буде неопходно да се ланац замени.

Табела 6 - Абразија

 Slika 25 [14]	Врста отказа	Ланац је претрпео убрзано хабање осовинице и чауре, такође и издужење корака.
	Узрок настајања отказа	Када је прегледано уље у које је ланац био потопљен, утврђено је да садржи остатак производа који је разграђен тако да формира врло тврде спаљене честице које су хабале обле делове ланца.
	Мера за отклањање отказа	Заменили ланац и увести систем за филтрирање уља да би се уклонили абразивни остаци.

Табела 7 - Корозија

 Slika 26 [14]	Врста отказа	Јака корозија и ерозија свих делова ланца.
	Узрок настајања отказа	Чаура и ваљци су кородирали, похабали су се. На ламелама је присутна велика бочна похабаност и велика питинг корозија. Овај ланац је коришћен у изузетно агресивној средини, изложен високим температурама.
	Мера за отклањање отказа	Побољшати начин подмазивања. Размислити о употреби ланца отпорног на корозију.

Табела 8 - Корозија

 Slika 27 [14]	Врста отказа	Корозија.
	Узрок настајања отказа	Овај ланац је коришћен у окружењу са загађеном водом. Ланац није редовно подмазиван и спољни делови су постепено кородирали док ваљци нису зарибали. Тада је настављено тешко хабање ланца на ваљцима.
	Мера за отклањање отказа	По могућству, заштитити од воде. Повећати степен подмазивања у оквиру одржавања.

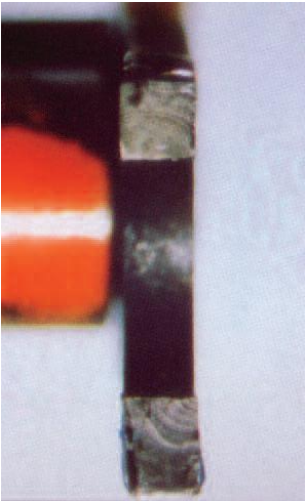
Табела 9 - Корозија/Ерозија

 Slika 28 [14]	Врста отказа	Тешка корозија свих компоненти у ланцу.
	Узрок настајања отказа	Ланац је радио без наношења икаквог средства за подмазивање и био је под утицајем хемијски агресивне течности. Услед тога, ланац је претрпео тешку корозију и хабање.
	Мера за отклањање отказа	Заменити ланац и повести рачуна да се ланац подмазује на одговарајући начин. Заштитити ланац од хемикалија одговарајућим кућиштем.

Табела 10 - Ерозија

 Slika 29 [14]	Врста отказа	Сува кавитациона ерозија, изазвана остацима честица.
	Узрок настајања отказа	Ерозија осовинице приликом руковања сувим материјалима који делују као течност када су у контакту са ланцем. Тип хабања је уобичајен код елеватора за подизање цемента.
	Мера за отклањање отказа	Када се формирају похабани цепови, јавља се тенденција убрзаног хабања. За повећање радног века ланца препоручују се ланци са заптивним карикама.

Табела 11 - Замор

 Slika 30 [14]	Врста отказа	Унутрашња ламела је претрпела лом услед замора.
	Узрок настајања отказа	Због великог динамичког оптерећења, настале су пукотине на ивици рупе ламеле, и дошло је до ширења пукотина, што је за последицу имало „класичан“ лом услед замора.
	Мера за отклањање отказа	Елиминисати велико динамичко оптерећење или изабрати ланац са већим коракком.

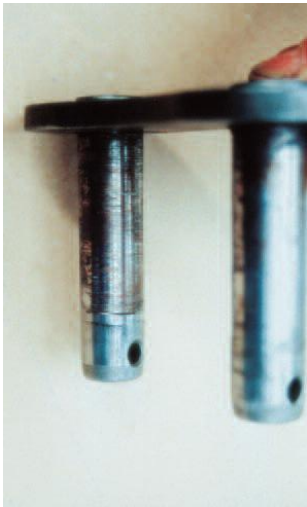
Табела 12 - Прелом

 Slika 31 [14]	Врста отказа	Чауре су се поломиле после склапања.
	Узрок настајања отказа	Када су склопљене чауре су се поломиле у неколико делова услед кртости коју је изазвао водород јер крост није елиминисана после цинковања.
	Мера за отклањање отказа	Повести рачуна да буде обављена обрада уклањања кртости одмах после цинковања.

Табела 13 - Прелом

 Slika 32 [14]	Врста отказа	Ламеле су се поломиле када је примењено радно оптерећење ланца.
	Узрок настајања отказа	Корисник је поцинковао ланац без обављања обраде за отклањање крутости, што је довело до лома ланца услед крутости коју је изазвао водород.
	Мера за отклањање отказа	Ланац треба да поцинкује произвођач пре склапања.

Табела 14 - Галинг

 Slika 33 [14]	Врста отказа	Површине осовиница су претрпеле локално заваривање са елементима зглоба, а затим се сјединиле.
	Узрок настајања отказа	У овој примени, при подизању, површине су трпеле врло високе притиске ношења. Ефекат тога је био да је средство за подмазивање отказало и дошло је до локалног заваривања у зглобу.
	Мера за отклањање отказа	Користити средство за подмазивање високог квалитета, предвиђено за велике притиске и повести рачуна да се слој средства за подмазивање одржи између упарених површина.

Табела 15 - Преоптерећење

 Slika 34 [14]	Врста отказа	Спољашње ламеле су се трајно истегле услед великог оптерећења.
	Узрок настајања отказа	Добар пример преоптерећења.
	Мера за отклањање отказа	Изабрати одговарајућу величину ланца за примену.

Табела 16 - Подмазивање и Несаосност

 Slika 35 [14]	Врста отказа	Прекомерно хабање. Ланац који прескаче зупце изазива њихово заобљавање.
	Узрок настајања отказа	Преглед ланца је показао да у 6 месеци радног века ланац није подмазан. Присутна оптерећења захтевају као минимум картерско подмазивање. Поред тога, растојање од центра је било веће од препорученог а ланчаници су били непоравнати.
	Мера за отклањање отказа	Побољшати начин подмазивања. Размислити о отврдњавању погонских зубаца. Постарати се да ланчаници леже тачно у истој равни.

Табела 17 - Напрснуће

 Slika 36 [14]	Врста отказа	Напрснуће спољашње ламеле.
	Узрок настајања отказа	Осовиница је заварена на обе стране спољашње ламеле. Брзина хлађења после заваривања довела је до напрснућа ламеле.
	Мера за отклањање отказа	Не сме се обављати заваривање после испоруке јер то може да изазове напрснуће ламеле, изобличење и концентрацију напона.

Табела 18 - Подмазивање и Несаосност

 Slika 37 [14]	Врста отказа	Прекомерно хабање. Ланац који прескаче зупце изазива њихово заобљавање.
	Узрок настајања отказа	Преглед ланца је показао да у 6 месеци радног века ланац није подмазан. Присутна оптерећења захтевају као минимум картерско подмазивање. Поред тога, растојање од центра је било веће од препорученог а ланчаници су били непоравнати.
	Мера за отклањање отказа	Побољшати начин подмазивања. Размислити о отврдњавању погонских зубаца. Постарати се да ланчаници леже тачно у истој равни.

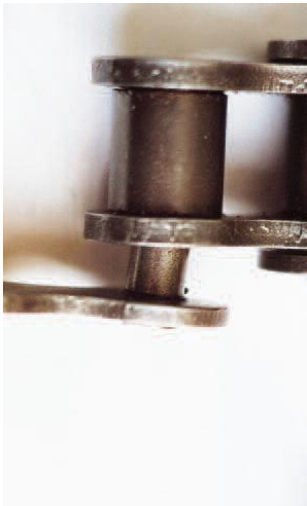
Табела 19 - Питинг корозија

 Slika 38 [14]	Врста отказа	Озбиљно оштећење осовинице погонског ланца и отказивање чауре ланца.
	Узрок настајања отказа	Прекомерно преоптерећење ланца довело је до отказивања чауре и оштећења осовинице.
	Мера за отклањање отказа	Изабрати одговарајућу величину ланца за примену.

Табела 20 - Подмазивање и Несаосност

 Slika 39 [14]	Врста отказа	Лабаво убачена спојна осовиница отказала је услед замора.
	Узрок настајања отказа	Спој је био изузетно сув и без знакова подмазивања. На споју је видљиво тешко заваривање (galling) са присуством честица површинске корозије. Накнадним истраживањем утврђено је да је ланац радио у води, али и још важније да је корисник отворио рупе на лабавој ламели да би олакшао склапање. То је довело до отказивања услед замора.
	Мера за отклањање отказа	Обезбедити боље увођење осовинице да би се кориснику омогућило лакше склапање. Поново размотрити режим подмазивања.

Табела 21 - Неодговарајућа монтажа

 Slika 40 [14]	Врста отказа	Један спојни чланак се одвојио и осовиница се савила.
	Узрок настајања отказа	Лабав спојни чланак одвојио се због неодговарајућег закивања на терену. Осовиница је изашла и заглавила се у положају који омогућава да ланац настави да ради док квар није примећен.
	Мера за отклањање отказа	Заменити оштећени спојни чланак и повести рачуна да осовинице буду одговарајуће заковане.

Табела 22 - Хабање

 Slika 41 [14]	Врста отказа	Носеће површине осовинице су се похабале. Обратите пажњу да је положај унутрашњих ламела јасно видљив.
	Узрок настајања отказа	Током дугог временског периода осовинице су се постепено хабале док издужење ланца није достигло 2%.
	Мера за отклањање отказа	Редовито пратити издужење ланца.

Табела 23 - Галинг

 Slika 42 [14]	Врста отказа	Озбиљно локално заваривање услед високих притисака ношења и недостатка подмазивања између површина које формирају зглоб доводи до сједињавања површина.
	Узрок настајања отказа	Неодговарајуће подмазивање је довело до сједињавања површина под високим притиском ношења. Овај поступак локалног заваривања такође се назива „микро заваривање“.
	Мера за отклањање отказа	Обезбедити одговарајућа средства за подмазивање.

Табела 24 - Напрснуће

 Slika 43 [14]	Врста отказа	Напрснуће материјала испод зубаца.
	Узрок настајања отказа	Корисник је обавио каљење зубаца пламеном на неисправан начин. Због диференцијалне брзине хлађења, последице пресека ланчаника, дошло је до напрснућа.
	Мера за отклањање отказа	Ланчанике треба набављати са зупцима које је произвођач већ калио пламеном.

Табела 25 - Фретинг корозија

 Slika 44 [14]	Врста отказа	Тешко хабање једне осовинице прикључка изгузивача и црвена наслага која указује на фретинг корозију.
	Узрок настајања отказа	Прикључак изгузивача је пројектован са кораком од 50,8 mm да би се уклопио са ланцем корака од 25,4 mm и да се користи на ланчаницима пројектованим за ланце са кораком од 25,4 mm. Ово је изазвало врло велики притисак на осовиницу спојног чланка који је истиснуо највећи део средства за подмазивање. То је довело до ситуације маргиналног подмазивања што је довело до појаве фретинг корозије.
	Мера за отклањање отказа	1) Користити специјално пројектоване зупце ланчаника са отпуштеним удубљењем између зубаца на месту прикључка. 2) користити средство за подмазивање високих перформанси са чврстим талогом да би се спречило истискивање.

5. ЗАКЉУЧАК

У току рада ланчаних преносника услед појаве хабања долази до различитих врста отказа. Ланац се из експлоатације најчешће повлачи услед прекомерног повећања корака. Повећање корака наступа углавном као резултат хабања елемената зглоба (осовине, чауре и ваљка) али може настати и као резултат слабљења или нарушавања чврстоће склопа осовине и чауре са спољашњом и унутрашњом ламелом.

Хабање елемената зглоба највећим делом настаје при наилажењу и силажењу ланца са ланчаника. На интензитет хабања велики утицај имају осциловања ланца, а нарочито попречне осцилације, као и уздужни и попречни удари при наилажењу чланака на зубац ланчаника.

Механизам спрезања ланчаног преноса, као и конфигурација трибо-механичког система, условљавају да на хабање ланца утиче велики број фактора.

Да би се смањило хабање ланчаних преносника, а тиме и продужио радни век, потребно је извршити избор одговарајућег материјала и његове термичке обраде. У раду је дата детаљна анализа утицаја материјала и термичке обраде на хабање.

На хабање ланца имају утицај и грешке при изради и монтажи. При томе треба тежити ка оптимуму између повећања трошкова израде и монтаже са једне стране и дужег времена експлоатације, са друге стране.

Интензивно хабање ланца могуће је знатно успорити и променом технологије израде његових елемената. Применом нових технологија смањује се хабање и продужава век ланца.

При пројектовању требају се предвидети уређаји за затезање ланца. Непостојање уређаја за затезање омогућава неправилно спрезање ланца и ланчаника што доводи до повећања корака ланчаника.

Карактеристика да је издужење средњег корака ланца управо пропорционално специфичном притиску у зглобу омогућава нам изналажење важних параметара погонских ланца.

Правилно, правовремено и подмазивање одговарајућим мазивима ланчаних преносника у експлоатацији је један од битних услова за дуги век ланца. Правилно подмазивање повећава отпорност на хабање, повећава степен корисног дејства, смањује загревање ланца, шум ланчаног преноса и повећава век трајања.

Скоро 60% свих оштећења ланца је углавном изазвано неподесним системом подмазивања и подмазивањем неодговарајућим мазивом.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Танасијевић, С., *Механички преносници: ланчани преносници, зупчасти каишини преносници, кардански преносници*, Машински факултет, Крагујевац, 1994.
- [2] Митровић, Р., *Машински елементи 2-девето предавање, ланчани преносници*, Машински факултет, Београд
- [3] Николић, В., *Машински елементи*, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [4] Група аутора, *Инжењерско Машински Приручник*, Завод за уџбенике и наставна средства, Београд, 1992.
- [5] Милтеновић В., *Машински елементи: облици, прорачун, примена*, Машински факултет, Ниш, 1997.
- [6] Department of Mechanical Engineering, *Chain Drives, Design and Manufacture 2: Machine Elements*, University of Bristol, 2007.
- [7] http://web.applied.com/base.cfm?page_id=3625
- [8] <http://nptel.ac.in/courses/116102012/32>
- [9] Огњановић, М., *Машински елементи*, Машински факултет, Београд, 2003.
- [10] [http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/VII%](http://www.rgf.bg.ac.rs/predmet/RO/VII%20)
- [11] Танасијевић, С., *Триболошки исправно конструисање*, монографија, Крагујевац 2004.
- [12] Танасијевић, С., *Основи трибологије машинских елемената*, Научна књига, Београд, 1989.
- [13] Ивковић, Б., *Речник триболошких термина*, Крагујевац, 2011.
- [14] [Renold Chain Troubleshooter](#)
- [15] <http://www.timken.com/en-us/products/coatings/engineered/Pages/ESaircraft.aspx>
- [16] Kettengetriebe. „*Maschinenbautechnik*“, 1987, 27, N° 10.
- [17] Muller J., Klammert A.: *Zur Verbesserung des Gebrauchswertes von Rollenketten „Maschinenbautechnik“*, 1982, 31, N° 6.
- [18] Танасијевић, С., *Wear characteristics of chain drives*, „Proc.: Eurotrib 89“, Хелсинки, 1989.