

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Мастер академске студије
Модул: Машинске конструкције и механизација
Предмет: Трибологија машинских система
Број индекса: 357/2015

Саша З. Радосављевић

**Утицај мазива на степен искоришћења
пужног редуктора**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Блажа Стојановић - ментор**
2. _____
3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да изврши експериментално одређивање степена искоришћења пужног редуктора. На почетку рада кандидат треба да да основне информације о пужним преносницима као и преглед истраживања у датој области са аспекта губитака снаге и степена искоришћења. Такође, кандидат треба да прикаже које су главне карактеристике мазива и на основу тога изврши избор одговарајућег мазива за примену код пужних преносника. Главно тежиште рада је испитивање утицаја различитих врста мазива, односно вискозности на губитке снаге и степен искоришћења пужних преносника.

Препоручена литература:

- [1] Stojanović, B., Blagojević M.: *Mehanički prenosnici*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2015.
- [2] Rac, A.: *Maziva i podmazivanje mašina*, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 2007.
- [3] GUNT: Experiment Instructions, *AT 200 Apparatus for Determination of Gear Efficiency*, 2011.

Крагујевац, датум

Фебруар 2017.

Ментор:

Др Блажа Стојановић, доцент

Резиме рада

У раду су приказани резултати испитивања утицаја врсте мазива и вискозности на степен искоришћења пужног редуктора. Теоријске основе пужних преносника и степена искоришћења такође су описане у раду. Експериментална испитивања вршена су на специјализованом уређају AT200 на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Испитивања су вршена по унапред дефинисаном плану експеримента, при чему су вариране вредности улазног броја обртаја, излазног обртног момента, вискозности као и врста мазива. Анализом резултата утврђено је да степен искоришћења расте са порастом улазног броја обртаја, излазног обртног момента и вискозности мазива.

Кључне речи: пужни редуктор, степен искоришћења, мазиво, вискозност

Summary of work

In this paper are presented the results of the study of the influence of the type of lubricant and viscosity on the efficiency of the worm gearbox. The theoretical bases of worm gearbox and efficiency are described in the paper. Experimental tests were carried out on a specialized AT200 device at the Faculty of Engineering Sciences in Kragujevac. The tests were carried out according to the predefined experimental plan, with variations in the value of the input rotation, the output torque, the viscosity and the type of lubricant. By analyzing the results, it was found that the efficiency increases with the increase in input rotation, output torque and viscosity of the lubricant.

Key words: worm gearbox, efficiency, lubricant, viscosity

Садржај

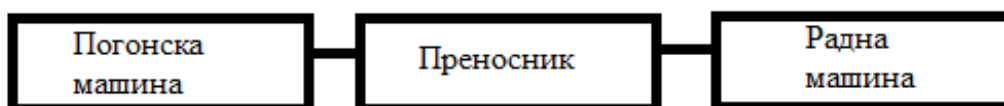
1. Увод	1
2. Пужни преносници.....	3
2.1 Основни појмови	3
2.2 Облици пужних преносника.....	5
2.3 Предности и недостаци пужних преносника	9
3. Степен искоришћења пужног преносника.....	11
4. Губици снаге у пужном преноснику.....	14
4.1 Фактори који утичу на губитак снаге.....	21
5. Подмазивање пужних преносника.....	27
5.1. Општа подела мазива	27
5.2. Основна физичко-хемијска својства мазива	28
5.3. Течна мазива	33
5.4. Полутечна мазива- техничке масти	33
5.5. Адитиви	34
5.6. Подмазивање зупчастих преносника	35
5.7. Избор уља за пужне преноснике	37
6. Уређај за одређивање степена искоришћења	39
7. Резултати испитивања.....	42
8. Анализа резултата	50
9. Закључак.....	55
Литература	56
Прилог	58

1. Увод

Пренос механичке енергије (слика 1) од погонске до радне машине остварује се помоћу трансмисионих вратила, спојница и преносника. Преносници, за разлику од трансмисионих вратила и спојница, могу вршити трансформацију броја обртаја, обртног момента а понекад и смера обртања [1].

У савременој пракси најчешће се користе [1]:

- зупчасти преносници,
- ланчани преносници,
- фрикциони преносници,
- каишни преносници,
- зупчасти каишни преносници
- кардански преносници...



Слика 1. Шема преноса механичке енергије

Зупчасти преносници преносе кретање и обртни момент са једног вратила на друго помоћу везе коју чини спрега зубаца зупчаника. Приликом овог преноса долази до одређене трансформације броја обртаја и обртног момента. Зупчасти пар представља најједноставнији облик зупчастог преносника који се састоји од два зупчаника. Један зупчаник је погонски, док је други гоњени. Погонски зупчаник преноси кретање и обртни момент на гоњени. Зупчаници који чине зупчасти пар називају се спрегнути зупчаници [2].

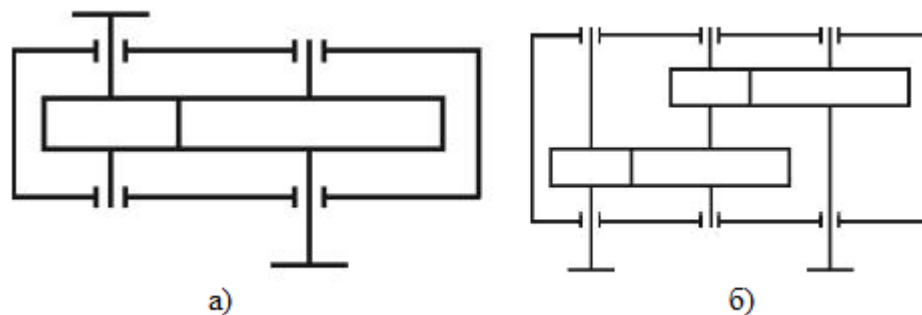
Према положају оса вратила погонског и гоњеног зупчаника разликују се [2]:

- Цилиндрични зупчасти парови- зупчасти преносници код којих су осе вратила паралелне
- Конични зупчасти парови- зупчасти преносници код којих се осе вратила секу,
- Хиперболоидни зупчасти парови- зупчасти преносници код којих се осе вратила мимоилазе

Тачан кинематски преносни однос, односно крута кинематичка веза улазног и излазног вратила, остварује се при спрезању зупчастих парова. Ово представља њихову највећу предност. Поред ове предности они су обично малих димензија, високог степена искоришћења, велике издржљивости и трајности у раду, применљиви у великом дијапазону снага, бројева обртаја, преносних односа и тд [2].

Недостатак зупчастих преносника је потреба за великом тачношћу израде, хабање у раду, вибрације и бука, велика крутост у преносу снаге и тд. Управо због буке и вибрација на улазу зупчастих преносника поставља се еластична спојница [2].

Зупчасти преносник може бити састављен од једног зупчастог пара који чине два зупчаника (једноступени преносник). Комбиновањем више једноступених зупчастих парова различитих врста добија се вишеступени зупчасти преносник (слика 2) [1,2].



Слика 2. Једноступени и двоступени преносник [2]

У даљем делу рада су детаљније описани пужни преносници који представљају групу хиперболоидних зупчастих преносника. Такође, приказани су основни губици енергије у пужним преносницима, као и начин одређивања истих. За потребе овог рада и експерименталних испитивања коришћен је једноступени пужни преносник, са преносним односом 15 при чему на пужу постоје 2 завојнице .

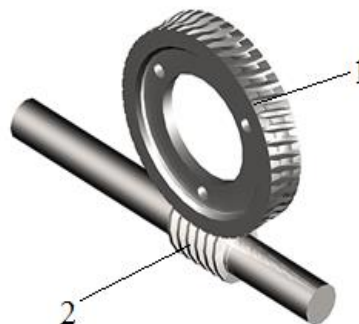
2. Пужни преносници

2.1 Основни појмови

Пужни пар односно пужни преносник представља врсту зупчастог преносника чије се осе мимоилазе и то најчешће под углом од 90° . Пужни преносник се састоји од пужног зупчаника (1) и пужа (2) приказаним на слици 3. Угао под којим се осе мимоилазе може бити већи и мањи од 90° . Уколико је погонски део преносника пуж онда се врши редукција броја обртаја, а уколико је пужни зупчаник погонски део онда се врши мултипликација броја обртаја. Обзиром да је степен искоришћења код мултипликатора доста мањи, пужни преносници се најчешће користе као редуктори [2].

Пуж поседује једну или више завојница (зуба) обавијених око цилиндричног или глобоидног језгра и мањег је пречника од пужног зупчаника. Тако да се може рећи да пуж подсећа на завртањ или навојно вретено. У зависности од броја завојница разликују се пуж са једним почетком навоја односно једноходни, са два почетка двоходни, троходни и вишеходни. Угао успона завојнице пужа је мањи од 45° . Пужни зупчаник личи на половину навртка која уместо да се креће транслаторно, ротира око своје осе. Пужни зупчаник обухвата зубцима део језгра пужа. Зато ова спрега пужа и пужног зупчаника делује као спрега завртња и навртке [2].

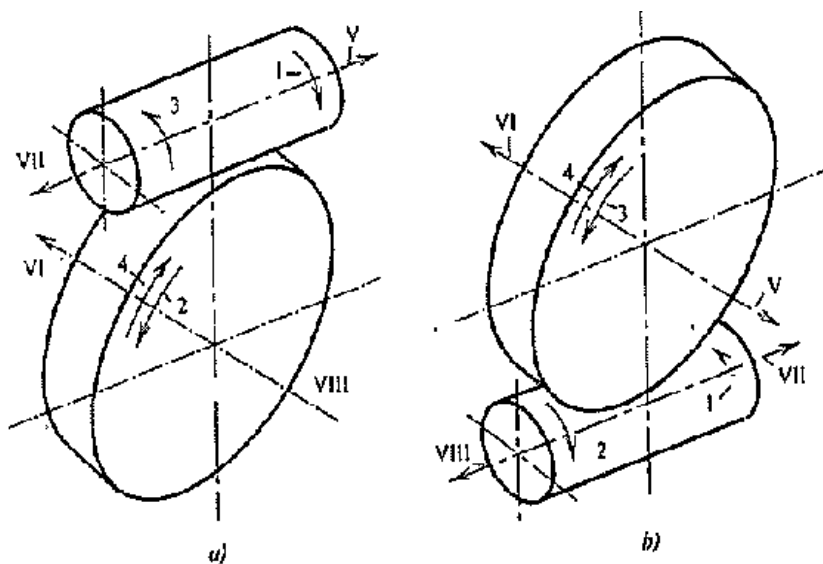
Може се рећи да пужни пар представља један клизни спој. Један од делова у споју се израђује од мекшег материјала (пужни зупчаник), а други део од материјала веће тврдоће (пуж), да би се функција остварила по принципу интензивног клизања. Тако да се пужни зупчаник израђује од бронзе, легура алуминијума, легура цинка, перлитног сивог и нодуларног лива, месинга, а пуж се израђује од цементираних челика са тврдоћом бокова до 62 HRC као и од индукционо и пламено каљених челика који се користе за велика оптерећења [2,3].



Слика 3. Пужни зупчаник и пуж

У зависности од смера завојнице, пуж може бити десни и леви. За једну спрегу, смерови нагиба зубаца пужа и пужног зупчаника су идентични, десном пужу одговара десни пужни зупчаник (левом-леви) [2].

Од смера завојнице пужа и смера обртања пужа зависи и смер обртања пужног зупчаника. Слика 4 приказује два могућа положаја пужа и пужног зупчаника, а у табели 1 је приказано како смерови аксијалних сила пужа и пужног зупчаника и смерови обртања пужног зупчаника зависе од смерова обртања пужа и смерова нагиба завојнице пужа [2].



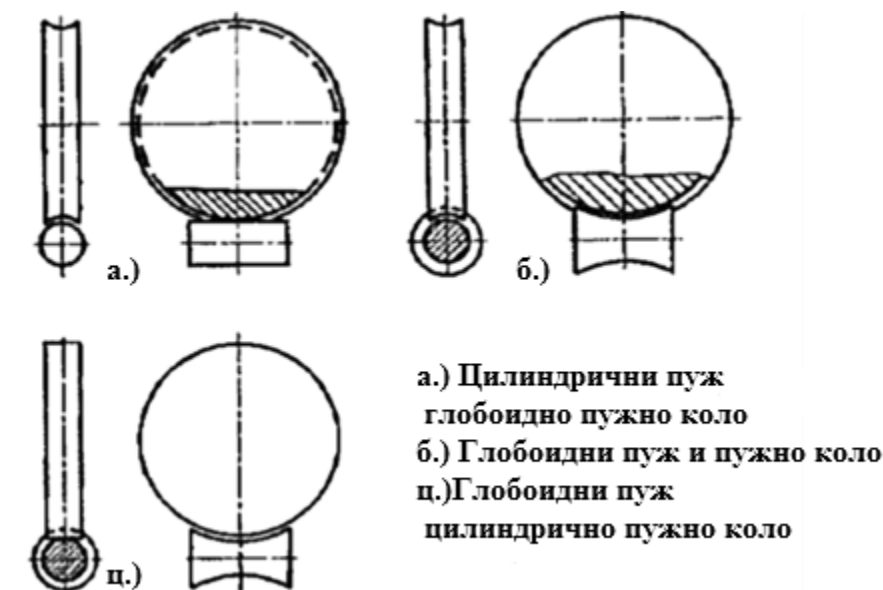
Слика 4. Смер обртања пужног зупчаника у зависности од смера обртања пужа и смера завојнице [2]

Табела 1. Преглед смерова обртања и смерова аксијалних сила [2]

Пуж смештен изнад пужног зупчаника (Слика 2.а)				
Смер завојнице	Смер окретања		Смер F_a	
	пужа	пуж. зупчаника	пужа	пуж. зупчаника
десни	1	2	V	VI
десни	3	4	VII	VIII
леви	1	4	VII	VI
леви	3	2	V	VIII
Пуж смештен испод пужног зупчаника (Слика 2.б)				
Смер завојнице	Смер окретања		Смер F_a	
	пужа	пуж. зупчаника	пужа	пуж. зупчаника
десни	2	4	VII	V
десни	1	3	VIII	VI
леви	2	3	VIII	V
леви	1	4	VII	VI

2.2 Облици пужних преносника

Према облику пужа, пужни парови могу бити цилиндрични и глобоидни. На слици 5 приказани су могући облици пужа и пужног зупчаника.



Слика 5. Могући облици пужа и пужног зупчаника [2]

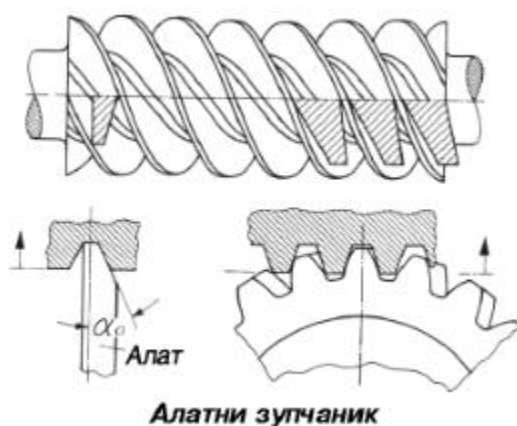
Цилиндрични пужни преносници су они преносници код којих су темена и подножна површина пужа облика кружних цилиндара, док су код пужног зупчаника те површине у облику глобоида (кружних торуса) и прилагођене су теменој и подножној површини пужа. Кинематски круг пужног зупчаника тангира изводницу кинематског цилиндра пужа (слика 3.а) [2,3].

Глобоидни пужни парови (слика 3.б) су пужни парови код којих темене и подножне површине пужа и пужног зупчаника имају облик кружног торуса, који су прилагођени међусобно једни другима. Коришћењем глобоидних пужних парова повећава се број зубаца у спрези, чиме се повећава додирна површина и носивост, а смањују загревање и контактни притисци. Због сложености поступака израде, глобоидни пужни парови се ређе примењују без обзира на све предности [2,3].

Трећа врста пужних преносника представља комбинацију цилиндричног пужног кола и глобоидног пужа. Најшира примена ове врсте пужних преносника је код волана друмских возила. Пужно коло ових преносника је у ствари цилиндрични преносник са косим зупцима (слика 3.б) [2,3].

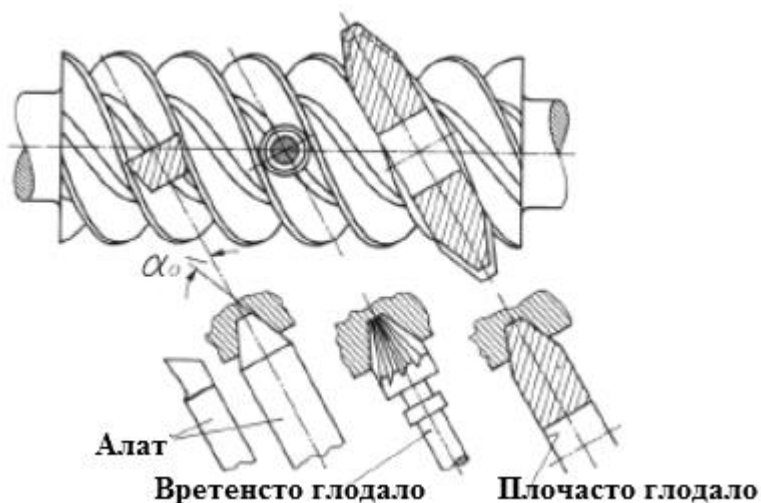
Поделу пужева је могуће извршити према начину израде и то на пет типова пужева: ZA, ZN, ZI, ZK и ZH [2,3].

ZA пуж (слика 6) има профил зупца у облику трапеза у аксијалном пресеку, док у радијалној равни има облик Архимедове спирале по чему и носи назив Архимедов пуж. Израђује се глодањем или брушењем помоћу алата одговарајућег профила или помоћу алатног зупчаника. Угао алата α_0 лежи у аксијалној равни тако да је једнак углу профила зупца у чеоном пресеку $\alpha_0 = \alpha$ [2,3].



Слика 6. ZA пуж [3]

ZN пуж (слика 7) има профил који је праволинијски у пресеку управном на бокове зубаца, док је у аксијалном пресеку у облику благо закривљене линије (испупчен или издубљен). Израђује се вретенастим глодањем или стругањем помоћу алата одговарајућег профила. Приликом постављања алата веома је битно да угао алата α_0 лежи у равни која је нормална на бокове зубаца тако да је $\alpha_0 = \alpha_n$ [2,3].

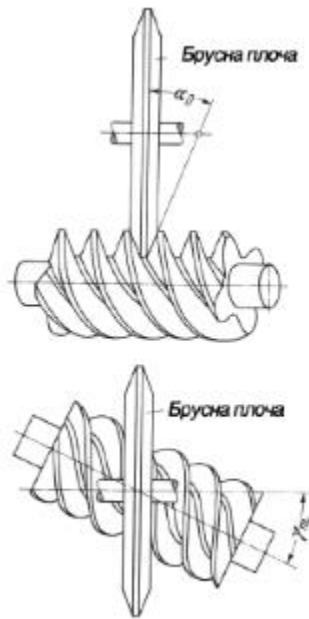


Слика 7. ZN пуж [3]

ZI пуж (слика 8) има профил зубаца који одговара профилу цилиндричних зупчаника са косим зупцима, са великим углом нагиба зубаца. Профил зубаца пужа у аксијалном пресеку је благо испупчена крива линија, док је у радијалном пресеку у облику еволвенте, тако да је $\alpha_0 = \alpha_n$. Зато овај пуж носи назив еволвентни пуж. Облик бока се добија брушењем помоћу брусне плоче која је постављена тако да њена оса заклапа угао γ_m у односу на подужну осу пужа, док је у другој равни нагнута под углом α_0 . Израда се врши и стругањем помоћу алата трапезног облика, који се поставља под углом $\beta_m = 90^\circ - \gamma_b$, тако да је раван резања паралелна аксијалном пресеку на растојању $0,5 d_b$ изнад или испод осе пужа. Тако да важе следећи односи [2,3]:

$$\begin{aligned} \cos \gamma_b &= \cos \gamma_m \cdot \cos \alpha_0 \\ d_{b1} &= d_{m1} \cdot \tan \gamma_m / \tan \gamma_b \end{aligned} \quad (1)$$

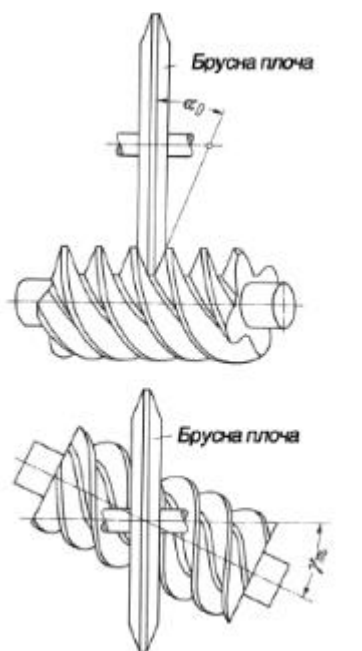
где су: γ_b - угао постављања алата у односу на подужну осу, γ_m - угао нагиба завојнице, α_0 - угао постављања алата у другој равни, d_{b1} - растојање постављања алата од осе пужа, d_{m1} - пречник средњег круга.



Слика 8. ZI пуж [3]

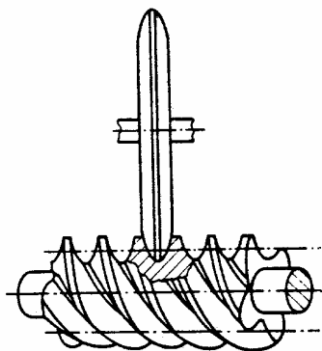
ZK пуж (слика 9) има профил у облику трапеца, у пресеку који је управан на бокове зубаца, док у аксијалном пресеку пуж има благо испупчене профиле. Израда се врши котурастим глодалима и брушењем помоћу тоцила трапезног профила. Резна ивица алата је постављена под углом α_0 у односу на нормалу осе пужа, тако да је $\alpha_0 = \alpha_n$. Бок облика

К настаје када се конусни алат пречника d_0 завојно креће под углом γ_m у односу на осу пужа и обрађује његово међузубље. Променом пречника алата d_0 могу се добити бокови облика К и I, док се са смањењем пречника приближава боку облика N. Зато је веома битно знати пречник алата d_0 како би се тачно одредио облик бока зубаца пужа [2,3].



Слика 9. ZK пуж [3]

ЗН пуж (ЗС пуж) је пуж са издубљеним боковима у аксијалном пресеку (слика 10). Израђује се кружним профилисаним алатом, тако да су профили прилагођени облику зубаца пужног зупчаника. Предности ових пужева су већа носивост и трајност у раду, мањи енергетски губици условљени мањим загревањем. Ипак, израда пужева је веома скупа јер се користи посебан алат за сваки модул и број зубаца пужног зупчаника.



Слика 10. ZH пуж [3]

2.3 Предности и недостаци пужних преносника

Основне карактеристике и предности пужних преносника су:

- Веома велики преносни однос и то помоћу само једног пужног пара. При редукцији вредности преносног односа су $5 < i < 70$, а при мултипликацији $5 < i < 15$. Препоручена граница преносног односа је $15 < i < 50$. За мале снаге могуће је достићи вредност преносног односа до 100. Повезивањем два пужна пара могуће је постићи још већи преносни однос. Због великог преносног односа може се за исти преносни однос конструкционо извести преносник мањих димензија у односу на вишестепену цилиндричне или цилиндрично-конусне преноснике.
- Тиши рад и знатно мањи динамички удари и вибрације које омогућава клизање зупца по зупцу, услед линијског додира спрегнутих бокова пужа и пужног зупчаника и услед постепеног улаза и излаза из спреге чиме се остварује слој уља између спрегнутих бокова. Ипак клизање захтева посебне мере у погледу квалитета обраде и избора материјала пужа и пужног преносника.
- Велика носивост услед истовременог захвата већег броја зубаца (од 2 до 4) уз линијски додир спрегнутих бокова. Услед смањивања броја зубаца не расте закривљеност бокова, што је случај код других врста зупчастих преносника, што доводи до повољних услова за стварање уљног филма. Релативни смерови кретања површина спрегнутих бокова такође позитивно утичу на стварање уљног филма. Све набројано утиче на то да се пужни преносници могу користити за пренос великих снага.
- Велики век трајања уколико су испоштовани тачност израде, правила монтаже, добар избор материјала пужа и пужног зупчаника и добро и обилно подмазивања.
- Могу се извести као самокочећи преносници.
- Могућност промене смера окретања пужног зупчаника без конструкционих измена тако што пуж може бити изведен са десном и левом завојницом.
- На пужу као и на пужном зупчанику могуће је са обе стране извршити довод и одвод снаге, што им омогућава гранање односно развођење енергије повезивањем већег броја пужних преносника [2,3,4].

Недостаци пужних преносника [2,3,]:

- Због великог клизања спрегнутих бокова пужа и пужног пужног зупчаника, ограничен је број обртаја, тј. њихова угаона брзина, као и снага коју преносе. Пужни преносници се примењују за бројеве обртаја до $3000 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ и за мања осна растојања ($\leq 160 \text{ [mm]}$). Обимна сила на пужном зупчанику може бити до 800 [kN] , док је максимални обртни момент на пужном зупчанику до $2 \cdot 10^6 \text{ [Nm]}$. Пречник пужног зупчаника се израђује до 2000 [mm] .

- Степен искоришћења који је релативно низак, посебно код пужних преносника са цилиндричним пужем. Ако се примењују као мултипликатори, степен искоришћења је испод 0,5. Међутим, добрим подмазивањем као и добрим избором кинематских односа, када се примењује као редуктор, могуће је постићи и велики степен искоришћења (постоје изведене конструкције са степеном искоришћења 0,96).
- Услед релативно великог клизања, које узрокује отпор клизања, ствара се велика количина топлоте и губитак енергије. Уколико се та количина топлоте не може одвести природним путем, врши се вештачко хлађење преносника.

3. Степен искоришћења пужног преносника

Однос уложене и корисне снаге представља степен искоришћења. У поређењу са осталим врстама зупчастих преносника, пужни преносник има нижу вредност степена искоришћења. Разлог разлике уложене и корисне снаге су губици снаге који се јављају у преноснику.

Massimiliano Turci и други [5] вршили су одређивање степена искоришћења пужног редуктора међуосног растојања од 50 [mm], преносног односа 49 и за различите врсте мазива добили вредности степена искоришћења $0,572 < \eta < 0,64$. Ћ. Милтеновић и други [6] су вршили испитивање губитака снаге пужног редуктора, у коме се налазило синтетичко уље GN6-1500, при вредности улазног броја обртаја $5000[\text{min}^{-1}]$ и различитим вредностима излазног момента добили вредности степена искоришћења $0,52 < \eta < 0,71$. *Balazs Magyar* и *Bernd Sauer* [7] су вршили одређивање вредности степена искоришћења при температури мазива од $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и излазном обртном моменту од $T_2 = 430[\text{Nm}]$ добивши за различите вредности улазног броја обртаја вредности степена искоришћења $0,65 < \eta < 0,74$. *Hermann Siebert* [8] је вршио одређивање различитих врста мазива на степен искоришћења пужног редуктора, при преносном односу 39, улазном броју обртаја 350 o/min и излазном обртном моменту $T_2 = 200[\text{Nm}]$, и притом добио резултате степена искоришћења $0,62 < \eta < 0,80$. Према каталогу компаније NORD [9] вредност степена искоришћења пужних редуктора се налази у опсегу $0,4 < \eta < 0,9$.

Степен искоришћења пужног преносника одређује се као однос излазне снаге према улазnoj [2,3]:

$$\eta = \frac{P_{izl}}{P_{ul}} = \frac{P_{ul} - P_G}{P_{ul}} = 1 - \frac{P_G}{P_{ul}} < 1 \quad (2)$$

где су: P_{ul} - улазна снага [W], P_{izl} - излазна снага [W], P_G - укупни губитак снаге [W];

Из претходног израза може се закључити да је излазна снага једнака разлици улазне снаге и снаге која се губи на разне врсте отпора, која се у највећој мери претвара у топлоту. Степен губитка је однос између снаге која се губи и улазне снаге, и може се закључити из претходног израза да ако је овај однос мањи степен искоришћења је већи и обрнуто.

Ако се са P_1 означи снага на пужу, а са P_2 снага на пужном зупчанику, за случај када је пуж погонски елемент, степен корисног дејства може се изразити као [2,3]:

- За случај када је пуж погонски елемент:

$$\eta = \frac{P_1 - P_G}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_G} \quad (3)$$

- За случај када је пужни зупчаник погонски елемент:

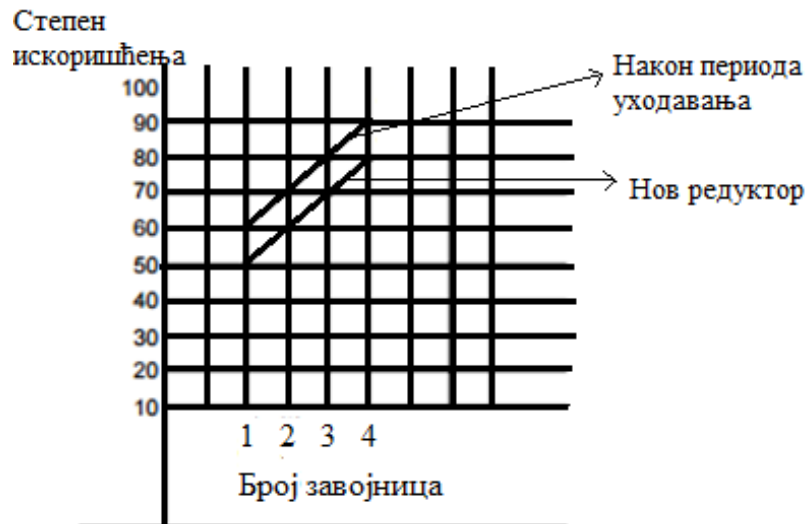
$$\eta = \frac{P_2 - P_G}{P_2} = \frac{P_1}{P_1 + P_G} \quad (4)$$

Степен искоришћења пужног преносника могуће је одредити и помоћу угла завојнице пужа на средњем цилиндру и угла трења помоћу следећег израза [10]:

$$\eta = \frac{\tan \gamma_m}{\tan(\gamma_m + \varphi_1)} = \frac{z_1(q - \mu_1 \cdot z_1)}{q(z_1 + \mu_1 \cdot q)} \quad (5)$$

где су: z_1 – број зубаца пужа, μ_1 – коефицијент трења између спрегнутих зубаца зупчаника и $q = z_1 / \tan \gamma_m$ – пужни број.

Степен искоришћења расте са повећањем угла завојнице до извесног максимума, а затим опада. Када је угао нагиба завојнице $\gamma_m = 45^\circ$ добија се највећа вредност степена искоришћења пужног преносника. За вредности угла завојнице $\gamma_m < 45^\circ$ вредност степена искоришћења нагло опада па је препорука да се користе веће вредности углова завојнице пужа или користе вишеходни пужеви (слика 11), али се при томе добијају мањи преносни односи [7,8].



Слика 11. Степен искоришћења вишеходних пужева [8]

У табели 2 је приказано како са порастом угла завојнице расте степен искоришћења за вредности коефицијента трења $\mu_1 = 0.05$ и угла алата $\alpha_n = 20^0$ [11]. У табели се јасно види да са порастом угла завојнице расте и степен искоришћења пужног преносника.

Табела 2. Вредност степена искоришћења у зависности од угла завојнице [11]

Угао завојнице γ_m [°]	Степен искоришћења η [%]
1,0	25,2
2,5	45,7
5,0	62,0
7,5	71,3
10,0	76,6
15,0	82,7
20,0	85,9
30,0	89,1

4. Губици снаге у пужном преноснику

Укупни губици енергије односно снаге који се јављају у пужном редуктору састоје се од губитка снаге услед отпора клизању пужног пара током кретања P_{Gz} , губитка снаге који се јавља у легајевима P_{GL} и губитка снаге при празном ходу P_{G0} . Тако да се укупни губици снаге могу одредити као [2,3]:

$$P_G = P_{Gz} + P_{GL} + P_{G0} \quad (6)$$

Ако се снага на пужу означити као P_1 а снага на пужном зупчанику са P_2 онда степен искоришћења пужног преносника, за случај када је пуж погонски елемент, може се изразити као [2,3]:

$$\eta = \frac{P_1 - P_G}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_G} \quad (7)$$

Снага која се губи приликом савлађивања отпора клизања при спрезању зупчастог пара може се одредити као [2,3]:

$$P_{Gz} = F_N \cdot \mu_z \cdot v_k, \quad (8)$$

Где су: F_N - нормална сила на боку зупца [N], μ_z - коефицијент трења пужног пара, v_k - брзина клизања [m/s], која се може одредити помоћу следећег израза [2,3]:

$$v_k = \frac{\pi \cdot d_{m1} \cdot n_1}{60 \cdot \cos \gamma_m}, \quad (9)$$

где су: d_{m1} - пречник средњег круга [m], n_1 - број обртаја пужа [min^{-1}], γ_m - угао нагиба завојнице.

Губитак снаге пужног редуктора при празном ходу може се одредити као [2,3]:

$$P_{G0} = 10^{-7} \cdot a \cdot \left(\frac{n_1}{60}\right)^{4/3} \cdot \left(\frac{v_{40}}{1,83} + 90\right), \quad (10)$$

где су: a - међуосно растојање [mm], n_1 - број обртаја пужа [min^{-1}], v_{40} - кинематска вискозност уља на 40° [mm^2/s].

За губитак снаге у лежајевима користе се следећи односи у зависности од типа лежаја који се користи у пужном редуктору [2,3]:

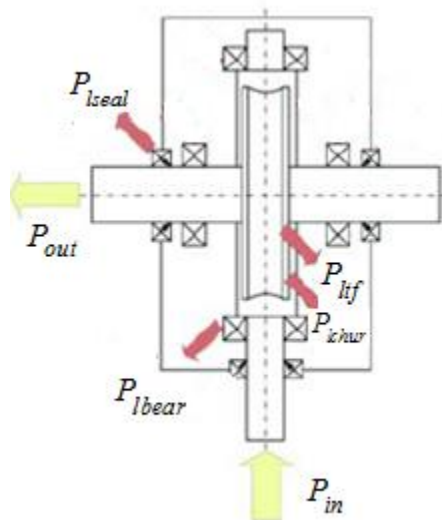
$P_{GL} = P_1 \cdot (0,005 \dots 0,01)$ - ако су на вратилу пужа и пужног зупчаника уграђени котрљајни лежајеви.

$P_{GL} = P_1 \cdot (0,02 \dots 0,03)$ - ако су на вратилу пужа и пужног зупчаника уграђена клизна лежишта.

Balazs Magyar и Bernd Sauer [7] су поделили губитке снаге у пужном преноснику на основу 4 разлога:

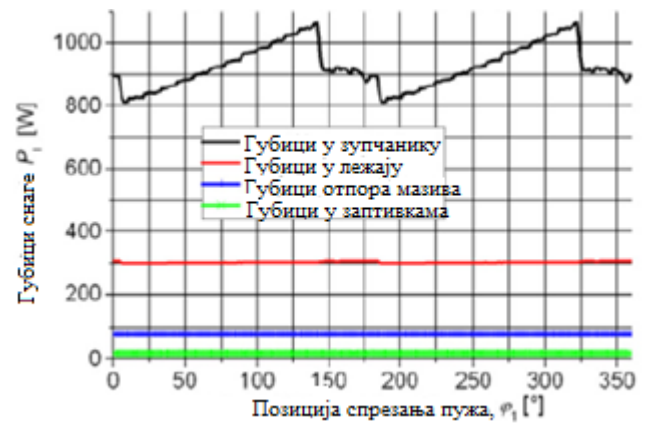
- губитка снаге услед трења зубаца у спрези P_{lrf} ,
- губитка снаге услед отпора уља P_{lchur} ,
- губитак снаге у лежајевима P_{lbear} ,
- губитак снаге на заптивкама P_{lseal} .

На слици 12 су приказани губици снаге у пужном преноснику на оба вратила. Да би се описали ови губици потребно је да се зна локално оптерећење сваког дела машине. Губици се могу поделити на оне који не зависе од оптерећења и који зависе од оптерећења. Губици који зависе од оптерећења су губици услед трења зуба у спрези, као и губици у лежајевима, док су губици који не зависе од оптерећења губици услед отпора уља и на губици на заптивкама [7].



Слика 12 . Губици и ток снаге у пужном пару [7]

Испитивања која су вршили *Balazs Magyar* и *Bernd Sauer*, вршена су на пужном редуктору са улазним бројем обртаја $n_1 = 1500 [\text{min}^{-1}]$ излазним обртним моментом $T_2 = 430 [\text{Nm}]$ и температуром мазива $t_m = 60^\circ\text{C}$ [7]. На слици 13 приказ је утицај свих губитака који се јављају у пужном редуктору у оквиру ових испитивања.



Слика 13. Утицај губитака снаге у зависности од позиције спрезања [7]

Са претходне слике јасно се може уочити да најмањи утицај на степен искоришћења пужног редуктора имају губици на заптивкама. Губици услед отпора уља имају дупло мањи утицај од губитака који се јављају у лежајевима, али ни једни ни други не зависе од позиције спрезања зуба. Највећи утицај имају губици при самом спрезању зуба и они зависе од позиције спрезања односно од вредности угла $\varphi_1 [^\circ]$.

Да би се одредио губитак снаге услед трења у спрези у пужном редуктору, осмишљен је триболошки метод рачунања, на Институту за машинске елементе, зупчанике и преноснике, Универзитета у Кајзерслаутерну. Овај упрошћени триболошки модел приказан је на слици 14 [12].



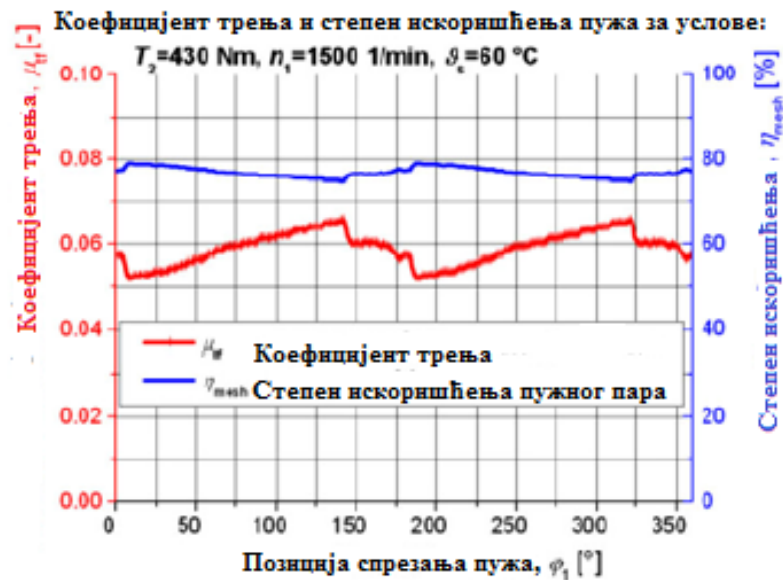
Слика 14. Упрошћени триболошки модел спрезања зуба пужног преносника [12]

Степен искоришћења услед спрезања пужног зупчаника може се одредити помоћу следеће једначине [13]:

$$\eta_{mesh} = \frac{\tan(\gamma_m)}{\tan(\gamma_m + \arctan(\frac{\mu_{tf}}{\cos(a_0)}))} \quad (11)$$

где су: γ_m - угао завојнице, μ_{tf} - коефицијент трења између зубаца пужа и пужног зупчаника, a_0 - угао притиска.

Крива промене степена искоришћења услед спрезања пужног зупчаника зависи од позиције спрезања пужа и пужног зупчаника и приказана је на слици 15. Такође на овој слици се може видети да има обрнут тренд у односу на коефицијент трења између зубаца пужа и пужног зупчаника, који такође зависи од позиције спрезања [7]



Слика 15. Степен искоришћења спрезања зубаца пужног пара [7]

Знајући радијалну и аксијалну силу у лежају, као и број обртаја вратила на коме се лежај налази, лако се може одредити момент губитка снаге, на основу четири главна извора трења у лежају. Укупни момент трења који се јавља у лежају одређује се на основу SKF препоруке као [14]:

$$M_{l,bear} = M_{rr} + M_{sl} + M_{seal} + M_{drag} \quad (12)$$

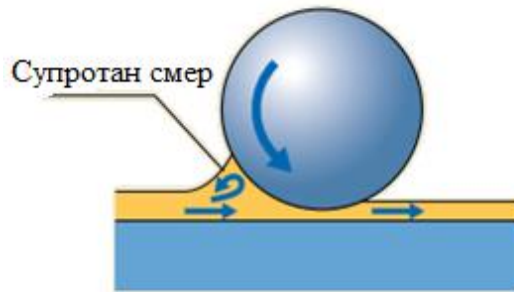
где су: M_{rr} - момент трења котрљања, M_{sl} - момент трења клизања, M_{seal} - момент трења у заптивкама, M_{drag} - момент трења отпора мазива.

Момент трења котрљања може се одредити као:

$$M_{rr} = \phi_{ish} \cdot \phi_{rs} \cdot G_{rr} \cdot (v \cdot n)^{0,6} \quad (13)$$

где су: ϕ_{ish} - редукциони фактор загревања услед смицања, ϕ_{rs} - редукциони фактор кинематског попуњења, G_{rr} - непозната која зависи од врсте лежаја, средњег пречника лежаја, аксијалне и радијалне силе, n - број обртаја [o/min], v - вискозност мазива [mm²/s].

Посматрајући укупну количину уља која се налази у лежају, не може сва количина да буде у зони контакта. Само танак слој мазива ствара хидродинамички слој у зони контакта. Због тога, један део мазива у близини зоне контакта је потиснут и има супротан ток (слика 16). Овај супротни ток делује као смицање, тако да ствара топлоту, која смањује вискозност мазива и дебљину мазива [14].



Слика 16. Зона контакта [14]

Због ефеката који су горе описани, редукциони фактор загревања услед смицања може се одредити као:

$$\phi_{ish} = \frac{1}{1 + 1,84 \cdot 10^{-9} (n \cdot d_m)^{1,28} \cdot v^{0,64}} \quad (14)$$

где су: n - број обртаја [o/min], d_m - средњи пречник лежаја [mm], v - вискозност мазива [mm²/s].

У применама где се јављају велике брзине или високе вредности вискозности, мазиво нема довољно времена да „попуни“ све зоне контакта, изазивајући ефекат кинематског попуњења. Оно смањује дебљину слоја мазива и хидродинамички слој. За услове подмазивања који су горе објашњени, редукциони фактор кинематског попуњења може се одредити као [14]:

$$\phi_{rs} = \frac{1}{e^{\left[K_{rs} \cdot \nu \cdot n \cdot (d+D) \cdot \sqrt{\frac{K_z}{2 \cdot (D-d)}} \right]}} \quad (15)$$

где су: e - основа природног логаритма, K_{rs} - константа која зависи од врсте подмазивања, ν - вискозност мазива $[\text{mm}^2/\text{s}]$, n - број обртаја $[\text{o}/\text{min}]$, d - унутрашњи пречник лежаја $[\text{mm}]$, D - спољашњи пречник лежаја $[\text{mm}]$, K_z - геометријска константа која зависи од типа лежаја.

Момент трења клизања може се одредити као [14]:

$$M_{sl} = G_{sl} \mu_{sl} \quad (16)$$

где су: G_{sl} - непозната која зависи од врсте лежаја, средњег пречника лежаја, аксијалне и радијалне силе, μ_{sl} - коефицијент трења клизања.

Где су лежајеви учвршћени помоћу заптивки, у оквиру укупног губитка снаге морамо узети и губитак који се јавља услед трења у заптивкама. Момент трења у заптивкама када је лежај учвршћен заптивкама са обе стране може се одредити као [14]:

$$M_{seal} = K_{s1} \cdot d_s^\beta + K_{s2} \quad (17)$$

где су: K_{s1} - константа која зависи од типа заптивке, типа и величине лежаја, d_s - пречник заптивке $[\text{mm}]$, β - експонент који зависи од типа заптивке и типа лежаја, K_{s2} - константа која зависи од типа заптивке, типа и величине лежаја.

У случају када се користи само једна заптивка, користимо вредност за момент од $0,5M_{seal}$.

Лежајеви су делимично потопљени у мазиво или у специјалним случајевима потпуно потопљени у мазиво. Момент трења отпора мазива који се приликом ротирања лежаја јавља не сме бити занемарен. Губици који се јављају не зависе само од брзине лежаја, вискозности уља и његовог нивоа, већ и од величине и геометрије „резервоара мазива“. Момент трења услед отпора у мазиву може се одредити као [14]:

$$M_{drag} = 4 \cdot V_M \cdot K_{roll} \cdot C_w \cdot B \cdot d_m \cdot n^2 + 1,093 \cdot 10^{-7} \cdot n^2 \cdot d_m^3 \cdot \left(\frac{n \cdot d_m^2 \cdot f_t}{\nu} \right)^{-1,379} \cdot R_s \quad (18)$$

Променљиве и функције коришћене у једначини за момент трења услед отпора у мазиву су:

$$C_w = 2,789 \cdot 10^{-10} \cdot l_D^3 - 2,786 \cdot 10^{-4} \cdot l_D^2 + 0,0195 \cdot l_D + 0,6439$$

$$l_D = 5 \frac{K_L \cdot B}{d_m}$$

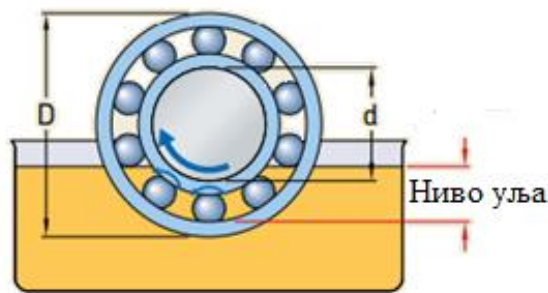
$$f_t = \begin{cases} \sin(0,5t), & 0 \leq t \leq \pi \\ 1, & \pi \leq t \leq 2\pi \end{cases}$$

$$R_s = 0,36 d_m^2 (t - \sin t) f_A$$

$$t = 2 \cos^{-1} \left(\frac{0,6 \cdot d_m - H}{0,6 \cdot d_m} \right)$$

$$f_A = 0,05 \frac{K_z \cdot (D + d)}{D - d}$$

где су: V_M - фактор губитка трења, B - ширина лежаја, d_m - средњи пречник лежаја [mm], d - унутрашњи пречник лежаја [mm], D - спољашњи пречник лежаја [mm], H - ниво мазива (слика 17), i_{rw} - број редова куглица, K_z - геометријска константа у зависности од типа лежаја, K_L - геометријска константа у зависности од типа ваљчаног лежаја, n - број обртаја [o/min], ν - вискозност мазива.



Слика 17. Ниво мазива у лежају [14]

Укупан губитак снаге у лежајевима може се потом одредити као [14]:

$$P_{l,bear} = 1,05 \cdot 10^{-4} \cdot M_{l,bear} \cdot n \quad (19)$$

Развијена је посебна процедура која се користи за одређивање губитака снаге на зупчанику услед отпора мазива. Слична метода за пужне преноснике не постоји, тако да се користи горе поменута метода за одређивање момента трења као [15]:

$$M_{l, \text{chur}} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{\text{otl}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right) \cdot A \cdot \left(\frac{d_m}{2} \right) \cdot C_m \quad (20)$$

где су: ρ_{otl} - густина мазива, n - број обртаја зупчаника, A - квасива површина зупчаника, d_m - пречник подеоног круга и C_m - бездимензиони коефицијент момента трења који се може одредити као:

$$C_m = \left(\frac{2 \cdot h}{d_m} \right)^{0,45} \cdot \left(\frac{V_0}{d_m} \right)^{0,1} \cdot F_r^{-0,6} \cdot R_e^{-0,21} \quad (21)$$

где су: h - дубина потопљености зупчаника, V_0 - запремина мазива, F_r - Фроудеов број и R_e - Рејнолдсов број.

Да би се одредио момент трења у спојницама користи се следећа једначина [16]:

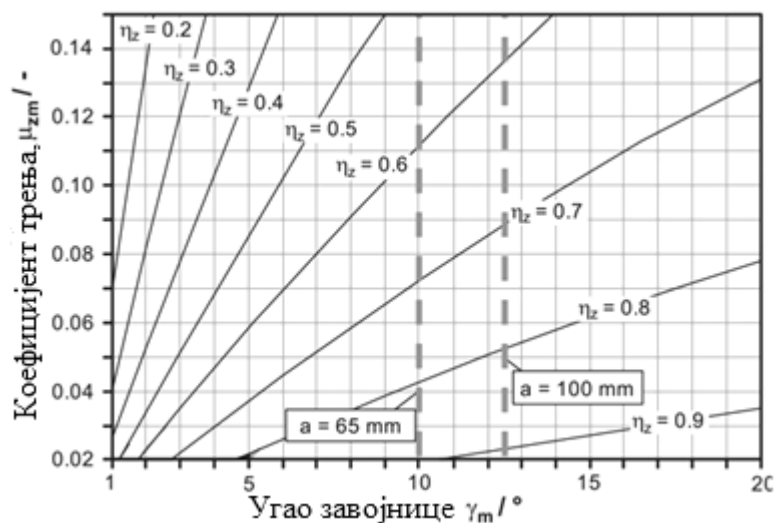
$$M_{l, \text{seal}} = \frac{d_{\text{shaft}}^2}{60} \cdot \pi^2 \cdot b_{\text{contact}} \cdot \mu \cdot p_a \quad (22)$$

где су: d_{shaft} - пречник вратила, b_{contact} - ширина контакта заптивања, μ - коефицијент трења у контакту заптивања и p_a - средња вредност контактнoг притиска у зони контакта заптивања.

4.1 Фактори који утичу на губитак снаге

Да би се смањили губици снаге који се јављају у пужном редуктору, неопходно је изабрати идеалну комбинацију геометријских параметара, подмазивања, материјала, радних услова итд. Зато је веома битно знати који параметар и колико утиче на губитке у пужном редуктору. У наставку биће дати неки од параметара који утичу на губитке снаге пужног преносника.

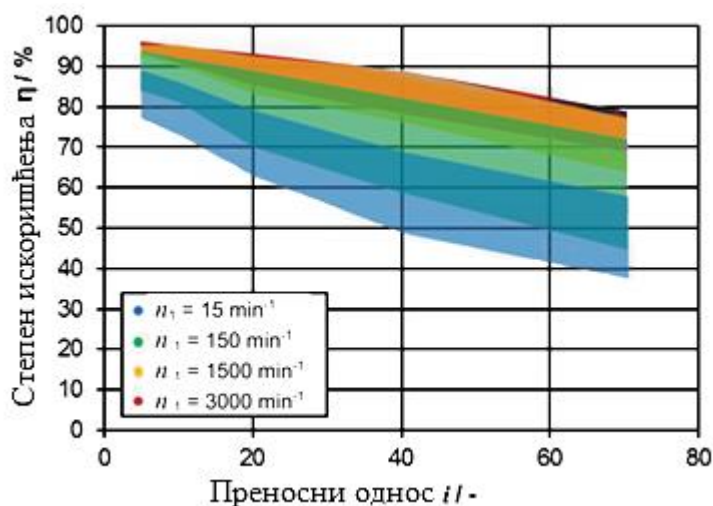
Да би се повећао степен искоришћења пужног редуктора неопходно је изабрати праву геометрију пужног зупчаника. Приметан је утицај односа пречника пужног зупчаника и осног растојања ($\frac{d_{m1}}{a}$) на степен искоришћења. Са смањењем овог односа расте степен искоришћења пужног редуктора [17]. Са повећањем угла завојнице γ_m , коефицијент трења се смањује (слика 18), а степен искоришћења расте [18].



Слика 18. Утицај угла завојнице на коефицијент трења и степен искоришћења [16]

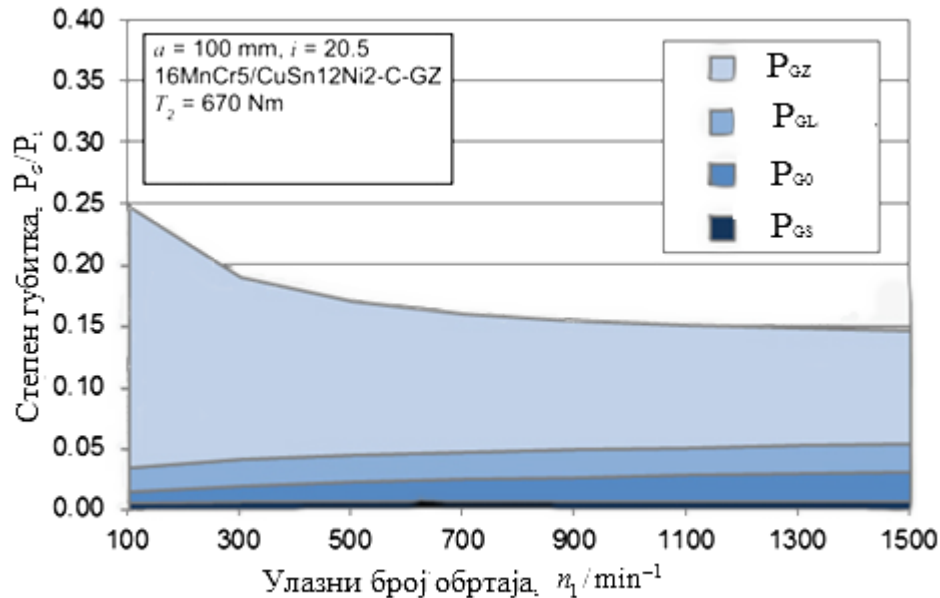
Такође, постоји велики утицај преносног односа i на степен искоришћења пужног редуктора. Смањење преносног односа доводи до повећања степена искоришћења. Степен искоришћења пужног редуктора вредности $\eta = 0,96$ је изведен при вредностима броја обртаја од $n_1 = 1500 [\text{min}^{-1}]$ и преносним односом $i = 5$ [16].

Изузетно високе вредности преносног односа могу довести до самокочења пужног редуктора. На слици 19 је приказан утицај различитих вредности преносног односа на степен искоришћења пужног редуктора [19].



Слика 19. Утицај преносног односа на степен искоришћења пужног редуктора [19]

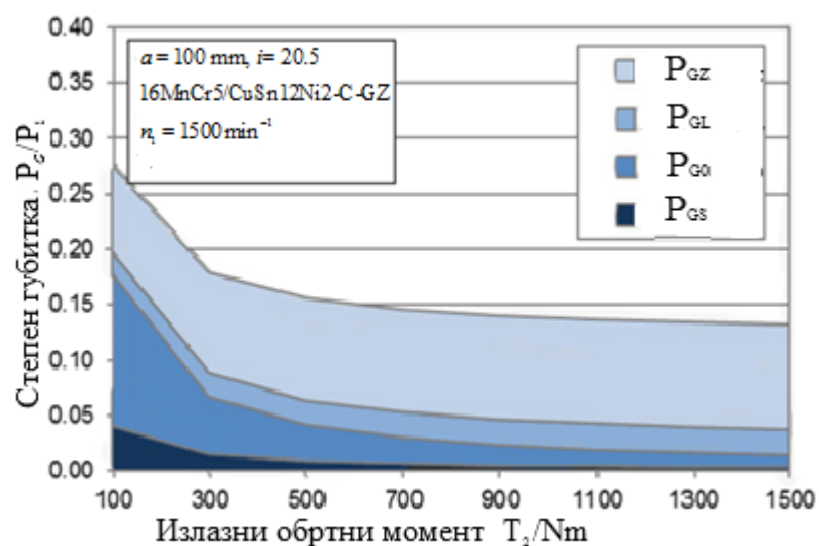
На претходној слици се такође може јасно приметити да са повећањем улазног броја обртаја расте и степен искоришћења. Висок утицај улазног броја обртаја на степен искоришћења пужног редуктора је разматран у DIN 3996 [20], у оквиру ког је дат приказ (слика 20) утицаја улазног броја обртаја на степен губитка $\frac{P_G}{P_{ul}}$.



Слика 20. Утицај улазног броја обртаја на степен губитка [20]

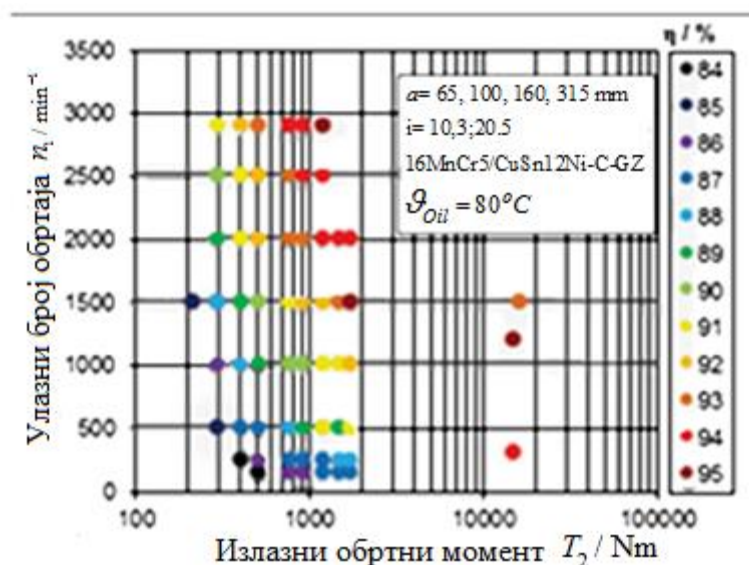
У односу на ово, мања вредност броја обртаја доводи до већег степена губитка. Део губитка у зупчанику P_{GZ} се повећава са смањењем вредности улазног броја обртаја, јер расте коефицијент трења у зони контакта када је мањи број обртаја. Утицај губитака у лежајевима P_{GL} и губитака при празном ходу P_{G0} се смањују са смањењем вредности броја обртаја, али ни један од ових утицаја нема толико велики утицај као губици у спреси зупчаника [21].

Као што вредност улазног броја обртаја утиче на степен искоришћења, тако и излазни обртни момент утиче на степен искоришћења пужног редуктора. Обично ниже вредности излазног обртног момента утичу на ниже вредности степена искоришћења. Испитивањем пужних преносника средњих величина, у оквиру рада [22], доказана је претходна тврдња. На слици 21 приказан је утицај излазног обртног момента на степен губитка $\frac{P_G}{P_{ul}}$ [21].



Слика 21. Утицај излазног обртног момента на степен губитка [20]

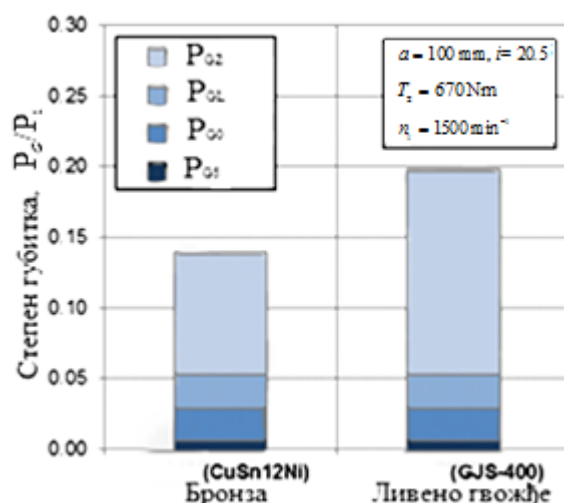
Као што се на слици 21 и види, губици опадају са порастом излазног обртног момента. Вредности губитака снаге при празном ходу P_{G0} и губитака у заптивкама P_{GS} , нису под утицајем вредности излазног обртног момента. Ипак, због смањења улазне снаге P_1 , утицај вредности P_{G0} и P_{GS} постаје већи. Што се тиче губитака који се јављају у спрези P_{GZ} , приметно је да је најмањи утицај при мањим вредностима излазног обртног момента и да расте са смањењем вредности обртног момента. Губици у лежајевима имају готово константан утицај на степен губитка. Пример утицаја различитих радних услова на степен искоришћења може се видети и на слици 22.



Слика 22. Утицај излазног обртног момента на степен искоришћења [21]

На слици 22 је приказан сет испитивања која су вршена на пужним редукторима који су радили под различитим вредностима улазних бројева обртаја и излазног обртног момента. Јасно се може уочити да степен искоришћења расте са порастом броја обртаја и порастом вредности излазног обртног момента.

Као што је већ на почетку рада наглашено, обично је пуж израђен од тврђег а пужни зупчаник од мекшег материјала. Што се тиче степена искоришћења, пужни преносници чији је пужни зупчаник израђен од бронзе и пужа који је од каљеног челика, имају тенденцију да имају веће вредности степена искоришћења од оних чији је пужни зупчаник израђен од ливеног гвожђа, *Al* – бронзе или месинга. Ово се може објаснити бољим својствима клизања бронзе у односу на остале материјале. На слици 23. биће приказан утицај материјала на степен губитка снаге, за пужни зупчаник израђен од бронзе и ливеног гвожђа [21].

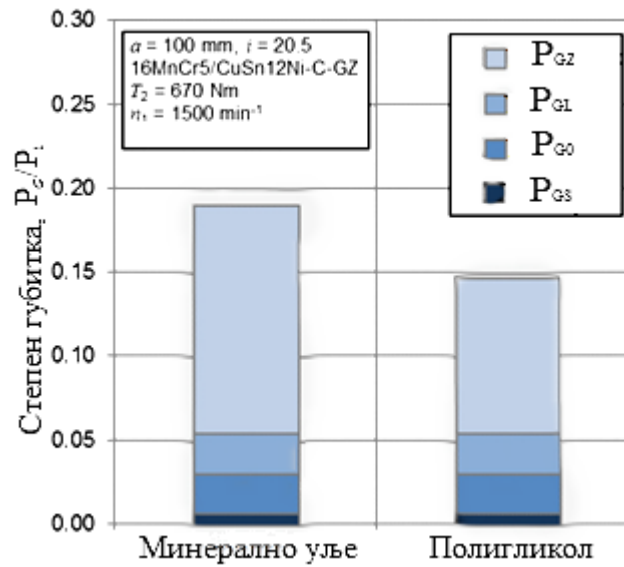


Слика 23. Утицај материјала на степен губитка [20]

Што се тиче утицаја вискозности мазива на степен искоришћења, вршено је испитивање мазива вискозности 220 и 460, под истим условима испитивања (улазни број обртаја $n_1 = 300$ [o/min] и излазни обртни момент $T_2 = 10$ [kNm]). Примећено је да се већи степен искоришћења добија са већим вредностима вискозности уља [21].

Утицај врсте мазива на степен искоришћења пужног редуктора је велики. Уопштено, синтетичка мазива доводе до смањеног коефицијента трења у односу на минерална уља. Мањи губици снаге а самим тим и већи степен искоришћења долазе са мањим коефицијентом трења [21].

Утицај врсте уља је такође описан у стандарду DIN 3996 [20]. Пужни редуктори који као средство подмазивања имају минерално уље имају већи степен губитка него они који су подмазани полигликолом. На слици 24 шематски је приказан утицај врсте уља на степен губитка пужног редуктора [21].



Слика 24. Утицај врсте уља на степен губитка [20]

На слици 24 се јасно види да је једини утицај мазива на степен губитка управо на губитку приликом спрезања зупчаника P_{GZ} . То се објашњава тиме што је већи коефицијент трења када се подмазивање врши минералним уљем. Остали утицаји нису под утицајем врсте уља.

5. Подмазивање пужних преносника

5.1. Општа подела мазива

Мазива различитих карактера данас се користе за подмазивање механичких система и њихових елемената, што је условљено различитим условима рада и условима околине конструкција у којима она налазе примену. Када се правилно одабере мазиво као и сам поступак подмазивања, повећава се век трајања конструкције а смањују трошкови одржавања и самог рада.

Подела мазива врши се на основу функције, агрегатног стања, састава и/или порекла и намене. Према функцији мазива се деле у две основне групе [23]:

- Конструкциона мазива су она мазива која представљају елемент конструкције машине. Сам избор мазива врши се заједно са избором материјала и осталих параметара делова који су изложени трењу и хабању.
- Технолошка мазива су она мазива која имају сврху подмазивања и хлађења алата и материјала који се обрађује, при обради метала резањем и деформисањем. Избор мазива се посматрају као елемент технолошког процеса и избор се врши при дефинисању процеса.

У односу на агрегатно стање мазива се деле на гасовита, течна, полутечна и чврста (табела 3). По свом пореклу и саставу мазива могу бити различита. У односу на порекло и састав течна мазива могу бити: уља минералног порекла- уља добијена прерадом нафте и нафтних деривата, синтетичка мазива и уља биљног и животињског порекла. Чврста мазива по пореклу могу бити органског и неорганског порекла и веома различитог састава.

Табела 3. Општа подела мазива према агрегатном стању и саставу [23]

Састав	Агрегатно стање			
	Гасовита	Течна	Полутечна	Чврста
	Ваздух	Минерална уља	Масти сапунске основе	Ламеларне структуре
	Азот	Синтетичка уља и течности	Масти несапунске основе	Полимерни материјали
	Хелијум	Уља биљног и жив. порекла	Масти без згушћивача	Меки метали
	Угљендиоксид		Битуменска мазива, вазелини	Керамички материјали

Такође, користе се и комбинације ових група мазива. Када се минералним уљима додају уља биљног порекла добијају се замашћена уља. Минералним и синтетичким

уљима могуће је додати друга једињења ради побољшања одређени особина при чему се добијају легирана уља [23].

Што се тиче поделе мазива према намени, ова подела је извршена у односу за које елементе и системе се одређено мазиво користи као средство за подмазивање. Према намени мазива се деле у одређене фамилије док у свакој фамилији постоји више категорија, односно производа различитих карактера [24].

Приликом избора мазива постоје бројни фактори који утичу на избор. Фактори који утичу на избор везани су за поузданост система, захтевани рок употребе, услове експлоатације и радне услове. Од свих горе поменутих фактора најчешће се разматрају радни услови и вредности брзине и оптерећења.

5.2. Основна физичко-хемијска својства мазива

Да би мазиво задовољило захтеве подмазивања као и остале задатке који се постављају мазивима, оно мора да поседује тачно дефинисана физичко-хемијска својства. Основна физичка својства мазива су: вискозност, индекс вискозности, густина, температура паљења, температура течења, стишљивост, пењење итд. Најважније хемијске карактеристике су: хемијска и термичка стабилност, корозивност итд., док се као остала важна својства наводе токсичност, боја и биоразградљивост [23].

Вискозност представља отпор или трење које се јавља у течности при њеном кретању и представља основно физичко својство мазива. Пошто отпор зависи од сила које се јављају између молекула исте, јасно је да се променом структуре и варијацијом унутрашњих компонената (дужином, обликом и распоредом угљоводоника), као и променом спољашњих фактора (температура и притисак), може мењати вредност вискозности. Вискозност се као величина дефинише на два начина: динамичка и кинематска [23].

Динамичка вискозност представља однос напона смицања и градијента брзине смицања који настају у течности током течења. Вредност динамичке вискозности код већине мазива не зависи од брзине смицања, тј. та мазива су њутновске течности (слика 25).

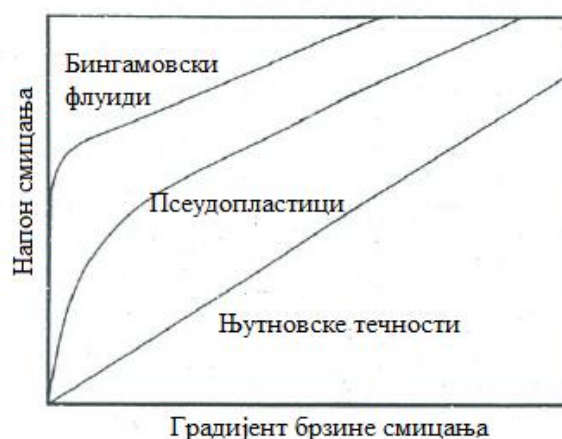


Слика 25. Зависност динамичке вискозности од градијента брзине смицања [23]

За такве течности важи линеарна зависност напона смицања и градијента брзине смицања (слика 26) и исказује се њутновим законом [23]:

$$\tau = \eta \cdot \frac{du}{dy} \quad (23)$$

где је: τ - напон смицања у мазиву [Pa], η - динамичка вискозност [Pa·s], du / dy - градијент брзине смицања управан на правац струјања мазива.



Слика 26. Зависност напона смицања од градијента брзине смицања за различите течности [23]

Код нењутновских флуида, као што је приказано на слици 25, зависност напона и градијента брзине је нелинеарна и за псеудопластике се може исказати изразом [23]:

$$\tau = k_k \left(\frac{du}{dy} \right)^m, m < 1 \quad (24)$$

односно

$$\eta_a = k_k \cdot \left(\frac{du}{dy} \right)^{m-1}, \quad (25)$$

док за бингамовске флуиде важи једначина,

$$\tau - \tau_0 = \eta_a \cdot \frac{du}{dy} \quad (26)$$

где су: η_a - привидна вискозност мазива, k_k - коефицијент конзистенције течности, m - степен нењутновског понашања течности.

Кинематска вискозност, која се у пракси највише користи, представља отпор струјању течности под утицајем гравитације. Може се одредити као однос величине динамичке вискозности и густине течности на датој температури [23]:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (27)$$

где су: ν - кинематска вискозност [m^2/s], η - динамичка вискозност [$\text{Pa} \cdot \text{s}$], ρ - густина [kg/m^3].

Пошто је стандардна јединица велика, у пракси се најчешће користи јединица [mm^2/s]. Са променом температуре и притиска коме је изложено мазиво, мења се и величина вискозности. Са порастом температуре опада вискозност мазива и обратно. Зато се мора приликом дефинисања величине вискозности дефинисати и температура при којој је вршено одређивање. Зависност динамичке вискозности од температуре одређена је Вогеловом једначином [23]:

$$\eta = K_1 \cdot \exp\left(\frac{K_2}{T + K_3}\right) \quad (28)$$

где су: η - динамичка вискозност [$\text{Pa} \cdot \text{s}$], T - температура [$^{\circ}\text{C}$], K_1, K_2, K_3 - константе које зависе од својстава течности.

Привидна вискозност представља особину мазива да њена вискозност не зависи само од температуре, него и од других променљивих, пре свега од градијента брзине струјања. Зато се, најчешће код масти, говори о вискозности која је дефинисана за одређену температуру и одређен градијент смицања. Ову величину је неопходно знати јер одређује отпоре при струјању мазива [23].

Густина представља однос масе и запремине на одређеној температури [24]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (29)$$

где су: ρ - густина [kg/m^3], m - маса [kg], V - запремина [m^3].

Вредност густине се мења линеарно са променом притиска и температуре. Са повећањем температуре густина опада, док са порастом притиска вредност густине расте. Вредност густине се обично приказује на 15 [$^{\circ}\text{C}$], али је за инжењерске потребе често неопходно познавати вредност густине и при другим вредностима температуре. За те потребе користи се следећи образац [23]:

$$\rho_{15} = \rho_T + k_{\rho} \cdot (T - 15) \quad (30)$$

где су: ρ_{15} - густина на 15 [$^{\circ}\text{C}$], [kg/m^3], ρ_T - густина на температури T [kg/m^3], k_{ρ} - коефицијент корекције [$\text{kg/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$] и T - температура [$^{\circ}\text{C}$].

Вредности температурског коефицијента корекције k_{ρ} , дате су у табели 4.

Табела 4. Коефицијент корекције у односу на густину [23]

Густина [kg/m^3]	k_{ρ} [$\text{kg/m}^3 \cdot ^{\circ}\text{C}$]
800-840	0,610
840-850	0,608
850-1110	0,605
1110-1130	0,603
1130-1140	0,602
1140-1150	0,600

Температура паљења се дефинише као најнижа температура мазива до које је узорак испитивања загрејан, а при којој се паре мазива изнад површине тренутно пале у присуству пламена, под условима испитивања који су прописани. Већу температуру паљења по правилу имају уља веће вискозности. Уколико је вредност температуре паљења ниска, то указује на већу потрошњу уља, тако да се ова величина може посматрати као контролна величина [23].

Температура течења се дефинише као најнижа температура мазива на којој оно и даље континуално тече при датим условима испитивања. Да би процес подмазивања био исправан потребно је за подмазивање користити мазиво са знатно нижом температуром течења од најнижих радних температура и температура околине. Тиме се обезбеђује несметано струјање мазива и знатно смањују отпори [23].

Стишљивост се дефинише као промена густине са променом притиска, али се најчешће изражава као промена запремине са променом притиска. Ова величина је нарочито битна код течних мазива која су изложена великим притисцима, што је случај у хидрауличним системима. Као мера стишљивости уведен је коефицијент стишљивости, одређен следећим изразом [23]:

$$k_s = \frac{1}{V_1} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta p} \quad (31)$$

где су: k_s - коефицијент стишљивости [m^2/N], $\Delta V = V_2 - V_1$ [m^3], $\Delta p = p_2 - p_1$ [Pa], V_1 - запремина на притиску p_1 [m^3], V_2 - запремина на притиску p_2 [m^3], p_1 - почетни притисак [Pa], p_2 - крајњи притисак [Pa].

Пењење мазива представља присуство ваздуха у мазиву који може у одређеним условима да створи слој пене на површини мазива. Фактори који утичу на ову појаву су присуство ваздуха и контаминаната у мазиву, својства мазива и карактеристике система за подмазивање. Као последица постојања пене, долази до неадекватног подмазивања које може да изазове оштећење, зато се у циљу смањења или потпуног елиминисања појављивања пене, мазивима додају адитиви.

Што се тиче хемијске стабилности, основни узрок хемијске деградације током експлоатације мазива је оксидација. У суштини мазива нису хемијски реактивна, али је могуће да дође до оксидације при повишеним температурама у присуству ваздуха. Као резултат настају киселине које могу да изврше корозију метала, због чега је веома важно да мазива имају високу отпорност на оксидацију.

Термичка стабилност представља особину мазива да се одупре разлагању када је оно изложено повишеним температурама. Ова особина, заједно са хемијском стабилношћу, представља главно ограничење у погледу температурног опсега примене мазива.

Мазива не смеју да изазивају корозију метала са којим су у контакту. Ипак, у току самог рада, могу се појавити у мазиву продукти деградације који су агресивни и могу изазвати корозију. Такође постоје адитиви који хемијски реагују са гвожђем и обојеним металима.

На боју мазива утичу адитиви и процес рафинације. Ова особина није значајна код мазива као финални производ, али у току производње може бити повратна информација да ли се процес рафинације одвија исправно.

Токсичност означава све утицаје мазива на здравље људи, биљни и животињски свет. Токсичност минералних мазива је незнатно мала, али мазива која у себи садрже различите хемијске супстанце, као и употребљавана мазива могу бити узрочних многих обољења. Зато је данас руковање и одлагање коришћеног мазива регулисано законским прописима.

Биоразградљивост је карактеристика мазива да се у природној средини разгради уз помоћ микроорганизама. Биљна мазива се најбоље разграђују, синтетичка такође добро,

док се минерална мазива тешко разграђују. Најпожељније је да се мазива потпуно разграђују у најкраћем временском интервалу [24].

5.3. Течна мазива

Течна мазива представљају највише и најшире коришћену групу мазива и чине преко 90 % свих мазива у употреби. Најчешће се називају уља за подмазивање, јер су она најзаступљенија од свих течности које ова мазива обухватају. Примена ових мазива је широка, примењују се за подмазивање елемената и механизма код моторних возила, турбина, генератора, пумпи, хидрауличних система, компресора, при обради метала резањем и деформисањем и код других система [23].

Течна мазива се састоје од основног или базног уља и различитих додатака које називамо адитивима. У зависности од начина добијања и порекла базно уља делимо на следеће групе [23]:

- минерална базна уља,
- синтетичка базна уља,
- базна уља биљног порекла.

Минерална базна уља добијају се из нафте и састоје се од различитих парафинских и нафтенских угљоводоника са мањим уделом аромата. Својства минералних базних уља одређују састав нафте и поступци прераде [23].

Синтетичка базна уља добијају се из сировина поступцима синтезе. Базна уља синтетичке основе имају контролисану структуру јер су као производ људског ума састављена са предвиђеним и захтеваним својствима, за разлику од минералних уља која представљају комплексну мешавину природних угљоводоника [23].

Биљна базна уља се добијају из различитих врста биљака, и имају све већу примену због својства биоразградљивости ради заштите вода и земљишта од загађења [23].

5.4. Полутечна мазива- техничке масти

Најзаступљенија полутечна мазива су техничке масти за подмазивање. По обиму заступљености, ова група мазива се налази одмах иза минералних уља. У ову групу мазива спадају и битуменска мазива, парафини и вазелини [23].

Техничке масти налазе своју примену за подмазивање свих типова котрљајних лежаја, ланаца, ужади, осовина, зглобова, клизног лежаја, спороходних и отворених зупчастих преносника. Употреба техничких масти има предност приликом обављања функције у односу на уља за подмазивање [23]:

- Ако се на месту подмазивања захтева константно присуство мазива,
- на местима где се не може користити течно мазиво из конструкционих разлога,
- ако је поред подмазивања улога мазива и да спречи продор нечистоћа из околине и омогући заптивање.

Течне масти се састоје од течног мазива и материје која служи као згушћивач. Такође, као и у течним мазивима могу бити присутни и одговарајући адитиви. Уобичајено техничка маст садржи 4 до 20 % згушћивача, 75 до 90 % уља за подмазивање и до 5 % адитива. При раду у широком температурском интервалу или при изразито ниским и високим температурама као уљна компонента у мастима користе се синтетичка мазива, најчешће естри и силикони [23].

5.5. Адитиви

Већина уља за подмазивање и полутечна мазива садрже додатке у виду хемијских једињења које називамо адитивима. Данашњи системи раде под све тежим условима, које карактеришу велике вредности брзина, оптерећења и радних температура, тако да је основна улога адитива побољшање својства мазива у циљу задовољења подмазивања [24].

По начину деловања, разликујемо адитиве који мењају физичке карактеристике мазива, као на пример спречавање пењења, снижавање температуре течења и слично, и адитиви који мењају хемијске особине, побољшавање оксидационе стабилности, антихабајућа и друга својства. Количина адитива је од неколико процената до чак 40 %.

Адитиви за повећање индекса вискозности су најчешће полимерна једињења која делују тако да на вишим температурама знатно више делују на вискозност него на нижим температурама, при чему остварују мању промену вискозности уља са температуром и регулишу да се та промена сведе у жељене границе.

Адитиви за снижење температуре течења или депресанти имају основну функцију да спрече стварање кристала парафина односно имобилизацију уља на ниским температурама.

Адитиви инхибитори оксидације имају за циљ да делују на развијање процеса оксидације мазива и тиме продуже век употребе мазива. Као резултат оксидације, концентрација органских киселина расте и формирају се талози на металним површинама које се подмазују, при чему ови талози у екстремним случајевима могу довести до застоја у раду. При радним температурама до 90 [°C] инхибитори имају улогу да прекину процес оксидације, тако што продукте оксидације превode у неутрална једињења. За температуре изнад 90 [°C] морају се користити инхибитори који ће смањити каталитички ефекат који се јавља приликом оксидације [23].

Адитиви за спречавање пењења уља се најчешће користе код циркулационог система подмазивања, у те сврхе се користе силиконска једињења која се додају у веома малим количинама течним мазивима [23].

Адитиви за спречавање рђања су материје које имају изразита својства приањања уз металне површине. Они штите металне површине од контакта са водом или влагом, који су узрочници појаве рђе.

Адитиви инхибитори корозије имају основну улогу да металне површине заштите од утицаја хемијских једињења, пре свих киселина, насталих као резултат рада уређаја или због промена у мазиву током експлоатације.

Адитиви детерџенти и дисперзанти имају основну улогу да растварају, испирају и одржавају у суспензији талог и смоле које настају као процес рада мотора.

Адитиви модификатори трења се користе са циљем да се смањи трење, а у одређеној мери и хабање. То су материје које имају способност везивања за метал адсорпцијом, правећи тако слој који има повољне триболошке карактеристике у погледу трења и хабања.

Адитиви за велике притиске (ЕР адитиви) хемијски реагују са металом и тако стварају слојеве који су отпорни на хабање при изразито великим притисцима.

Емулгатори су адитиви који служе да се оствари и садржи стабилност емулзије. Ови адитиви смањују површински напон, који је главни узрочник лошег међусобног мешања воде и уља.

5.6. Подмазивање зупчастих преносника

Основни циљ подмазивања зупчаника је смањење хабања, осим ове функције подмазивање треба да обезбеди: смањење губитака трења, смањење шума, хлађење итд. Све ове функције говоре о значају подмазивања, па се подмазивању мора посветити велика пажња.

У зависности од геометријских карактеристика, експлоатационих услова, начина подмазивања итд., разликују се следећи режими подмазивања зупчастих преносника:

- хидродинамичко подмазивање,
- мешовито подмазивање,
- гранично подмазивање,
- еластохидродинамичко подмазивање.

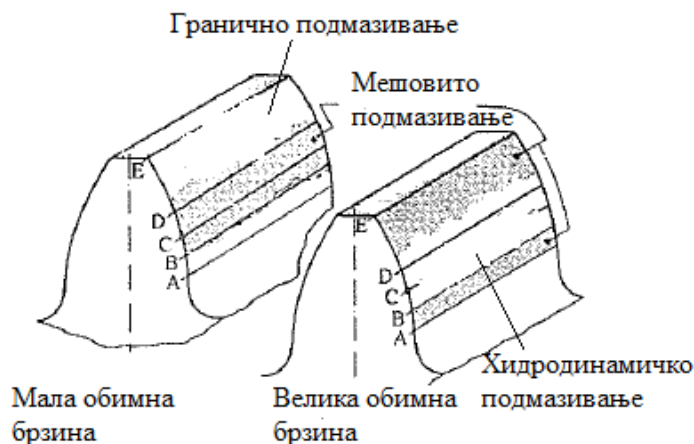
Хидродинамичко подмазивање је подмазивање код ког је дебљина слоја мазива у најужем делу већа од збира максималних неравнина оба профила. При хидродинамичком подмазивању спрегнуте површине су потпуно одвојене слојем мазива. Карактеристика хидродинамичког подмазивања је да оптерећење преноси мазиви слој који се налази између спрегнутих површина [24].

Мешовито подмазивање представља комбинацију хидродинамичког и мешовитог подмазивања и јавља се у два случаја [24]:

- Ако спрегнути профили не одступају од геометрије (нема искошења, деформације, валовитости итд.) тада се, у случају да је дебљина слоја мазива у најужем делу мања од збира максималних неравнина оба профила, додир профила остварује по врховима неравнина. Оптерећење ће се преносити делом преко мазивог слоја а делом преко врхова неравнина.
- Ако спрегнути профили одступају од геометрије, гранично трење је концентрисано на релативно крупне истурене делове површина, које преносе велики део оптерећења и еластично се деформишу, док на осталим деловима површина влада хидродинамичко подмазивање.

При граничном подмазивању, оптерећење се преноси преко мулти-молекуларних слојева средства за подмазивање. Улогу средства за подмазивање играју не само мазива већ и оксидни слојеви и друга хемијска једињења која се налазе на спрегнутим површинама зуба [24].

У полу спрезања клизање је једнако нули и расте у правцу корена и врха зуба. Теоретски, у полу се јавља само котрљање са најизраженијим хидродинамичким ефектом. На слици 32 је приказана зависност режима подмазивања који ће се појавити на спрегнутим површинама зуба у односу на брзину и оптерећење зупчаника.



Слика 27. Врсте подмазивања додирних површина зуба зупчаника [23]

На слици 27 се јасно види да при малим брзинама и високим оптерећењем на активној површини зуба се јављају области граничног и мешовитог подмазивања. Са повећањем обимне брзине, гранично подмазивање прелази у мешовито, а мешовито у хидростатичко подмазивање. Тачка С одговара полу спрезања, а тачке В и D означавају границу једнопарног спрезања. Такође може се приметити да су услови за хидродинамичко подмазивање најнеповољнији при врху зуба. Зупчасти преносници обично раде у условима мешовитог подмазивања [23].

Остварена дебљина мазива има утицаја на појаву површинског замора, а самим тим и на трајност самог преносника. Са порастом дебљине слоја мазива расте и отпорност на питинг. Такође важно је напоменути да при граничном или мешовитом подмазивању може доћи до адхезивног хабања. Ово се може спречити коришћењем мазива са изразитим ЕР својствима, међутим то може имати и негативних утицаја као на пример појава корозије бакра, кртост елемената и друге нежељене појаве што је веома важно код пужних преносника.

5.7. Избор уља за пужне преноснике

Према примени и перформансама разликују се следеће три групе уља за затворене зупчасте преноснике: са адитивима инхибиторима рђања и оксидације, компаундирана и ЕР уља. Уља са адитивима против оксидације и рђања су обично минерална уља и користе се за подмазивање лако оптерећених преносника. Компаундирана уља су блендирана минерална уља са 3 до 10 % масних уља, као модификатори трења. За ЕР уља се углавном користе минерална уља са ЕР адитивима који служе за заштиту зупчаника од хабања. Осим ових уља, велику примену имају и мазива приказана у табели 5 [23].

Табела 5. Општа препорука за избор уља затворених зупчастих преносника [23]

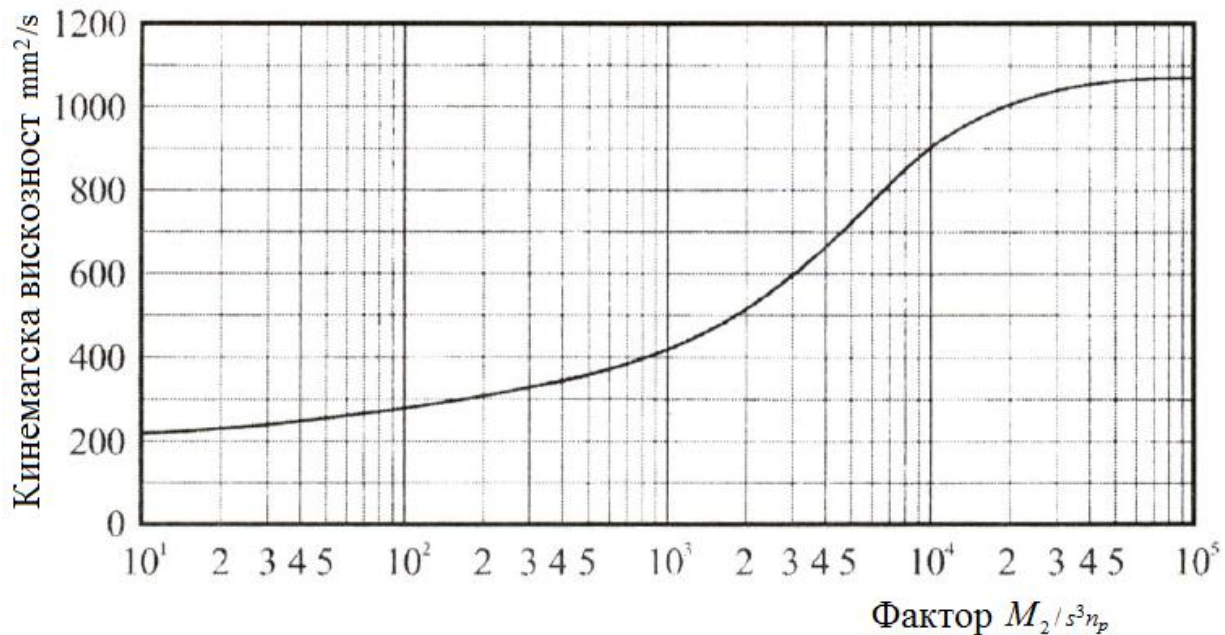
Фамилија/врста мазива	Вискозитетна група [mm ² /s]	Намена
Редукторска уља са адитивима против оксидације и рђања, а по потреби и модификаторима трења	46-220	Цилиндрични зупчаници (са правим и косим зупцима) средњих и великих бројева обртаја; пужни преносници великих брзина
	320-680	Спороходни цилиндрични зупчаници; пужни преносници
Турбинска уља	32-100	Преносници код турбина и други са великим брзинама са сличним захтевима; планетарни преносници
Хидраулична уља	32-150	Преносници великих брзина као и други код којих је основни погонски захтев чисто уље или са адитивима која се користе код уља за хидрауличке системе
Редукторска уља са ЕР адитивима	46-680	Цилиндрични зупчasti преносници (са правим и косим зубима), конусни и пужни преносници код којих постоји захтев за ЕР уљима
Синтетичка уља за зупчaste преноснике	46-1000	Пужни преносници са повећаним техничким оптерећењем

Након одабира фамилије односно категорије мазива, следећи корак је избор вискозности мазива јер се процена остварене врсте подмазивања као и вероватноћа појаве оштећења везује управо за вискозност мазива. На основу стандарда DIN 51509, препоруке за избор вискозности врше се на основу две величине: оптерећења и брзине. Зависност вискозности мазива код пужних преносника у односу на фактор оптерећење/брзина приказан је на слици 28.

При томе се фактор одређује на основу обрасца [23]:

$$\text{фактор опт \& брзина} = \frac{M_2}{s^3 \cdot n_p} \quad (32)$$

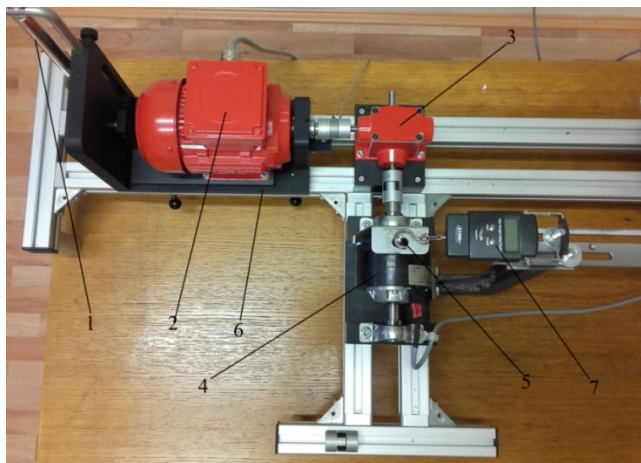
где су: M_2 - излазни момент [Nm], s - осно растојање [m], n_p - број обртаја пужа [min^{-1}].



Слика 28. Избор величине вискозности уља за подмазивање пужних преносника [23]

6. Уређај за одређивање степена искоришћења

На слици 29 је приказан уређај АТ 200 на коме је вршено одређивање степена искоришћења.



Слика 29. АТ 200

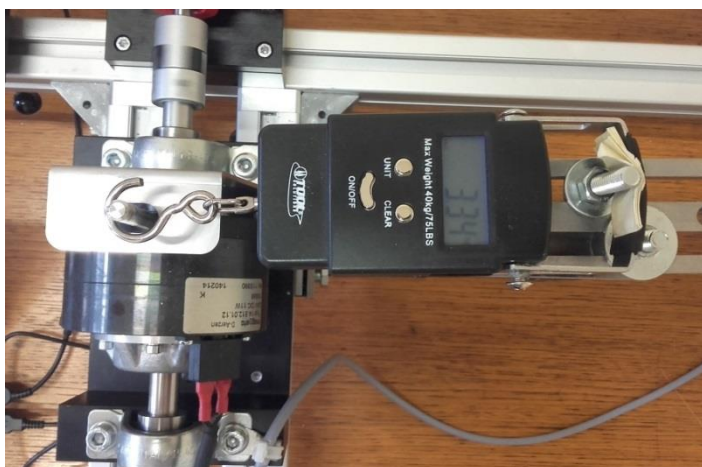
Уређај служи за одређивање степена искоришћења зупчастих преносника, основни делови уређаја су (слика 3): 1-динамометар на улазу, 2-мотор, 3-пужни редуктор, 4-кочница, 5-полуга кочнице, 6-кућиште, 7-динамометар на излазу.

Мотор је осноњен на главни рам преко 2 лежаја, тако да нема контакт са постољем које се налази испод њега, тако да може да врши ротацију око своје подужне осе. Када мотор произведе обртни момент, он је подвргнут реакционом моменту истог интензитета али супротног смера. Улазни момент електромотора се потом може одредити помоћу полуге дужине 50 [mm] и динамометра. Када се полуга постави у хоризонтални положај, и прочита вредност силе на динамометру, уз помоћ завртња динамометар остаје закочен на датој вредности (слика 30).



Слика 30. Динамометар на електромотору

Кочиони момент се израчунава као производ силе кочења и растојања од центра кочнице до места где се поставља динамометар (слика 31), дужина те осовине је 100 [mm]. Кочница се састоји од тела кочнице и вратила на коме се налази кочница. Кочница се налази на постољу које је вишеделно, како би било омогућено повезивање кочнице са различитим редукторима.



Слика 31. Динамометар на кочници

Контролна јединица (слика 32) служи да се подеси улазни број обртаја, односно број обртаја вратила мотора као и сила кочења кочнице. Електромотор се напаја из контролне јединице а број обртаја се подешава помоћу потенциометра. На излазном вратилу електромотора се налази сензор чије вредности читавања су приказане на контролној јединици. Кочница је такође повезана са контролном јединицом и мењањем јачине струје регулише се сила кочења.



Слика 32. Контролна јединица

Степен искоришћења се рачуна по следећем математичком моделу [25]:

Улазна снага се рачуна према:

$$P_1 = M_1 \cdot \omega_1$$

где су:

$$M_1 = F_1 \cdot l_1$$

M_1 - момент ЕМ [Nmm]; F_1 - уравнотежавајућа сила [N]; l_1 - крак силе [mm];

ω_1 —угаона брзина [s^{-1}]:

$$\omega_1 = 2 \cdot \pi \cdot f_1, \text{ где је}$$

$$f_1 = \frac{n}{60} - \text{фреквенција.}$$

Изразна снага се рачуна као:

$$P_2 = M_2 \cdot \omega_2$$

где су:

$$M_2 = F_2 \cdot l_2$$

M_2 - момент на излазу [Nmm] ; F_2 - уравнотежавајућа сила [N]; l_2 - крак силе [mm]

ω_2 —угаона брзина [s^{-1}]:

$$\omega_2 = 2 \cdot \pi \cdot f_2, \text{ где је}$$

$$f_2 = \frac{n}{60} - \text{фреквенција.}$$

Степен искоришћења одређује се као однос излазне и улазне снаге:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100, \%$$

7. Резултати испитивања

Испитивања су вршена на претходно описаном уређају АТ 200, при чему су вариране вредности јачине струје на кочници, улазног броја обртаја као и врста мазива, односно коришћена су мазива са различитим вредностима вискозности. Вредности јачине струје на кочници крећу се од вредности 0,1 [А] до 0,2 [А], са интервалом промене 0,025[А]. Вредности улазног броја обртаја су 1500 $[\text{min}^{-1}]$, 1750 $[\text{min}^{-1}]$, 2000 $[\text{min}^{-1}]$, док су мазива коришћена за сврху испитивања имала вредност вискозности од 220 $[\text{mm}^2/\text{s}]$, 460 $[\text{mm}^2/\text{s}]$, 600 $[\text{mm}^2/\text{s}]$ и 680 $[\text{mm}^2/\text{s}]$.

Испитивања су вршена варирањем различитих врста мазива. Једно од мазива која су коришћена током експерименталних испитивања је синтетичка маст немачког произвођача MOLYDUVAL, чије су основне карактеристике дате у табели 6.

Табела 6. Технички подаци мазива MOLYDUVAL [26]

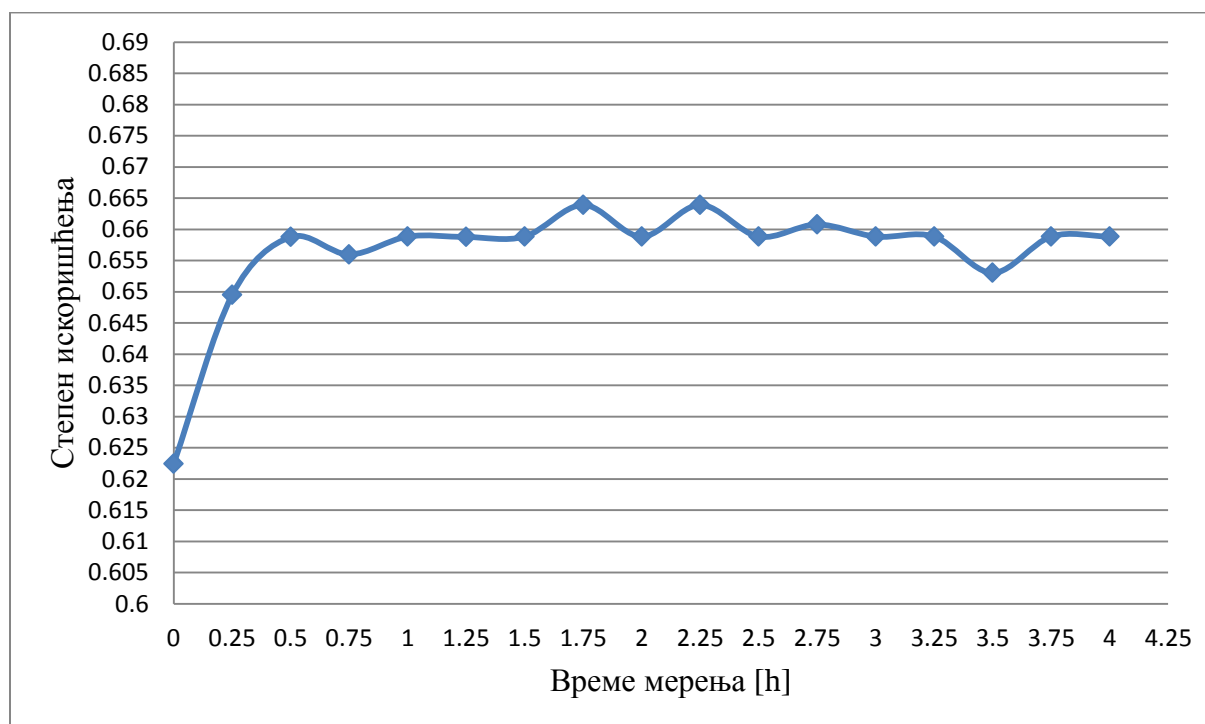
Боја	Беж
Назив	GHC00G-40
Густина (15 °C) $[\text{kg}/\text{m}^3]$	900
Вискозност (40 °C) $[\text{mm}^2/\text{s}]$	600
Температурни опсег $[\text{°C}]$	-40÷120
NLGI број	00

Остала мазива која су коришћена за потребе експерименталних испитивања су редукторска уља произвођача FAM, чије су техничке карактеристике дате у табели 7.

Табела 7. Технички подаци мазива FAM [27]

	FAMREDOL ULTRA			Метода
	220	460	680	
Густина (15 °C) $[\text{g}/\text{ml}]$	0,89	0,90	0,91	SRPS EN ISO 3675
Вискозност (40 °C) $[\text{mm}^2/\text{s}]$	220	460	680	SRPS ISO 3104
Вискозност (100 °C) $[\text{mm}^2/\text{s}]$	20	30	38	SRPS ISO 3104
Тачка паљења $[\text{°C}]$	220	235	245	SRPS EN ISO 2592
Тачка течења $[\text{°C}]$	-18	-12	-9	SRPS ISO 3106

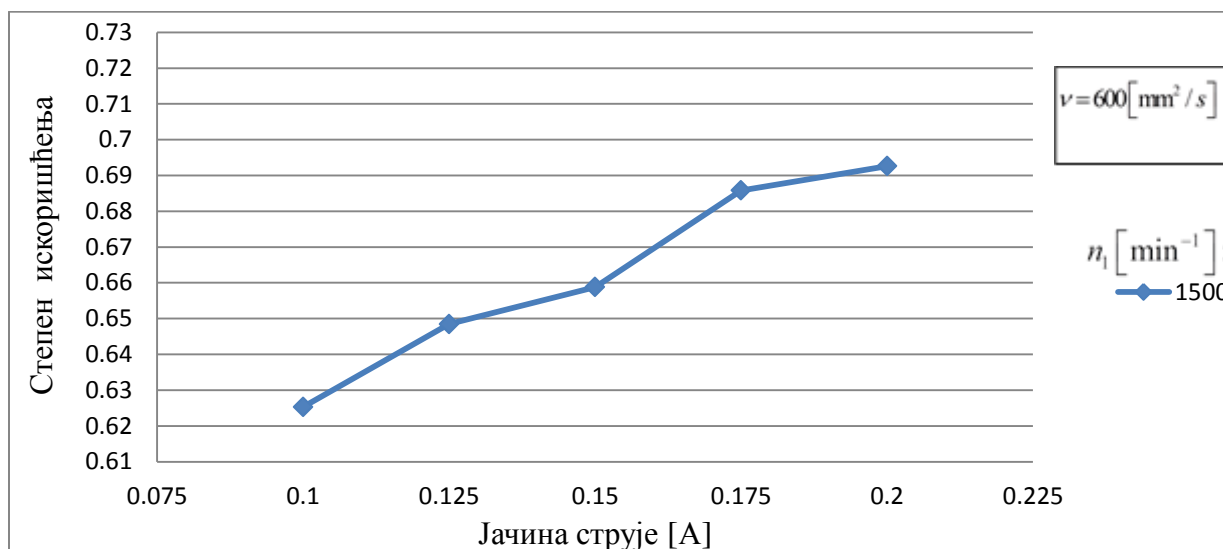
Испитивање је вршено тако што се за једну врсту уља, одређене вискозности, за исте вредности улазног броја обртаја мењала јачина струје на кочници, односно мењала вредност излазног момента. Вредност јачине струје се мењала, од вредности 0.1 [A] до 0.2 [A], на сваких сат и по времена за 0.025 [A], што је укупно осам сати за једну врсту мазива и једну вредност улазног броја обртаја. За вредност јачине струје 0.1 [A] испитивање траје 2 сата, из разлога што првих пола сата пужни редуктор постиже радну температуру и мазиво тек тада формира хидродинамички слој (слика 33). Очитавање резултата вршено је на сваких 15 минута.



Слика 33. Степен искоришћења у зависности од времена испитивања

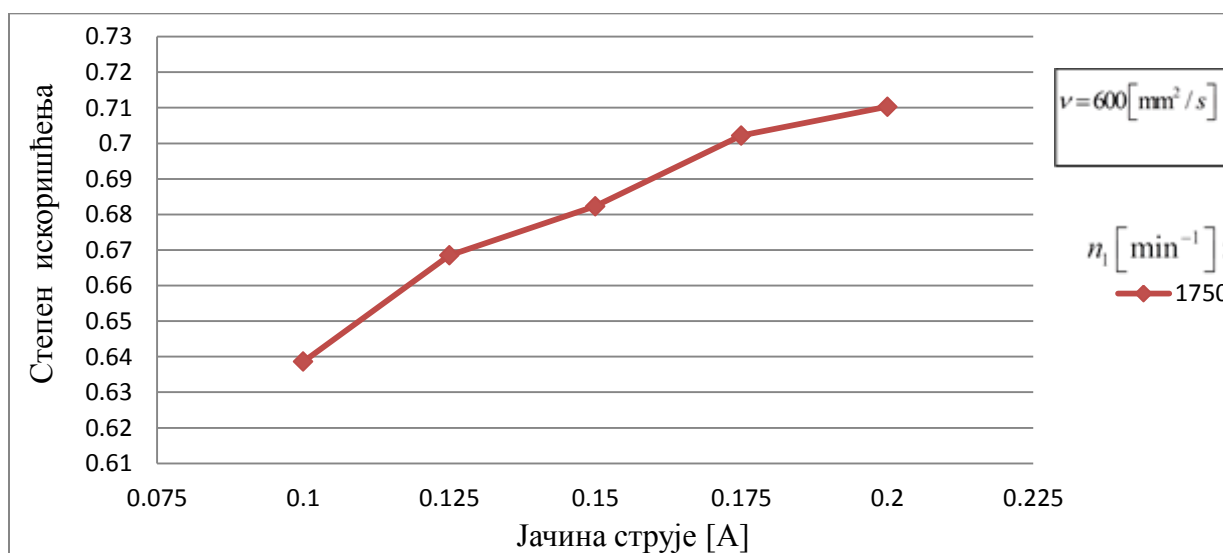
На претходној слици приказана је зависност степена искоришћења пужног редуктора од времена испитивања, при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}\text{]}$, јачини струје на кочници 0,15 [A] и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. На слици се јасно види да након пола сата степен искоришћења достиже праву вредност, која се касније јако мало мења, а и ако се мења то је углавном последица грешке мерења. Из тог разлога су сва мерења за вредност јачине струје 0,1 [A], за различите бројеве обртаја, вршена дуже за пола сата у односу на остале вредности јачине струје. На крају сваког испитивања за одређену јачину струје, одређена је средња вредност степена искоришћења за ту јачину струје, при чему екстремне вредности које представљају грешке мерења нису узимане у обзир приликом одређивања средње вредности. Табеле са свим вредностима степена искоришћења у зависности од времена мерења у оквиру једне вредности јачине струје на кочници, као и табеле са средњим вредностима степена искоришћења за различите вредности јачине струје на кочници, дате су у прилогу.

На слици 34 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



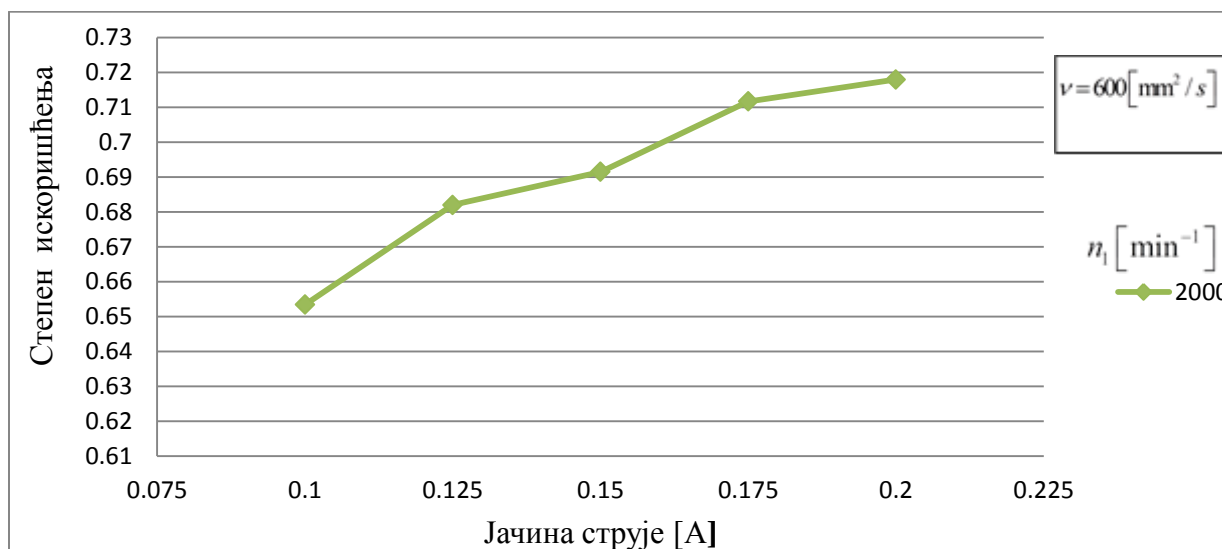
Слика 34. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 35 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



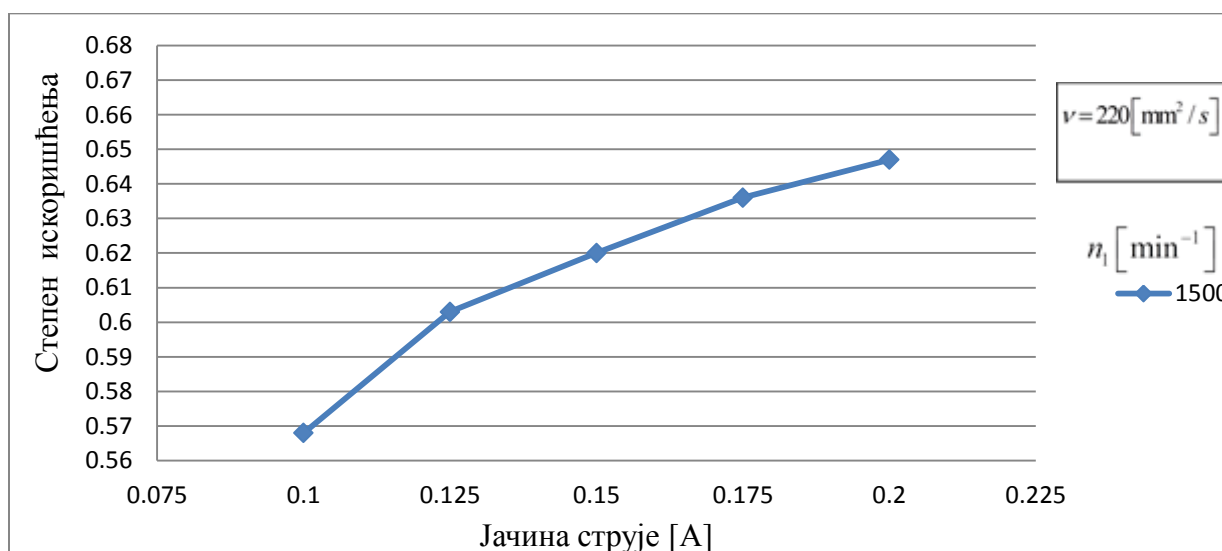
Слика 35. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 36 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



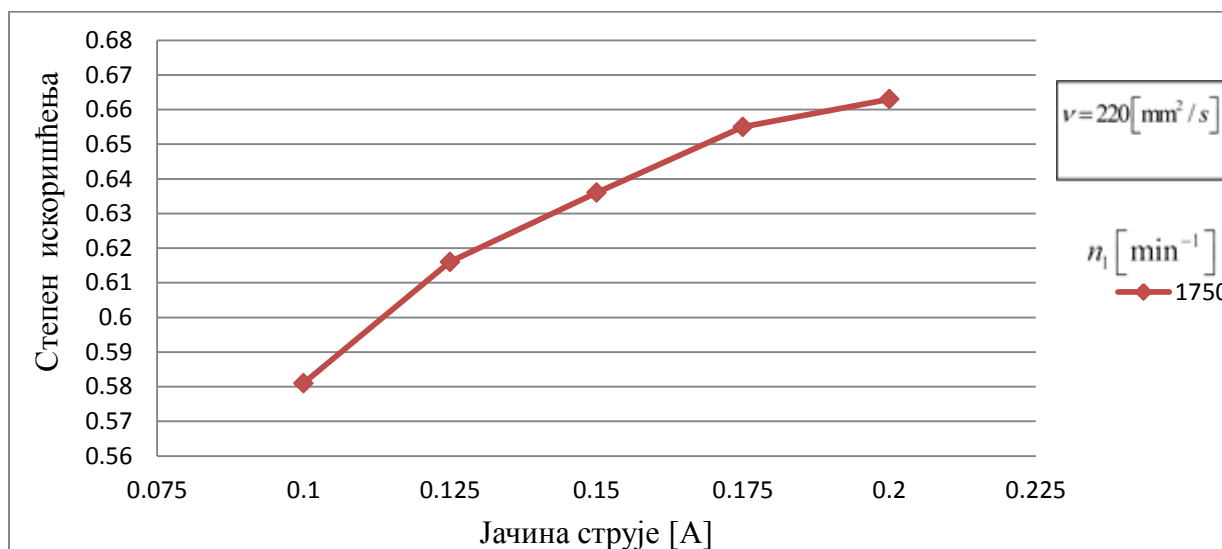
Слика 36. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 37 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $220 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



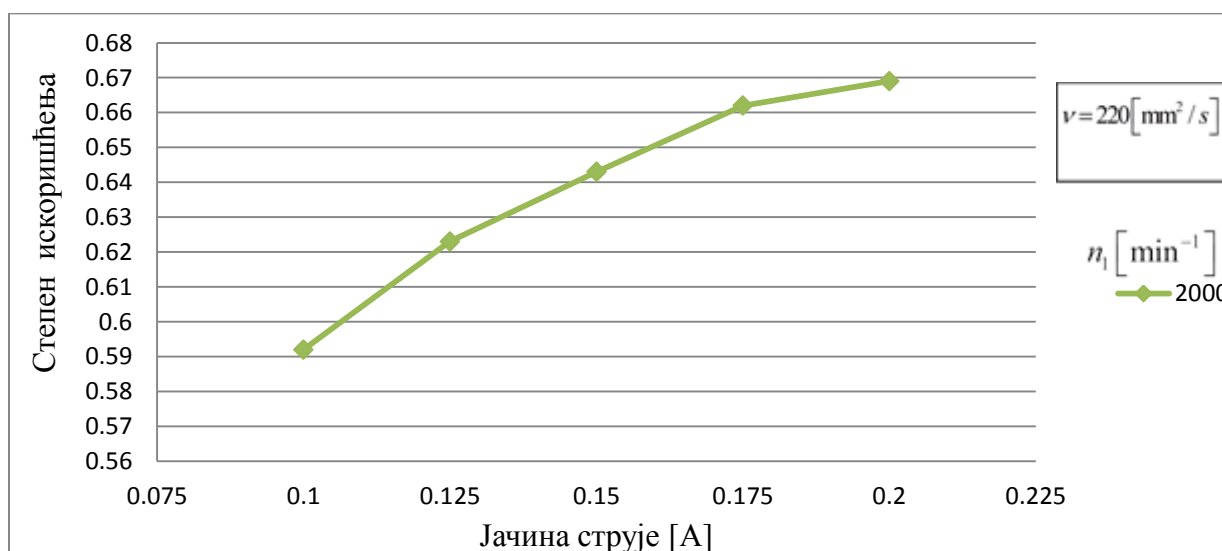
Слика 37. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $220 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 38 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $220 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



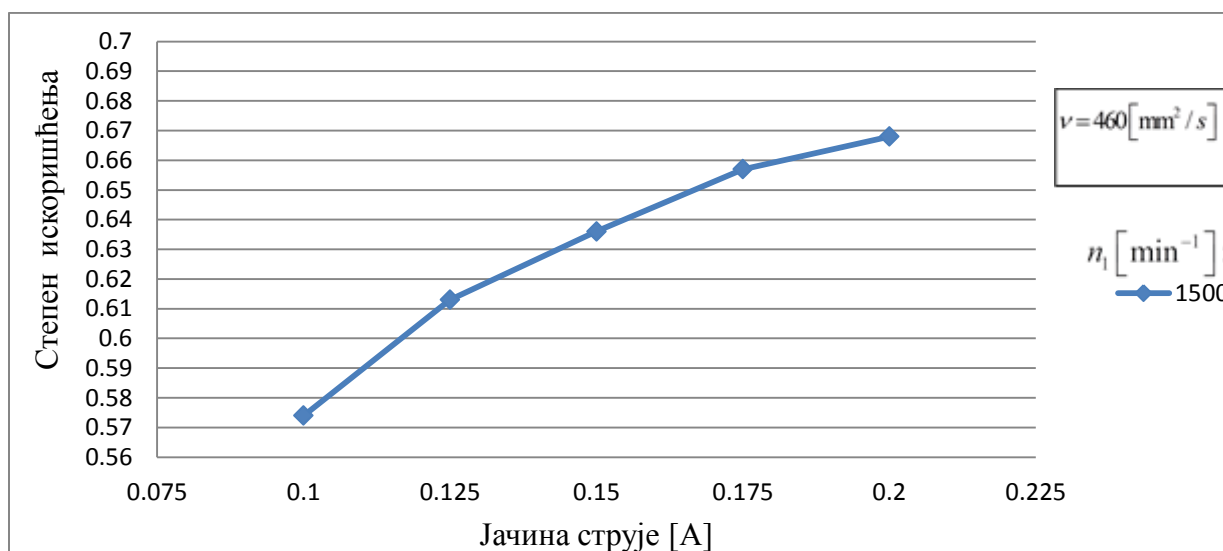
Слика 38. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $220 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 39 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $220 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



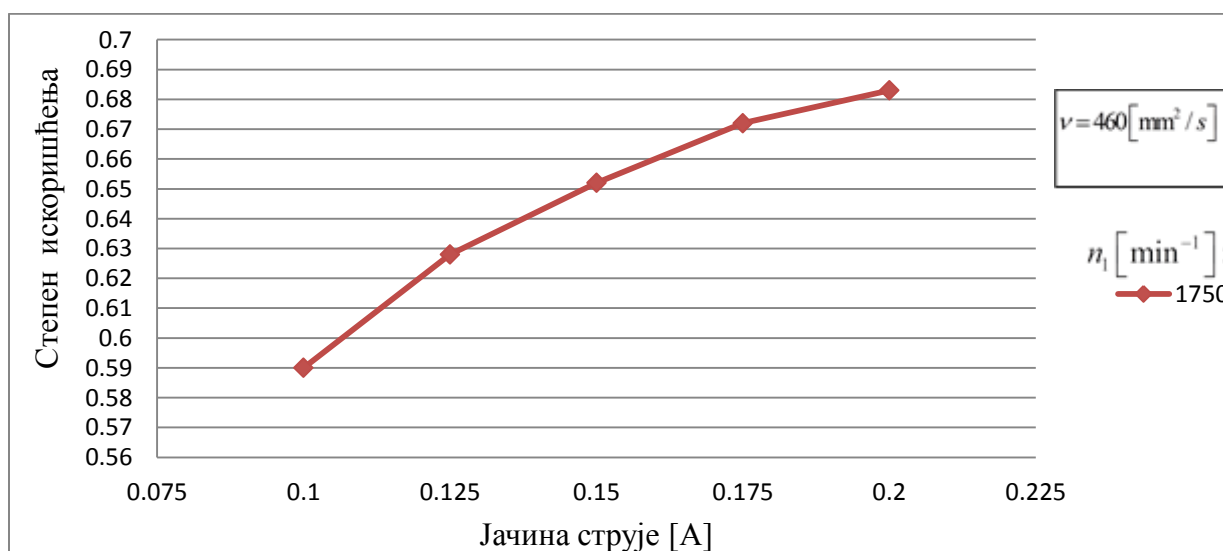
Слика 39. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $220 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 40 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



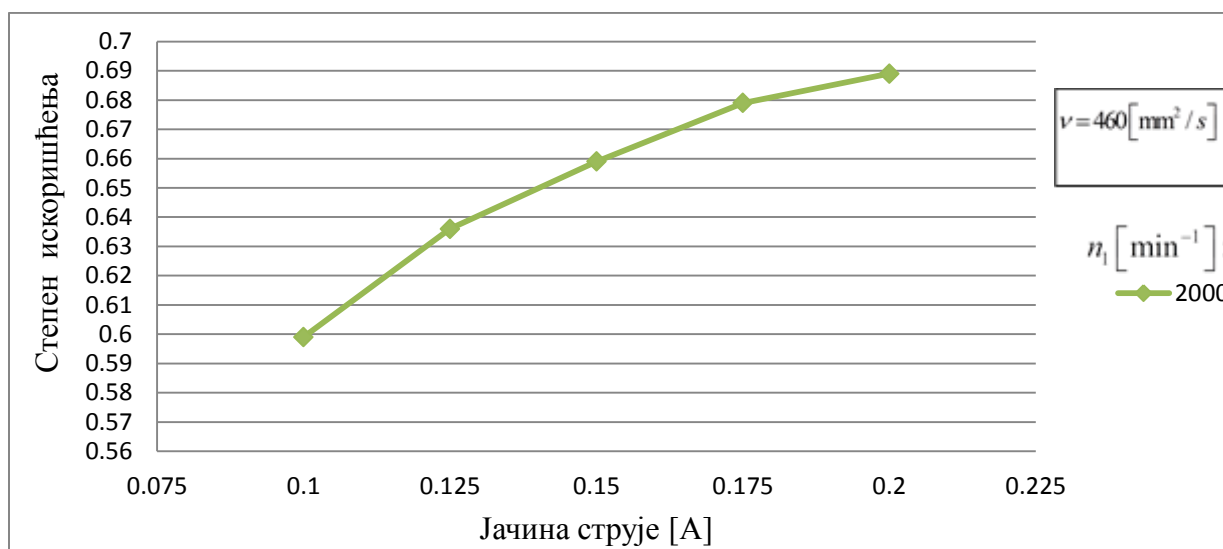
Слика 40. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 41 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



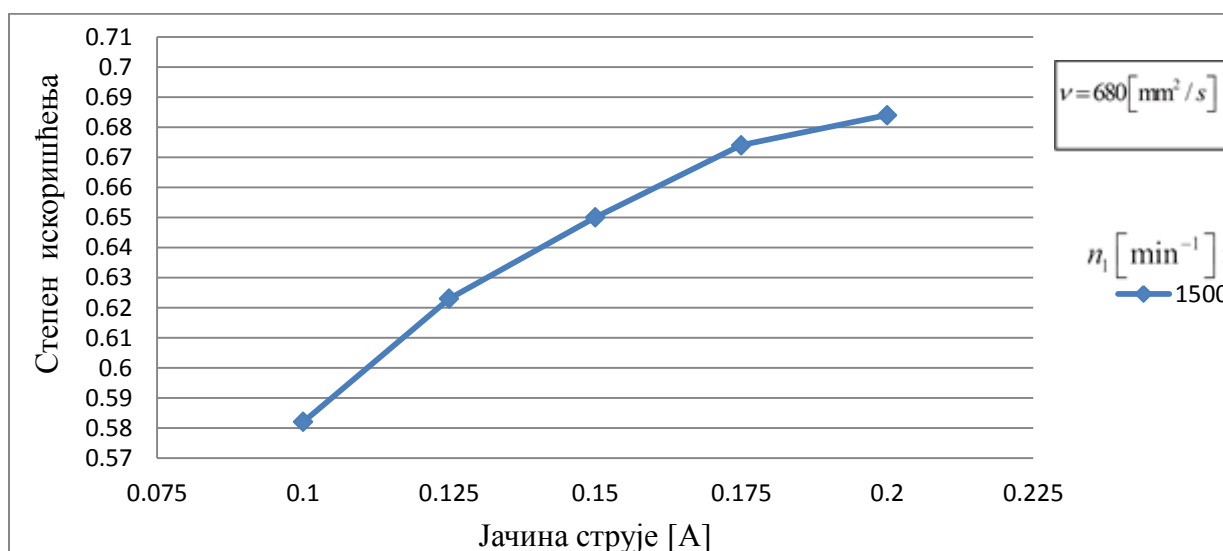
Слика 41. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 42 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



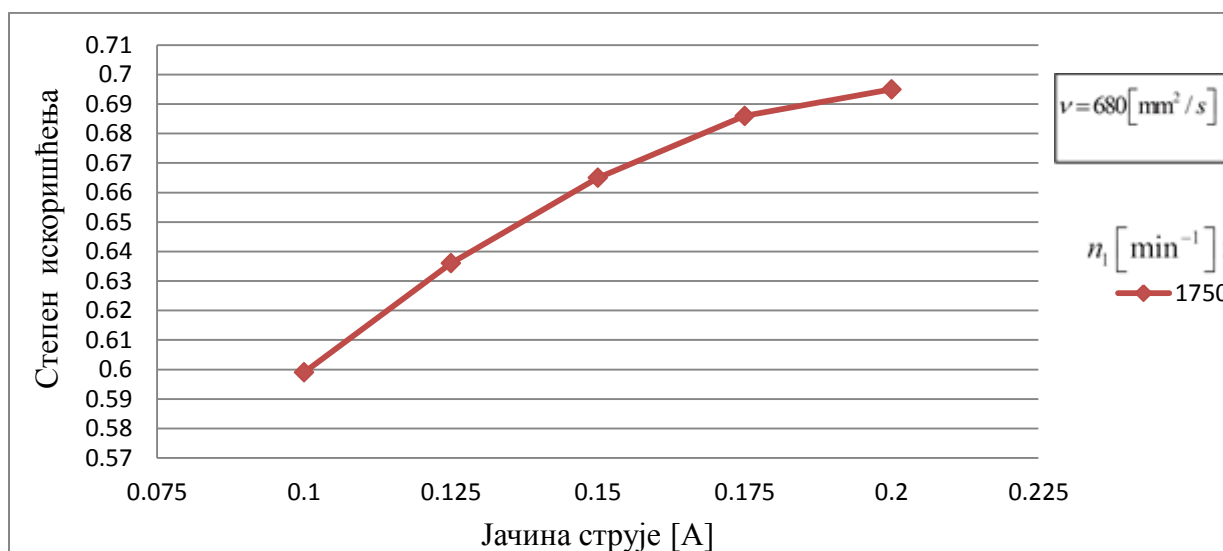
Слика 42. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 43 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



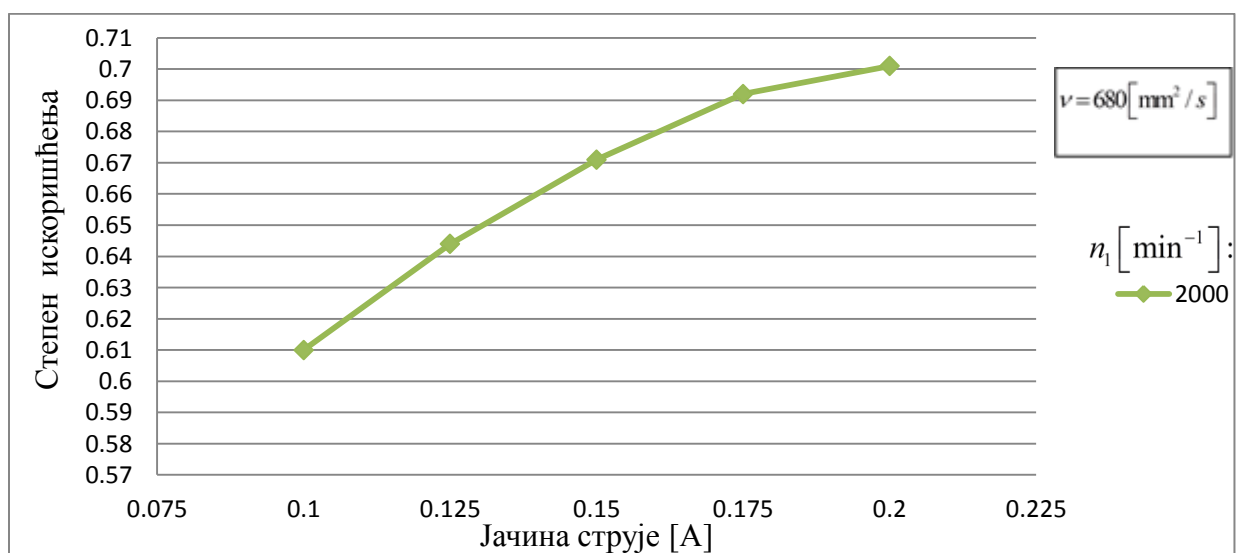
Слика.43. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 44 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



Слика 44. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 45 је приказан дијаграм зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$. Табела са подацима који се налазе на дијаграму налази се у прилогу.



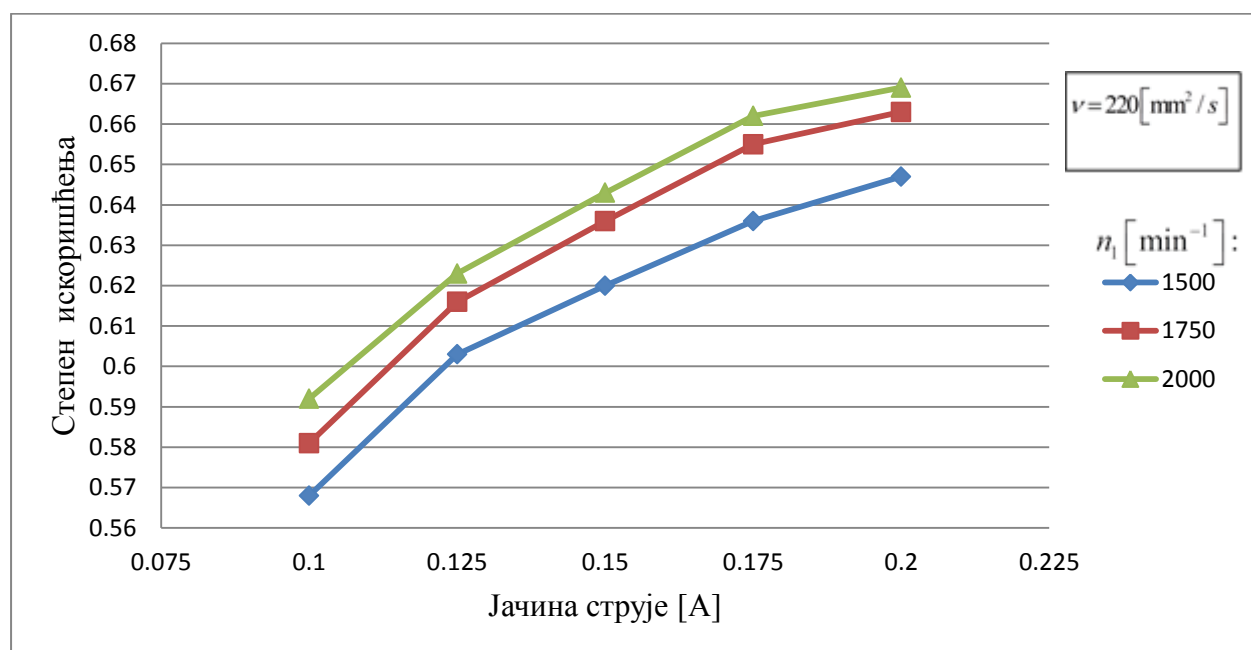
Слика 45. Степен искоришћења при улазном броју обртаја $2000 \text{ [min}^{-1}]$ и вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

8. Анализа резултата

На свим дијаграмским приказима зависности степена искоришћења од јачине струје на кочници, при различитим вредностима улазног броја обртаја и вискозности мазива, може се уочити да са повећањем вредности излазног обртног момента расте и степен искоришћења пужног преносника. Ово се објашњава тиме што се при повећању излазног момента драстично смањују губици који се јављају приликом рада пужног преносника у складу са литературом [20] и [22].

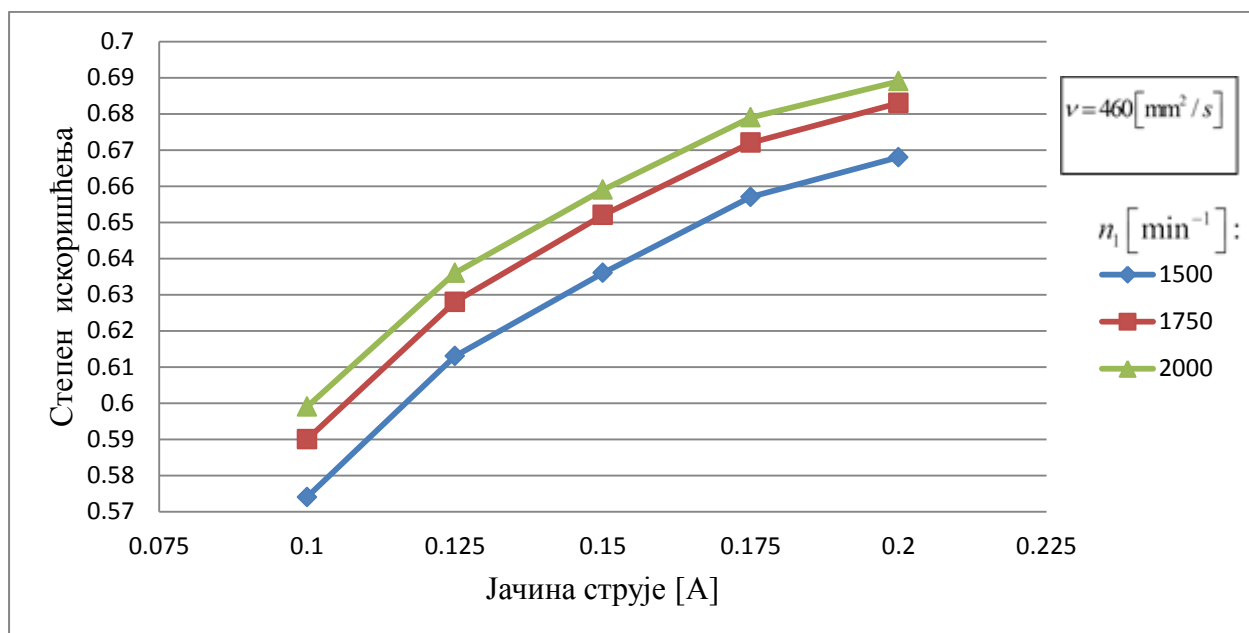
Такође, јасно је уочљива разлика у тренду промене степена искоришћења у односу на јачину струје на кочници, између мазива произвођача FAM (мазива вискозности 220 [mm^2/s], 460 [mm^2/s] и 680 [mm^2/s]) и мазива произвођача MOLYDUVAL (мазиво вискозности 680 [mm^2/s]), јер су мазива произвођача FAM минерално уље, а мазиво произвођача MOLYDUVAL синтетичка маст.

Утицај вредности улазног броја обртаја на степен искоришћења биће приказан на следећим дијаграмима, при чему је посматран утицај улазног броја обртаја на степен искоришћења пужног редуктора за исте вредности вискозности уља. На слици 46 је приказан утицај вредности улазног броја обртаја на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива 220 [mm^2/s].



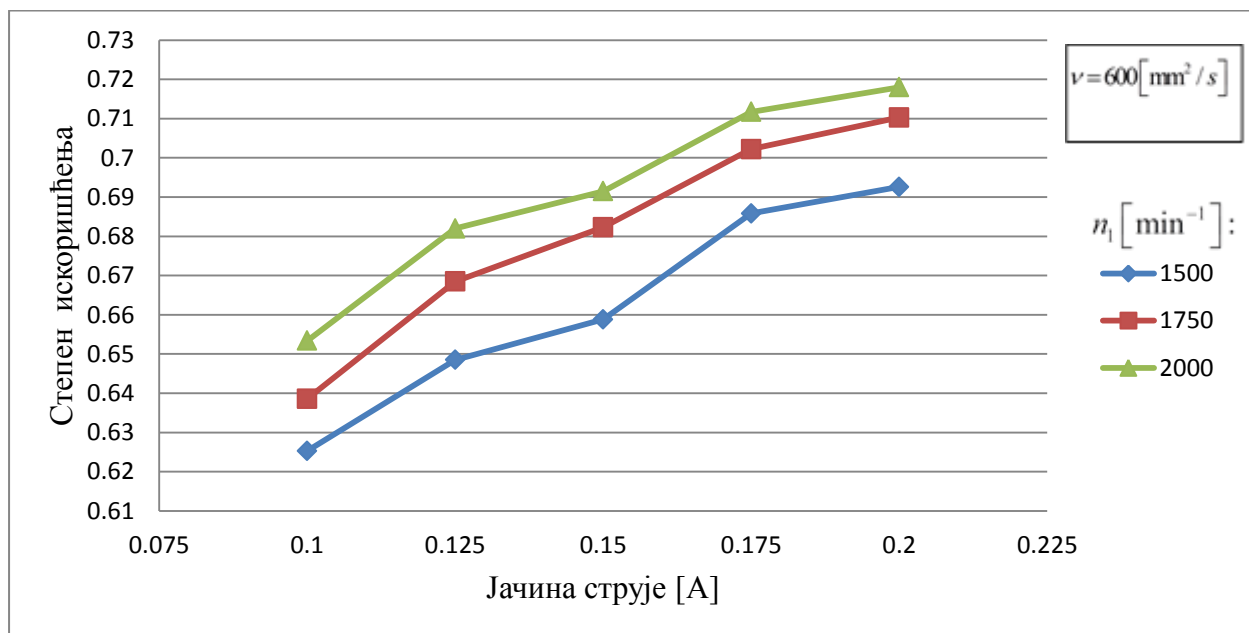
Слика 46. Утицај вредности броја обртаја на степен искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива 220 [mm^2/s]

На слици 47 је приказан утицај вредности улазног броја обртаја на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$.



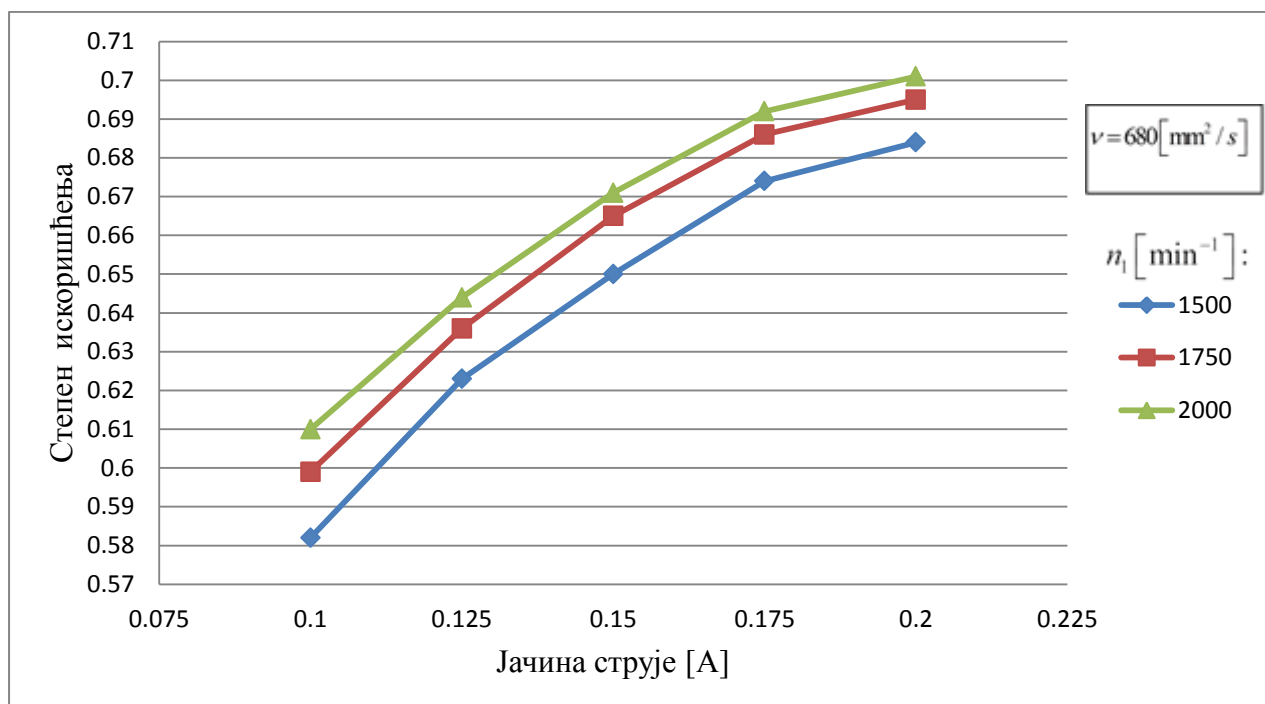
Слика 47. Утицај вредности броја обртаја на степен искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива $460 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 48 је приказан утицај вредности улазног броја обртаја на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$.



Слика 48. Утицај вредности броја обртаја на степен искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива $600 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На слици 49 биће приказан утицај вредности улазног броја обртаја на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$.

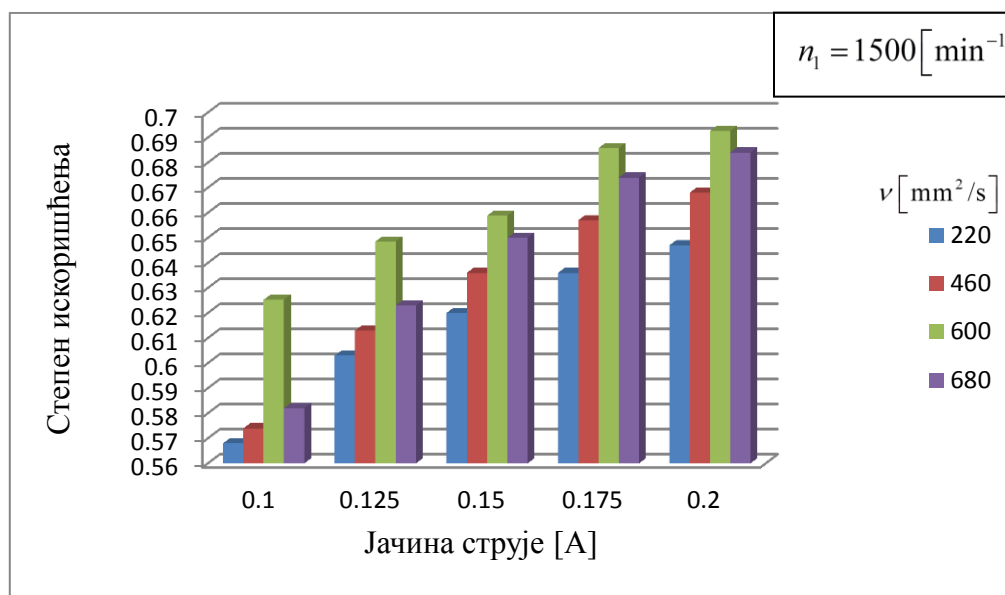


Слика 49. Утицај вредности броја обртаја на степен искоришћења пужног редуктора за вредност вискозности мазива $680 \text{ [mm}^2/\text{s}]$

На претходним дијаграмима у којима је приказан степен искоришћења за исте вредности вискозности мазива, али при различитим вредностима улазног броја обртаја, може се са свих дијаграма закључити да се са повећањем вредности броја обртаја повећава и степен искоришћења пужног редуктора. Нешто већа разлика у вредностима степена искоришћења уочена је између вредности улазног броја обртаја $1500 \text{ [min}^{-1}]$ и $1750 \text{ [min}^{-1}]$, него између вредности улазног броја обртаја $1750 \text{ [min}^{-1}]$ и $2000 \text{ [min}^{-1}]$, за све четири вредности вискозности мазива. Са повећањем вредности улазног броја обртаја долази до смањења губитака који се јављају у пужном редуктору. Највећи утицај на смањење имају губици у зупчаницима P_{GZ} , јер се са повећањем броја обртаја смањује коефицијент трења у зони контакта а самим тим и губици. Такође се са повећањем броја обртаја смањују и губици у лежајевима P_{GL} и губици при празном ходу P_{G0} али је њихов утицај знатно мањи, у складу са литературом [21].

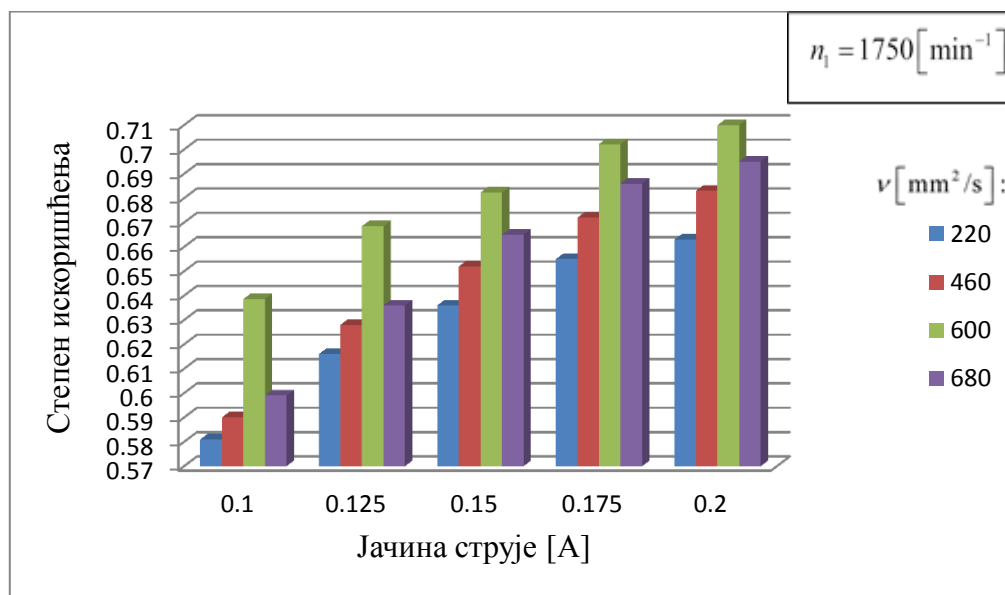
Утицај вредности вискозности мазива на вредност степена искоришћења пужног редуктора биће приказан на следећим дијаграмима, при чему је посматран утицај вискозности уља на вредност степена искоришћења за исте вредности улазног броја обртаја.

На слици 50 је приказан утицај вредности вискозности мазива на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност улазног броја обртаја $1500 [\text{min}^{-1}]$.



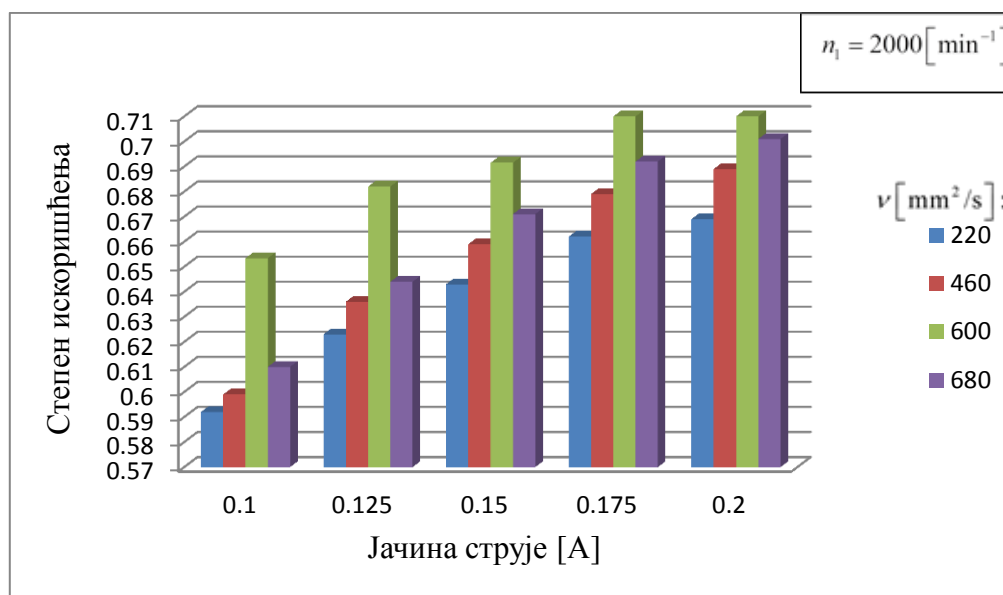
Слика 50. Утицај вредности вискозности уља на степен искоришћења пужног редуктора за вредност улазног броја обртаја $1500 [\text{min}^{-1}]$

На слици 51 биће приказан утицај вредности вискозности мазива на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност улазног броја обртаја $1750 [\text{min}^{-1}]$.



Слика 51. Утицај вредности вискозности уља на степен искоришћења пужног редуктора за вредност улазног броја обртаја $1750 [\text{min}^{-1}]$

На слици 52 биће приказан утицај вредности вискозности мазива на вредност степена искоришћења пужног редуктора за вредност улазног броја обртаја $2000 [\text{min}^{-1}]$.



Слика 52. Утицај вредности вискозности уља на степен искоришћења пужног редуктора за вредност улазног броја обртаја $2000 [\text{min}^{-1}]$

На претходним дијаграмима у којима је приказана зависност вредности степена искоришћења од вискозности мазива, за све три вредности улазног броја обртаја може се закључити да са повећањем вредности вискозности повећава и вредност степена искоришћења. Важно је напоменути да се јасно види пораст вредности степена искоришћења са повећањем вискозности за мазива произвођача FAM (мазива вискозности $220 [\text{mm}^2/\text{s}]$, $460 [\text{mm}^2/\text{s}]$ и $680 [\text{mm}^2/\text{s}]$). Повећањем вискозности доводи до повећања губитака снаге при празном ходу P_{G0} , али мањим укупним губицима јер се боље ствара филм мазива у зони контакта па су губици мањи, у складу са литературом [21]. Такође, јасна је разлика између мазива произвођача FAM (мазива вискозности $220 [\text{mm}^2/\text{s}]$, $460 [\text{mm}^2/\text{s}]$ и $680 [\text{mm}^2/\text{s}]$) и мазива произвођача MOLYDUVAL (мазиво вискозности $680 [\text{mm}^2/\text{s}]$), знатно веће вредности степена искоришћења добијене су за мазиво произвођача MOLYDUVAL чак и за мању вредност вискозности. Важно је напоменути да су веће разлике уочене при мањим вредностима јачине струје на кочници, односно мањим вредностима излазног обртног момента, него при већим вредностима где је та разлика значајно мања. Разлике које се јављају, последица су врсте мазива, јер су мазива произвођача FAM минерална уља, а мазиво произвођача MOLYDUVAL синтетичка маст. Губици у зупчаницима P_{Gz} , значајно су већи при подмазивању минералним мазивом, због већег коефицијента трења у зони контакта. Остали губици и њихов утицај на укупне губитке не зависе од врсте мазива, у складу са литературом [21] и [20].

9. Закључак

И ако пужни редуктори имају мањи степен искоришћења од других редуктора са истим преносним односом и димензијама, они су и даље веома интересантни због тога што су једноставни и јефтини. Побољшавање њиховог степена искоришћења ради се у корак са континуираним развојем стандарда. Уколико постоји тежња да се не мења геометрија редуктора, повећање степена искоришћења може се обавити утицајем на састав адитива мазива.

Теоријска и експериментална испитивања степена искоришћења су веома актуелна данас. Све више се тежи развоју нових уређаја за испитивање степена искоришћења ради поређења њихових резултата са резултатима добијеним на другим уређајима или помоћу других метода.

Све већа пажња се поклања начинима за смањење губитака у пужним преносницима, како би се повећао степен искоришћења. Као што је претходно описано на губитке снаге утиче велики број параметара. Неки од тих параметара су избор материјала, геометрије преносника, врста мазива и вискозности и различити услови рада.

Врста и вискозност уља имају велики утицај на степен искоришћења пужног преносника. Бројна испитивања су показала да се мањи губици, односно већи степен искоришћења, јављају коришћењем синтетичких мазива у односу на минерална, што је у раду и доказано. Синтетичка мазива су скупља али се временом исплате због низа предности у односу на минерална.

Такође, вискозност мазива утиче на губитке, самим тим и степен искоришћења, тако да се са повећањем вискозности мазива повећава и степен искоришћења, што је такође потврђено у раду на примеру мазива произвођача FАM. Добрим избором вискозности значајно се могу смањити губици снаге, а самим тим и економски губици.

Различити услови рада пужног редуктора такође доводе до промене степена искоришћења. При већим вредностима улазног броја обртаја и излазног обртног момента, веће су и вредности степена искоришћења, што је такође у раду потврђено на примеру свих мазива. Ово повећање степена искоришћења је резултат бољег стварања уљног филма између спегнутих површина.

Пошто је у пракси немогуће остварити апсолутни степен искоришћења (рад без губитака), главни задатак конструктора постаје да конструкционим решењима у погледу избора геометрије, материјала али све више и врсте и вискозности мазива смањи губитке што је више могуће. У овом раду је управо приказано како се правилним избором мазива и вискозности може за исте радне услове смањити губици и повећати степен искоришћења.

Литература

- [1] Stojanović, B., Blagojević M.: *Mehanički prenosnici*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2015.
- [2] Nikolić, V.: *Mašinski elementi*, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2004.
- [3] Miltenović, V., Ognjanović, M., *Mašinski elementi 2-elementi za prenos snage*, Mašinski fakultet Niš, 1995.
- [4] Miltenović, Đ., Tica, M., Miltenović, A., Banić, M.: *Load Capacity of Worm Gears with Compact Design*, International Journal of Engineering, s. 25-30, 2016.
- [5] Turci, M., Ferramola, E., Bisanti, F., Giacomozzi, G.: *Worm Gear Efficiency Estimation and Optimization*, Geartechnology, s. 46-53, 2016.
- [6] Miltenović, Đ., Banić, M., Miltenović, A., Tica, M.: *Power losses and efficiency of worm gears in extreme operating conditions*, Conference on Mechanical Engineering Technologies Applications, s. 169-176, 2016.
- [7] Magyar, B., Sauer, B.: *Calculation of the Efficiency of Worm Gear Drives*, Power Transmission Engineering, s. 52-56, 2015.
- [8] Siebert, H.: *Worm Gears-Higher Energy Efficiency and Less Strain onResources*, Gear Technology, s. 26-30, 2011.
- [9] NORD Drivesystems: internet adresa: <https://www.nord.com/content/worm-gear-efficiency>, pristupljeno: 28.3.2017.
- [10] Alexandru, A. T.: *Worm gears with optimized main geometrical parameters and their efficiency*, Mechanics, s. 62-65, 2015.
- [11] Budynas, R.G., Nisbett, J.K.: *Mechanical Engineering Design*, Tenth edition, McGraw-Hill Education, New York, 2015.
- [12] Magyar, B.: *Tribo-Dynamische Untersuchungen von Zylinderschneckengetrieben*, PhD Thesis, University of Kaiserslautern, 2012.
- [13] Steinhilper, W., Sauer, B.: *Konstruktionselemente des Maschinenbaues 2*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2008.
- [14] SKF Rolling bearings Catalogue 10000/EN, October 2012.
- [15] Changenet, C., Pasquier, M.: *Power Losses and Heat Exchange in Reduction Gears: Numerical and Experimental Results*, 2nd International Conference on Gears, s. 603-613, VDI-Verlag, Dusseldorf, 2002.
- [16] Tietze, W., Riedl, A.: *Taschenbuch Dichtungstechnik*, Vulkan-Verlag, Essen, 2005.
- [17] Rank, B.: *Untersuchungen zur Grübchenbildung bei Zylinder-Schneckengetrieben*, Dissertation, FZG TU München, Germany, 1996.
- [18] Monz, A.: *Tragfähigkeit und Wirkungsgrad von Schneckengetrieben bei Fettschmierung*, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt, FVA 522/I, Heft 931, 2010.

- [19] Dubbel: *Taschenbuch für den Maschinenbau*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, Germany, Edition 23, 2011.
- [20] DIN 3996: *Tragfähigkeitsberechnung von Zylinder-Schneckengetrieben mit sich rechtwinklig kreuzenden Achsen*, Deutsches Institut für Normung e. V., Beuth Verlag, 2012.
- [21] Weisel, C.: *Verschleiß- und Grübchentragfähigkeit von großen Zylinderschneckengetrieben mit optimierter Radbronze*, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt, FVA 503/I, Heft 892, 2009.
- [22] Mautner, E. M.: *Verschleiß- und Grübchentragfähigkeit von großen Zylinder-Schneckengetrieben mit optimierter Radbronze*, Forschungsvereinigung Antriebstechnik e.V., Frankfurt, FVA 503/II, 2015.
- [23] Rac, A.: *Maziva i podmazivanje mašina*, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 2007.
- [24] Tanasijević, S.: *Tribologija mašinskih elemenata*, Naučna knjiga, Beograd, 1989.
- [25] GUNT: Experiment Instructions, *AT 200 Apparatus for Determination of Gear Efficiency*, 2011.
- [26] MOLYDUVAL Special Lubricants; internet adresa: <http://www.molyduval.com/index.php?lang=en> , pristupljeno: 28.4.2017.
- [27] FAM Reduktorska ulja; internet adresa: <http://www.fam.co.rs/proizvodi/industrijska-ulja-i-ulja-za-prehrambenu-industriju/39-reduktorska-ulja> , pristupljeno: 30.4.2017.

Прилог

Табела П.1. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	39,26991	20,44329	0,520584
0,25	39,26991	20,64875	0,525816
0,5	39,26991	21,47059	0,546744
0,75	39,26991	21,88151	0,557208
1	39,26991	22,08697	0,56244
1,25	39,26991	22,29243	0,567672
1,5	39,26991	22,29243	0,567672
1,75	39,26991	22,29243	0,567672
2	39,26991	22,29243	0,567672

Табела П.2. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	53,01438	31,02448	0,585208889
2,25	53,01438	31,64086	0,596835556
2,5	51,83628	31,4354	0,606436364
2,75	52,22898	31,53813	0,603843609
3	51,44358	31,22994	0,607071756
3,25	51,44358	31,12721	0,605074809
3,5	51,44358	30,92175	0,601080916

Табела П.3. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	60,86836	37,39375	0,614338065
3,75	60,86836	37,59921	0,617713548
4	60,08296	37,70194	0,627498039
4,25	58,90486	36,67464	0,622608
4,5	58,90486	36,67464	0,622608
4,75	58,90486	36,36645	0,617376
5	58,90486	36,57191	0,620864

Табела П.4. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm^2/s], улазног броја обртаја 1500 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,175 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	70,68583	44,17393	0,624933333
5,25	69,50774	43,76301	0,629613559
5,5	68,72234	43,66028	0,635314286
5,75	68,72234	43,66028	0,635314286
6	68,72234	43,86574	0,638304
6,25	68,72234	43,76301	0,636809143
6,5	68,72234	43,66028	0,635314286

Табела П.5. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm^2/s], улазног броја обртаја 1500 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,2 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	80,50331	51,36504	0,63804878
6,75	79,32521	51,36504	0,647524752
7	79,32521	51,36504	0,647524752
7,25	79,32521	51,36504	0,647524752
7,5	79,32521	51,36504	0,647524752
7,75	79,32521	51,36504	0,647524752
8	79,32521	51,36504	0,647524752

Табела П.6. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm^2/s] и улазног броја обртаја 1500 [min^{-1}]

Јачина струје на кочници [A]	Степен искоришћења
0,1	0,568
0,125	0,603
0,5	0,62
0,75	0,636
1	0,647

Табела П.7. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	43,52415	22,29243	0,512185263
0,25	41,2334	22,89169	0,555173333
0,5	38,94266	21,45346	0,550898824
0,75	38,94266	21,69317	0,557054118
1	39,40081	22,89169	0,580995349
1,25	41,2334	23,97035	0,581333333
1,5	41,2334	23,8505	0,578426667
1,75	41,2334	23,97035	0,581333333
2	41,2334	23,97035	0,581333333

Табела П.8. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	54,97787	33,55849	0,6104
2,25	55,89417	34,39746	0,615403279
2,5	54,97787	34,0379	0,61912
2,75	54,97787	33,91805	0,61694
3	56,35232	34,51731	0,612526829
3,25	56,35232	34,75701	0,616780488
3,5	56,35232	34,63716	0,614653659

Табела П.9. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	69,63864	44,94441	0,645394737
3,75	69,63864	45,18411	0,648836842
4	69,63864	44,34515	0,636789474
4,25	69,63864	44,34515	0,636789474
4,5	69,63864	44,10545	0,633347368
4,75	69,63864	44,2253	0,635068421
5	69,63864	44,34515	0,636789474

Табела П.10. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	82,46681	54,29285	0,65836
5,25	82,46681	54,173	0,656906667
5,5	82,46681	54,05314	0,655453333
5,75	82,46681	54,05314	0,655453333
6	82,46681	54,05314	0,655453333
6,25	82,46681	54,05314	0,655453333
6,5	82,46681	54,05314	0,655453333

Табела П.11. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	92,54608	61,48395	0,664360396
6,75	92,54608	61,48395	0,664360396
7	92,54608	61,3641	0,663065347
7,25	92,54608	61,48395	0,664360396
7,5	92,54608	61,3641	0,663065347
7,75	92,54608	61,24425	0,661770297
8	92,54608	61,3641	0,663065347

Табела П.12. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s] и улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,581
0,125	0,616
0,5	0,636
0,75	0,655
1	0,663

Табела П.13. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	57,59587	31,64086	0,54936
0,25	56,02507	32,59968	0,581876636
0,5	51,31268	29,86021	0,581926531
0,75	51,31268	29,99718	0,584595918
1	51,83628	30,68205	0,59190303
1,25	51,83628	30,68205	0,59190303
1,5	52,35988	30,956	0,591216
1,75	52,35988	30,956	0,591216
2	52,35988	30,956	0,591216

Табела П.14. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	62,83185	38,76348	0,61694
2,25	62,83185	39,7223	0,6322
2,5	62,83185	39,58532	0,63002
2,75	62,83185	39,1744	0,62348
3	62,83185	39,1744	0,62348
3,25	62,83185	39,1744	0,62348
3,5	62,83185	39,1744	0,62348

Табела П.15. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	75,39822	48,07768	0,63765
3,75	75,39822	48,35162	0,641283333
4	75,39822	48,21465	0,639466667
4,25	75,39822	48,35162	0,641283333
4,5	74,87462	48,35162	0,645767832
4,75	74,87462	48,21465	0,643938462
5	74,35103	48,07768	0,646630986

Табела П.16. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	87,96459	58,21371	0,661785714
5,25	87,96459	58,48766	0,6649
5,5	87,96459	58,07674	0,660228571
5,75	87,441	58,21371	0,665748503
6	87,441	57,93976	0,662615569
6,25	87,441	57,66582	0,659482635
6,5	87,441	57,80279	0,661049102

Табела П.17. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	102,1018	68,0758	0,666744615
6,75	102,1018	68,34975	0,669427692
7	102,1018	68,34975	0,669427692
7,25	102,1018	68,62369	0,672110769
7,5	102,1018	68,0758	0,666744615
7,75	102,1018	68,34975	0,669427692
8	102,1018	68,34975	0,669427692

Табела П.18. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 220 [mm²/s] и улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,592
0,125	0,623
0,5	0,643
0,75	0,662
1	0,669

Табела П.19. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	39,26991	21,47059	0,546744
0,25	41,2334	22,49789	0,545622857
0,5	41,2334	22,60062	0,548114286
0,75	34,55752	19,82691	0,573736364
1	34,55752	19,82691	0,573736364
1,25	34,55752	19,72418	0,570763636
1,5	34,55752	19,82691	0,573736364
1,75	34,55752	19,72418	0,570763636
2	34,55752	19,82691	0,573736364

Табела П.20. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	53,01438	32,56544	0,614275556
2,25	53,01438	32,05178	0,604586667
2,5	53,01438	32,05178	0,604586667
2,75	52,62168	32,25725	0,613002985
3	52,62168	32,35998	0,614955224
3,25	52,22898	32,35998	0,619578947
3,5	52,22898	31,53813	0,603843609

Табела П.21. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	60,86836	37,80467	0,621089032
3,75	58,90486	37,59921	0,638304
4	58,90486	37,29102	0,633072
4,25	58,90486	36,98283	0,62784
4,5	58,11946	37,08556	0,638091892
4,75	58,11946	36,98283	0,636324324
5	58,11946	36,98283	0,636324324

Табела П.22. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	67,54424	44,27666	0,65552093
5,25	67,54424	44,99577	0,666167442
5,5	67,54424	44,48212	0,658562791
5,75	67,54424	44,68758	0,661604651
6	66,75884	43,86574	0,657077647
6,25	66,75884	43,86574	0,657077647
6,5	66,75884	43,86574	0,657077647

Табела П.23. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	75,39822	51,36504	0,68125
6,75	77,75442	52,28961	0,67249697
7	77,75442	52,90599	0,680424242
7,25	77,75442	51,77596	0,665890909
7,5	77,36172	51,67323	0,667943147
7,75	77,36172	51,67323	0,667943147
8	77,36172	51,67323	0,667943147

Табела П.24. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s] и улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,574
0,125	0,613
0,5	0,636
0,75	0,657
1	0,668

Табела П.25. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	50,39638	23,13139	0,458989091
0,25	47,64749	25,16887	0,528230769
0,5	47,64749	25,76813	0,540807692
0,75	47,64749	26,00783	0,545838462
1	48,56379	28,76442	0,592301887
1,25	48,56379	28,64457	0,589833962
1,5	48,56379	28,64457	0,589833962
1,75	48,56379	28,64457	0,589833962
2	48,56379	28,64457	0,589833962

Табела П.26. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	59,55936	35,83568	0,60168
2,25	59,10121	35,95553	0,608372093
2,5	59,10121	36,31508	0,614455814
2,75	58,64306	36,79449	0,62743125
3	59,10121	37,15405	0,628651163
3,25	59,10121	37,2739	0,63067907
3,5	59,10121	37,03419	0,626623256

Табела П.27. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	74,67828	48,65981	0,651592638
3,75	73,30383	47,701	0,65073
4	72,38753	47,34145	0,654
4,25	71,47123	46,62233	0,652323077
4,5	71,01308	46,38263	0,653156129
4,75	71,01308	46,06339	0,648660645
5	71,01308	46,14293	0,649780645

Табела П.28. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	79,71791	53,21418	0,667531034
5,25	79,71791	53,09433	0,666027586
5,5	79,71791	53,57374	0,672041379
5,75	79,71791	53,45388	0,670537931
6	79,71791	53,57374	0,672041379
6,25	79,71791	53,57374	0,672041379
6,5	79,71791	53,57374	0,672041379

Табела П.29. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	89,79719	61,48395	0,684697959
6,75	89,79719	61,3641	0,683363265
7	89,79719	61,3641	0,683363265
7,25	89,79719	61,3641	0,683363265
7,5	89,79719	61,24425	0,682028571
7,75	89,79719	61,3641	0,683363265
8	89,79719	61,3641	0,683363265

Табела П.30. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s] и улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,59
0,125	0,628
0,5	0,652
0,75	0,672
1	0,683

Табела П.31. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	62,83185	27,80561	0,44254
0,25	57,59587	32,32573	0,561250909
0,5	53,93067	29,86021	0,55367767
0,75	52,35988	29,17534	0,557208
1	47,64749	28,49048	0,597942857
1,25	47,12389	28,21653	0,598773333
1,5	47,12389	28,21653	0,598773333
1,75	47,12389	28,21653	0,598773333
2	47,12389	28,21653	0,598773333

Табела П.32. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	63,35545	39,31138	0,620489256
2,25	63,35545	39,58532	0,624813223
2,5	63,35545	39,7223	0,626975207
2,75	63,35545	39,85927	0,62913719
3	63,35545	40,27019	0,63562314
3,25	62,83185	39,99624	0,63656
3,5	62,83185	39,99624	0,63656

Табела П.33. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	75,92182	48,89952	0,644077241
3,75	75,39822	49,44741	0,655816667
4	74,35103	49,03649	0,659526761
4,25	74,35103	49,17346	0,661369014
4,5	74,35103	48,76254	0,655842254
4,75	74,35103	49,31044	0,663211268
5	74,35103	49,17346	0,661369014

Табела П.34. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	87,441	59,17253	0,676713772
5,25	87,441	59,85739	0,684546108
5,5	87,441	59,17253	0,676713772
5,75	86,9174	58,89858	0,677638554
6	86,9174	59,3095	0,682366265
6,25	86,9174	59,03555	0,679214458
6,5	86,9174	59,17253	0,680790361

Табела П.35. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	100,0074	68,62369	0,686186387
6,75	100,0074	68,76067	0,687556021
7	100,0074	69,30856	0,693034555
7,25	100,0074	68,89764	0,688925654
7,5	100,0074	68,89764	0,688925654
7,75	100,0074	68,89764	0,688925654
8	100,0074	68,89764	0,688925654

Табела П.36. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 460 [mm²/s] и улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,599
0,125	0,636
0,5	0,659
0,75	0,679
1	0,689

Табела П.37. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	35,34292	20,1351	0,569706667
0,25	35,34292	20,95694	0,59296
0,5	33,37942	20,75148	0,621684706
0,75	33,37942	20,1351	0,603218824
1	33,37942	20,75148	0,621684706
1,25	33,37942	20,95694	0,62784
1,5	35,34292	22,08697	0,624933333
1,75	35,34292	22,1897	0,62784
2	35,34292	22,1897	0,62784

Табела П.38. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	47,12389	30,61356	0,64964
2,25	47,12389	30,4081	0,64528
2,5	47,12389	30,61356	0,64964
2,75	47,12389	30,51083	0,64746
3	47,12389	31,33267	0,6649
3,25	47,12389	30,61356	0,64964
3,5	47,12389	30,61356	0,64964

Табела П.39. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	70,68583	48,4886	0,685973333
3,75	66,75884	46,434	0,695548235
4	66,75884	45,71489	0,684776471
4,25	65,97345	45,20124	0,685142857
4,5	66,75884	45,92035	0,687854118
4,75	66,75884	45,71489	0,684776471
5	66,75884	45,81762	0,686315294

Табела П.40. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	76,57632	53,00872	0,692233846
5,25	76,57632	53,11145	0,693575385
5,5	76,57632	53,41964	0,6976
5,75	76,57632	52,80326	0,689550769
6	76,57632	53,11145	0,693575385
6,25	76,57632	52,90599	0,690892308
6,5	76,57632	52,90599	0,690892308

Табела П.41. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	56,94137	35,44188	0,622427586
0,25	56,94137	36,98283	0,649489655
0,5	53,79977	35,44188	0,658773723
0,75	51,83628	34,00366	0,655981818
1	53,01438	34,92823	0,658844444
1,25	53,79977	35,44188	0,658773723
1,5	53,01438	34,92823	0,658844444
1,75	51,83628	34,41458	0,663909091
2	53,01438	34,92823	0,658844444
2,25	51,83628	34,41458	0,663909091
2,5	53,01438	34,92823	0,658844444
2,75	53,01438	35,03096	0,660782222
3	53,01438	34,92823	0,658844444
3,25	53,01438	34,92823	0,658844444
3,5	53,01438	34,62004	0,653031111
3,75	53,01438	34,92823	0,658844444
4	53,01438	34,92823	0,658844444

Табела П.42. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s] и улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,6253
0,125	0,6485
0,5	0,6588
0,75	0,6858
1	0,6926

Табела П.43. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	43,52415	24,56961	0,564505263
0,25	41,2334	24,56961	0,595866667
0,5	38,94266	23,6108	0,606296471
0,75	38,94266	23,25124	0,597063529
1	38,94266	24,21006	0,621684706
1,25	39,40081	25,16887	0,638790698
1,5	39,85896	25,40857	0,637462069
1,75	39,85896	25,52842	0,640468966
2	39,85896	25,40857	0,637462069

Табела П.44. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	54,06157	35,47612	0,656216949
2,25	52,68713	35,35627	0,67106087
2,5	52,68713	35,47612	0,673335652
2,75	53,60342	35,83568	0,668533333
3	53,60342	35,83568	0,668533333
3,25	53,60342	35,83568	0,668533333
3,5	53,60342	35,83568	0,668533333

Табела П.45. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	67,34789	45,78337	0,679804082
3,75	67,34789	45,78337	0,679804082
4	67,34789	46,02308	0,683363265
4,25	66,43159	45,54367	0,685572414
4,5	66,43159	45,54367	0,685572414
4,75	65,05715	44,34515	0,681633803
5	66,43159	45,18411	0,68016

Табела П.46. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	77,88532	53,45388	0,686315294
5,25	75,59457	53,21418	0,703941818
5,5	75,59457	52,97448	0,700770909
5,75	75,59457	53,21418	0,703941818
6	75,59457	52,73477	0,6976
6,25	74,67828	52,61492	0,704554601
6,5	74,22013	52,13552	0,702444444

Табела П.47. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	87,0483	61,48395	0,70632
6,75	86,132	61,24425	0,711051064
7	86,132	61,00455	0,708268085
7,25	85,67385	60,88469	0,710656684
7,5	85,67385	60,88469	0,710656684
7,75	85,67385	61,00455	0,712055615
8	85,67385	60,76484	0,709257754

Табела П.48. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s] и улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,6386
0,125	0,6685
0,5	0,6823
0,75	0,7022
1	0,7103

Табела П.49. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,1 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	52,35988	31,50389	0,60168
0,25	49,74188	30,81902	0,619578947
0,5	47,64749	30,27113	0,635314286
0,75	47,12389	30,4081	0,64528
1	47,12389	30,68205	0,651093333
1,25	47,12389	31,09297	0,659813333
1,5	47,12389	30,956	0,656906667
1,75	47,12389	30,54508	0,648186667
2	47,12389	30,68205	0,651093333

Табела П.50. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,125 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	62,83185	41,7769	0,6649
2,25	60,21386	41,09203	0,682434783
2,5	60,21386	41,50295	0,68925913
2,75	60,21386	41,22901	0,684709565
3	60,21386	40,95506	0,68016
3,25	60,21386	41,09203	0,682434783
3,5	60,21386	40,95506	0,68016

Табела П.51. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	73,30383	50,13228	0,683897143
3,75	73,30383	50,5432	0,689502857
4	71,73303	49,99531	0,696963504
4,25	71,73303	49,72136	0,693144526
4,5	71,73303	49,44741	0,689325547
4,75	71,73303	49,58439	0,691235036
5	71,73303	49,44741	0,689325547

Табела П.52. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	86,3938	60,40529	0,699185455
5,25	84,2994	59,99437	0,711681988
5,5	84,2994	60,13134	0,713306832
5,75	84,2994	59,99437	0,711681988
6	84,2994	59,99437	0,711681988
6,25	84,2994	59,85739	0,710057143
6,5	84,2994	59,99437	0,711681988

Табела П.53. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm²/s], улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	97,38937	69,99343	0,718696774
6,75	97,38937	69,85645	0,717290323
7	97,38937	69,99343	0,718696774
7,25	97,38937	69,85645	0,717290323
7,5	97,38937	70,1304	0,720103226
7,75	97,38937	69,99343	0,718696774
8	97,38937	69,71948	0,715883871

Табела П.54. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 600 [mm^2/s] и улазног броја обртаја 2000 [min^{-1}]

Јачина струје на кочници [A]	Степен искоришћења
0,1	0,6534
0,125	0,682
0,5	0,6915
0,75	0,7117
1	0,718

Табела П.55. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 1500 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,1 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	45,16039	20,1351	0,445857391
0,25	41,2334	21,1624	0,513234286
0,5	39,26991	21,57332	0,54936
0,75	40,05531	22,29243	0,556541176
1	42,0188	24,14157	0,574542056
1,25	42,0188	24,44976	0,581876636
1,5	42,0188	24,44976	0,581876636
1,75	42,0188	24,44976	0,581876636
2	42,0188	24,44976	0,581876636

Табела П.56. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 1500 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,125 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	53,01438	31,22994	0,589084444
2,25	53,01438	31,33267	0,591022222
2,5	51,83628	32,25725	0,622290909
2,75	51,83628	32,25725	0,622290909
3	51,83628	32,25725	0,622290909
3,25	51,83628	32,15451	0,620309091
3,5	51,83628	32,25725	0,622290909

Табела П.57. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	62,83185	39,75654	0,632745
3,75	62,83185	40,06473	0,63765
4	61,65376	39,65381	0,643169427
4,25	60,86836	39,44835	0,648092903
4,5	60,86836	39,44835	0,648092903
4,75	60,86836	39,55108	0,649780645
5	58,90486	37,49648	0,63656

Табела П.58. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	70,68583	46,434	0,656906667
5,25	70,68583	46,63946	0,659813333
5,5	69,11504	46,33127	0,67035
5,75	68,72234	46,33127	0,674180571
6	68,72234	46,33127	0,674180571
6,25	68,72234	46,434	0,675675429
6,5	68,72234	46,33127	0,674180571

Табела П.59. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s], улазног броја обртаја 1500 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	78,53982	52,5978	0,669696
6,75	78,53982	54,03602	0,688008
7	77,75442	53,21418	0,684387879
7,25	77,36172	52,90599	0,683878173
7,5	77,36172	52,90599	0,683878173
7,75	77,36172	52,90599	0,683878173
8	77,36172	52,90599	0,683878173

Табела П.60. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s] и улазног броја обртаја 1500 [min^{-1}]

Јачина струје на кочници [A]	Степен искоришћења
0,1	0,582
0,125	0,623
0,5	0,65
0,75	0,674
1	0,684

Табела П.61. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 1750 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,1 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	50,39638	25,16887	0,499418182
0,25	45,81489	25,40857	0,554592
0,5	45,81489	25,64828	0,559824
0,75	45,81489	26,36739	0,57552
1	47,18934	28,28502	0,599394175
1,25	47,18934	28,04531	0,594314563
1,5	47,18934	28,28502	0,599394175
1,75	47,18934	28,52472	0,604473786
2	47,18934	28,28502	0,599394175

Табела П.62. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 1750 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,125 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	59,55936	36,31508	0,609729231
2,25	59,55936	36,79449	0,617778462
2,5	59,55936	36,91434	0,619790769
2,75	58,64306	36,55479	0,62334375
3	58,64306	37,2739	0,63560625
3,25	58,64306	37,2739	0,63560625
3,5	58,64306	37,2739	0,63560625

Табела П.63. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	71,01308	46,14293	0,649780645
3,75	70,09679	45,90322	0,654854902
4	73,30383	48,77967	0,665445
4,25	73,30383	48,77967	0,665445
4,5	73,30383	48,77967	0,665445
4,75	73,30383	48,77967	0,665445
5	73,30383	48,77967	0,665445

Табела П.64. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	80,17606	55,01196	0,686139429
5,25	80,17606	54,6524	0,681654857
5,5	79,71791	54,6524	0,685572414
5,75	79,71791	54,77225	0,687075862
6	79,71791	54,6524	0,685572414
6,25	79,71791	54,6524	0,685572414
6,5	79,71791	54,6524	0,685572414

Табела П.65. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s], улазног броја обртаја 1750 [min⁻¹] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	91,62979	63,64128	0,694548
6,75	91,62979	63,64128	0,694548
7	91,62979	63,52143	0,69324
7,25	91,62979	63,64128	0,694548
7,5	91,62979	63,64128	0,694548
7,75	91,62979	63,76114	0,695856
8	91,62979	63,64128	0,694548

Табела П.66. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s] и улазног броја обртаја 1750 [min^{-1}]

Јачина струје на кочници [A]	Степен искоришћења
0,1	0,599
0,125	0,636
0,5	0,665
0,75	0,686
1	0,695

Табела П.67. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 2000 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,1 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
0	60,21386	28,9014	0,47997913
0,25	54,97787	29,44929	0,535657143
0,5	52,35988	28,21653	0,538896
0,75	55,50147	32,59968	0,587366038
1	55,50147	33,55849	0,604641509
1,25	55,50147	33,83244	0,609577358
1,5	55,50147	33,69547	0,607109434
1,75	55,50147	33,83244	0,609577358
2	55,50147	33,83244	0,609577358

Табела П.68. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 2000 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,125 [A]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
2	70,68583	42,59874	0,602648889
2,25	68,06784	42,59874	0,625827692
2,5	68,06784	43,8315	0,643938462
2,75	68,06784	43,8315	0,643938462
3	68,06784	43,69453	0,641926154
3,25	68,06784	43,8315	0,643938462
3,5	68,06784	43,8315	0,643938462

Табела П.69. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 2000 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,15 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
3,5	81,15781	51,63899	0,63627871
3,75	78,53982	51,36504	0,654
4	76,96902	51,50201	0,669126531
4,25	76,96902	51,63899	0,670906122
4,5	76,96902	51,63899	0,670906122
4,75	76,96902	51,63899	0,670906122
5	76,96902	51,63899	0,670906122

Табела П.70. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 2000 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,175 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
5	80,17606	55,01196	0,686139429
5,25	80,17606	54,6524	0,681654857
5,5	79,71791	54,6524	0,685572414
5,75	79,71791	54,77225	0,687075862
6	79,71791	54,6524	0,685572414
6,25	79,71791	54,6524	0,685572414
6,5	79,71791	54,6524	0,685572414

Табела П.71. Подаци мерења и вредност степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm^2/s], улазног броја обртаја 2000 [min^{-1}] и јачине струје на кочници 0,2 [А]

Време мерења [h]	Снага на улазу [W]	Снага на излазу [W]	Степен искоришћења
6,5	89,01179	61,50107	0,690931765
6,75	89,01179	61,63805	0,692470588
7	89,01179	61,63805	0,692470588
7,25	89,01179	61,63805	0,692470588
7,5	89,01179	61,63805	0,692470588
7,75	89,01179	61,63805	0,692470588
8	89,01179	61,63805	0,692470588

Табела П.72. Средње вредности степена искоришћења за вредност вискозности уља 680 [mm²/s] и улазног броја обртаја 2000 [min⁻¹]

Јачина струје на кочници [А]	Степен искоришћења
0,1	0,61
0,125	0,644
0,5	0,671
0,75	0,692
1	0,701