

UNIVERSITETI I PRISHTINËS “HASAN PRISHTINA”

FAKULTETI I INXHINIERISË MEKANIKE

DREJTIMI: KONSTRUKSION DHE MEKANIZIM

STUDIMET MASTER



PUNIM DIPLOME

*Tema: Analiza e ndikimit të ngarkesave në karakteristikat tribologjike  
tek kushinetat rrëshqitëse radiale*

*Mentori:*

Dr. sc. Azem Kyçyku

*Kandidati:*

Bsc. Krenar Pllana

*Prishtinë, 2017*

## PËRMBAJTJA

PËRMBAJTJA .....	1
1 HYRJE .....	4
2 PRINCIPI THEMELOR I FUNKSONIMIT DHE PËRDORIMI I KUSHINETAVE RRËSHQITËSE RADIALE .....	7
2.1. KLASIFIKIMI I KUSHINETAVE RRËSHQITËSE .....	12
2.2. KLASIFIKIMI I KUSHINETAVE RRËSHQITËSE RADIALE .....	13
2.3. MËNYRA E KONTAKTIT TË DY TRUPAVE .....	20
2.4. ASHPËRSIA SIPËRFAQËSORE .....	23
2.5. ANALIZA E KONTAKTIT NDËRMJET DORËZES DHE UNAZËS SË KUSHINETËS DUKE U BAZUAR NË TEORINË E HERTZ-IT .....	27
2.5.1. Mënyra e përdorimit të softuerit HertzWin .....	31
2.6. LIGJI I PETROFIT PËR KONTAKTIN E TRUPAVE .....	35
3 KARAKTERISTIKAT TRIBOLOGJIKE TEK KUSHINETAT RRËSHQITËSE RADIALE .....	40
3.1. LLOGARITJA E FORCËS DHE KOEFICIENTIT TË FËRKIMIT .....	41
3.1.1. Fërkimi në rrëshqitje .....	45
3.2. ANALIZA E HOLLËSISHME E FËRKIMIT TE KUSHINETAT RRËSHQITËSE .....	50
4 HARXHIMI I SIPËRFAQEVE KONTAKTUESE TË KUSHINETAVE RRËSHQITËSE .....	53
4.1. MEKANIZMI I HARXHIMIT .....	56
4.1.1. Harxhimi adheziv .....	57
4.1.2. Harxhimi për shkak të gërryerjes abrazive .....	59
4.1.3. Harxhimi eroziv .....	63
4.1.4. Harxhimi nga kavitacioni .....	64
4.2. HARXHIMI I UNAZËS SË KUSHINETËS .....	64
4.2.1. HARXHIMI I UNAZËS SË KUSHINETËS PËR SHKAK TË LODHJES .....	67
5 LYERJA E KUSHINETAVE RRËSHQITËSE RADIALE .....	70
5.1. METODAT E LYERJES .....	71
5.2. LYERJA HIDRODINAMIKE .....	72
5.3. LYERJA HIDROSTATIKE .....	74
5.4. Lyerja kufitare .....	75
6 ANALIZA E SHPËRNDARJES SË PRESIONIT NË SHITESËN LYERËSIT .....	76

7	ANALIZA E NJË SHEMBULLI KONKRET.....	83
	7.1. MODELIMI I REDUKTORIT, LLOGARITJA DHE PARAQITJA GRAFIKE E KARAKTERISTIKAVE TRIBOLOGJIKE .....	91
	7.2. PARAQITJA GRAFIKE E REZULTATEVE TË FITUARA DUKE APLIKUAR PROGRAMIN MATHCAD .....	107
8	KOMENTIMI I REZULTATEVE DHE REKOMANDIMET .....	132
9	PËRFUNDIMI .....	134
	REFERENCAT .....	137

## *FALËNDERIM*

*Falënderoj mentorin tim Prof. Dr. Azem Kyçyku i cili propozoi temën e këtij punimi, udhëhoqi punën eksperimentale dhe ishte i gatshëm të më ndihmoj në çdo kohë. Falënderoj anëtarët e komisionit: Prof. Dr. Nijazi Ibrahimimi dhe Prof. Dr. Ilir Doçi për ndihmën dhe sugjerimet e dhëna gjatë përgatitjes së kësaj teme diplome.*

*Gjithashtu falënderoj prindërit dhe familjen për përkrahjen e dhënë gjatë studimeve.*

*Një falënderim i veçantë për shokët, kolegët dhe të gjithë ata që më ndihmuan në përgatitjen e kësaj teme diplome.*

***Krenar I. Pllana***



# 1

## HYRJE

Kushinetat rrëshqitëse radiale si tërësi makinerike i pranojnë ngarkesat nga boshti ose aksi përmes dorëzës dhe e bartin në pjesën mbajtëse të tyre dhe pastaj në pjesët përkatëse të konstruksionit makinerik. Këto lloje të kushinetave funksionojnë në principin e funksionimit të fërkimit në rrëshqitje. Me këtë rast sipërfaqja e lëvizshme e dorëzës së boshtit ose aksit rrëshqet në sipërfaqen e palëvizshme të unazës së kushinetës. Me interes praktik te këto kushineta është që fërkimi si dukuri e pashmangshme të zvogëlohet në masën sa më të vogël të mundshme. Për të arritur këtë qëllim, në mes të këtyre sipërfaqeve vendosen lyerësit, kurse nënshtresa e kushinetës punohet nga materiali me koeficient të vogël të fërkimit. Nënshtresa është element themelor i çdo kushinete rrëshqitëse.

Meqenëse në koeficientin e fërkimit si parametër themelor i dukurisë së fërkimit ndikojnë shumë faktorë, duke përfshirë edhe ashpërsinë e sipërfaqeve kontaktuese, atëherë në pjesën fillestare të punimit do të trajtohet edhe kjo çështje. Gjatë shqyrtimit teorik të problematikës së trajtimit të karakteristikave tribologjike të kushinetat rrëshqitëse radiale, fillohet me shtruarjen dhe analizën e bazuar në teorinë e Hertz-it, i cili ka dhënë kontribut të veçantë në këtë fushë.

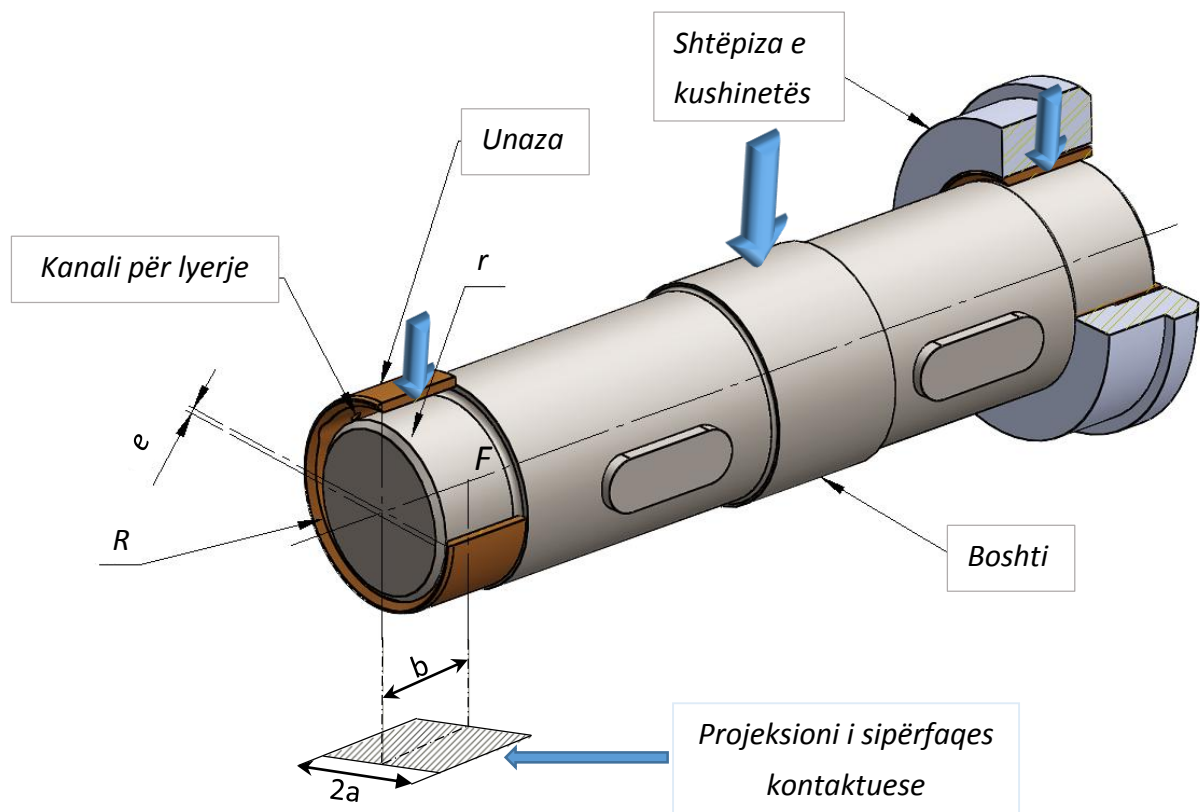


Fig. 1.0. Kushineta rrëshqitëse radiale.

Për rastin konkret kontakti ndërmjet sipërfaqes së dorëzës dhe të unazës, kur nuk vepron forca, realizohet në vijë. Praktikiisht çdo herë në dorëz vepron forcë me intensitet të caktuar, prandaj realisht sipërfaqja kontaktuese, respektivisht projeksioni i saj në drejtim normal ndaj drejtimit të forcës është një katërkëndësh (fig. 1.0.).

Zgjidhjet konstruktive të kushinetave rrëshqitëse radiale mund të jenë të ndryshme, varësisht nga arsyeja rationale teknike dhe ekonomike.

Përcaktimi për zgjidhjen konkrete të kushinetës rrëshqitëse për një konstruksion makinerik është kushtëzuar me veçoritë punuese të tyre dhe kërkesat, të cilat duhet plotësuar, e që rrjedhin nga ngarkesat vepruese dhe kushtet punuese të konstruksionit.

Pikënisje për analizën e këtyre kushinetave është shprehja e Hertz-it për llogaritjen e presionit kontaktues në sipërfaqen e kontaktit ndërmjet dorëzës dhe unazës së kushinetës. Kjo shprehje pastaj zëbërthet dhe konkretizohet me futjen në shprehje të gjitha ndikimeve të mundshme. Në karakteristikat tribologjike të kushinetave rrëshqitëse radiale ndikon ngarkesa, materialet e pjesëve të kushinetës dhe kushtet tjera punuese.

Kushinetat rrëshqitëse dallohen me konstrukcion dhe përpunim të thjeshtë, kryesisht kanë punë të qetë, me sukses i amortizojnë goditjet, janë të përshtatshme edhe për shpejtësi shumë të mëdha dhe nën kushte të volitshme, praktikisht kanë afat të përdorimit shumë të gjatë. E metë e tyre është se sipërfaqja e kontaktit harxhohet dhe se humbjet për shkak të fërkimit janë të larta dhe gjithashtu kërkojnë lyerje të vazhdueshme. Bartja e kushinetave rrëshqitëse radiale varet nga qëndrueshmëria sipërfaqësore e unazës dhe veçoritë hidrodinamike të lyerësit.



*Fig. 1.1. Kushineta rrëshqitëse hidrodinamike (me unaza segmentale) [3].*

## 2

## PRINCIPI THEMELOR I FUNKSONIMIT DHE PËRDORIMI I KUSHINETAVE RRËSHQITËSE RADIALE

Kushinetat rrëshqitëse radiale i pranojnë ngarkesat nga boshti ose aksi përmes dorëzës dhe e bartin në pjesën mbajtëse (të palëvizshme) të konstruksionit. Me anën e kushinetës bartet forca punuese në bosht dhe aks pa bartjen e momentit të rrotullimit. Te kushinetat rrëshqitëse sipërfaqja e lëvizshme, e më së shpeshti sipërfaqja e dorëzës së boshtit, rrëshqet nëpër sipërfaqen e palëvizshme të unazës së kushinetës. Me qëllim të zvogëlimit të rezistencës së fërkimit, në mes të këtyre sipërfaqeve vendosen lyerësit, kurse unaza punohet nga materiali me koeficient të vogël të fërkimit. Unaza është element themelor i çdo kushinete rrëshqitëse [1].

Karakteristikë e veçantë e kushinetave rrëshqitëse radiale është përdorimi i tyre në hapësira mjaftë të limituara, ku kushinetat e llojeve tjera si p.sh.: ato rrokullisëse nuk mund të përdoren për shkak të dimensioneve gabarite të cilat i kanë të standardizuara dhe të cilat kërkojnë hapësirë të caktuar.

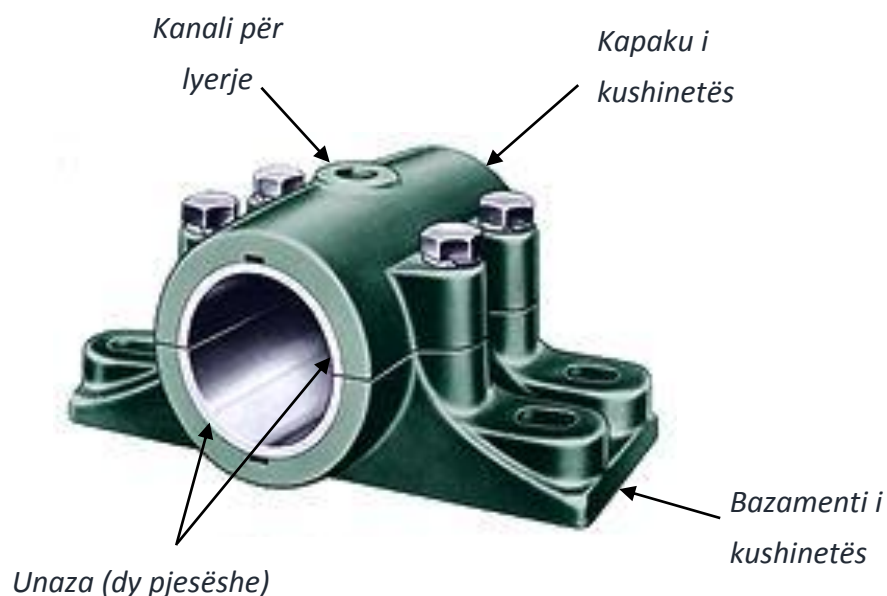


Fig. 2.0. Kushineta rrëshqitëse radiale dypjesëshe [4].

Kushinetat rrëshqitëse radiale gjejnë përdorim mjaftë të gjerë në industrinë bashkëkohore. Duke filluar nga elektromotorët, nga ata të vegjël, qindra vatësh (W) dhe të

cilët nuk kërkojnë saktësi dhe ngarkesa të mëdha deri tek ata mega vatësh (MW), janë të pajisur me kushineta rrëshqitëse, që mund të jenë vetë lyerëse ose me lyerje automatike.

Në konstruksionet e makinave të tekstilit, me qëllim të zvogëlimit të zhurmës, përdoren kushinetat rrëshqitëse.

Ky lloj i kushinetave gjen përdorim gjithashtu edhe në mjetet e transportit hekurudhor, në transportier me shirit si p.sh.: në mihje sipërfaqësore apo edhe nëntokësore, në makineritë punuese dhe transportuese të xehetarisë etj.

Në fig. 2.1 është treguar shembulli i aplikimit të kushinetave rrëshqitëse radiale tek ekskavatori.

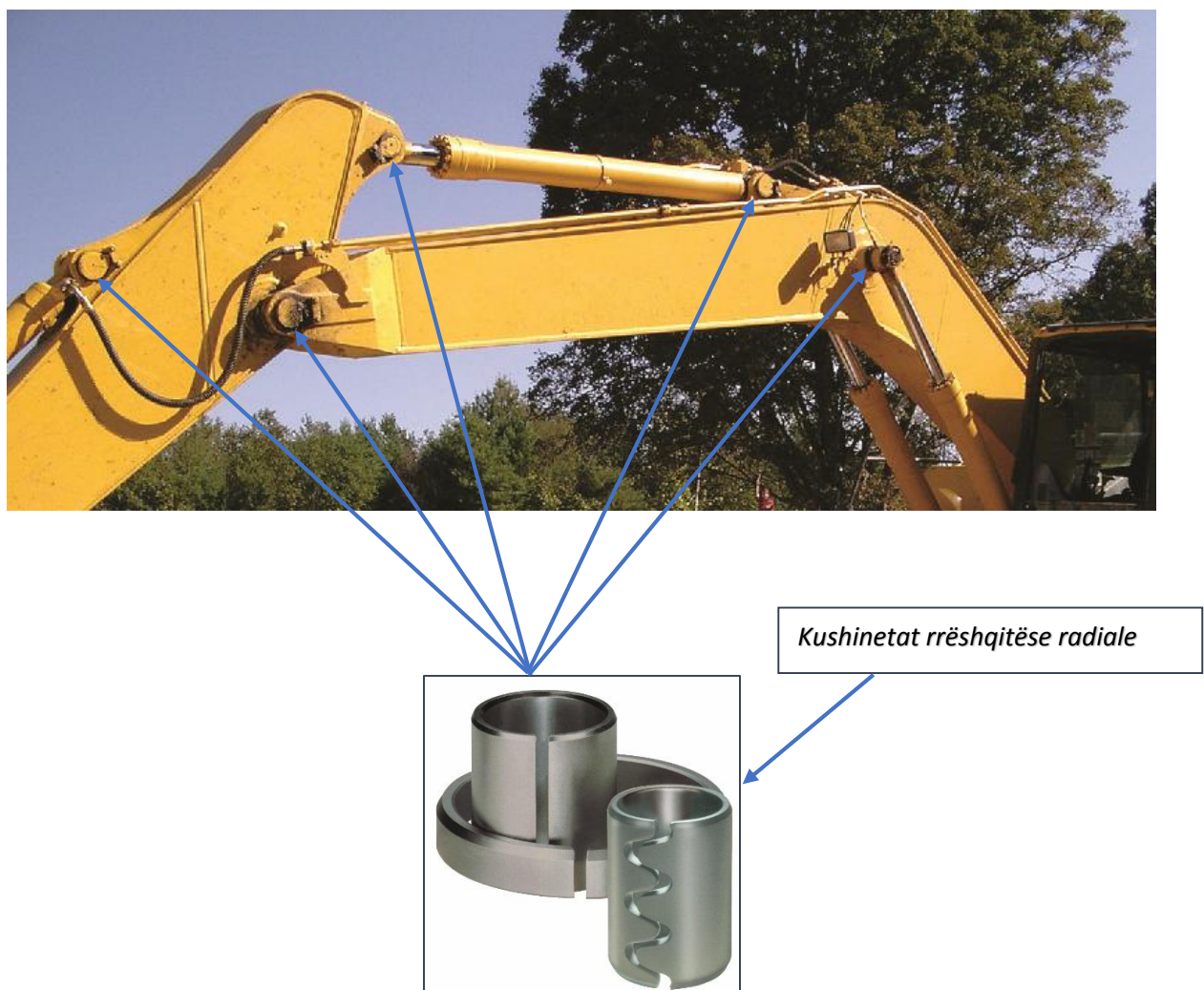
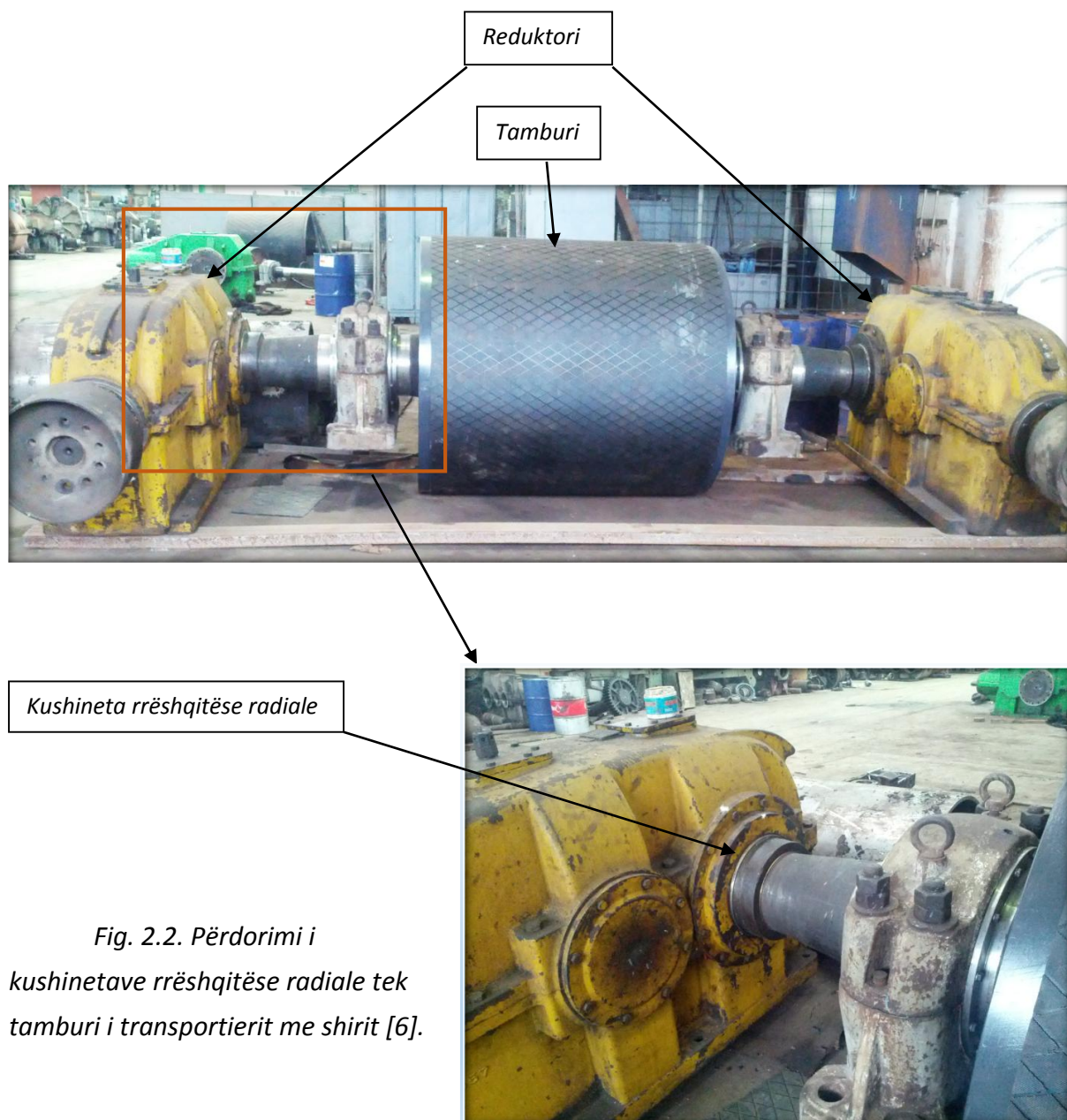


Fig. 2.1. Përdorimi i kushinetave rrëshqitëse radiale tek ekskavatori [5].



Në përgjithësi mbështetësit e boshteve të makinave bashkëkohore për numra të mëdhenj të rrotullimeve dhe kërkesë të madhe të saktësisë, përdorin kushineta rrëshqitëse hidrostatike si p.sh.: tek turbinat e termo dhe hidro centraleve.

Këto lloje të kushinetave përdorim gjejnë gjithashtu edhe tek: motorët me djegie të brendshme, turbinat- me peshë të madhe dhe të cilët kanë numër të madh të rrotullimeve, boshtet bërnylore dhe gungore, reduktorë, etj. Motorët e anijeve me shpejtësi të mëdha-turbo motorët si p.sh.: jahtet, ku numri i rrotullimeve të dorëzave të boshteve është mjaftë i madh, përdorin kushineta rrëshqitëse hidrodinamike.



*Fig. 2.2. Përdorimi i kushinetave rrëshqitëse radiale tek tamburi i transportierit me shirit [6].*

Në figurën 2.2., është paraqitur shembulli i përdorimit të kushinetave rrëshqitëse radiale tek tamburi i transportuesit me shirit. Foto është realizuar në fabrikën e pajimeve xehtare të Korporatës Energjetike të Kosovës- KEK. Ky tambur përdoret tek transportuesit me shirit për bartjen e xehes së qymyrit në mihjet sipërfaqësore.

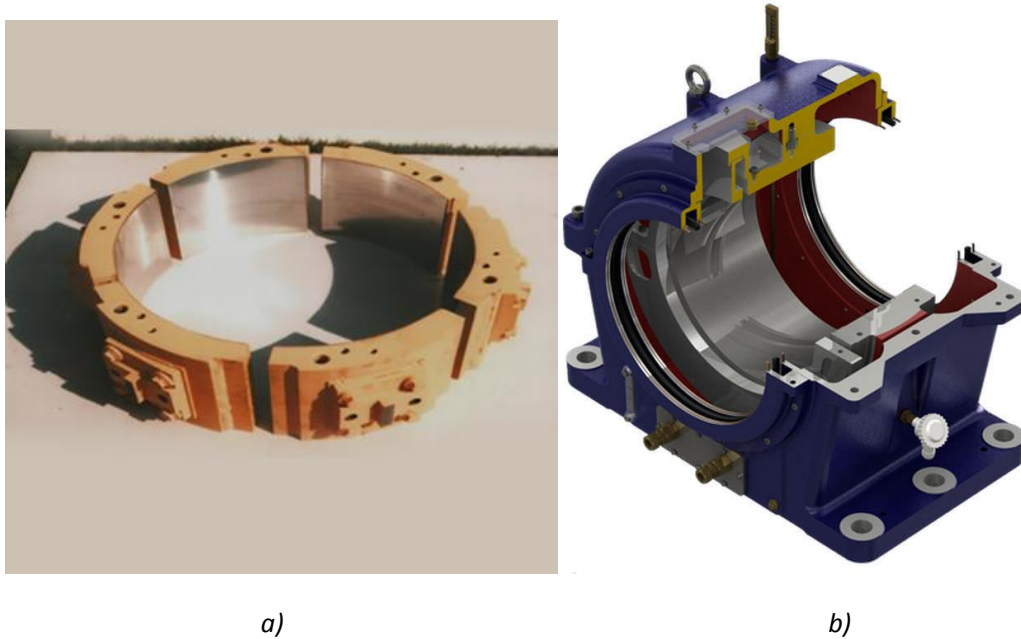


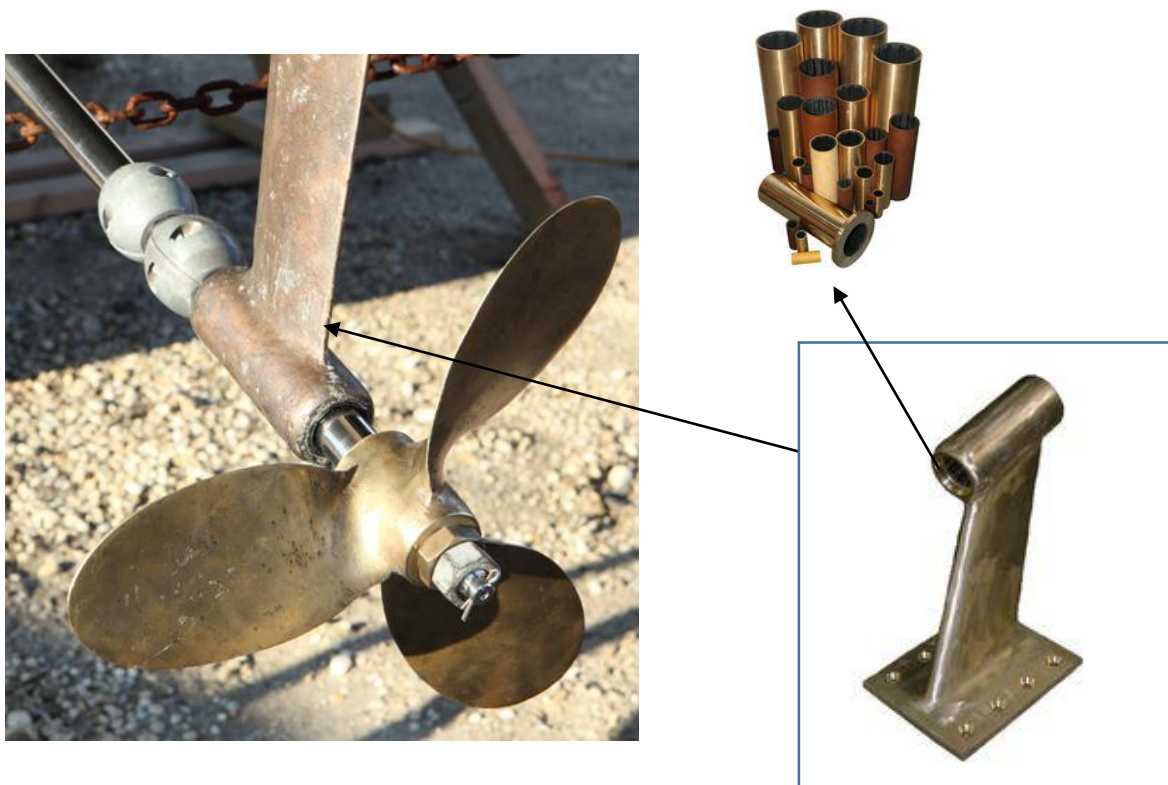
Fig. 2.3. a) Kushinetë rrëshqitëse radiale- shumë pjesësh [7] dhe b) kushinetë rrëshqitëse radiale- njëpjesëshe [8].

Në figurat në vazhdim janë paraqitur disa shembuj tjerë të përdorimit të kushinetave rrëshqitëse radiale, që në rastet përkatëse janë tek anijet e lundrimit.



Fig. 2.4. Jaht luksoz, i cili përdorë kushineta rrëshqitëse radiale të prodhuesit SKF tek helika [9].





*Fig. 2.5. Mbjajtësi i helikës- kushinetë rrëshqitëse radiale e realizuar tek një anije lundrimi [10].*

Kushinetat rrëshqitëse radiale mund të jenë në dimensione të vogla ose mund të hasen edhe me dimensione relativisht të mëdha, si p.sh. në fig. 2.6., ku dimensionet e kushinetës rrëshqitëse radiale janë përafërsisht sa gjatësia mesatare e njeriut.



*Fig. 2.6. Kushinetë rrëshqitëse radiale me dimensione të mëdha [11].*



## 2.1. KLASIFIKIMI I KUSHINETAVE RRËSHQITËSE

Kushinetat rrëshqitëse si tërësi makinerike ndahen në disa lloje, ndërsa klasifikimi i tyre në përgjithësi mund të bëhet në mbështetje të disa kritereve:

- Sipas drejtimit të veprimit të ngarkesës së jashtme, në: radiale, aksiale dhe radiaksiale (fig. 2.7, 2.8, dhe 2.9.).
- Sipas mënyrës së formimit të shtypjes në shtresën e vajit në mes të sipërfaqeve rrëshqitëse, në: hidrodinamike dhe hidrostatike.
- Sipas karakterit të fërkimit, në: kushineta me lyerje të plotë dhe “fërkim të lëngët” dhe në kushineta me lyerje të pjesshme dhe “fërkim të kombinuar”.

Në figurat në vazhdim janë paraqitur skematikisht shembuj të ndarjes së kushinetave rrëshqitëse, në bazë të bartjes së ngarkesave të jashtme. Me  $F$  është shënuar ngarkesa e jashtme, respektivisht forca e cila vepron në kushinetë, ndërsa me shigjetë është paraqitur kahu i veprimit të këtyre forcave në kushinetë.

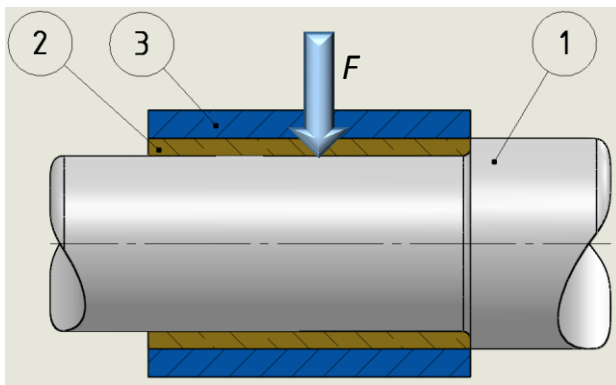


Fig. 2.7. Kushineta rrëshqitëse radiale  
1. boshti  
2. unaza  
3. shtëpiza e kushinetës.

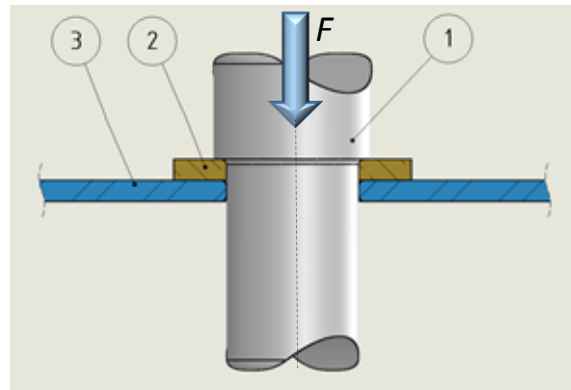


Fig. 2.8. Kushineta rrëshqitëse aksiale  
1. boshti  
2. unaza e lëvizshme  
3. shtëpiza e kushinetës.

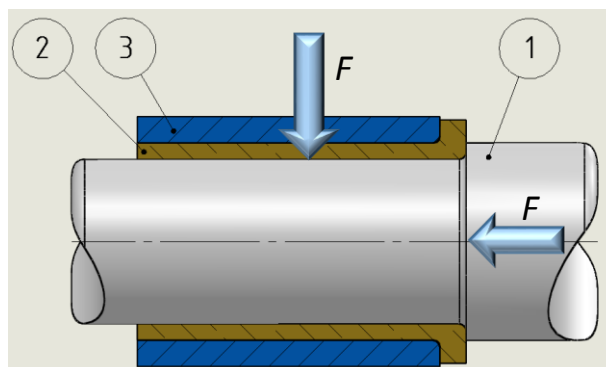


Fig. 2.9. Kushineta rrëshqitëse radiaksiale  
1. boshti  
2. unaza  
3. shtëpiza e kushinetës.

Në figurën 2.7., është paraqitur shembulli i kushinetës rrëshqitëse radiale. Ky lloj i kushinetave bartë forcat, përkatësisht ngarkesat e jashtme të cilat veprojnë në unazën e kushinetës në mënyrë radiale. Ky lloj i kushinetave do të shqyrtohet dhe analizohet hollësisht në këtë material të kësaj teme diplome.

Në figurën 2.8., është paraqitur shembulli i kushinetave rrëshqitëse aksiale, të cilat i bartin ngarkesat të cilat veprojnë në mënyrë aksiale.

Në figurën 2.9., është paraqitur shembulli i kushinetave rrëshqitëse radiaksiale, të cilat përveç forcave radiale, të cilat veprojnë në kushinetë, bartin edhe forcat të cilat veprojnë në mënyrë aksiale.

## 2.2. KLASIFIKIMI I KUSHINETAVE RRËSHQITËSE RADIALE

Zgjedhja e llojit të kushinetës në përgjithësi e atyre rrëshqitëse në veçanti, për një konstrukcion makinerik është e kushtëzuar me veçoritë punuese të tyre dhe kërkesave tjera të cilat kushineta duhet plotësuar, e që rrjedhin nga parametrat e punës dhe kushtet punuese të mekanizmit apo makinës në fjalë.

Në praktikë hasen kushineta rrëshqitëse radiale të llojeve dhe formave të ndryshme, mirëpo principi i punës tek ky lloj i kushinetave është pothuajse i njëjtë. Dorëza e boshtit, e cila në disa raste mund të jetë edhe me kanale si në fig. 2.10., rrëshqet ndaj unazës së kushinetës, e cila mund të jetë me kanale të punuara nga ana e brendshme (fig. 2.11.).

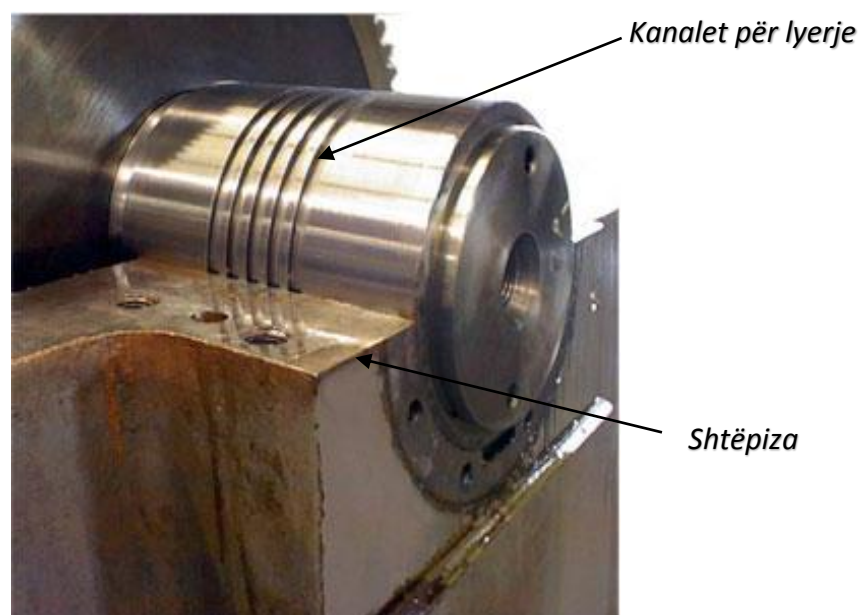


Fig. 2.10. Punimi i kanaleve për lyerje tek boshti, si dhe rasti i vendosjes së kushinetës në shtëpizën e makinës [12].

Këto kanale hapen ose në kushinetë ose punohen në bosht, në mënyrë të lyerjes së mirë dhe futjes së lyerësit në mes të boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale me qëllim të zvogëlimit të fërkimit në mes sipërfaqeve kontaktuese të tyre. “Lyerësi duhet të silltet përmes kanalit për furnizim me vaj në zonën e pangarkuar të kushinetës” [1].

Tek kushinetat rrëshqitëse radiale hidrostatike, për dallim nga kushinetat rrëshqitëse hidrodinamike, lyerësi me anë të pompës, nën veprimin e shtypjes, e ndanë boshtin nga kontakti me kushinetën dhe përpos kanalit të furnizimit me vajin e pompuar, kryesisht nuk punohen kanale tjera ndihmëse qoftë në bosht apo në kushinetë.

Në figurën 2.11., janë paraqitur disa lloje të unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale, tek të cilat janë të punuar kanalet për shpërndarje të lyerësit.

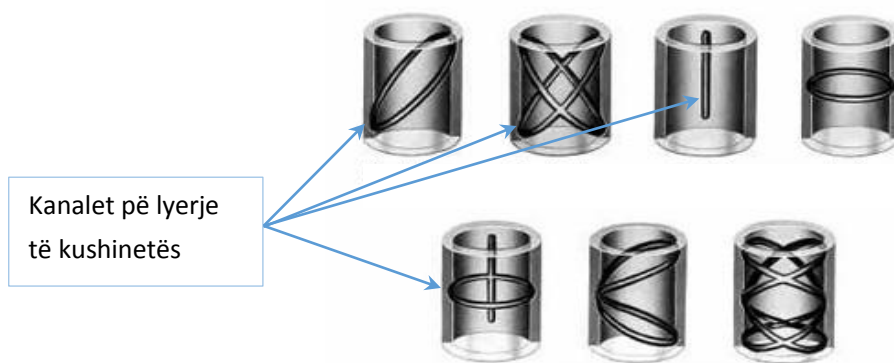


Fig. 2.11. Kanalet për lyerje në sipërfaqen e brendshme të unazës së kushinetës [13].

Në figurën 2.12., është paraqitur një lloj i kushinetave rrëshqitëse radiale-hidrostatike, si tërësi, si dhe e montuar së bashku me boshtin. Për ta kuptuar më mire punën e këtyre kushinetave si dhe të pjesëve përbërëse të tyre është bërë prerja gjatësore dhe janë dhënë shpjegime rreth pjesëve përbërëse.

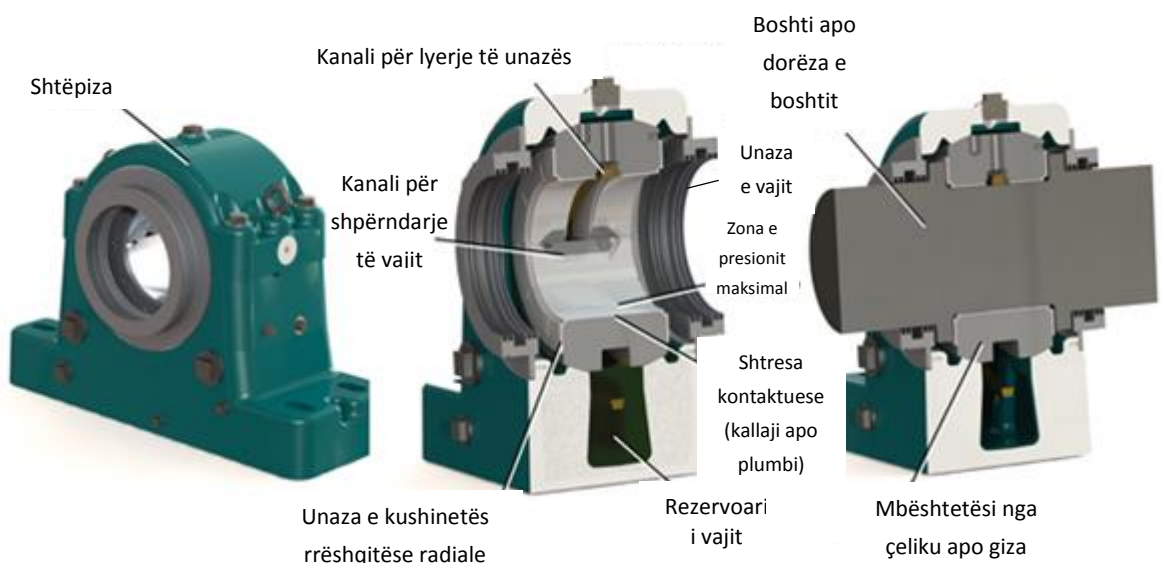


Fig. 2.12. Pjesët e një kushinete rrëshqitëse radiale [14].

Kushineta rrëshqitëse radiale si tërësi makinerike përbëhet nga:

- *shtëpiza- e cila mund të jetë e veçantë sikurse në fig. 2.12., ose mund të jetë e punuar edhe në kuadër të makinës apo tërësisë ku përdoret kushineta p.sh. si në fig. 2.10. dhe në fig. 2.14.- ku kushineta është e vendosur në shtëpizën e reduktorit,*
- *unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale - në të cilën janë punuar kanalet për futjen dhe shpërndarjen e lyerësit, në disa raste mund të përdoret edhe një unazë si trup i tretë, e cila shërben për shpërndarjen e lyerësit,*
- *gomat siguroese për mos lejimin e rrjedhjes së lyerësit- semeringjet,*
- *kanalet ose gypat për sjelljen e lyerësit nga rezervuari deri tek kushineta rrëshqitëse radiale, dhe*
- *rezervuari- ku vendoset sasi e lyerësit, ndërsa lyerja mund të jetë automatike ose manuale.*

Në figurën 2.13., është paraqitur unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale nga bronzi (e punuar në programin SolidWorks), e cila përdoret tek reduktori i rrotës punuese në mihjen sipërfaqësore (fig. 2.14.). Unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale është e vendosur në shtëpizën e cila është e punuar në reduktor.

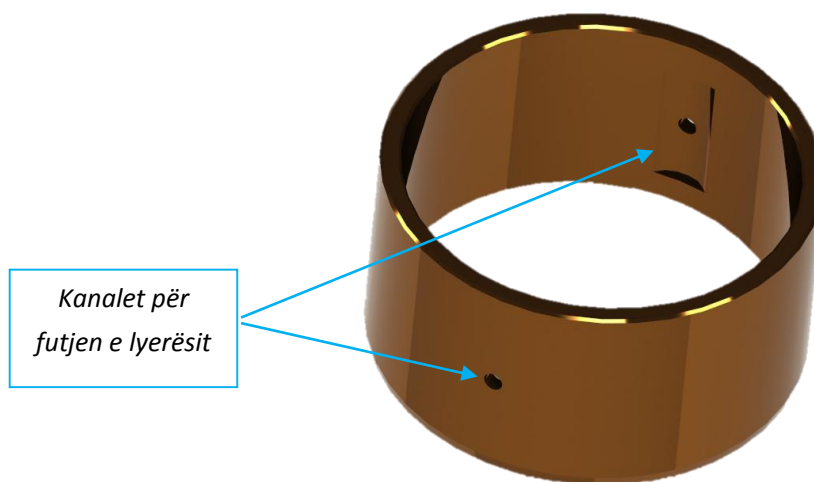


Fig. 2.13. Unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale.

Në fig. 2.14., është paraqitur vendosja e kushinetave rrëshqitëse radiale në shtëpizën e reduktorit. Në figurë është paraqitur e demontuar, vetëm njëra pjesë e shtëpizës së reduktorit në të cilën janë të vendosura 3 kushineta rrëshqitëse radiale. Këto kushineta



rrëshqitëse janë të dëmtuara dhe reduktori si tërësi është sjellë për riparim në fabrikën e pajimeve xehtare në “Korporatën Energjetike të Kosovës”.



Shtëpiza e reduktorit

Kushinetat rrëshqitëse radiale të vendosura në shtëpizën e reduktorit



Fig. 2.14. Kushinetat rrëshqitëse radiale të montuara në shtëpizën e reduktorit të rrotës punuese të ekskavatorit, që përdoret në mihjen sipërfaqësore të thëngjillit në Korporatën Energjetike të Kosovës- KEK [6].

Sikurse kushinetat rrëshqitëse të llojeve tjera në përgjithësi, edhe kushinetat rrëshqitëse radiale ndahen në disa grupe dhe atë në bazë të disa kriterëve.

Kushinetat rrëshqitëse radiale mund të ndahen sipas:

- *gjeometrisë- konstruktionit,*
- *shtresës kontaktuese të kushinetës dhe*
- *mënyrës së lyerjes.*

Kushineta rrëshqitëse radiale sipas gjeometrisë- konstruktionit mund të jenë:

- kushineta rrëshqitëse radiale të thjeshta- ku boshti dhe kushineta kanë prerje tërthore rrethore të njëjtë por me dimensione të ndryshme,*
- kushineta rrëshqitëse radiale dypjesëshe- ku kushineta ka prerje tërthore elipse,*
- kushineta rrëshqitëse radiale dypjesëshe- ku kushineta është më e zgjeruar në drejtim radial dhe me kanale për lyerje,*
- kushineta rrëshqitëse radiale- ku kushineta ka prerje tërthore jo të rregullt,*
- kushineta rrëshqitëse radiale trepjesëshe dhe kanale për lyerje,*
- kushineta rrëshqitëse radiale nga materiali i gomës,*
- kushineta rrëshqitëse radiale shumëpjesëshe- kushineta segmentale.*

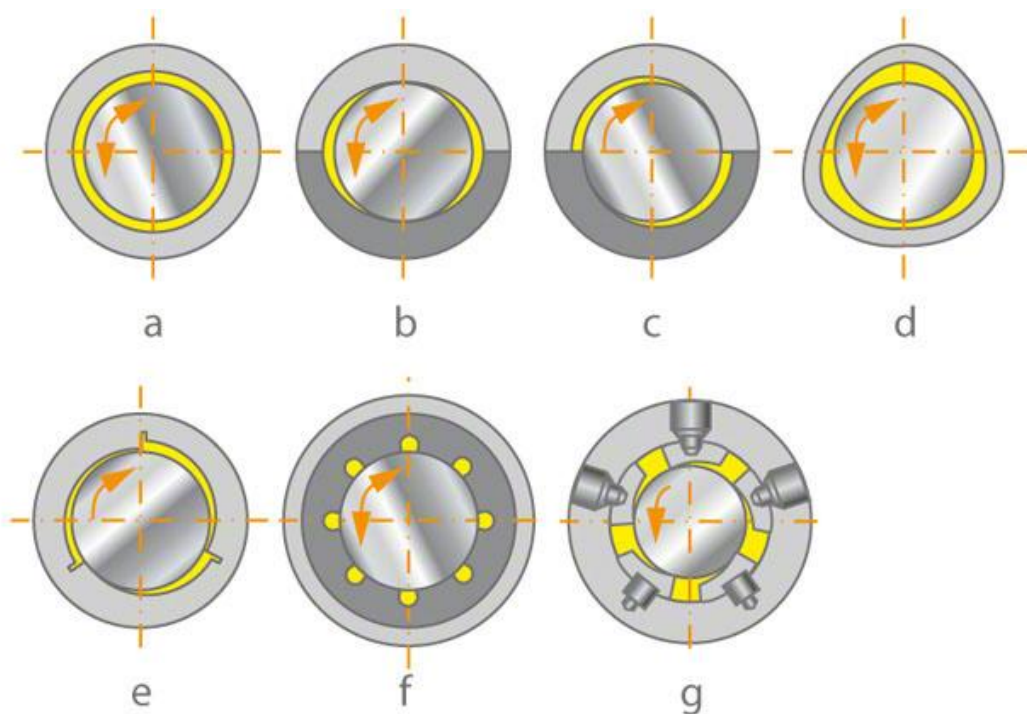


Fig. 2.15. Ndarja e kushinetave rrëshqitëse radiale sipas gjeometrisë- konstruktionit të tyre [15].

Kushinetat rrëshqitëse radiale mund të jenë:

- njëpjesëshe,
- dypjesëshe, dhe
- shumëpjesëshe.

Në grupin e kushinetave njëpjesëshe (fig. 2.16. a) dhe 2.3. b), shtëpiza dhe unaza janë të punuara si të plota, secila nga një pjesë e pa ndarë. Në grupin e kushinetave dypjesëshe (fig. 2.16. b), shtëpiza dhe unaza janë të punuara nga dy pjesë. Kushinetat rrëshqitëse mund të jenë edhe shumëpjesëshe (fig. 2.16. a), si dhe 2.3 a), ku unaza është e punuar nga disa pjesë, në literaturë njihen edhe si kushineta segmentale.

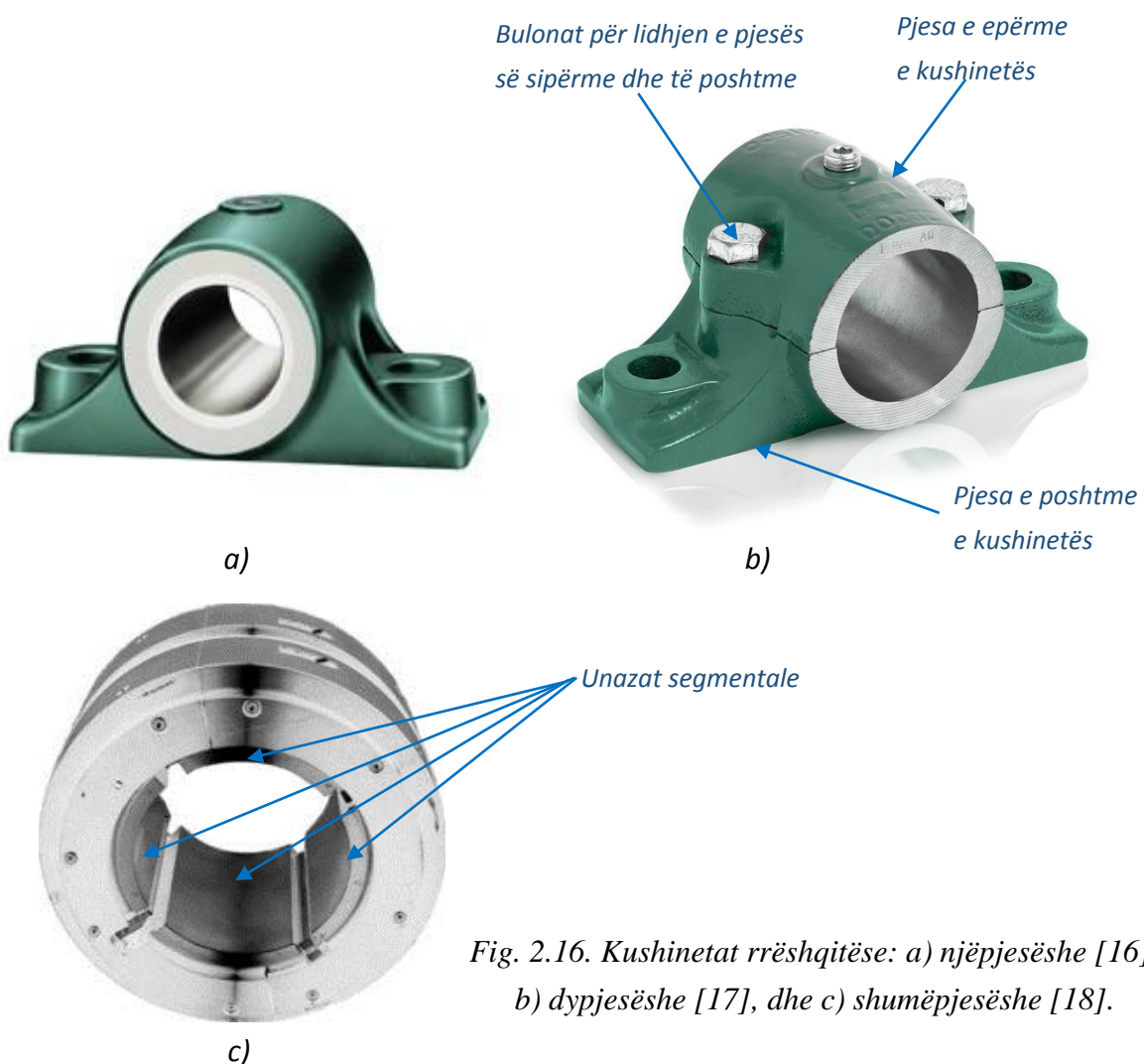


Fig. 2.16. Kushinetat rrëshqitëse: a) njëpjesëshe [16], b) dypjesëshe [17], dhe c) shumëpjesëshe [18].

Kushineta rrëshqitëse radiale mund të ndahen edhe sipas shtresës kontaktuese të kushinetës dhe atë në:

- kushineta rrëshqitëse radiale me unazë të butë,
- kushineta rrëshqitëse radiale me unazë të fortë.

Zgjedhja e llojit të kushinetës në bazë të gjeometrisë- konstruktionit bëhet varësisht nga ngarkesat të cilat duhet bartë kushineta, vendi ku do të montohet kushineta p.sh. hapësirë e limituar, nevojës së saktësisë p.sh. tek makinat precize, etj.

Zakonisht unaza tek kushinetat rrëshqitëse radiale punohet nga materialet përkatësisht lëgurat e buta si p.sh. lëgura: zinkut, aluminit, bronzit, polimere, etj. Shpesh për qëllim të përmisimit të aftësive kundër fërkimit, për lyerje të mbajtësit përdoren lëgura nga metali i bardhë- babbit<sup>1</sup>.

Materiali i dorëzës së boshtit apo aksit punohet me fortësi shumë herë më të madhe se sa ai i unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, prandaj jorrafshirat mikroskopike të sipërfaqes së boshtit me rastin e lyerjes jo të plotë ose kalimtare, depërtojnë në shtresën kontaktuese të unazës së kushinetës duke e dëmtuar atë.

Kushinetat rrëshqitëse me unazë të fortë përbëhen nga materiale të forta siç është çeliku dhe kryesisht të kombinuara me shtresa tjera të holla si p.sh: shtresë grafiti, shtresë nga metali i bardhë, bronz, gomë, etj.

Kushinetat rrëshqitëse radiale sipas mënyrës së lyerjes ndahen në:

- *kushineta rrëshqitëse hidrostатike,*
- *kushineta rrëshqitëse hidrodinamike.*

Kushineta e paraqitur në figurën 2.17., bënë pjesë në llojin e kushinetave rrëshqitëse radiale të thjeshta me unazë nga bronzi. Përdoret për ngarkesa dhe shpejtësi relativisht të vogla.

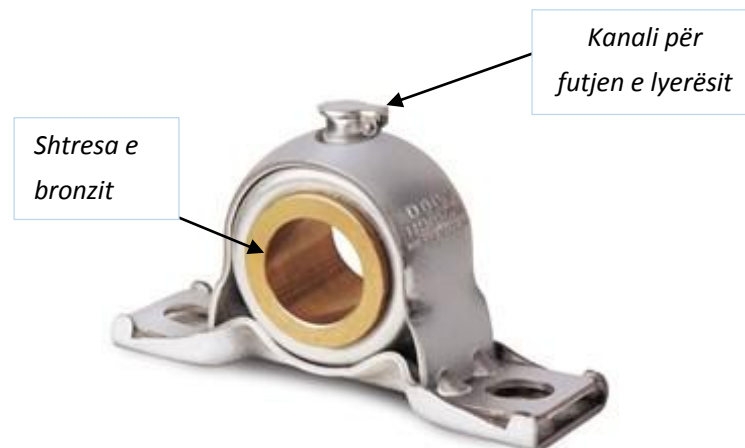


Fig. 2.17. Kushinetë rrëshqitëse radiale e thjeshtë me shtresë bronzit [19].

Këto lloje të kushinetave janë mjaftë praktike për ngarkesa dhe shpejtësi të vogla dhe sikurse edhe llojet e tjera të kushinetave rrëshqitëse radiale, përpos që janë të thjeshta edhe çmimi i tyre është i arsyeshëm në krahasim me llojet e tjera të kushinetave.

<sup>1</sup> **Babbit (ang. Babbitt)** – njihet në literaturë edhe si metal i bardhë, është lëgure e: kallajit, antimonit, bakrit dhe plumbit, e cila përdoret në industri me qëllim të zvogëlimit të fërkimit.



### 2.3. MËNYRA E KONTAKTIT TË DY TRUPAVE

Gjatë shqyrtimit të trupave kontaktues, duke u fokusuar në kontaktin e tyre përkatësisht sipërfaqen kontaktuese të tyre është vërejtur që sipërfaqet e kontaktit të tyre janë të ndryshme dhe varen nga gjeometria e trupave kontaktues. Kryesisht mënyrat e kontaktit të dy trupave ndahen në këto raste:

- *Kontakti i dy trupave cilindrik në rrezet e jashtme (fig. 2.18. a),*
- *Kontakti i dy trupave cilindrik ku sipërfaqja e jashtme e trupit cilindrik kontakton sipërfaqen e brendshme cilindrike të trupit tjetër (fig. 2.18. b),*
- *Kontakti i trupit cilindrik me rrafshin (fig. 2.18. c),*
- *Kontakti i dy trupave me sipërfaqe të rrafshët (fig. 2.18. d),*
- *Kontakti i sferës me sipërfaqën e rrashët (fig. 2.18. e), etj.*

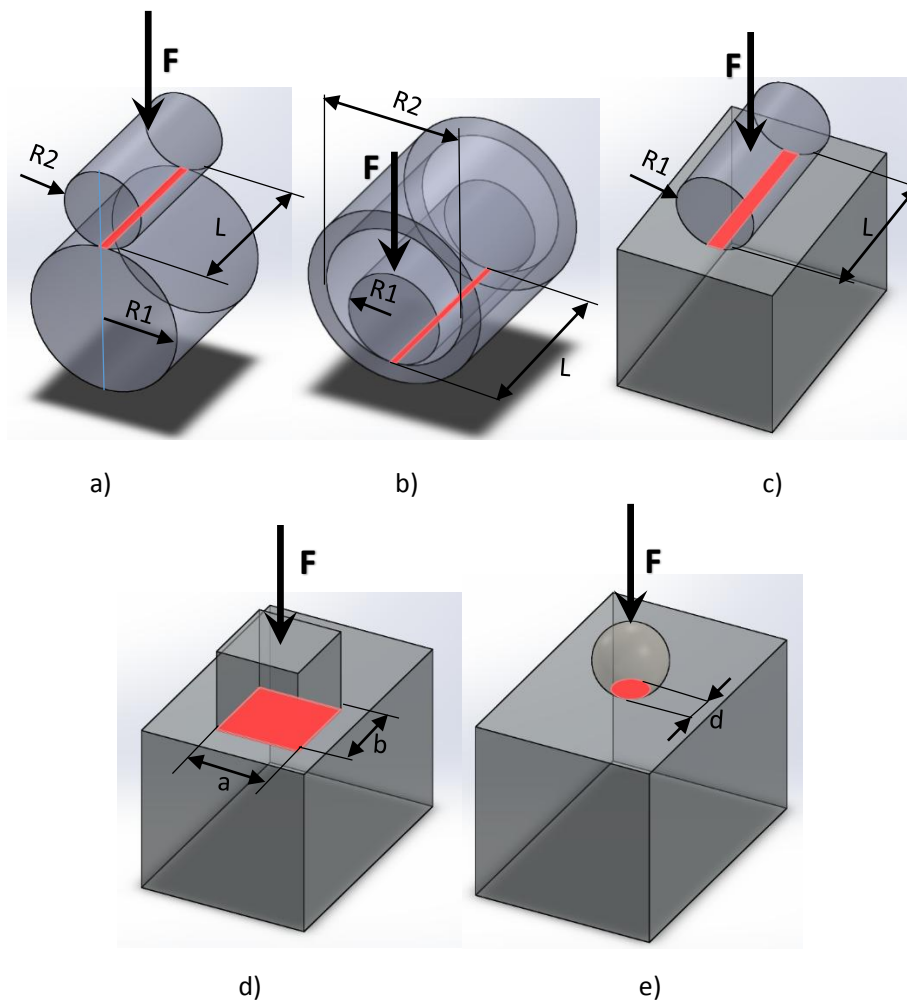


Fig. 2.18. Disa nga mënyrat e kontaktit ndërmjet dy trupave.

Me rastin e kontaktimit të dy sipërfaqeve cilindrike, kur nuk vepron forca vërehet se sipërfaqja e kontaktit të tyre është vijë. Nëse vepron forca, atëher sipërfaqja e kontaktit është katërkëndësh (fig. 2.18. a) dhe b)).

Sipërfaqja e kontaktit me rasin e kontaktimit të dy trupave sferik kur nuk vepron forca është pikë përkatësisht zonë rrethore nëse mbi të vepron forca (fig. 2.18. d)).

Rast i shqyrtimit të kësaj teme do të jetë rasti i ilustruar në figurën 2.18. (a), ku boshti me rrezen e jashtme kontakton kushinetën, përkatësisht unazën e brendshme të saj.

Gjatë kontaktimit të trupave vërehet se ata kontaktojnë nëpër jorrafshira (ilustruar në fig. 2.19.), qofshin ato mikroskopike apo milimetrike, mirëpo duhet cekur se sipërfaqe të rrafshëta absolute nuk ekzistojnë. Madhësia e këtyre jorrafshirave varet nga ashpërsia sipërfaqësore e trupave në kontakt përkatësisht kualiteti i përpunimit sipërfaqësor të tyre.

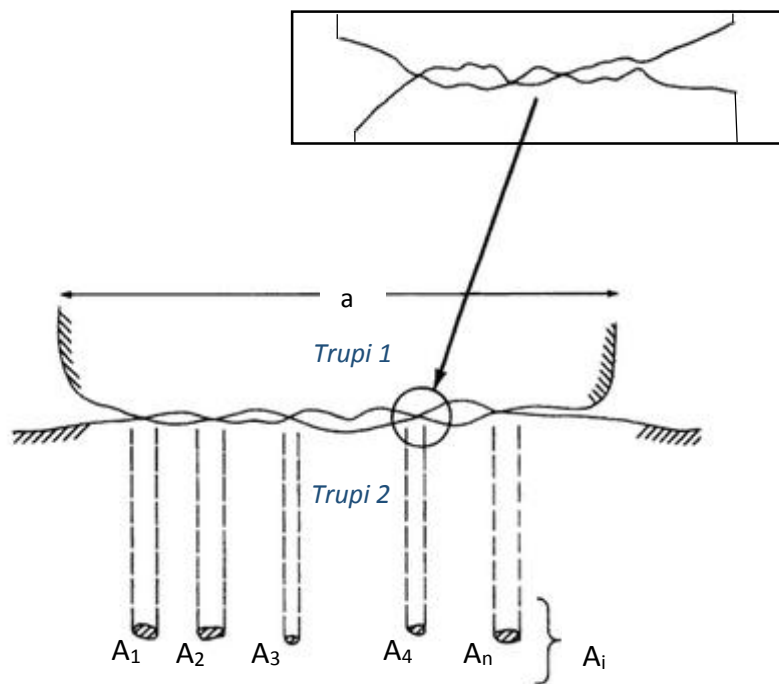


Fig. 2.19. Paraqitja skematike e sipërfaqeve të kontaktit të jorrafshirave [20].

Sipërfaqja reale e kontaktit  $A_r$  është në të vërtetë shuma e sipërfaqeve të kontaktit të jorrafshirave.

Nga paraqitja skematike e kontaktit të jorrafshirave në fig.2.19., nxjerrim shprehjen:

$$A_r = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + \dots + A_n = \sum_{i=1}^n A_i \quad [2.0]$$

Në figurën 2.20., është ilustruar kontakti në mes të dy trupave. Trupi 1- i cili është menduar të jetë unaza e kushinetës dhe e cila është e fiksuar, si dhe trupi 2- boshti, i cili

rrotullohet me një shpejtësi të caktuar ( $v$ ). Shihet se ndërmjet dy trupave nuk ka lyerës, prandaj, kontakti në mes tyre realizohet ndërmjet jorrafshirave, përkatësisht ngritjeve të tyre.

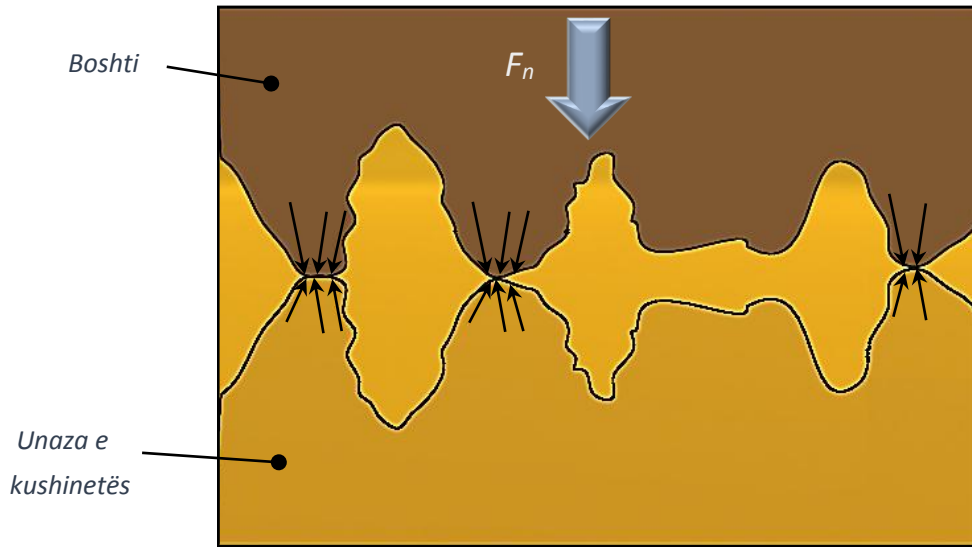


Fig. 2.20. Paraqitja skematike e mënyrës së kontaktit të dy trupave përmes jorrafshirave [21].

Pasi që kontakti në mes të këtyre trupave, si dhe trupave të tjerë në përgjithësi, bëhet me anë të jorrafshirave, atëherë mund të themi se edhe presioni i llogaritur është gjithmonë më i vogël se sa presioni real, meqenëse sipërfaqja e vërtetë e kontaktit është shumë herë më e vogël se sa ajo e llogaritur.

Presioni sipërfaqësorë i llogaritur (nominal) është:

$$p = \frac{F}{A} \quad [2.1]$$

Presioni sipërfaqësor real është:

$$p_r = \frac{F}{A_r} \quad [2.2]$$

$p$  [ $N/mm^2$ ]- presioni i llogaritur [ $Pa$ ],

$p_r$  [ $N/mm^2$ ]- presioni real [ $Pa$ ],

$F$  [ $N$ ]- forca vepruese,

$A$  [ $mm^2$ ]- sipërfaqja e llogaritur e kontaktit-

ku p.sh. për kontaktimin e kubeve sipërfaqja e kontaktit merret  $A = a \times b$ - fig. 2.18. d), dhe  $A_r$  [ $mm^2$ ]- sipërfaqja reale e kontaktit, respektivisht sipërfaqja e jorrafshirave në kontakt.

Meqenëse sipërfaqja kontaktuese reale ndërmjet dy trupave  $A_r$  është shumë here më e vogël se sipërfaqja kontaktuese nominale  $A$ , atëher del se presioni sipërfaqësor real  $p_r$  është shumë here më i madh se presioni sipërfaqësor nominal  $p$ .

## 2.4. ASHPËRSIA SIPËRFAQËSORE

Sipërfaqet e të gjitha pjesëve makinerike përmbajnë jorrafshira. Forma dhe madhësia e këtyre jorrafshirave varen nga cilësia e përpunimit sipërfaqësorë. Prandaj, mund të thuhet se sipërfaqe absolute të rrafshita nuk ekzistojnë. Nëse shiqohen në mikroskop, këto jorrafshira sipërfaqësore janë të pranishme në nivel të caktuar edhe pasi që sipërfaqet retifikohen ose polirohen.

Për përcaktimin e veçorive geometrike të ashpërsisë, përdoren instrumente dhe metoda të ndryshme, prej të cilave janë më praktike dhe më së shumti përdoren metodat dhe pajisjet mekanike si p.sh: Talysurf, Mitutoyo, Olympus, etj.

Këto paisje mekanike janë të pajisura me gjilpërë të hollë dhe të fortë. Kjo gjilpërë me rastin e rrëshqitjes nëpër sipërfaqen të cilës i kontrollohet ashpërsia, hynë nëpër thellime dhe ngritje. Gjilpëra i dërgon këto matje në paisjen, e cila i regjistron këto matje. Pastaj rezultatet të cila merren me rastin e matjeve, analizohen dhe përcaktohet ashpërsia sipërfaqësore, shmangiet mesatare aritmetike të profilit  $R_a$ , lartësitë mesatare e jorrafshirave, vlera maksimale e jorrafshirave, etj.

Në figurë 2.21., është paraqitur matja e ashpërsisë së sipërfaqes së brendshme të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, me anë të aparatit për matjen e ashpërsisë "Olympus".



Fig. 2.21. Matja e vrazhdësisë së sipërfaqes së kushinetës [22].

Rezultatet, të cilat i jep aparati për matjen e ashpërsisë janë diagrame digjitale apo edhe të printuara të cilat përcaktojnë nivelin e ashpërsisë së sipërfaqes së matur. Këto diagrame analizohen dhe nxirren ose në mënyrë automatike nga aparati matës ose mund të

llogariten edhe me anë të formulave vlerat: mesatare të ashpërsisë së sipërfaqes, valzueshmërisë së sipërfaqes, etj.

Shembull i rezultateve të marra në formë të diagramit nga aparati, me rastin e matjes së ashpërsisë sipërfaqësore është paraqitur në figurën 2.22. Në figurën 2.22. a), janë paraqitur të zmadhuara në mikroskop, sipërfaqet e trupave të cilëve iu është bërë matja e ashpërsisë sipërfaqësore. Në figurën 2.22. b), janë paraqitur diagramet me vlerat e fituara, me rastin e matjes së ashpërsisë sipërfaqësore.

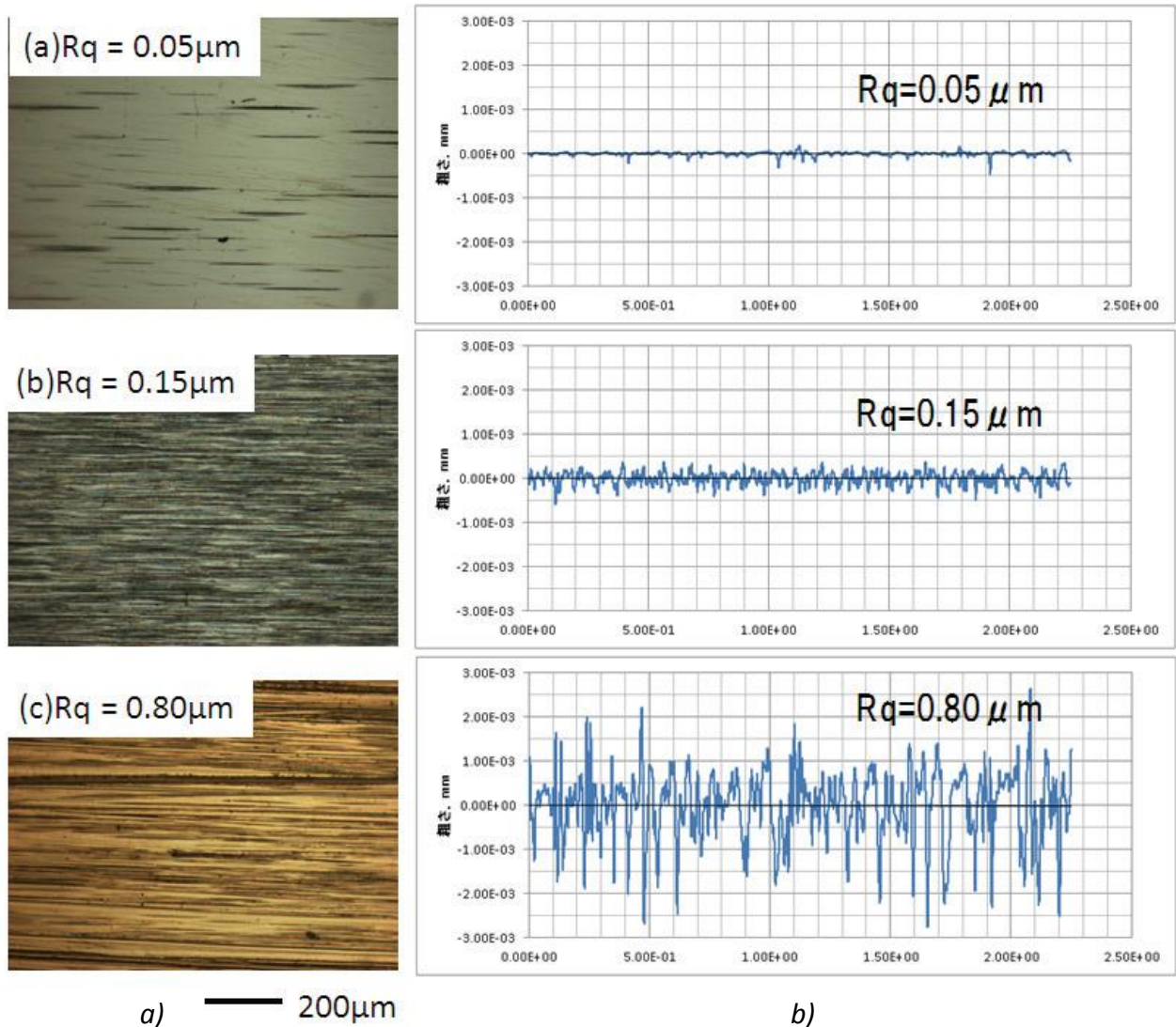


Fig. 2.22. Ashpërsia e sipërfaqeve e matur [23].

Diagramet e paraqitura në figurën 2.22., paraqesin rastet e matjes së ashpërsisë sipërfaqësore të trupave tek të cilat shmangia mesatare aritmetike është:

- a)  $Ra=0.05 [\mu m]$ - sipërfaqe e lëmuar
- b)  $Ra=0.15 [\mu m]$ - sipërfaqe relativisht lëmuar
- c)  $Ra=0.80 [\mu m]$ - sipërfaqe e vrazhdë

Përcaktimi i ashpërsisë sipërfaqësore përkatësisht vlerave karakteristike, mund të nxirret edhe përmes formulave matematikore. Kriteri kryesor për vlerësimin e madhësisë së ashpërsisë është vlera numerike e shmangies mesatare aritmetike të profilit  $R_a$ , e cila llogaritet me shprehjen:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx \quad [2.3]$$

Vlera mesatare e ashpërsisë  $R_a$  caktohet me shprehjen:

$$R_a \approx \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad [2.4]$$

Nëse aparati matës jep vetëm diagramet e ashpërsisë sipërfaqësore dhe atë sikur në figurën 2.22., atëherë nga diagrami lexohen vlerat përkatëse dhe pastaj me anë të formulave nxirren vlerat tjera të ashpërsisë si p.sh. shmangia mesatare aritmetike e profilit ( $R_a$ ) lartësia maksimale e jorrafshirave ( $R_{max}$ ), lartësia mesatare e jorrafshirave, gjatësia e bartjes së profilit, valzueshmëria, etj., (fig. 2.23).

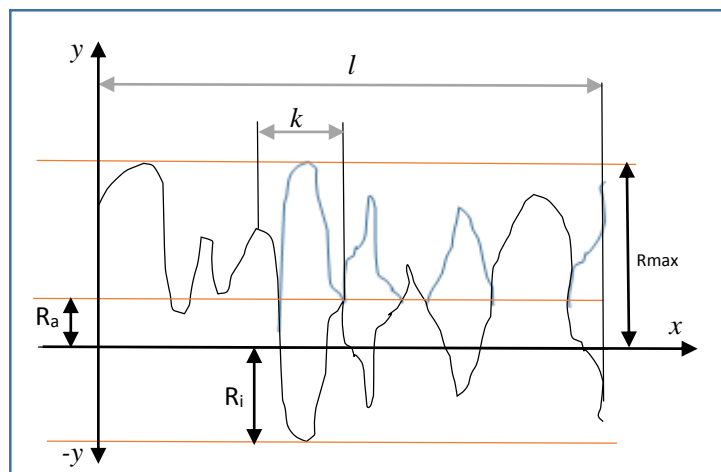


Fig. 2.23. Shmangia mesatare aritmetike e profilit ( $R_a$ ) dhe lartësia maksimale e jorrafshirave ( $R_{max}$ ) [2].

Madhësitë e paraqitura në fig. 2.23. janë:

$l$  [mm]- gjatësia e matjes,

$k$  [ $\mu$ m]- largësia në mes të dy ngritjeve,

$R_{max}$  [ $\mu$ m]- lartësia maksimale e jorrafshirave,

$R_a$  [ $\mu$ m]- shmangia mesatare aritmetike e profilit,

$R_i$  [ $\mu$ m]- lartësia e një jorrafshire të çfarëdoshme.

Përveç madhësisë  $R_a$ , për vlerësimin e ashpërsisë, shfrytëzohen sipas standardit ISO 4287- 1996- standardi internacional për mënyrën e përcaktimit të ashpërsisë së sipërfaqes, edhe lartësia maksimale e jorrafshirave  $R_{max}$  dhe lartësia mesatare e jorrafshirave në 10 pika  $R_z$ :

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + \dots + R_9) - (R_2 + R_4 + \dots + R_{10})}{5} \quad [2.5]$$

Lartësia e jorrafshirave-  $R_{pm}$ - është lartësia maksimale e profilit nga vija mesatare në kufij të gjatësisë referente.

Vlera mesatare e definuar në intervalin prej mbi 5 gjatësive referente shënohet si  $R_{pm}$  dhe të llogaritet me shprehjen:

$$R_{pm} = \frac{R_{p1} + R_{p2} + R_{p3} + R_{p4} + R_{p5}}{5} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 R_{pi} \quad [2.6]$$

Në figurën 2.24., janë paraqitur disa nga profilet e vrazhdësisë sipërfaqësore, të cilat mund të hasen tek sipërfaqet e trupave dhe të cilat kanë vlerë të njëjtë të  $R_a$ .

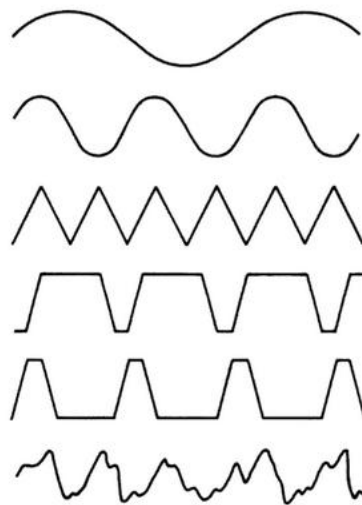


Fig. 2.24. Profile të ndryshme të ashpërsisë së sipërfaqes të cilat kanë vlerë të njëjtë të  $R_a$  [24].

Analiza mikroskopike e sipërfaqes së boshtit dhe kushinetës rrëshqitëse radiale, dhe vërtetimi se kontaktimi i tyre bëhet nëpërmjet jorrafshirave mikroskopike, me qëllim të zvogëlimit të fërkimit, është dhe sigurisht ka qenë shtytje për futjen e një trupi të tretë (lyerësit). Futja e lyerësit në sipërfaqen e kontaktit bëhet me qëllim të zvogëlimit të: fërkimit, gërryerjes dhe efekteve tjera negative.



## 2.5. ANALIZA E KONTAKTIT NDËRMJET DORËZES DHE UNAZËS SË KUSHINETËS DUKE U BAZUAR NË TEORINË E HERTZ-IT

Me rastin e kontaktimit të trupave, qoftë ai kontakt statik, kinematik apo dinamik, vije deri tek deformimi sipërfaqësor ose total i tyre (qoftë edhe i jorrafshirave), ku me këtë rast shfaqen edhe deformime elastike ose deformime plastike të trupave.

Hertz-i është njëri nga shkencëtarët e parë, i cili e ka studiuar kontaktin në mes trupave si dhe është marrë edhe me ndryshimet të cilat ndodhin në brendësinë e trupave. Prandaj, edhe në ditët e sotme me rastin e shqyrtimit të kontaktit në mes trupave në përgjithësi, përdoren ekuacionet dhe teoritë e Hertz-it.

Në figurën 2.25. është paraqitur dhe analizuar kontakti sipas Hertz-it, i boshtit në unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale. Boshti, dorëza e të cilit ka një gjatësi ( $b$ ) të njëjtë me gjerësinë e unazës së kushinetës, nën veprimin e ngarkesës, kontakton atë duke formuar sforcime në presion sipërfaqësorë, në një zonë të caktuar me shpërndarje eliptike.

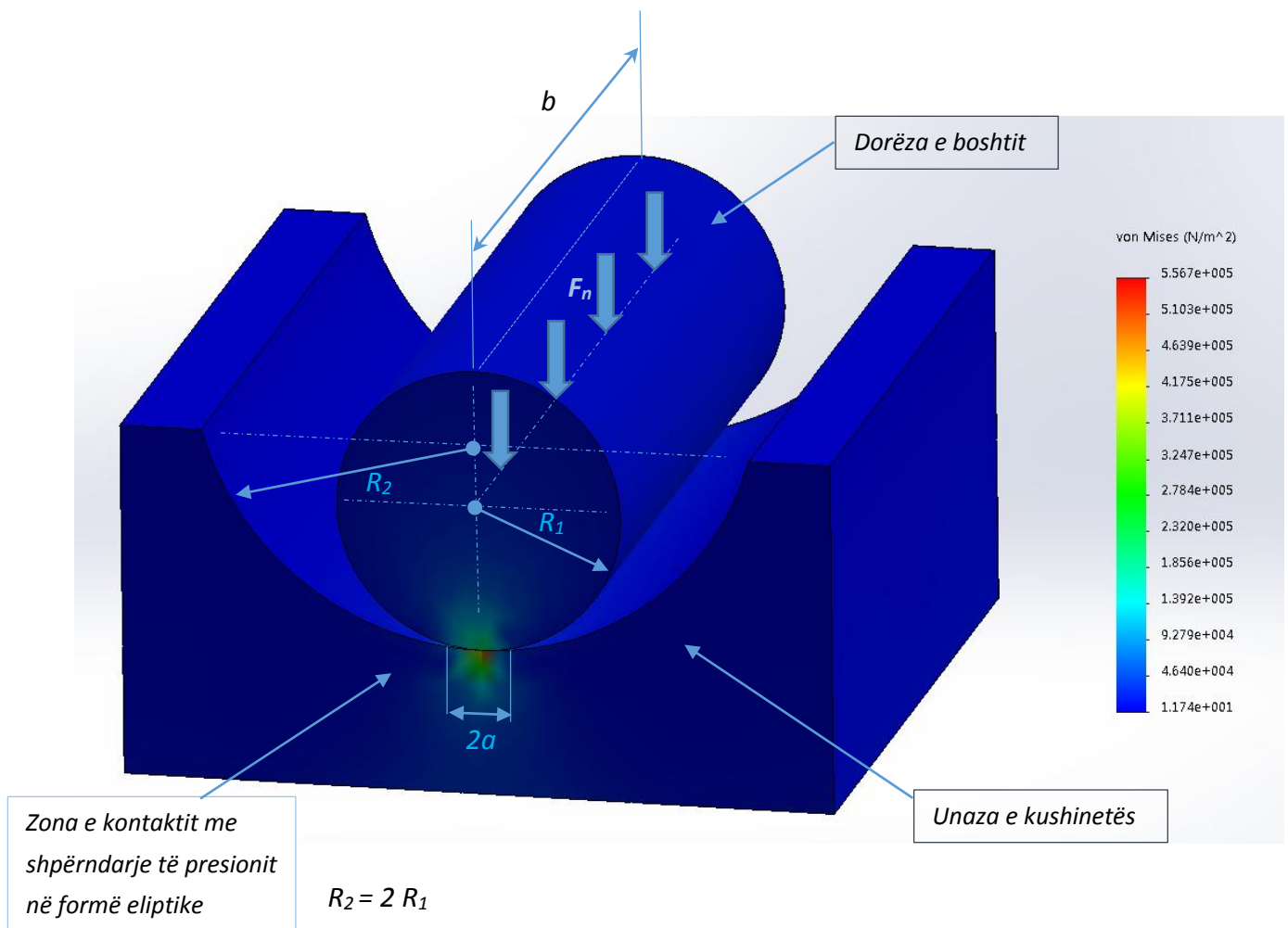


Fig.2.25. Shpërndarja eliptike e sforcimit në zonën e kontaktit [25].



Zona e shpërndarjes së sforcimit sipas Hertz-it, kryesisht ndryshon në varësi të materialeve që kontaktojnë dhe në bazë të intensitetit të veprimit të ngarkesës.

Me zhvillimin e teknologjisë informative, janë punuar softuer, të cilët mundësojnë llogaritjen e presionit kontaktues dhe madhësive tjera me rëndësi gjatë kontaktit të dy trupave me formë të ndryshme gjeometrike.

Nëse merret në shqyrtim rasti i kushinetave rrëshqitëse radiale- kontakti i dy cilindrave me rreze të ndryshme dhe nën veprimin e forcës së jashtme  $F$ , atëherë sforcimi në kontakt sipërfaqësorë shpërndahet në një zonë katërkëndësh me intensitet eliptik në gjerësinë  $2a$ , ku madhësia caktohet me shprehjen [25]:

$$a = K_b \sqrt{F_n} \quad [2.7]$$

Koeficienti  $K_b$  llogaritet me shprehjen:

$$K_b = \left[ \frac{2}{\pi b} \cdot \frac{\left( \frac{1-v_1^2}{E_1} \right) + \left( \frac{1-v_2^2}{E_2} \right)}{\left( \frac{1}{d} \right) + \left( \frac{1}{-D} \right)} \right]^{1/2} \quad [2.8]$$

*Ku janë:*

$F_n$ - [N]- forca e aplikuar,

$v_1, v_2$ - numri i Poasonit (Poisson),

$E_1, E_2$  [N/mm<sup>2</sup>]- moduli i elasticitetit për cilindrin 1 dhe 2 (boshtin dhe kushinetën),

$d$  [mm]- diametri i boshtit,

$D$  [mm]- diametri i brendshëm i kushinetës,

$b$  [mm]- gjatësia e kushinetës.

Me avancimin e teknologjisë, e sidomos të softuerëve aplikativ, është bërë e mundur edhe llogaritja kopjuterike e sipërfaqeve kontaktuese të trupave në kontakt, sforcimeve, deformimeve, etj.

Në fig. 2.25., është paraqitur prerja gjatësore e boshtit dhe kushinetës me rastin e kontaktimit. Në këtë figurë është paraqitur koncentrimi i sforcimit, me rastin e kontaktit të dy trupave me sipërfaqe cilindrike. Kontakti i këtyre dy trupave cilindrik (boshtit dhe unazës së kushinetës) është simuluar me anë të programit SolidWorks. Materiali i të dy trupave në kontakt është çelik 1.7225, ndërsa ngarkesa me të cilën është vepruar në bosht me rastin e simulimit, është  $F_n=500$  [N].

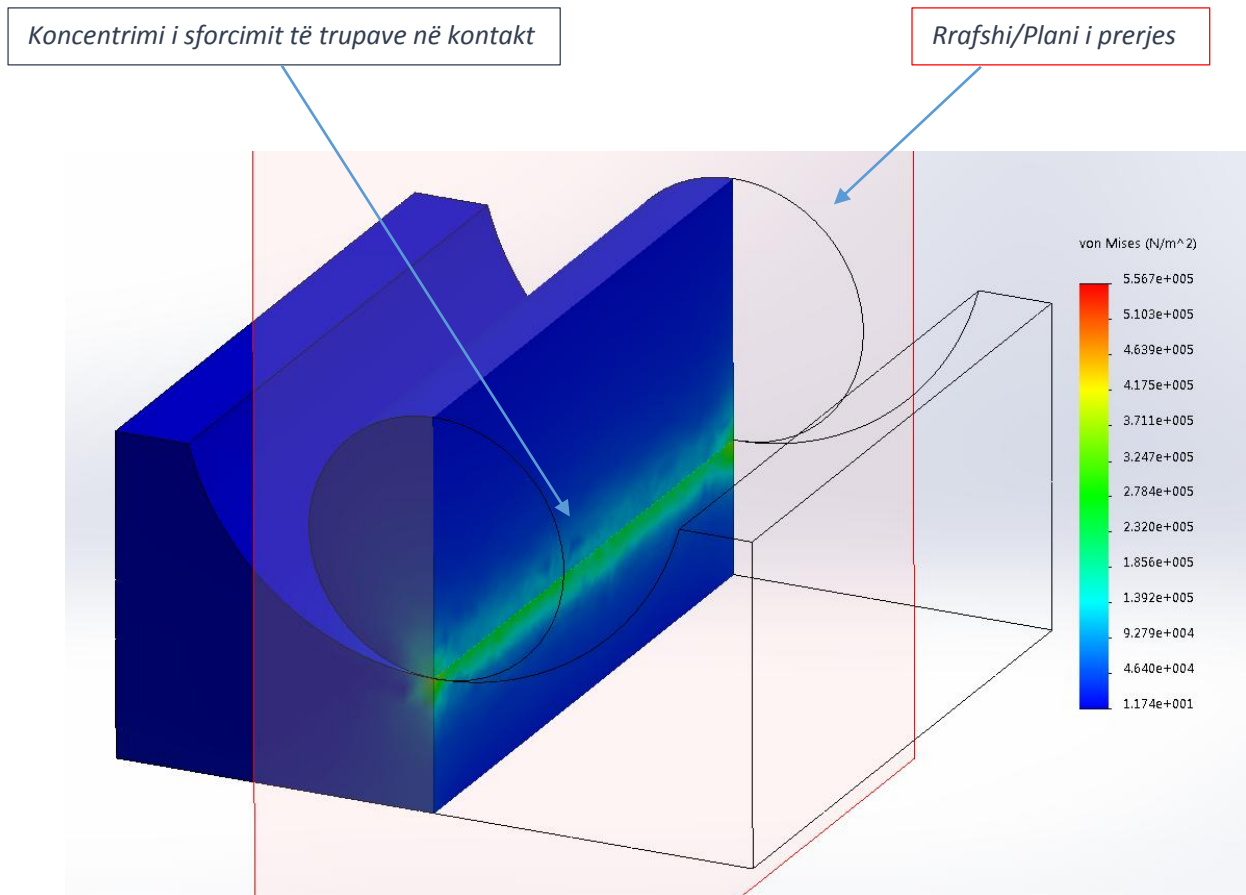
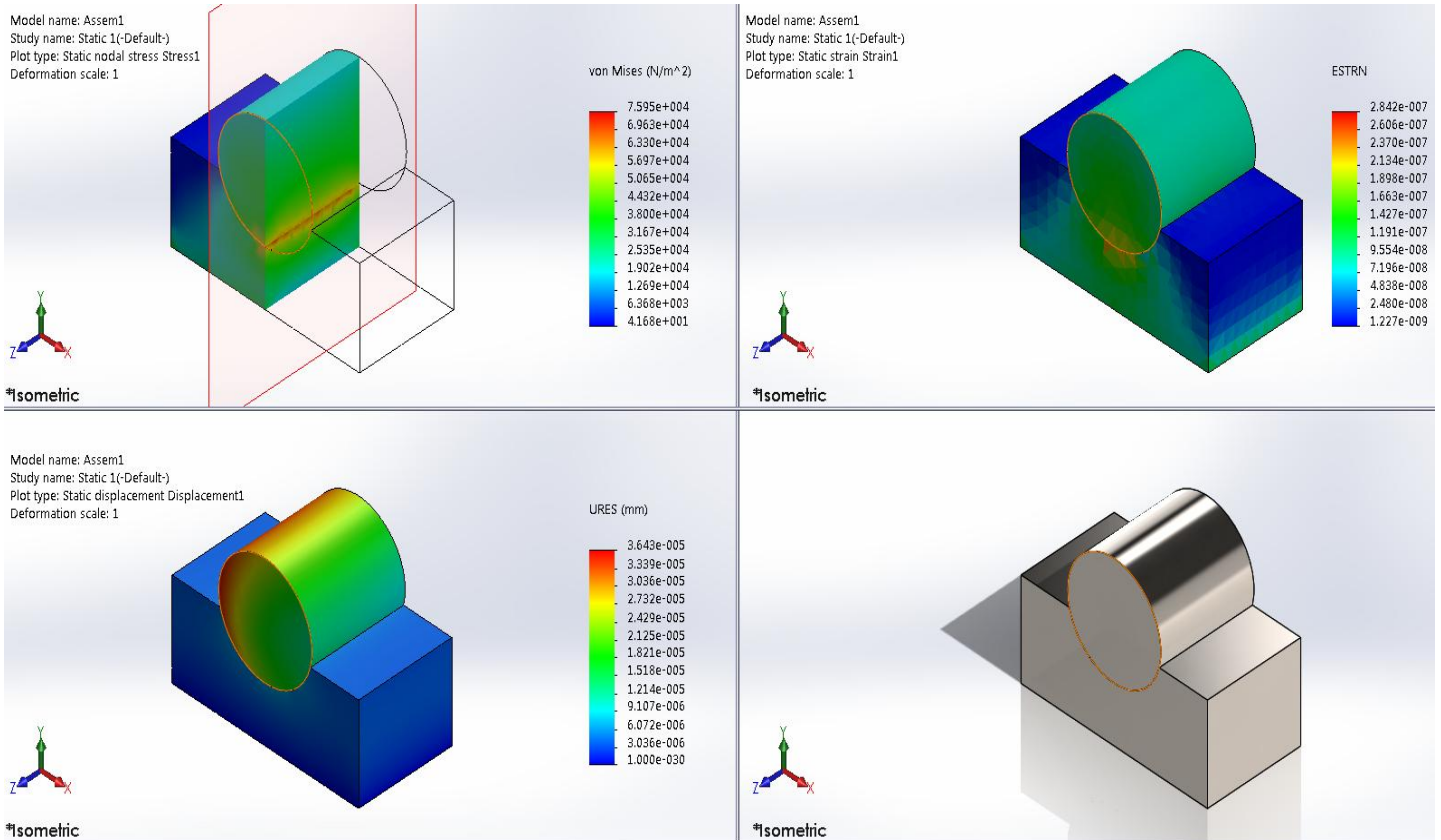


Fig. 2.26. Paraqitja e koncentrimin të sforcimit, prerja gjatësore.

Nga figura 2.26., mund të shihet se si shpërndahet sforcimi në zonën e kontaktit të dy sipërfaqeve cilindrike, njëri kontakton me sipërfaqe të jashtme (boshti), ndërsa tjetri me sipërfaqe të brendshme cilindrike (unaza e kushinetës). Shiriti me vlera i paraqitur në anën e djathtë në figurën 2.26., paraqet rezultatet e fituara me rastin e simulimit. Ngjyra e kaltërt tregon nivel të ulët të sforcimit, ndërsa duke shkuar lartë në shirit dhe duke ndryshuar ngjyrat, nga e kaltërt në të kuqe, sforcimi rritet. Nga ky simulim vërtetohet se me rastin e aplikimit të forcës përkatëse të këta trupa me karakteristika të lartëcekura, sforcimet gjenden nën vlerën e sforcimit maksimal të lejuar, pra gjenden në zonë elastike.

Përpos vlerave të sforcimit, të lajmëruar me rastin e veprimit të ngarkesës për trupat me karakteristika përkatëse, programi *SolidWorks* mundëson edhe llogaritje tjera, si p.sh. llogaritjen e deformimeve, zhvendosjeve, etj.



*Fig. 2.27. Paraqitja e rezultateve të fituara me rastin e kontaktit të dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës, nën veprimin e ngarkesës.*

Në fig. 2.27., janë paraqitur rezultatet e fituara me rastin e kontaktimit të dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale.

Një softuer tjetër është përdorur për të llogaritur sipërfaqen e kontaktit në mes dy trupave apo kontaktin sipas Hertz-it, ky është programi softuerik- HertzWin. Në vazhdim është paraqitur një shembull i përdorimit të këtij programi kompjuterik me rastin e kontaktit të boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, nën veprimin e një force konstante.

Përpos llogaritjes së gjysmëkontaktit të trupave, ky program mundëson edhe llogaritjen automatike të sforcimeve të cilat ndodhin me rastin e kontaktimit. Ky program mundëson gjithashtu edhe paraqitjen grafike të sforcimeve të cilat ndodhin në trupat kontaktues me rastin e kontaktit. Puna me këtë program është relativisht e lehtë dhe fitohen rezultate të kënaqëshme, të cilat mundën lirisht të përdoren në hulumtime tjera.

Në fig. 2.28., është paraqitur dritarja me rezultatet e fituara për kontaktin e boshtit me unazën e kushinetës rrëshqitëse, duke shfrytëzuar softuerin HertzWin.

Ky program kompjuterik përbëhet nga faqja kryesore (fig.2.28.), në të cilën i vendosim vlerat hyrëse dhe pastaj në nën- dritaret tjera mund të lexohen vlerat dhe të nxirren diagramet. Në vazhdim është paraqitur mënyra e përdorimit të këtij programi.

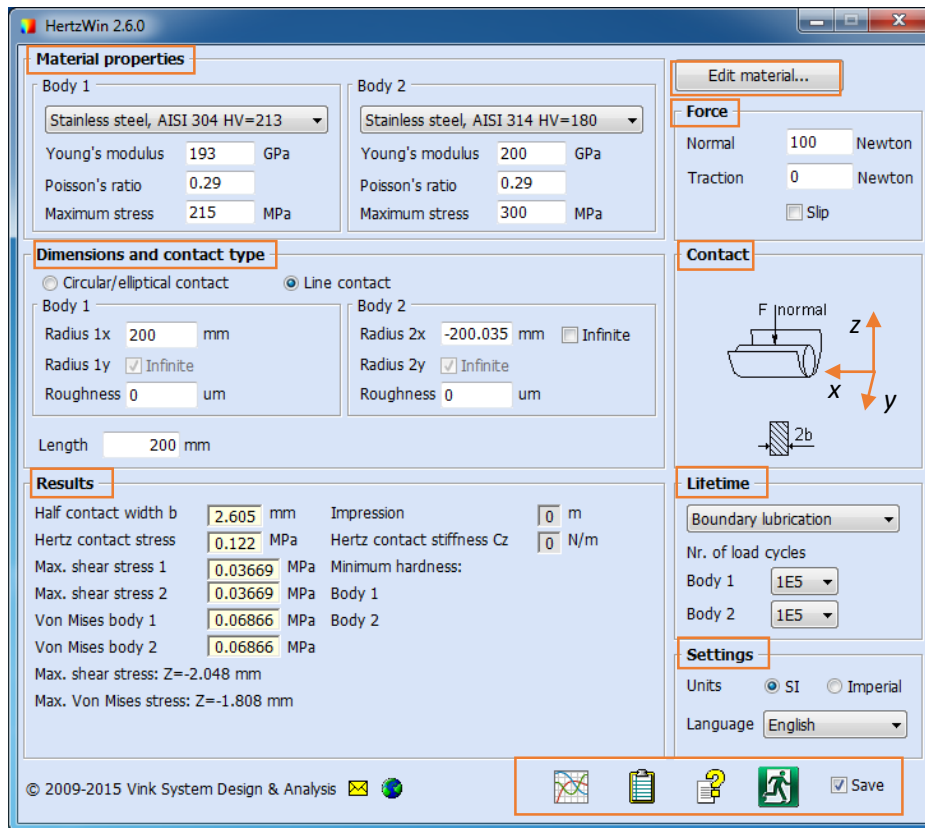


Fig. 2.28. Llogaritja e gjysmë kontaktit me anë të softuerit aplikativ HertzWin.

### 2.5.1. Mënyra e përdorimit të softuerit HertzWin

Si informata apo të dhëna hyrëse për llogaritje në këtë program nevojiten:

- **Karakteristikat e materialit**- për trupin një (1) dhe dy (2)- të cilat janë të përshkruar tek rubrika: **Material properties**- në anën e majtë të pjesës së sipërme të dritares kryesore të programit. Mund të zgjedhen materiale me të dhëna të gatshme dhe në mënyrë automatike në dritare shfaqen karakteristikat e materialit.  
Nëse materiali, i cili duhet të shqyrtohet nuk është në listën e materialeve të gatshme, të cilat i ofron programi, atëherë tek rubrika: **Edit material**- në anën e djathtë në pjesën e sipërme të dritares kryesore të programit, klikohet dhe vendosen vlerat karakteristike të materialit përkatës: emërtimin e materialit, sforcimin maksimal, koeficientin e Poasonit, modulin e elasticitetit- për trupat kontaktues: 1 dhe 2.
- **Dimensionet dhe lloji i kontaktit**- tek rubrika: **Dimensions and contact type**, e cila gjendet poshtë rubrikës: **Material properties**- vendosen dimensionet e trupave kontaktues, si dhe ashpërsia sipërfaqësore e tyre. Ndërsa tek rubrika: **Contact**- paraqitet grafikisht mënyra e kontaktit- që në rastin e paraqitur është boshti i vendosur në kushinetën rrëshqitëse radiale.

- Forca vepruese (ngarkesa)- shënohet në rubrikën **Force**, e cila gjendet poshtë ikonës **Edit material**- në anën e djathtë në pjesën e sipërme të dritares kryesore të programit. Për këtë rast është marrë forca vepruese prej: 1000 N.
- Lloji i lyerjes dhe numri i ngarkesave ciklike: Lifetime- në këtë rubrikë caktohet lloji i lyerjes dhe numri i cikleve të ngarkesës për trupin 1 dhe 2. Kjo rubrikë gjendet sipër rubrikës **Settings**, në të cilën zgjedhet sistemi i njësive (në këtë rast sipas sitemit internacional SI) si dhe gjuha, e cila zgjedhet gjatë punës me këtë program.

Pas vendosjes së informatave hyrëse duke klikuar në pjesën e poshtme në anën e djathtë të faqes kryesore (fig.2.28.), programi HertzWin paraqet rezultatet rreth kontaktit sipas Hertzit: gjysmëkontaktin, sforcimet sipas Hertzit, sforcimi maksimal në shkëputje për trupin 1 dhe 2. Gjithashtu programi mundëson edhe paraqitjen grafike të vlerave të fituara. Në vazhdim janë paraqitur diagramet e fituara me rastin e kontaktimit të boshtit me diametër  $\varnothing 200$  [mm] ndaj unazës së kushinetës me diametër  $\varnothing 200.035$  [mm] nën veprimin e forcës prej 1000 [N]. Me rastin e klikimit për paraqitjen grafike të rezultateve të fituara në nën dritaren **Graphs** na paraqiten rezultatet e fituara të shprehura në lakore.

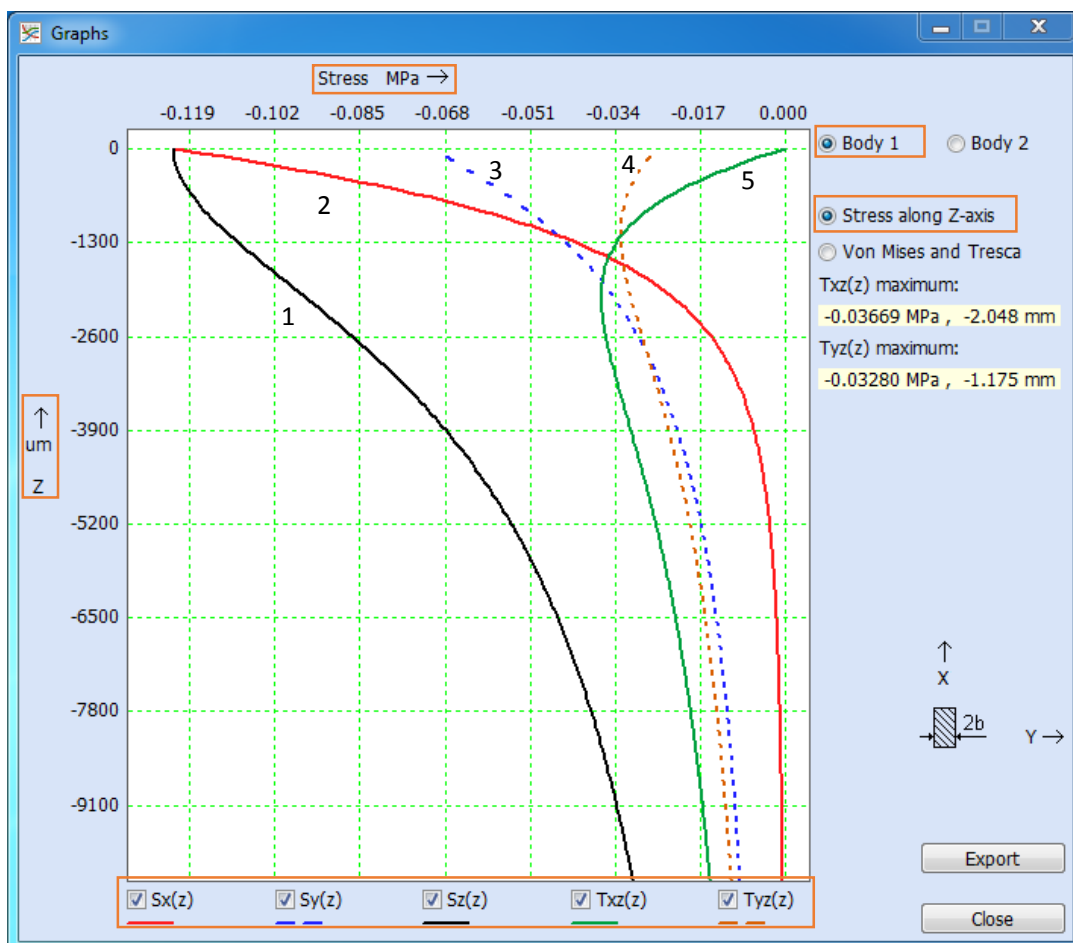


Fig. 2.29. Diagramet e fituara: sforcimet përgjatë aksit z, gjatë llogaritjes me anë të softuerit aplikativ HertzWin.

Në nën dritaren **Graphs** na paraqiten lakoret, ku mund të zgjedhen për paraqitje grafike sforcimet, përkatësisht lakoret që janë objekt studimi, ose të gjitha rezultatet e mundëshme që i paraqet programi. Paraqitja e lakoreve të dëshiruara bëhet duke e selektuar ikonën përkatëse. Mund të zgjedhet që programi të paraqet sforcimet përgjat aksit z ose sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes dhe sforcimet Treska<sup>2</sup>, për trupin 1 dhe 2.

Siç shihet në diagramin e sforcimeve në kufirin e rrjedhjes përgjat aksit z, që është paraqitur në fig. 2.29., lakoret përkatëse paraqesinë:

- lakorja me ngjyrë të kuqe (2)-  $S_x(z)$ , paraqet sforcimet përgjatë aksit x,
- lakorja me ngjyrë të kaltërt dhe me vija të ndërprera (3)-  $S_y(z)$ , paraqet sforcimet përgjatë aksit y,
- lakorja me ngjyrë të zezë (1)-  $S_z(z)$ , paraqet sforcimet përgjatë aksit z,
- lakorja me ngjyrë të gjelbërt (5)-  $T_{xz}(z)$ , paraqet sforcimin në rrëshqitje përgjatë rrafshit yz,
- lakorja me ngjyrë të portokalltë dhe me vija të ndërprera (4)-  $T_{yz}(z)$ , paraqet sforcimin në rrëshqitje përgjatë rrafshit xy.

Lakorja me ngjyrë të kuqe (2)-  $S_x(z)$ , e cila paraqet sforcimet përgjatë aksit x, në sipërfaqen e kontaktit ka vlerë maksimale:  $0.119 [MPa]$ , ndërsa duke u larguar nga sipërfaqja e kontaktit ka rënie të madhe të sforcimeve, ndërsa diku rreth  $4 [mm]$  në brendësi të materialit pothuajse ka arrin vlerën zero.

Lakorja me ngjyrë të kaltërt dhe me vija të ndërprera (3)-  $S_y(z)$ , e cila paraqet sforcimet përgjatë aksit y, në sipërfaqen e kontaktit ka vlerën prej:  $0.068 [MPa]$ , ndërsa në brendësi të materialit, duke u larguar nga sipërfaqja e kontaktit vlera e sforcimeve bie, ndërsa diku rreth  $10 [mm]$  në brendësi të materialit pothuajse ka arritur vlerën zero.

Lakorja me ngjyrë të zezë (1)-  $S_z(z)$ , e cila paraqet sforcimet përgjatë aksit z, fillimisht ka vlerën maksimale në zonën e sipërfaqes së kontaktit, ndërsa bie gradualisht dhe dikun rreth  $10 [mm]$  në brendësi të materialit bie nën vlerën  $0.034 [MPa]$  dhe e cila vazhdon të bie.

Lakorja me ngjyrë të gjelbërt (5)-  $T_{xz}(z)$ , e cila paraqet paraqet sforcimin në rrëshqitje përgjatë rrafshit xz, fillimisht në zonën e kontaktit ka vlerën zero ndërsa më në brendësi të materialit vlera e saj rritet. Vlerën maksimale prej  $0.037 [Mpa]$ , e arrinë diku rreth  $2 [mm]$  në brendësinë e materialit, pastaj vlera e saj bie duke shkuar më në brendësi të materialit. Rreth  $10 [mm]$  në brendësi të materialit ka arritur vlerën prej  $0.017 [Mpa]$  dhe e cila vazhdon të bie.

Lakorja me ngjyrë të portokalltë dhe me vija të ndërprera (4)-  $T_{yz}(z)$ , e cila paraqet sforcimin në rrëshqitje përgjatë rrafshit yz, në sipërfaqen e kontaktit ka vlerën prej rreth  $0.017$

<sup>2</sup> Sforcimet Tresca janë vlerat maksimale të sforcimeve në rrjedhje, të cilat janë emëruar në bazë të shkencëtarit Henri Tresca.

[MPa], vlerën maksimale prej 0.0329 [MPa], e arrinë në brendësi të materialit 1.175 [mm]. Pastaj vlera e saj fillon të bie duke u larguar nga zona e kontaktit.

Në dritaren e paraqitjeve grafike të rezultateve të fituara për sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes dhe sforcimet Treska që është paraqitur në foton 2.30 fitohen diagramet për sforcimet përkatëse.

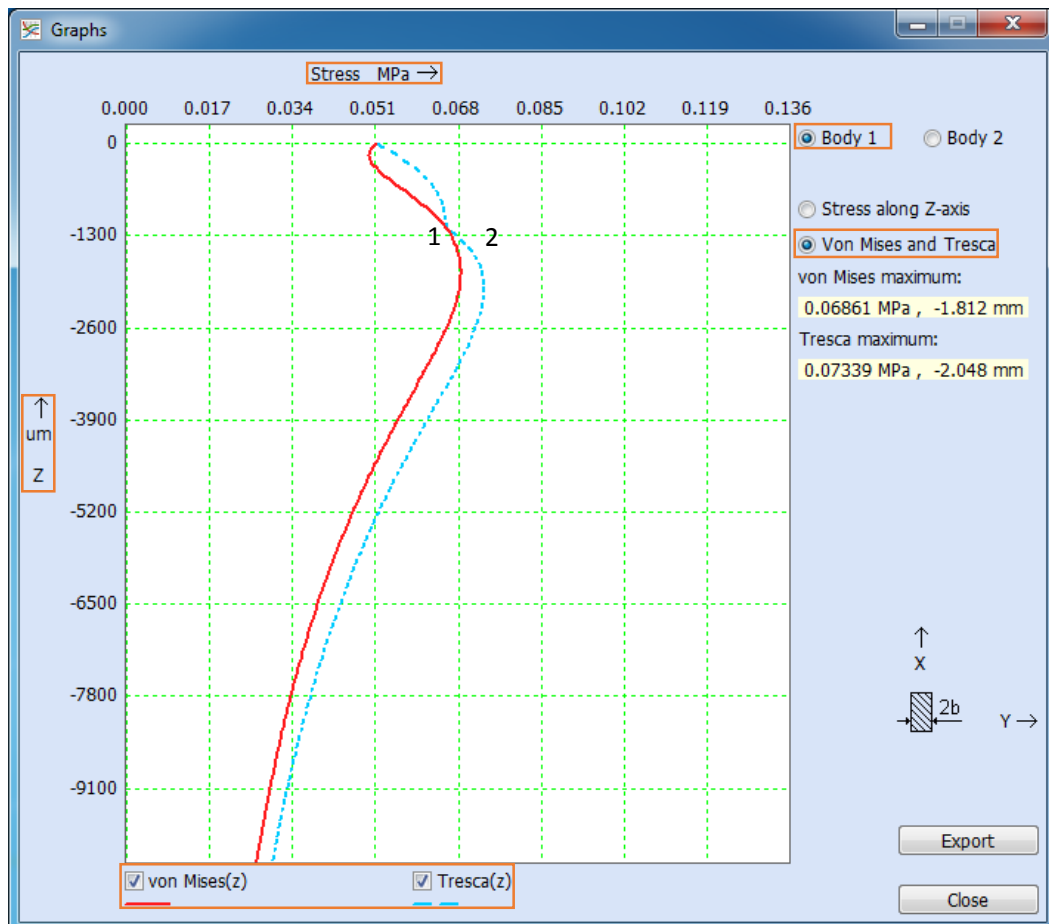


Fig. 2.30. Diagramet e fituara: sforcimet maksimale dhe sforcimet sipas Treskas, gjatë llogaritjes me anë të softuerit aplikativ HertzWin.

Lakoret e paraqitura në figurën 2.29., paraqesinë:

- lakorja me ngjyrë të kuqe (1)- paraqet sforcimet maskimale përgjat aksit z,
- lakorja me ngjyrë të kaltërt dhe me vija të ndërprera (2)- paraqet sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes sipas Treskas.

Në të dy llojet e diagrameve, në pjesën e sipërme horizontalisht janë të paraqiturë vlerat e sforcimeve në MPa, ndërsa vertikalisht janë paraqitur vlerat përgjatë aksit z në  $\mu\text{m}$  ku janë:  $x=0$  dhe  $y=0$ .

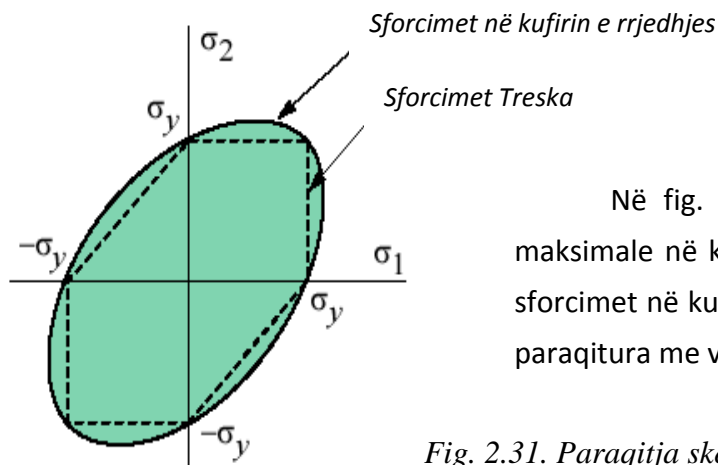
Lakorja me ngjyrë të kuqe (1)- e cila paraqet sforcimet maskimale përgjat aksit z, në zonën e kontaktit ka vlerën 0.051 [MPa], në një interval prej disa mikronëve vlera e saj bie,



pastaj fillon të rritet, ndërsa në brendësinë e materialit prej  $1.812 [mm]$  arrinë vlerën maksimale prej  $0.068 [MPa]$ . Intensiteti i sforcimeve maksimale në kufirin e rrjedhjes bie duke iu larguar zonës së kontaktit, në brendësinë e materialit.

Lakorja me ngjyrë të kaltërt dhe me vija të ndërprera (2)- paraqet sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes sipas Treskas. Në zonën e kontaktit sforcimet kanë vlerën pre  $0.051 [MPa]$ , vazhdojnë të rritet deri në thellësinë e materialit prej  $1.3 [mm]$ , ku lakorja sforcimeve sipas Treskas e takon lakoren tjetër, pastaj vlera e sforcimeve fillon prap të rritet deri në thellësinë prej  $2.6 [mm]$  dhe pastaj duke u larguar nga zona e kontaktit në thellësi të materialit vlera e sforcimeve Treska fillon të bie.

Nga diagramet e fituara me rastin e shfrytëzimit të programit HertzWin, shihet se vlerat më të larta të sforcimeve ndodhin në zonën e kontaktit dhe bien duke shkuar më në brendi të materialit.



Në fig. 2.31., janë paraqitur sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes (elipsa) si dhe sforcimet në kufirin e rrjedhjes sipas Treskas, të paraqitura me vija të ndërprera brenda elipsës.

*Fig. 2.31. Paraqitja skematike e sforcimeve në kufirin e rrjedhjes si dhe sforcimeve maksimale në kufirin e rrjedhjes sipas Treskas [26].*

## 2.6. LIGJI I PETROFIT PËR KONTAKTIN E TRUPAVE

Petrofi ka studiuar boshtin e vendosur në kushinetë duke supozuar se ai është i vendosur në mënyrë koncentrike me kushinetën. Sipas këtij ligji në ditët e sotme më rrallë shqyrtohet kushineta përkatësisht fërkimi dhe efektet tribologjike, të cilat pasojnë me rastin e kontaktimit të saj me boshtin. Ligji i Petrofit, përkatësisht barazimet të cilat lidhen me parametrat e rëndësishëm jo dimensional, gjejnë aplikim dhe shfrytëzohen mjaftë mirë gjatë llogaritjes së lyerjes hidrodinamike.

Koeficienti i fërkimit, i cili është llogaritur sipas ligjit të Petrofit duket mjaftë i aplikueshëm tek kushinetat rrëshqitëse radiale ku boshti dhe kushineta janë të vendosur në mënyrë ekscentrike.



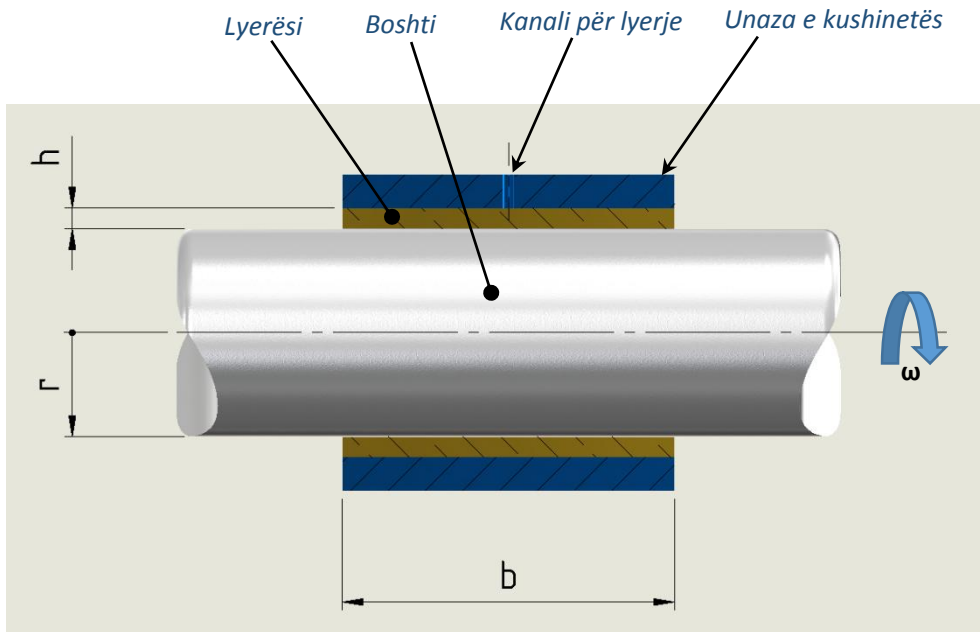


Fig. 2.32. Paraqitja skematike e kushinetës rrëshqitëse radiale- prerja gjatësore ( $h$  [ $\mu\text{m}$ ]- hapësira radiale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës,  $b$  [ $\text{mm}$ ]- gjatësia e kushinetës,  $r$  [ $\text{mm}$ ]- rrezja e boshtit,  $\omega$  [ $\text{s}^{-1}$ ]- shpejtësia këndore).

Për thjeshtim të llogaritjes supozohet se:

- boshti është i vendosur aksialisht, në mënyrë koncentrike në kushinetën rrëshqitëse,
- kushineta bartë ngarkesa të vogla,
- hapësira  $c$  është plotësisht e mbushur me lyerës,
- rrjedhjen e lyerësit nga hapësira  $c$  nuk përfillet.

Nga shprehja bazë e viskozitetit dinamik janë të njohura lidhjet pasuese, të cilat kur plotësohen me madhësitë hidraulike dhe gjeometrike në kushinetën radiale, atëherë fitohet shprehja:

$$\tau = \frac{F}{A} = \eta \cdot \frac{v_t}{h} = \eta \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{h} \quad [2.9]$$

Ku janë:

$\tau$  [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]- sforcimi tangjencial në shkëputje i lyerësit,

$F$  [ $\text{N}$ ]- forca vepruese- e nevojshme për lëvizje,

$A$  [ $\text{mm}^2$ ]- sipërfaqja e kontaktit,

$\eta$  [ $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ]- viskoziteti dinamik i lyerësit,

$v_t$  [ $\text{m}/\text{s}$ ]- shpejtësia periferike- tangjenciale,

$n$  [ $\text{s}^{-1}$ ]- numri i rrotullimit të boshtit.

Forca e nevojshme për lëvizjen e boshtit në lyerës caktohet me shprehjen:

$$F = \tau \cdot A \quad [2.10]$$

Momenti i nevojshëm për lëvizjen e boshtit në lyerës caktohet me shprehjen:

$$T_m = \tau \cdot A \cdot r \quad [2.11]$$

$$T_m = \left( \eta \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot n}{h} \right) \cdot (2 \cdot \pi \cdot r \cdot b) \cdot r \quad [2.12]$$

Atëherë momenti i nevojshëm për mposhtjen e sforcimit në shkëputje të lyerësit është:

$$T_m = \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3 \cdot b \cdot n \cdot \eta}{h} \quad [2.13]$$

Në fig. 2.33., është paraqitur projeksioni i sipërfaqes së kontaktit të dorzës së boshtit dhe unazës së kushinetës. Pasi që hapësira ndërmjet dorzës së boshtit dhe unazës së kushinetës është e vogël gjerësia e sipërfaqes së kontaktit merret  $2r$ .

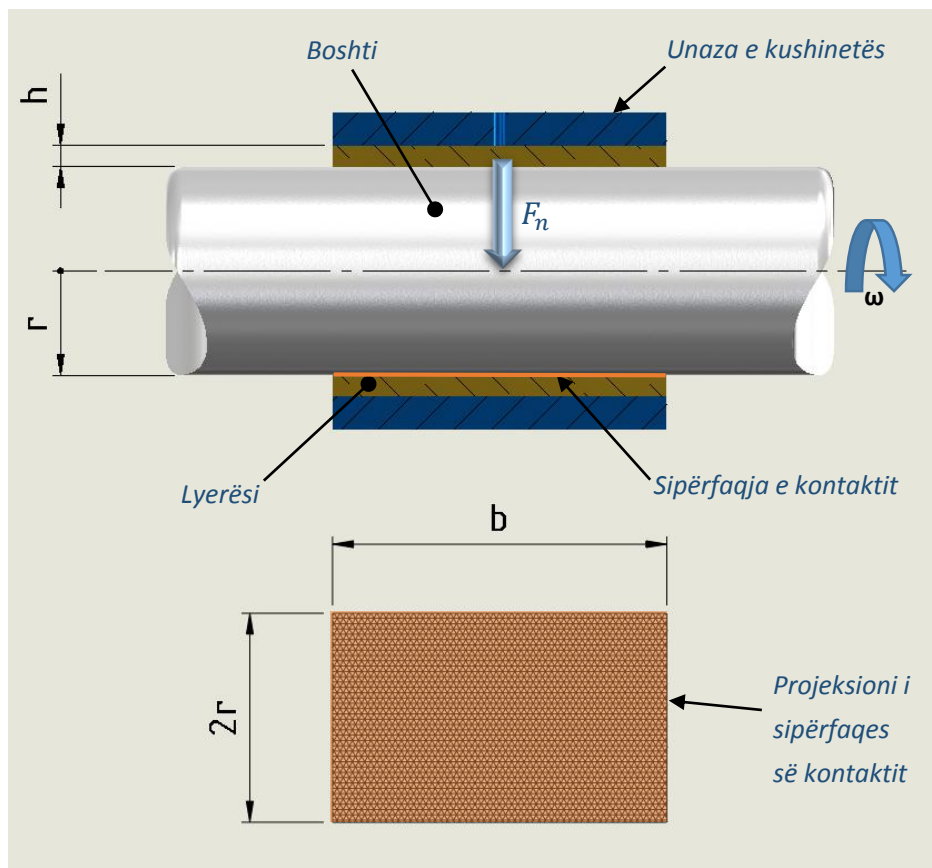


Fig. 2.33. Paraqitja skematike e sipërfaqes së kontaktit tek kushineta rrëshqitëse radiale. ( $F_n$  [N]- ngarkesa radiale e cila vepron në kushinetë).

Për shkak të veprimit të forcës normale  $F_n$ , në sipërfaqen e projektuar rrëshqitëse krijohet presioni  $p$ , i cili llogaritet me shprehjen:

$$p = \frac{F_n}{A_p} = \frac{F_n}{2 \cdot r \cdot b} \quad [2.14]$$

Momenti i fërkimit në kushinetë do të jetë:

$$T_\mu = F_\mu \cdot r = \mu \cdot F_n \cdot r \quad [2.15]$$

Ku janë:

$\mu$ - koeficienti i fërkimit,

$F_\mu$ - forca e fërkimit.

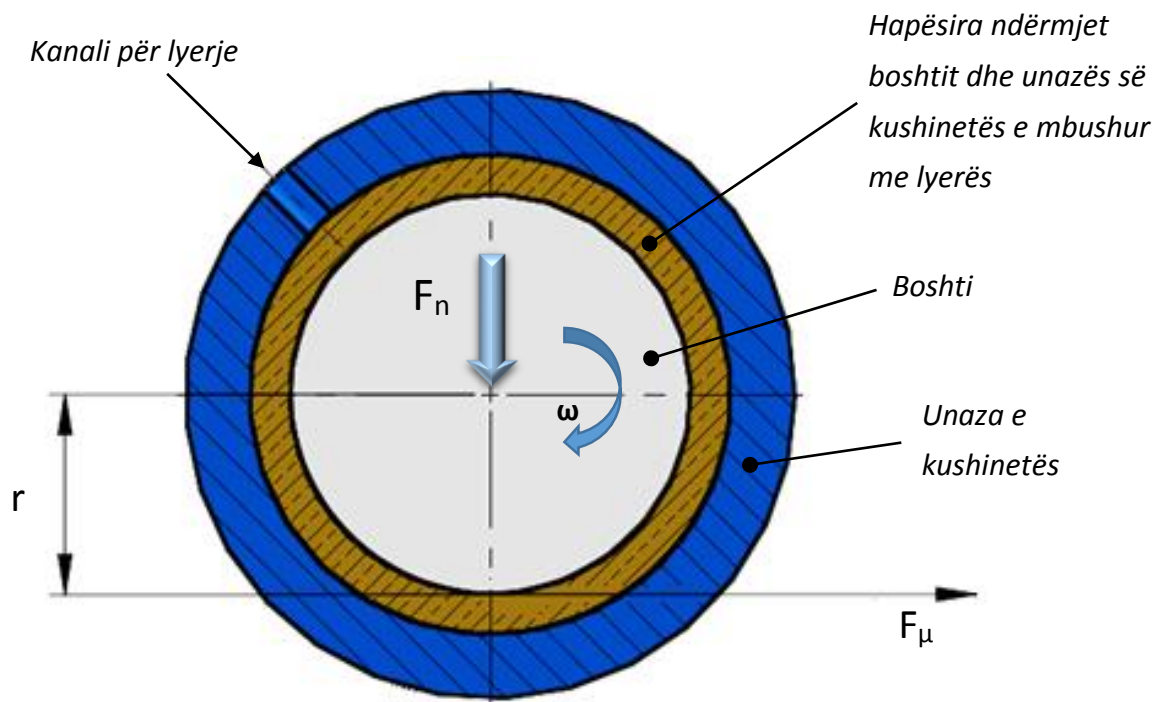


Fig. 2.34. Paraqitja skematike e prerjes tërthore të boshtit dhe kushinetës.

Nëse në shprehjen [2.15], bëhen zëvendësime përkatëse, atëherë shprehja për momentin e fërkimit në kushinetë do të jetë:

$$T_\mu = \mu \cdot F_n \cdot r = \mu \cdot (2 \cdot r \cdot b \cdot p) \cdot r = 2 \cdot \mu \cdot r^2 \cdot b \cdot p \quad [2.16]$$

Nëse merret se kontakti i dorzës me unazën bëhet përmes shtresës së vajit, atëherë momenti i fërkimit do të jetë i barabartë me momentin e nevojshëm për rrotullimin e boshtit:

$$T_m = T_\mu \quad [2.17]$$

$$\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot r^3 \cdot b \cdot n \cdot \eta}{h} = 2 \cdot \mu \cdot r^2 \cdot b \cdot p \quad [2.18]$$

Nga barazimi i këtyre dy momenteve, fitohet shprehja për llogaritjen e koeficientit të fërkimit:

$$\mu = 2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{\eta \cdot n}{p} \cdot \frac{r}{h} \quad [2.19]$$

Raportet  $\frac{\eta \cdot n}{p}$  dhe  $\frac{r}{h}$  quhen parametra jodimensional dhe kanë rëndësi parametrike gjatë analizës së koeficientit të fërkimit te kushinetat rrëshqitëse sipas metodës së Petrofit.

## 3

KARAKTERISTIKAT TRIBOLOGJIKE TEK KUSHINETAT  
RRËSHQITËSE RADIALE

Tribologjia si shkencë, e cila merret me fërkimin, gërryerjen- harxhimin, lyerjen dhe veprimin e ndërsjelltë të sipërfaqeve në kontakt, gjatë zhvendosjes së ndërsjelltë të tyre është aplikuar që në kohët e lashta.

Fillimi i zbatimit të parimeve themelore të tribologjisë në zhvillimin e njerëzimit gjithësesi është zbulimi i rrotës, rreth 6000 vite para erës sonë. Fakte për këtë gjenden në shkrimet më të hershme shkencore. Zbulim tjetër i madh i njerëzimit, zjarri, gjithashtu është i lidhur me zbatimin e proceseve tribologjike, ku duke shfrytëzuar nxehtësinë, e cila krijohet gjatë fërkimit të trupave formohet zjarri.

Prandaj, edhe në ditët e sotme bëhen hulumtime rreth fenomeneve tribologjike dhe tentohet që ndikimi i tyre të jetë sa më i vogël në punën përkatësisht lëvizjen gjatë zhvendosjes relative të trupave në kontakt.

Fërkimi si njëri nga proceset tribologjike përpos anëve negative, në disa raste konsiderohet edhe si proces i dobishëm, si p.sh. tek frejtë, rrota e automjeteve dhe disa lloje të lidhëseve, prandaj synohet që të rritet deri në një masë të caktuar.

Shqyrtimet arkeologjike të piramidave Egjiptase tregojnë se edhe Egjiptasit e vjetër janë interesuar për proceset tribologjike dhe që në atë kohë i kanë pasur të njohura proceset themelore tribologjike. Njohuritë e tyre veçmas i kanë shfrytëzuar për bartjen e statujave gjigante të zotërve në Mesopotami dhe Egjiptin e vjetër.

Kështu që njëri nga reliefet më të bukura dhe më të ruajtura nga viti 1980 para erës sonë, tregon transportin e statujës gjigante nga guri me masë prej afërsisht:  $60 \times 10^5$  [N], të cilën e tërheqin 172 robër në sajën nga druri. Gjatë tërheqjes së statujës, njëri nga robërit e vendosur në pjesën e përparme të sajit e lagë stazën, në mënyrë që të zvogëlohet fërkimi. Në mbishkrimin në relief thuhet se staza laget me ujë të zakonshëm [2].



Fig. 3.0. Lagëja e stazës me ujë për zvogëlimin e fërkimit nga Egjiptasit e vjetër [27].

Hulumtimet e para shkencore të fërkimit gjatë rrëshqitjes rrjedhin nga Leonardo Da Vinci (Leonardo da Vinci, në vitin 1504), kurse ligjshmëritë kryesisht i ka formuluar Amontoni (Amonton, në vitin 1699) dhe Kuloni (Coulomb, në vitin 1785). Me punimet eksperimentale të këtyre shkencëtarëve si dhe në bazë të rezultateve nga përvoja dhe puna praktike janë përcaktuar, gjatë shiqimit makroskopik në fërkim, ligjet vijuese të fërkimit gjatë rrëshqitjes:

- *Forca e fërkimit është proporcionale me ngarkesën e cila vepron normal në sipërfaqet e kontaktit,*
- *Forca e fërkimit nuk varet nga sipërfaqja gjeometrike e kontaktit,*
- *Koeficienti statik i fërkimit është më i madh se ai kinematik,*
- *Koeficienti i fërkimit nuk varet nga shpejtësia e rrëshqitjes.*

Aplikimi i duhur i tribologjisë në industri ka përfitimet e veta ekonomike. Një studim i është bërë rreth viteve 1966 nga: Departamenti Britanik i Shkencës dhe Edukimit, i drejtuar nga profesori Peter Jost (H. Peter Jost) dhe i njohur si: Jost Report (raporti i Jost-it). Ky studim ka treguar se duke minimizuar fërkimin dhe karakteristikat tjera tribologjike mundësia e kursimit ishte llogaritur që të jetë rreth 1% e GDP-së (Prodhimit të brendshëm bruto) së Mbretërisë së bashkuar. Duke llogaritur kështu kursimin prej rreth: £ 515 milion/vit [28].

### 3.1. LLOGARITJA E FORCËS DHE KOEFICIENTIT TË FËRKIMIT

Fërkimi është pjesë- komponentë e shkencës së tribologjisë, definohet si forcë rezistuese, e cila pengon levizjen relative ndërmjet sipërfaqeve të ngurëta të cilat janë në kontakt dhe të cilat rrëshqasin ose rrotullohen ndaj njëra tjetrës. Për shkak të forcës së

fërkimit në sipërfaqet kontaktuese të detaleve makinerike, të cilat gjenden në lëvizje ndaj njëra tjetrës, shfaqen humbje të energjisë- fuqisë. Këto humbje të fuqisë rezultojnë me nxehje dhe hargjim të pjesëve që kontaktojnë.

Dallojmë dy lloje të fërkimit:

- **fërkimi i thatë**, i cili shfaqet me rastin e kontaktimit direkt të sipërfaqeve të dy trupave të cilët gjenden në lëvizje relative,
- **fërkimi i përzier**, ku kontakti bëhet pjesërisht përmes kontaktit direkt dhe pjesërisht përmes lyerësit, dhe
- **fërkimi me anë të fluidit**, ku fluidi është prezent ndërmjet sipërfaqeve kontaktuese, të cilat gjenden në lëvizje relative dhe në bazë të prezencës së fluidit mund të jetë:
  - fërkimi i sipërfaqeve gjysmë të lagura- “fërkim i kombinuar”, dhe
  - fërkim i sipërfaqeve të lagura- “fërkim i lëngët” ku me këtë rast fluidi apo lyerësi ndanë plotësisht sipërfaqet, të cilat janë në lëvizje relative njëra ndaj tjetrës.

Fërkimi i sipërfaqeve të thata paraqitet kur ndërmjet sipërfaqeve të kontaktit nuk ka lyerës, sipërfaqet e kontaktit përkatësisht jorrafshirat e sipërfaqeve të tyre kontaktojnë në mes vete duke dëmtuar sipërfaqen e trupit më të butë.

Në figurën 3.1., janë paraqitur rastet e lyerjes ndërmjet trupave kontaktues. Niveli i lyerjes tek kushinetat rrëshqitëse radiale është thelbësorë në punën dhe jetëgjatësinë e kushinetës. Nëse lyerja është kufitare (fig. 3.1. a), e cila mund të vie si pasojë e mirëmbajtjes jo të mirë apo ndonjë rrjedhje të lyerësit, fërkimi dhe harxhimet (dëmtimet) janë më të mëdha. Ndërsa nëse lyerja është e plotë dëmtimet për shkak të kontaktimit direkt të boshtit dhe unazës eliminohen, ndërsa fërkimi i cili reziston lëvizjen e boshtit është shumë i vogël dhe është ai i shtresave të lyerësit.

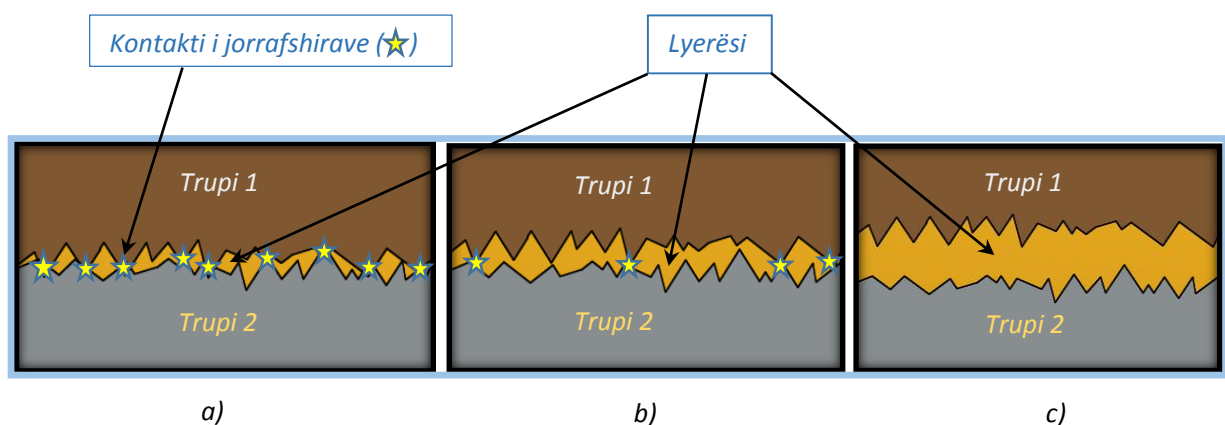


Fig. 3.1. Llojet e lyerjes: a) lyerja kufitare, b) lyerje jo e plotë, dhe c) lyerje e plotë.

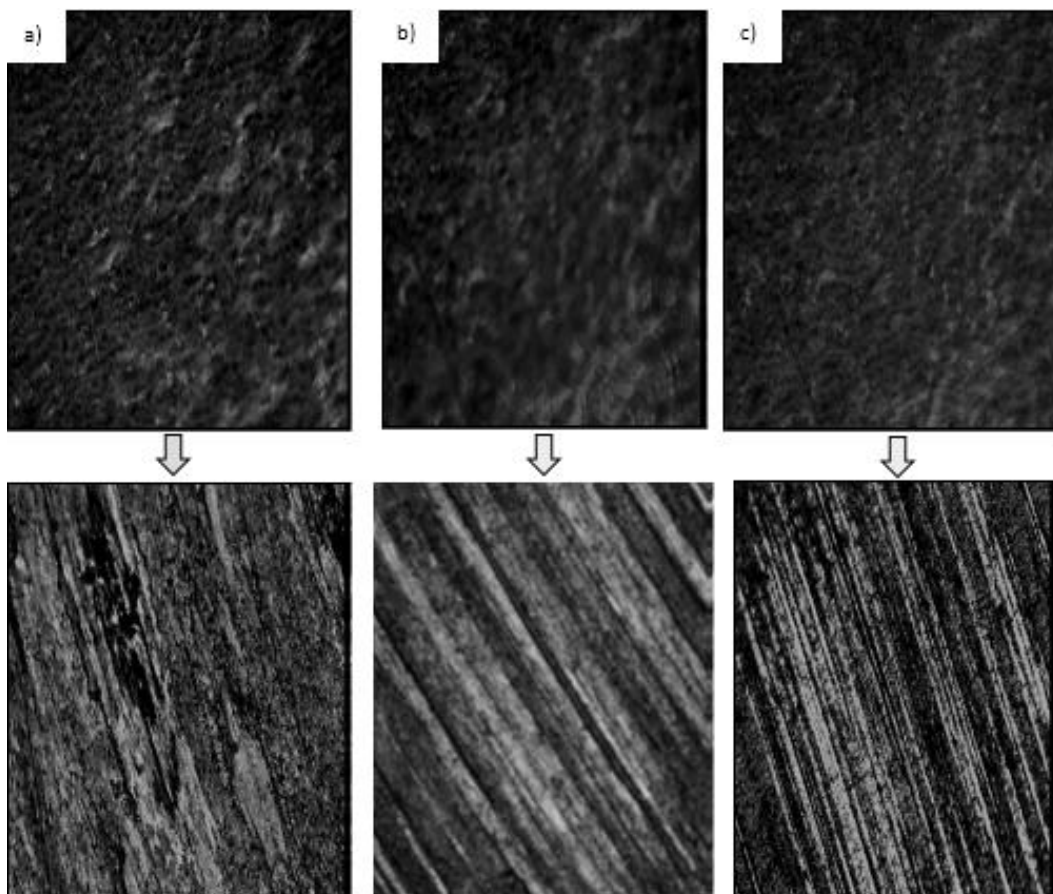


Forca e fërkimit ka gjithmonë kahje të kundërt në raport me kahjen e lëvizjes (e pengon lëvizjen), prandaj nevojitet forcë që trupi të vazhdojë të jetë në lëvizje- *energji kinetike*, përderisa fërkimi statik është forca e cila e pengon trupin të lëvizë- rrëshqasë vetvetiu nga pesha e tij në një sipërfaqe me një pjerrtësi të caktuar.

Tek kushinetat rrëshqitëse ky fërkim krijohet nga lyerësi ose nga kontakti direkt i boshtit dhe kushinetës me rastin e lyerjes jo të mirë ose kontaktit pa lyerës.

Faktorë të ndryshëm ndikojnë në efektet tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse. Njëri nga faktorët që ka ndikim të konsiderueshëm në efektet tribologjike në përgjithësi, ndërsa në rastin tonë tek kushinetat rrëshqitëse radiale është ashpërsia sipërfaqësore e unazës së kushinetës dhe e boshtit.

Tek kushinetat rrëshqitëse harxhimi i materialit për shkak të fërkimit më së shumti ndodhë me rastin e lyerjes kalimtare (kufitare) apo fërkimit të thatë. Në figurën 3.2., janë treguar shembuj të dëmtimit të sipërfaqeve kontaktuese me rastin e kontaktimit në kushte të lyerjes kufitare, për vlera të ndryshme të forcës.



*Fig. 3.2. Dëmtimi nga fërkimi i sipërfaqeve kontaktuese në shpejtësinë  $400 \text{ min}^{-1}$  dhe ngarkesë: a) 10 N, b) 20 N dhe c) 30 N, dhe me përdorim të lyerësit, i shikuar në mikroskop [29].*



Fërkimi dhe gërryerja e materialit varet nga lloji i materialeve të detaleve të cilat kontaktojnë. Detali prej materiali me fortësi më të madhe, gjatë kontaktit dhe zhvendosjes relative ndaj detailit me material më të butë, e gërryen atë duke krijuar hulli në sipërfaqen e kontaktit. Me këtë rast jo vetëm që bëhet largimi i përhershëm i materialit mirëpo krijohet nxehtësi dhe ka ndikime tjera negative në pajisje, ka humbje të energjisë, gjithashtu me kalimin e kohës fillon të humbet saktësia e punës së makinës, etj. Pjesa e hargjuar deri në një masë të caktuar duhet të ndërrohet dhe e cila, gjithësesi, ka koston e vet.

Është cekur edhe më lartë se sipërfaqet absolute të rrafshëta nuk ekzistojnë. Ndërsa ndikimi më i madh i ashpërsisë sipërfaqësore vjen në shprehje me rastin e rrëshqitjes relative të boshtit në unazën e kushinetës në gjendje të pa lyer ose gjysëm të lyer. Kur lyerësi (vaji apo yndyra) nuk i mbulon të gjitha jorrafshirat sipërfaqësore të boshtit apo të unazës së kushinetës, pra nuk i ndanë plotësisht këta dy trupa, atëherë lyerja është jo e plotë.

Si proces, i cili ndikon në gërryerjen- hargjimin e materialit është edhe fërkimi. Kontakti në mes dy trupave (jorrafshirave) ndikon në hargjimin e me këtë nënkuptohet largimi i përhershëm i materialit nga sipërfaqet kontaktuese.

Efektet tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale siç janë: fërkimi, harxhimi- i llojeve të ndryshme, etj. vijnë kryesisht gjatë lyerjes jo të duhur apo mbingarkimit dhe të cilat ndikojnë në dëmtimin e unazës së kushinetës. Si pasojë e këtyre efekteve tribologjike, shkaktohen humbje në sipërfaqen e unazës së kushinetës dhe në masë të vogël në sipërfaqen e boshtit. Këto efekte rezultojnë në humbje të fuqisë, krijim të nxehtësisë etj.

Në figurën 3.3., është paraqitur diagrami se si ndryshon koeficienti i fërkimit në bazë të trashësisë së lyerësit- filmit [30].

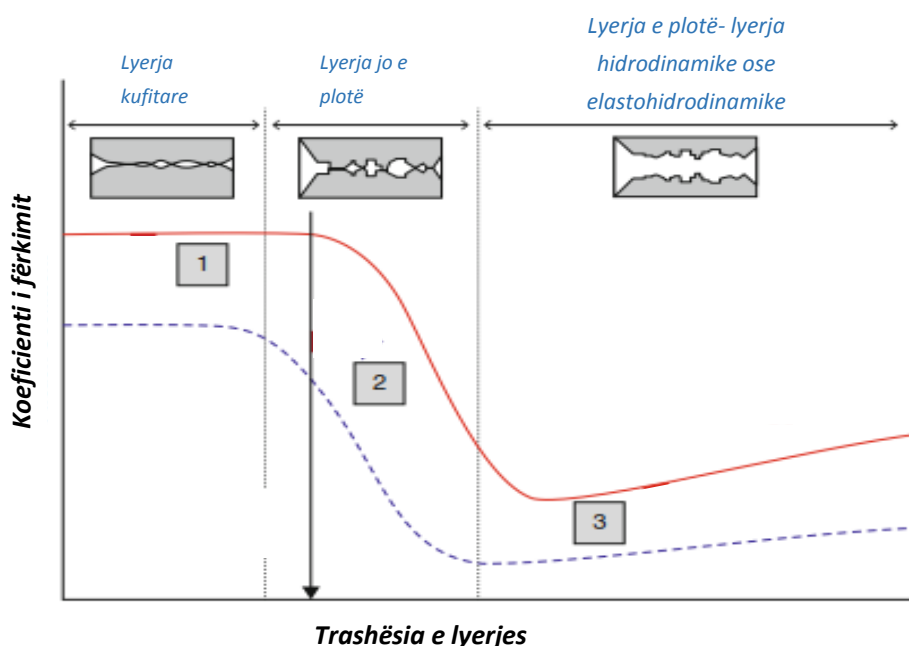


Fig.3.3. Koeficienti i fërkimit në bazë të trashësisë së lyerësit- filmit [30].

Nga lakorja e paraqitur në figurën 3.3., shihet se me rritjen e trashësisë së shtresës së lyerësit zvogëlohet koeficienti i fërkimit.

Tek lyerja kufitare meqenëse sipërfaqja e kontaktimit të boshtit me uazën e kushinetës është e madhe, dhe pasiqë shtresa e lyerësit është e vogël dhe me këtë rast ai futet në thellime të jo rrafshirave duke mos i mbuluar ato, fërkimi me këtë rast është i madh.

Tek lyerja jo e plotë, lyerësi i ka mbuluar shumicën e jorrafshirave mirëpo jo të gjitha, prandaj edhe ka kontakt direkt të jorrafshirave të sipërfaqes së boshtit dhe unazës në masë të caktuar. Fërkim ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës është më e vogël se tek lyerja kufitare.

Tek lyerja e plotë- hidrodinamike, lyerësi mbulon të gjitha jorrafshirat dhe krijon një distancë ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale. Fërkimi është shumë më i vogël, ndërsa është krijuar si pasojë e shkëputjes së shtresave të vetë lyerësit.

### 3.1.1. Fërkimi në rrëshqitje

Kur dy pjesë makinerike rrëshqasin ndaj njëra tjetrës, zbatohen dy rregulla për shkak të rrëshqitjes: rregulla e parë konstaton se forca e fërkimit është direkt proporcionale me forcën normale  $F_n$ , si vijon:

$$F_{\mu} = \mu \cdot F_n \quad [3.1]$$

Në varësi të mënyrës së lëvizjes, koeficienti i fërkimit  $\mu$  mund të shprehet si koeficient kinetik i fërkimit  $\mu_k$  ose si koeficient statik i fërkimit  $\mu_s$ .

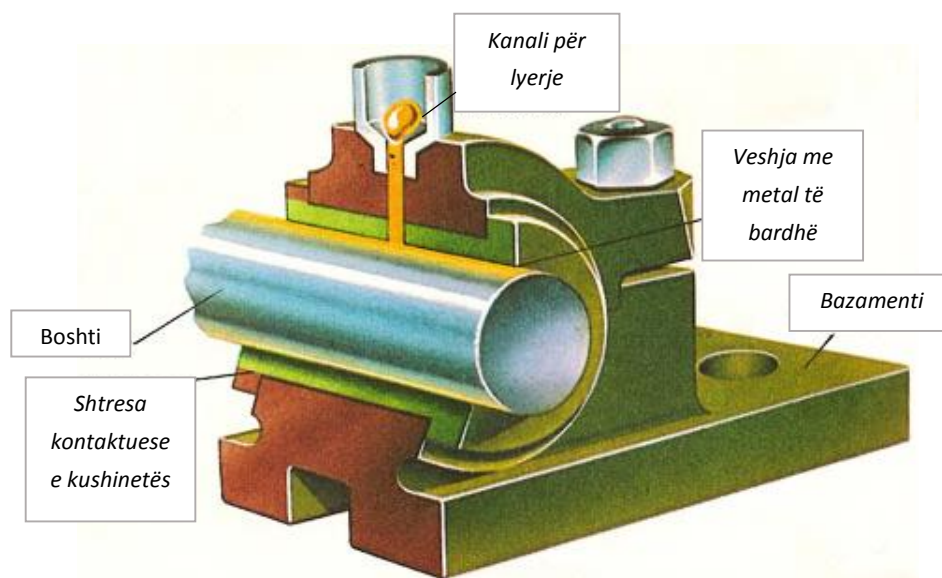


Fig. 3.4. Kushineta rrëshqitëse [31].

Rregulla e dytë thekson se fërkimi varet nga kushtet e kontaktit. Në përgjithësi koeficienti kinetik i fërkimit është i varur nga shpejtësia e rrëshqitjes me disa përjashtime.

Kushinetat rrëshqitëse i takojnë llojit të kushinetave të thjeshta, të cilat përdoren për bartjen e ngarkesës radiale. Të dy sipërfaqet kontaktuese të tyre janë cilindrike dhe në mes tyre futet lyerës. Ky lloj i kushinetave karakterizohet me kapacitet të lartë të bartjes së ngarkesës, shkallë të ulët të fërkimit (nëse lyerja është në nivelin e duhur), rezistente ndaj goditjeve dhe dridhjeve dhe ndjeshmëri të ulët ndaj ndotjes së lyerësit. Analiza e kushinetave rrëshqitëse rezulton me konstatimin se fërkimi i krijuar është si rezultat i sforcimit në shkëputje të lyerësit.

Gjatë analizës së fërkimit në kushinetat rrëshqitëse koncentrike të pangarkuara apo të ngarkuara shfrytëzohet ekuacioni i Petrof-it:

$$F_{\mu} = \eta_0 \cdot \frac{v_t}{h} \cdot A \quad [3.2]$$

Ku janë:

$A [mm^2]$ - sipërfaqja e kontaktit,

$h [\mu m]$ - hapësira diametrale- trashësia e lyerësit, dhe

$\eta_0 [Pa \cdot s]$ - viskoziteti i lyerësit në presionin atmosferik dhe temperaturën konstante.

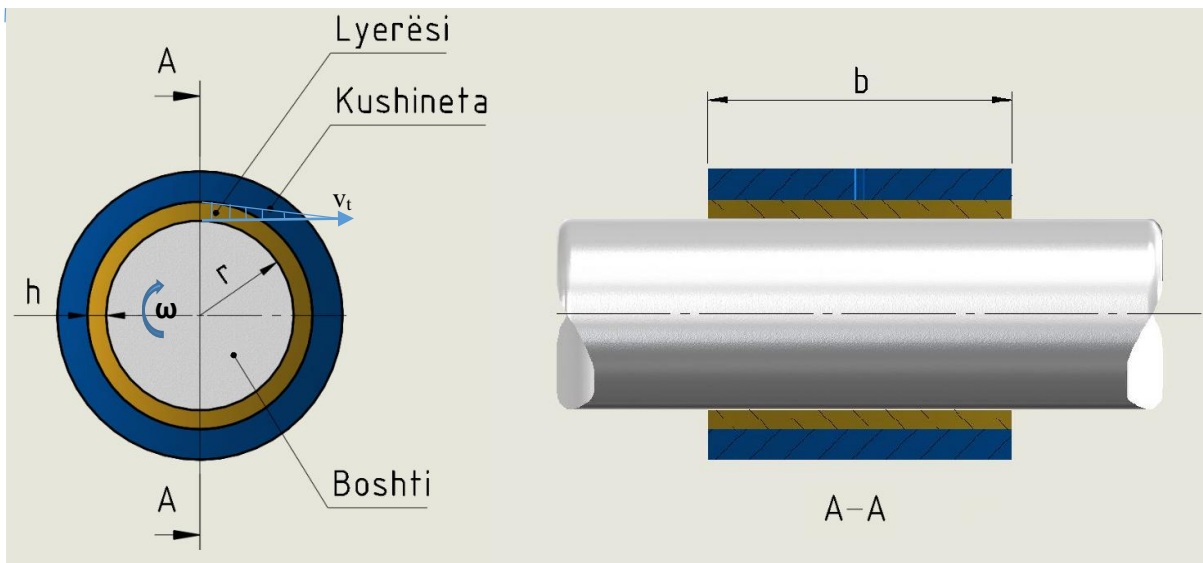


Fig. 3.5. Kushineta rrëshqitëse koncentrike- qendrore [32].

Nëse rrezja e dorzës së boshtit është  $r$ ,  $b$ - është gjerësia e unazës së kushinetës dhe shpejtësia këndore e boshtit është  $\omega$ , të cilat janë treguar në fig. 3.5. Nëse në shprehjen [3.1] bëhen zëvendësimet përkatëse për shpejtësinë relative  $v_r$  dhe sipërfaqen kontaktuese ndërmjet dorzës së boshtit dhe unazës së kushinetës, atëherë shprehja për llogaritjen e forcës së fërkimit merr formën:

$$F_{\mu} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta_0 \cdot r^2 \cdot b \cdot \omega}{h} \quad [3.3]$$

Nëse  $F_n$  është forca normale në sipërfaqen e kontaktit, atëherë koeficienti i fërkimit  $\mu$  do të jetë:

$$\mu = \frac{F_\mu}{F_n} = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta_0 \cdot r^2 \cdot b \cdot \omega}{F_n \cdot h} \quad [3.4]$$

Fuqia e humbur e cila shndërrohet në nxehtësi llogaritet duke përdorur momentin e fërkimi rrotullues  $T_\mu$ , respektivisht me shprehjen:

$$H_v = F_\mu \cdot v_t = T_\mu \cdot \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \eta_0 \cdot r^3 \cdot b \cdot \omega^2}{h} \quad [3.5]$$

Bazuar në kushtet e ekuilibrit të kushinetës rrëshqitëse radiale, forca e kontaktit  $F_R$  është rezultante e forcës normale  $F_N$  dhe forcës së fërkimit  $F_\mu$ . Herësi në mes të forcës së fërkimit dhe komponentës së forcës normale na jep koeficientin e fërkimi  $\mu$  në sipërfaqen e kontaktit. Rrotullimi i boshtit me shpejtësi këndore  $\omega$ , për shkak të veprimit të forcës centrifugale në bosht, krijohet hapësirë radiale  $c$  në mes të qendrës së kushinetës rrëshqitëse dhe dorëzës së boshtit të vendosur në kushinetë, në mënyrë aksiale. Nëse rrotullimi ndodh me rastin e aplikimit të fluidit viskoz, ky fluid i cili futet nga një kanal konvergjent pamundëson kontaktin direkt të boshtit me unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale (në rastin e lyerjes së duhur) duke u futur ndërmjet tyre. Nëse ekscentriciteti dhe hapësira janë të barabarta atëherë kemi kontakt në mes të boshtit dhe unazës së kushinetës. Shkalla e ekscentricitetit të hapësirës është e njohur si shkalla e ekscentricitetit  $\epsilon$ .

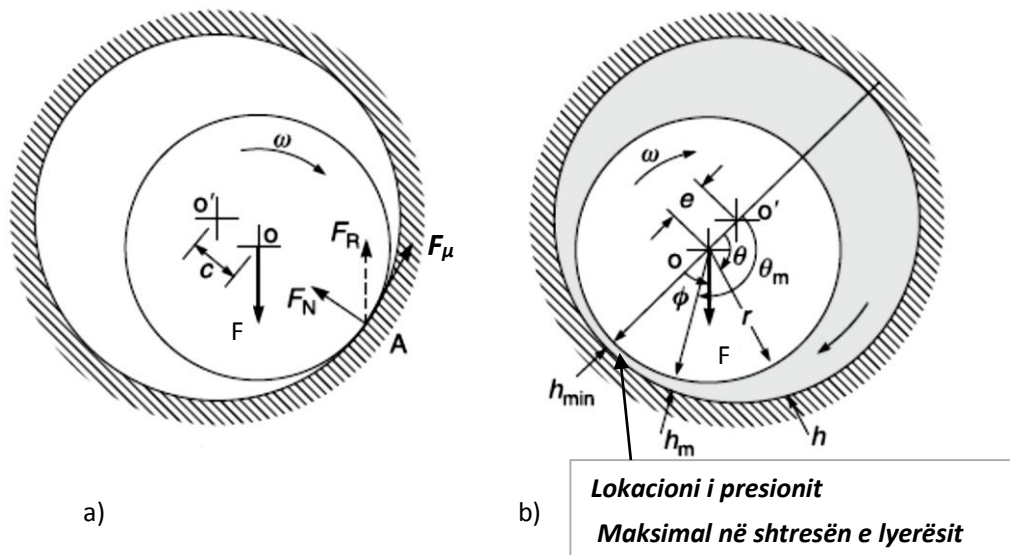


Fig. 3.6. Kushineta rrëshqitëse radiale: a) pa lyerës, dhe b) me lyerës [31].

Gjatë rrotullimit të boshtit në unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale, ndryshon edhe këndi i rrotullimit  $\theta$ . Gjatë analizës së ndikimit të këndit  $\theta$  në trashësinë e shtresës së lyerësit, shihet se presioni maksimal dhe trashësia minimale e lyerësit ndodh kur këndi  $\theta$  është e barabartë me  $\pi$ , ndërsa trashësi maksimale të lyerësit kemi për këndin  $\theta$  të barabartë me zero. Rrjedhimisht kemi shprehjet për llogaritjen minimale dhe maksimale të lyerësit.

Trashësia minimale e shtresës së lyerësit llogaritet me shprehjen:

$$h_{\min} = c - e = c \cdot (1 - \varepsilon) \tag{3.6}$$

Trashësia maksimale e shtresës së lyerësit llogaritet me shprehjen:

$$h_{\max} = c \cdot (1 + \varepsilon) \tag{3.7}$$

Trashësia e shtresës së lyerësit në një prerje të çfarëdoshme llogaritet me shprehjen:

$$h = c \cdot (1 + \varepsilon \cos \theta) \tag{3.8}$$

Në figurën në vazhdim është paraqitur diagrami me rekomandimin e vlerës minimale të hapësirës minimale diametrale, për vlerat e caktuara të diametrit të boshtit dhe numër të caktuar të rrotullimeve.

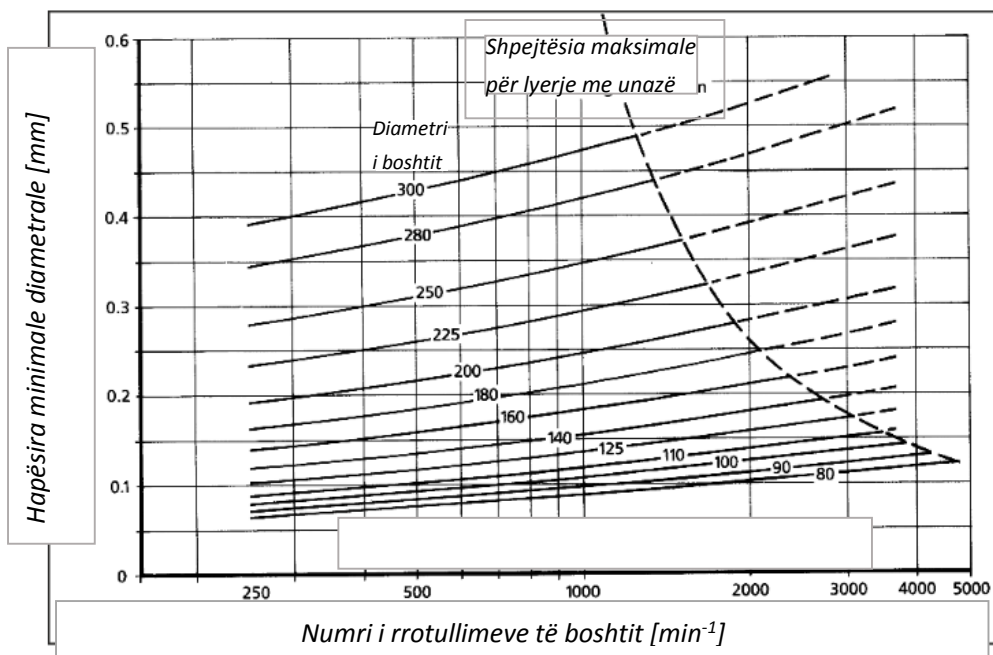
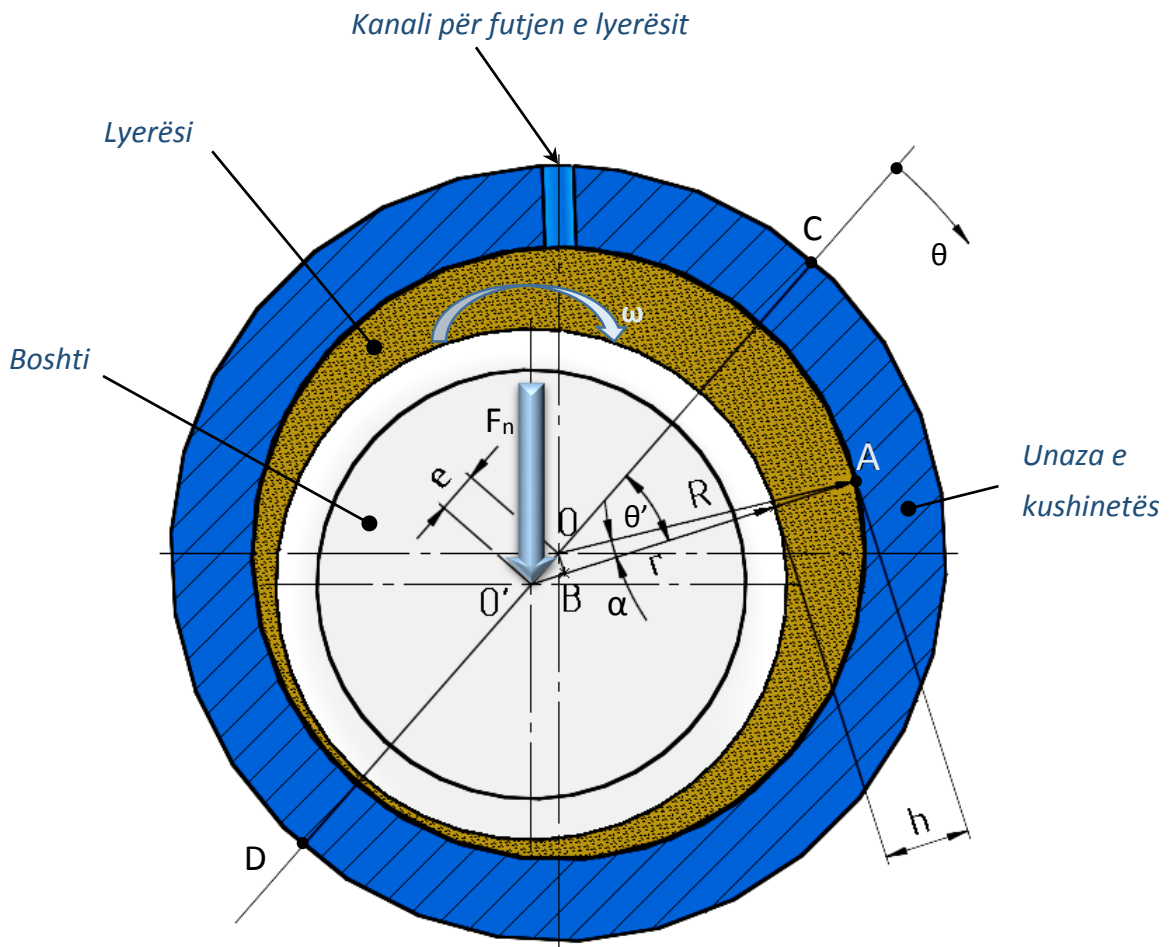


Fig. 3.7. Rekomandimi i hapësirës diametrale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale [32].

Nga diagrami në fig. 3.7., shihet se hapësira diametrale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale mund të jetë përafërsisht në intervalin nga: 0.05 [mm] deri në 0.6 [mm], varësisht nga diametri i dorzës së boshtit dhe numri i rrotullimeve të tij. Nga kjo figurë po ashtu shihet se për diametrin e njëjtë të dorzës së boshtit me rritjen e numrit të rrotullimeve hapësira diametrale rritet.

Përcaktimi i hapësirës minimale diametrale ndërmjet dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, varet nga diametri i boshtit dhe shpejtësia maksimale e rrotullimit të boshtit. Me rritjen e diametrit të boshtit si dhe të shpejtësisë së rrotullimit, rritet edhe hapësira minimale diametrale. Një lakore e veçantë në këtë diagram është paraqitur për lyerjen me unazë. Vlerat e hapësirës minimale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale tek kjo lyerje, janë më të mëdha dhe përdoren në shpejtësi të mëdha. Siç shihet në diagramin në *fig. 3.6.*, përdorimi i lyerjes me unazë (ku një unazë si një trup i tretë, përdoret si mjet për futjen e lyerësit) aplikohet për numër të rrotullimeve të boshtit më të mëdha se:  $1000 [min^{-1}]$ .



*Fig. 3.8. Karakteristikat gjeometrike të kushinetave rrëshqitëse radiale.*

Në figurën 3.8., është paraqitur prerja tërthore e boshtit dhe kushinetës rrëshqitëse radiale, përkatësisht është bërë paraqitja e karakteristikave gjeometrike të tyre. Nga kjo figurë mund të nxirren edhe shprehjet në vazhdim.

Hapësira  $h$ , nga figura 3.8, përcaktohet me shprehjen:

$$h = \overline{O'A} - r \quad [3.9]$$



Hapësira radiale ndërmjet boshtit dhe uazës së kushinetës shënohet me:  $C_r$  dhe përcaktohet me shprehjen:

$$C_r = \frac{D - d}{2} \quad [3.10]$$

Për llogaritje të hapësirës radiale nëse i marrim për llogaritje rrezet e kushinetës dhe boshtit, kemi shprehjen:

$$h = c = R - r \quad [3.11]$$

Ekscentriciteti është njëherit distanca ndërmjet qendrës së boshtit dhe qendrës së kushinetës. Duke shfrytëzuar figurën 3.8., caktohet me shprehjen:

$$\overline{OO'} = e \quad [3.12]$$

Drejtëza:  $\overline{OB}$  caktohet me shprehjen:

$$\overline{OB} = R \cdot \sin(\alpha) = e \cdot \sin(\theta) \quad [3.13]$$

Drejtëza:  $\overline{O'B}$  caktohet me shprehjen:

$$\overline{O'B} = e \cdot \cos(\theta) \quad [3.14]$$

Drejtëza  $\overline{CD}$  është drejtëz e cila kalon nëpër hapsirën maksimale dhe minimale të shtresës së lyerësit.

Gjatë llogaritjes së kushinetave rrëshqitëse radiale me rastin e zëvendësimit të raportit  $e/c$ , fitojmë ekscentricitetin relativ, i cili njëherit caktohet me anë të shprehjes:

$$\varepsilon = \frac{e}{c} = 1 - \frac{h_{min}}{c} \quad [3.15]$$

Vlera e pranuar minimale e shtresës së lyerësit sipas Trumpler, në mënyrë që jorrafshirat të mos kontaktojnë, duhet të jetë së paku:  $h_0 \geq 0.005 + 0.00004 d [mm]$ .

### 3.2. ANALIZA E HOLLËSISHME E FËRKIMIT TE KUSHINETAT RRËSHQITËSE

Forca e fërkimit  $F_\mu$  është e barabartë me shumën e forcës e cila duhet të përballojë adhezionin, dhe forcës e cila shkakton deformimin:

$$F_\mu = F_{ad} + F_{def} \quad [3.16]$$

Ku janë:

$F_{ad}$ - forca e adezionit,

$F_{def}$ - forca që shkakton deformimin.

Cila komponentë do të ketë ndikim më të madh në madhësinë e fërkimit varet nga një varg kushtesh. Dallimi themelor duhet bërë në mes metaleve dhe elastomereve. Në rastin e kontaktit të dy sipërfaqeve metalike nën ngarkesë, duke pasur parasysh se sipërfaqja e vërtetë e kontaktit është dukshëm më e vogël se ajo gjeometrike, në vendet e kontaktit lajmërohen shtypje të larta specifike dhe parimisht vjen deri tek deformimi plastik i materialeve. Si pasojë e kontaktit në sipërfaqen e vërtetë kontaktuese, janë mjaftë të theksuara forcat e adhezionit dhe lajmërohen mikrolidhjet e salduara. Që të realizohet rrëshqitja e njërit trup nëpër tjetrin është e nevojshme të përdoret forcë e caktuar përkatësisht të harxhohet energji, e cila do të përballoj adhezionin dhe të bëjë shkëputjen e mikro saldimeve. Kjo forcë është komponenti adhezive e fërkimit.

Komponenti tjetër i forcës së fërkimit krijohet për shkak të gërvishtjes së sipërfaqes më të butë nga ana e jorrafshirave të sipërfaqes më të fortë, prej nga rrjedhë se është:

$$F_{def} = F_{gërvish}. \quad [3.17]$$

Kjo komponentë, siç kanë vërtetuar Bauden dhe Tejbor (Bowden, Tabor) themeluesit e teorisë së përmendur, është dukshëm më e vogël se ajo adhezive prandaj për shumicën e materialeve mund të mos përfillet. Në këtë mënyrë shprehja për forcën e fërkimit do të jetë:

$$F_{\mu} = F_{ad}. \quad [3.18]$$

Komponenti adheziv i forcës së fërkimit mund të caktohet në këtë mënyrë. Nëse sipërfaqja e vërtetë e kontaktit është  $A_r$ , kurse sforcimi në shkëputje të mikrolidhjes së materialit është  $\tau_{shk}$  atëherë forca e fërkimit caktohet me shprehjen:

$$F_{\mu} = F_{ad} = A_r \cdot \tau_{shk} \quad [3.19]$$

Pasi që për deformimet plastike, sipërfaqja e vërtetë e kontaktit  $A_r$  është:

$$A_r \approx \frac{F_n}{\sigma_t} \quad [3.20]$$

Prandaj forca normale në sipërfaqen reale të kontaktit është:

$$F_n = A_r \cdot \sigma_t \quad [3.21]$$

Ku është:

$\sigma_t$  [N/mm<sup>2</sup>]- sforcimi në kufirin e rrjedhshmërisë së materialit.

Nga shprehja për koeficientin e fërkimit, si raport i forcës së fërkimit me forcën normale në sipërfaqen e kontaktit, fitohet:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} = \frac{A_r \cdot \tau_{shk}}{A_r \cdot \sigma_t} = \frac{\tau_{shk}}{\sigma_t} = \frac{\text{sforcimi në shkëputjet të mikrolidhjes}}{\text{kufiri i rrjedhjes së materialit më të butë}} \quad [3.22]$$

Për metale mund të përvetësohet se sforcimi në shkëputje të mikrolidhjes  $\tau_{shk}$  përafërsisht është i barabartë me sforcimin e shkëputjes  $\tau_t$  të vetë materialit. Poashtu te metalet lidhshmëria ndërmjet sforcimit normal në rrjedhje dhe tangjencial është:  $\sigma_t = 5\tau$ , atëherë në bazë të ekuacionit të mësipërm fitohet se koeficienti i fërkimit është 0,2.

Mirëpo, shqyrtimet e ndryshme tregojnë se koeficienti i fërkimit te metalet mund të ketë vlera të ndryshme nga këto të llogaritura në këtë mënyrë. Kjo sqarohet me faktin se gjatë veprimit të forcës tangjenciale, e cila rritet derisa të mos realizohet lëvizja, vërehet rritje e konsiderueshme e sipërfaqes së vërtetë të kontaktit në krahasim me rastin kur në sipërfaqet e kontaktit vepron vetëm forca normale.

Fërkimi gjatë rrëshqitjes, si fenomen tribologjik është i kuptueshëm, mirëpo përcaktimi i vlerës së tij është proces mjaftë i ndërlikuar. Llogaritja e koeficientit të fërkimit është e mundur vetëm shumë përafërsisht dhe në disa raste më të thjeshta. Për këtë të dhënat themelore për fërkimin fitohen kryesisht me rrugë eksperimentale. Për vlerësimin e dukurisë së fërkimit vlerat e përafërta të koeficientit të fërkimit janë dhënë në tabelën 3.1., dhe atë për materiale dhe kushte të punës të ndryshme [2].

Tabela 3.1. Vlerat e përafërta të koeficientit të fërkimit [2].

	Koeficienti i fërkimit
Metalet në rrëshqitje (në kushtet atmosferike normale)	0.3 – 1.5
Metalet në rrëshqitje (vakum)	më i madh se 3
Jometalet në rrëshqitje (masat plastike)	0.3 – 0.5
Politetraflouretileni (PTFE)	0.05 – 0.1
Metali/masat plastike	0.4 – 0.5
Lyerja kufitare	0.05 – 0.15
Lyerja hidrodinamike	0.001 – 0.01
Fërkimi gjatë rrokullisjes	0.001 – 0.01
Fërkimi i skisë në borë	0.1 – 0.3
Rrota në binarë (kushte të lagëta)	rreth 0.2
Rrota në binarë (kushte të thata)	0.25 – 0.4
Goma në rrugën e lagët	Rreth 0.4
Goma në rrugën e thatë	0.7 – 1.0
Fërkimi gjatë përpunimit të metalit në prerje	më i madh se 1
Fërkimi në frenjë dhe lidhëse	0.3 – 0.5

Vlerat më të vogla të koeficientit të fërkimit, siç shihet edhe nga tabela 3.1., arrihen me rastin e lyerjes hidrodinamike.

## 4

HARXHIMI I SIPËRFAQEVE KONTAKTUESE TË  
KUSHINETAVE RRËSHQITËSE

Njëra nga problematikat e industrisë moderne është harxhimi përkatësisht shpenzimi i pjesëve makinerike gjatë kontaktit ndërmjet tyre me rastin e lëvizjes relative. Me dekada dhe shekuj janë bërë dhe vazhdimisht bëhen përpjekje të mëdha në krijimin e mundësisë së zvogëlimit në një masë sado të vogël të mundshme të harxhimit.

Dëmtimi i shtresës lyerëse e me këtë rast dëmtimi i unazës së kushinetës ka ndikim negativ në punën e mekanizmit apo makinës përkatëse. Ky dëmtim i unazës së kushinetës mund të rezultoi që edhe dorëza e boshtit apo aksit të dëmtohet dhe të inicioi një prishje zinxhimore në mekanizmin apo makinën përkatëse.

Në fig. 4.0., është paraqitur unaza segmentale e kushinetës rrëshqitëse radiale e dëmtuar.



*Fig. 4.0. Dëmtimi i unazës segmentale të kushinetës rrëshqitëse radiale [33].*

Dëmtimi i unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale të paraqitur në fig. 4.0., ka ndodhur për shkak kontaktit direkt të sipërfaqes së dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës, nga deformimet elastike të boshtit nga veprimi i ngarkesave. Forma e dëmtimeve tregon se këto janë pasojë e lodhjes së sipërfaqes kontaktuese të unazës së kushinetës.

Gjatë konstruktimit të një makine apo mekanizmi, kujdes të veçantë i kushtohet pjesëve, të cilat janë në kontakt dhe të cilat konsumohen- harxhohen, pra pjesëve të cilat zëvendësimi i tyre me kohën është i domosdoshëm.

Konstruktori me qëllim përdor materiale me fortësi më të vogël dhe më pak të qëndrueshme tek pjesët, të cilat:

- mund të zëvendësohen më lehtë,
- kanë formë gjeometrike më lehtë për tu punuar,
- janë më të lira.

Prandaj, me rastin e konstruktimit të kushinetës rrëshqitëse radiale zgjidhet material më i butë i unazës së kushinetës se ai i dorzës së boshtit apo aksit, pasi që zëvendësimi i kushinetës është në të gjitha aspektet e lartë cekura më i arsyeshëm se sa zëvendësimi i boshtit apo aksit.

Ekzistojnë harxhime të ndryshme të sipërfaqes si p.sh. harxhimi për shkak të fërkimit, harxhimi për shkak të formave të ndryshme të gërryerjes, harxhimi për shkak të kavitacionit, harxhimi kimik, etj.

Me gërryerje nënkuptohet largimi i padëshirueshëm dhe agresiv i materialit nga sipërfaqja kontaktuese e pjesëve të makinave, të cilat janë në veprim dhe lëvizje relative të ndërsjellë.

Të gjitha pjesët lëvizëse të sistemit mekanik i nënshtrohen shkallës së caktuar të gërryerjes. Kjo mund të jetë në interval prej të lehtit, me humbje të vogla dhe të shkallëzuara të humbjes së materialit, e deri te humbja e shpejtë përkatësisht intensive e materialit, e cila më së shpeshti është e përcjellë me rritjen e ashpërsisë së sipërfaqes.

Si pasojë e gërryerjes krijohet dëmtimi i pjesëve të makinave, paraqitet zvogëlimi i efikasitetit të punës, rritja e harxhimit të energjisë, rritja e harxhimit të lyerësve, e me këtë edhe nevoja e ndërrimit të shpeshtë të pjesëve.

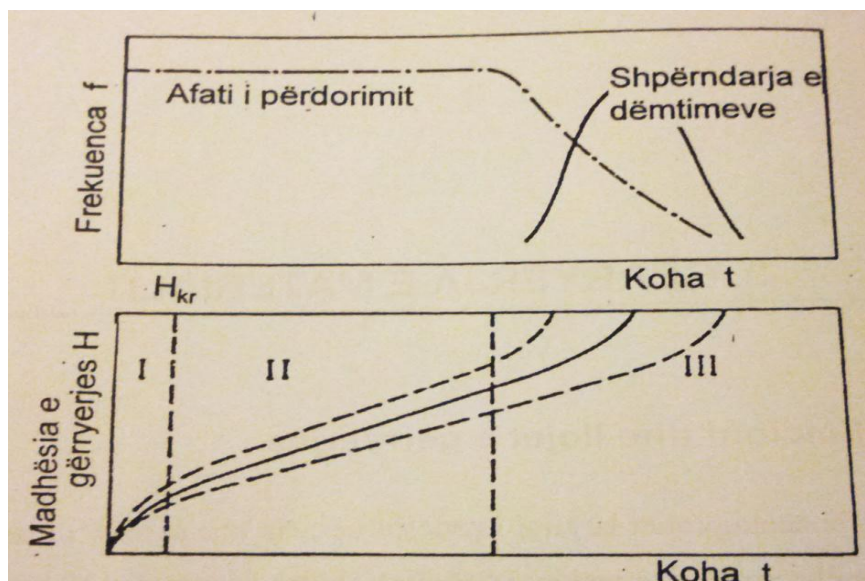


Fig. 4.1. Varësia e përgjithshme e madhësisë së gërryerjes nga koha dhe shpërndarja e dëmtimeve [2].

Madhësinë e gërryerjes, kur shikohet në funksion të kohës së punës së sistemit tribologjik (fig. 4.1.), e karakterizojnë tri zona të ndara, siç janë:

- *gërryerje inicuese,*
- *stacionare, dhe*
- *intensive.*

Gërryerja inicuese (zona I) përfshinë periudhën e përpunimit fillestar, gjatë së cilës bëhet përshtatja e sipërfaqeve kontaktuese.

Gërryerja stacionare (zona II) karakterizohet me humbjen e përhershme të materialit në njësi të kohës dhe proceseve tribologjike të pandryshuara, të cilat manifestohen në sipërfaqet e kontaktit.

Gërryerja intensive (zona III), rritet në mënyrë progresive harxhimi i materialit me kalimin e kohës. Në këtë zonë vie deri te ndryshimi në procesin e gërryerjes, kurse dëmtimet e sipërfaqeve janë të theksuara.

Te sistemet e konstruara dhe të mirëmbajtura mirë fazat e gërryerjes përcjellin njëri tjetrin. Harxhimi kufitar  $H_{kuf}$  paraqet kufirin e gërryerjes së lejuar deri te i cili sistemi në mënyrë të kënaqshme e kryen funksionin e tij.

Gjatë procesit të konstruktimit, mirëpo edhe gjatë mirëmbajtjes së makinave duhet të zgjidhen problemet e gërryerjes, që është e mundur të arrihet me analizën e llojeve të gërryerjeve, të cilat mund të lajmërohen te konstruksioni përkatës, të materialeve të zgjedhura dhe gjatë kushteve të caktuara të punës [2].

Në varësi nga konstruksioni dhe kushtet e punës dallohen këto lloje të harxhimit [2]:

- *harxhimi i materialit gjatë rrëshqitjes së sipërfaqeve të thata (frenjët, lidhëset),*
- *harxhimi i materialit gjatë rrëshqitjes së sipërfaqeve të lyera (udhëzueset, kushinetat rrëshqitëse, tërësia piston- cilindër),*
- *harxhimi i materialit gjatë rrokullisjes së sipërfaqeve të lyera (kushinetat rrokullisëse, transmetuesit me dhëmbëzorë),*
- *harxhimi i materialit gjatë rrokullisjes së sipërfaqeve të thata (binar -rrota),*
- *harxhimi i materialit gjatë lëvizjes së grimcave të ngurta (gypsjellësit, pajisjet për transportin e materialit) dhe*
- *harxhimi i materialit gjatë rrymimit të fluideve (makinat rrymuese, gypsjellësit).*



#### 4.1. MEKANIZMI I HARXHIMIT

Siç është cekur edhe në materialin më lartë, ekzistojnë lloje të ndryshme të harxhimeve, me intensitet të ndryshëm të veprimit dhe me ndikim negativ tek kushinetat rrëshqitëse radiale. Disa nga këto lloje të harxhimeve mund të evitohen, mirëpo ndikimi i disa prej tyre njihet si proces i pa shmangshëm.

Ndikimi i këtyre llojeve të harxhimeve tek unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale varet nga disa faktorë, siç janë:

- *fortësia e mveshjes së unazës së kushinetës dhe e boshtit,*
- *vrazhdësia sipërfaqësore e unazës së kushinetës dhe e boshtit,*
- *mirëmbajtja- ku përfshihen:*
  - *lloji i lyerjes,*
  - *niveli i lyerjes,*
  - *lloji i lyerësit,*
  - *fortësia e trupave të tretë si p.sh. grimcave metalike, thërmijave, etj., të cilat futen ndërmjet sipërfaqeve kontaktuese të dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës,*
- *montimi jo i duhur i kushinetës rrëshqitëse radiale dhe boshtit,*
- *mbingarkimi, i cili mund të pasoi me devijime ekscentrike të aksit gjeometrik të boshtit dhe aksit gjeometrik të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, etj.*

Në figurën 4.2., janë të paraqitura në mënyrë skematike, se si e shkaktojnë dëmtimin disa nga llojet e harxhimeve.

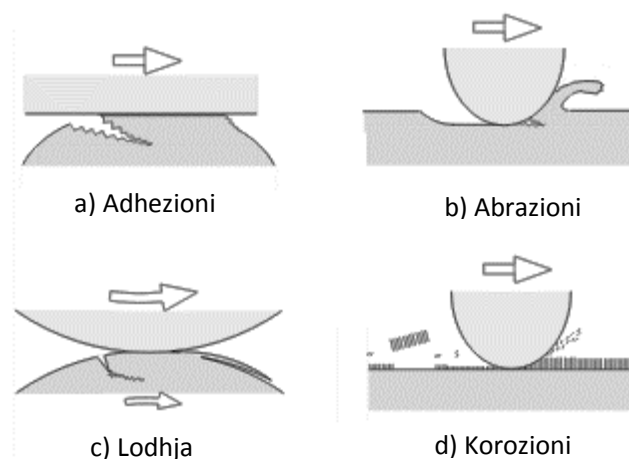


Fig. 4.2. Paraqitja skematike e harxhimit për shkak të: a) adhezionit, b) gërryerjes abrazive, c) lodhjes sipërfaqësore dhe d) korrozionit [34].

### 4.1.1. Harxhimi adheziv

Sa i përket harxhimit adheziv, Arçardi (Archard) jep një zgjidhje, duke e përvetësuar fotografinë topografike të sipërfaqes së idealizuar. Arçardi bënë një numër supozimesh dhe në mënyrë të thjeshtë vjen deri te shprehja për madhësinë e gërryerjes, e cila jep rezultate të pajtueshme, në shumicën e rasteve me rezultatet e eksperimenteve.

Arçardi supozon se jo rrafshirat e sipërfaqeve kanë formë sferike dhe se kontakti i dy trupave ndodhë në një numër të jorrafshirave të ngjashme, se sipërfaqet e kontaktit janë rrathë kurse produktet e gërryerjes (harxhimit) janë me formë gjysmë sferike.

Në bazë të këtyre supozimeve nxirret barazimi vijues: nëse dy sipërfaqe nën ngarkesën  $F$  kanë  $n$ -kontakte, secili me diametër-  $d$  (fig. 4.8.), kurse sforcimi në kufirin e rrjedhjes për materialin më të butë-  $\sigma_t$ , atëherë kontakti i  $i$ -të bartë ngarkesën [2]:

$$F_i = \sigma_t \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \tag{4.1}$$

kurse ngarkesa e tërësishme është  $F = n \cdot F_i$ , përkatësisht:

$$F = \sigma_t \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot n \tag{4.2}$$

Në figurën 4.3., është paraqitur mekanizmi i harxhimit adheziv, si fenomen i tërheqjes së molekulave të trupave të ndryshëm.

Adhezioni haset tek kushinetat rrëshqitëse hidrodinamike dhe hidrostatike, gjatë kohës kur boshti është në qetësi dhe kontakton direkt unazën e kushinetës.

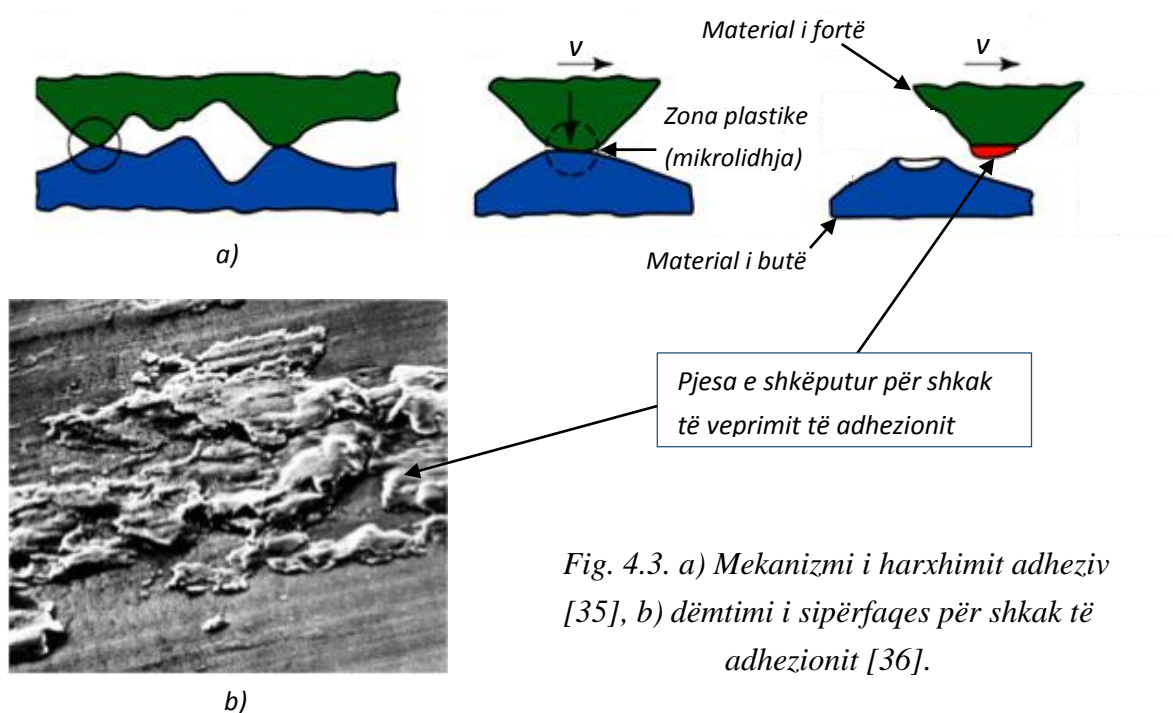


Fig. 4.3. a) Mekanizmi i harxhimit adheziv [35], b) dëmtimi i sipërfaqes për shkak të adhezionit [36].

Nëse supozohet se secili nga  $n$  kontaktet prodhon grimca të gërryerjes dhe se deri te ndarja e jorrafshirave vije kur sipërfaqja e lëvizshme kalon rrugën:  $s = d$ , vëllimi i materialit të gërryer në njësi të rrugës së rrëshqitjes ( $s$ ) është caktuar me shprehjen:

$$\frac{V}{s} = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{12} \quad [4.3]$$

Nga shprehja për forcën [4.1] fitohet shprehja:

$$\frac{F}{\sigma_t} = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [4.4]$$

përkatësisht:

$$\frac{F}{3\sigma_t} = n \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{12} \quad [4.5]$$

Me barazimin e ekuacioneve [4.3] dhe [4.5] fitohet:

$$\frac{V}{s} = n \cdot \frac{F}{3\sigma_t} \quad [4.6]$$

Në kushtet reale produktet (grimcat) e gërryerjes krijohen vetëm prej numrit të vogël të lidhjeve të ndara, nëse me  $k_{ad}$  shënohet pjesa e të gjitha kontakteve të cilat prodhojnë grimca të gërryerjes, shprehja paraprake bëhet:

$$V = k_{ad} \cdot \frac{F \cdot s}{3\sigma_t} \quad [4.7]$$

*Ku është:*

$k_{ad}$ - koeficienti i gërryerjes adhezive (koeficienti i Arçardit).

Shprehja e dhënë paraqet ekuacionin themelor të gërryerjes adezive. Mund të vërehet se në të nuk figuron diametri i lidhjes  $d$ . Kjo do të thotë se ekuacioni mund të vlejë edhe për forma tjera të jorrafshirave, mirëpo është supozuar që diametri i mikro kontaktit dhe i grimcës së gërryer janë të barabartë.

Në bazë të ekuacionit të fituar mund të nxirren këto përfundime:

- Vëllimi i materialit të gërryer është proporcional me rrugën e rrëshqitjes;
- Vëllimi i materialit të gërryer është proporcional me ngarkesën;
- Vëllimi i materialit të gërryer është proporcional i zhdrejtë me sforcimin në kufi të rrjedhjes së materialit më të butë në kontakt.

Vlera e koeficientit të gërryerjes adhezive- *koeficientit të Arçardit* është e ndryshme për material të ndryshme. Disa nga vlerat e koeficientit të Arçardit për materialet përkatëse, mund të gjenden në tabelën 4.0 [2].

Tabela 4.0. Vlerat e koeficientit të gërryerjes  $k_{ad}$ - koeficientit të Arçardit [2]:

Lloji i materialit	$k_{ad}$	Fortësia daN/mm <sup>2</sup>
Mesingu 60/40	$6 \cdot 10^{-4}$	95
Mesingu 70/30	$2.5 \cdot 10^{-5}$	5
Argjendi	$6 \cdot 10^{-6}$	320
Bronza e beriliumit	$3.7 \cdot 10^{-5}$	210
Çeliku për vegla i kalitur	$1.3 \cdot 10^{-4}$	850
Steliti	$5.5 \cdot 10^{-5}$	690
Çeliku ferit që nuk ndryshket (korodohet)	$1.7 \cdot 10^{-5}$	250
Karbidi i volframit në çelik të butë	$4 \cdot 10^{-6}$	186
Bakeliti	$7.5 \cdot 10^{-6}$	25
Polietileni	$1.3 \cdot 10^{-7}$	1.7

Nga tabela 4.0., shihet se me rritjen e fortësisë së materialit, koeficienti i Arçardit rritet p.sh. çeliku i kalitur për vegla me fortësi:  $850 [daN/mm^2]$ , ka koeficient të Arçardit:  $1.3 \cdot 10^{-4}$ , ndërsa polietileni i cili ka fortësi:  $1.7 [daN/mm^2]$ , ka koeficient të Arçardit:  $1.3 \cdot 10^{-7}$ , njëheri ka koeficientin më të vogël nga materialet e paraqitura në tabelën 4.0.

#### 4.1.2. Harxhimi për shkak të gërryerjes abrazive

Harxhimi për shkak të gërryerjes abrazive tek unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale, vij në shprehje me rastin e lyerjes jo të duhur të kushinetës. Lyerësi nuk i mbulon jorrafshirat sipërfaqësore të boshtit dhe të unazës së kushinetës- lyerje jo e plotë. Boshti, përkatësisht jorrafshirat sipërfaqësore për shkak të ndarjes jo të plotë (shtresa e lyerësi është më e vogël se sa lartësia e jorrafshirave sipërfaqësore) nga kontakti me unazën e kushinetës, depërtojnë dhe e gërryejnë sipërfaqen kontaktuese të kushinetës. Meqenëse material i unazës së kushinetës është shumë më i butë se sa ai i boshtit, jorrafshirat sipërfaqësore të dorzës së boshtit depërtojnë në sipërfaqen e unazës së kushinetës duke krijuar brazdë- hulli të nivelit mikroskopik.

Deri tek harxhimi për shkak të gërryerjes abrazive mund të vij edhe si pasojë e futjes së grimcave të imëta dhe të forta ndërmjet sipërfaqes së boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale. Futja e grimcave të imëta dhe të forta mund të vije gjatë montimit të boshtit në kushinetën rrëshqitëse radiale, gjatë punës së kushinetës në ambiente me pluhur, apo edhe nëse këto grimca depërtojnë në lyerës në pjesë tjera të sistemit të lyerjes.

Më shumë se 50% e të gjitha dëmtimeve të kushinetave rrëshqitëse radiale janë shkaktuar nga abrazioni. Prandaj, njohja dhe studimi i këtij lloji të harxhimit është me rëndësi dhe në interes të veçantë për studimin e efekteve tribologjike tek kushineta rrëshqitëse radiale.

Për llogaritjen e madhësisë së gërryerjes abrazive, përvetësohet se jorrafshirat kanë formën konike (fig. 4.10.).

Gjatë gërryerjes abrazive, me rastin e krijimit të hullive për shkak të depërtimit të jorrafshirave, vëllimi i përvetësuar i jorrafshirave në formë konike ka formën:

$$A = \frac{\pi \cdot r^2}{2} \quad [4.9]$$

Ku është:

$r$  [mm]- rrezja e konit.

Nëse në jorrafshirë vepron forca  $F_i$  dhe ngarkesa të cilën e bartë jorrafshira e shprehur me anë të fortësisë së materialit  $H$  është:

$$F_i = H \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{2} \quad [4.10]$$

Atëherë ngarkesa e tërësishme për  $n$  jorrafshira në kontakt ( $F = n \cdot F_i$ ) është:

$$F = n \cdot H \cdot \frac{\pi \cdot r^2}{2} \quad [4.11]$$

Vëllimi i materialit të gërryer në unazën e kushinetës nga një jorrafshirë konike e dorëzës së boshtit do të jetë:

$$V_i = r \cdot d \cdot s \quad [4.12]$$

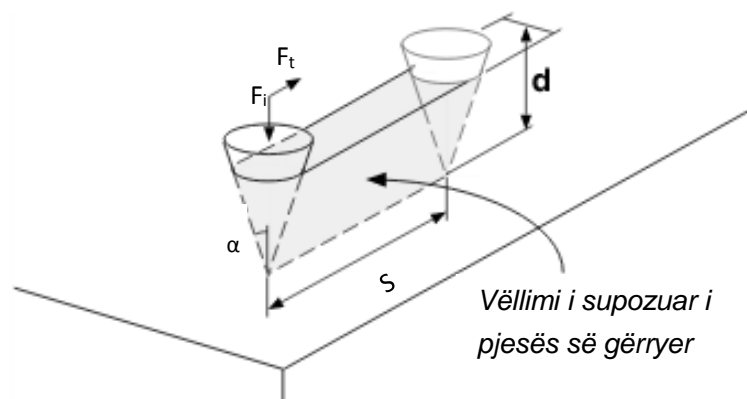


Fig. 4.4. Vëllimi i supozuar i materialit të gërryer gjatë gërryerjes abrazive [37].

Pasi që madhësia  $d = r^2 \cdot s \cdot ctg\alpha$ , rrjedh se:

$$V_i = r^2 \cdot s \cdot ctg\alpha \quad [4.13]$$

Nga shprehja [4.13] për  $n$  jorrafshira kemi:

$$V = n \cdot V_i = n \cdot r^2 \cdot s \cdot ctg\alpha \quad [4.14]$$

Nëse ky vëllim shprehet në varësi nga forca dhe fortësia me zëvendësimin e ekuacionit [4.11] fitohet shprehja:

$$\frac{V}{s} = \frac{2F}{\pi \cdot H} \cdot ctg\alpha \quad [4.15]$$

Ekuacioni mund të modifikohet edhe për forma tjera të jorrafshirave, ashtu që në rastin e përgjithshëm, shprehja paraprake mund të shkruhet në formën:

$$V = k_{ab} \cdot \frac{F \cdot s}{H} \quad [4.16]$$

Ku është:

$k_{ab}$ - koeficienti i gërryerjes abrazive, për material dhe mveshje të ndryshme ndryshon përafërsisht sipas diagramit në fig. 4.5.

Ekuacioni i fundit, përkatësisht nxjerrja e tij, është mbështetur në modelin ideal. Por, edhe përveç kësaj, rezultatet praktike tregojnë që në bazë të këtyre ekuacioneve nxirren rezultate shumë të përafërta.

Në diagramin në fig. 4.5., janë paraqitur vlerat e koeficientit të gërryerjes abrazive për materiale të ndryshme.

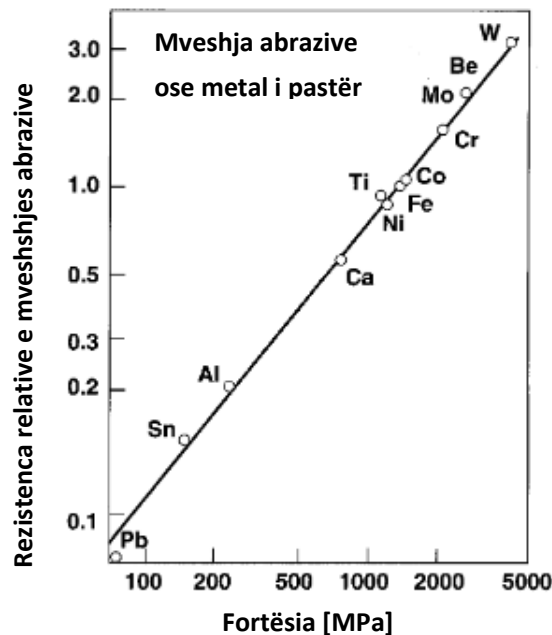


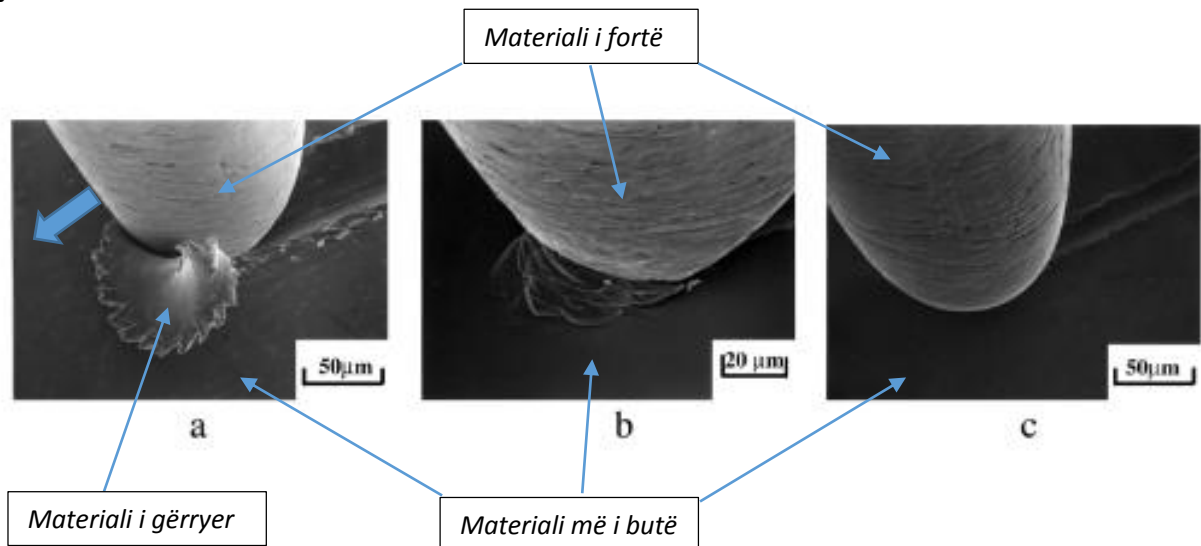
Fig. 4.5. Diagrami i koeficientit abraziv në varësi të fortësisë së mveshjes apo metaleve të pastra [38].



Mund të vërehet nga ky diagram se materialet më të buta kanë vlerë më të vogël të koeficientit të gërryerjes abrazive, se sa ato me fortësi më të madhe p.sh.:

- Plumbi-  $k_{ab} \approx 0.1$
- Alumini-  $k_{ab} \approx 0.2$
- Nikeli-  $k_{ab} \approx 0.75$
- Hekuri-  $k_{ab} \approx 1$
- Kromi-  $k_{ab} \approx 1.5$
- Molibdeni-  $k_{ab} \approx 2$

Në figurën 4.6., janë treguar disa shembuj të krijimit të hullive me rastin e kontaktimit të tehut nga çeliku dhe trupave me fortësi të ndryshme. Ky kontakt i trupave është i zmadhuar dhe mundëson të kuptohet se si abrazioni zhvillohet si fenomen në njësi mikroskopike. Fotografitë e paraqitura në figurën 4.6 janë të zmadhuara në nivelin 20 µm- 50 µm. Për ta pasur një parafytyrim të madhësisë së rritur, tehu nga çeliku ka përafërsisht diametrin e një fije floku.



*Fig. 4.6. Harxhimi i materialit për shkak të gërryerjes abrazive- formimi i brazdës mikroskopike: a) tehu nga çeliku kontakton në sipërfaqen nga tunxhi, b) tehu nga çeliku kontakton në pllakë nga çeliku me fortësi më të vogël dhe c) tehu nga çeliku kontakton pllakën e inoksit [39].*

Nga figura 4.6., shihet se materiali me fortësi më të madhe e gërryen materialin me fortësi më të vogël, duke krijuar hulli. Ndërsa me ndryshimin e materialit, përkatësisht rritjes së fortësisë së tij, thellësia e brazdës zvogëlohet dhe me këtë edhe vëllimi i materialit të gërryer zvogëlohet.

Fortësia e materialeve që kontaktojnë mund të ndryshojë gjatë punës së tyre me rastin e kontaktimit. Me rastin e kontaktimit dhe fërkimit ndërmjet trupave, krijohet nxehësi, e cila

ndikon në kalitjen e tyre. Prandaj, kontaktimi direkt i sipërfaqeve që kryejnë lëvizje relative ndaj njëra tjetrës gjithmonë tentohet të eliminohet.

#### 4.1.3. Harxhimi eroziv

Harxhimet erozive shkaktohen nga goditja e thërrmijave të materialeve të forta ose goditja e fluidit në sipërfaqen e unazës së kushinetës.

Procesi i harxhimit eroziv varet nga:

- thërrmijat e materialeve,
- këndit të goditjes së thërrmijave,
- shpejtësisë së goditjes, dhe
- madhësisë së thërrmijës.

Në figurën 4.7., është paraqitur mekanizmi i harxhimit të sipërfaqes nga erozioni.

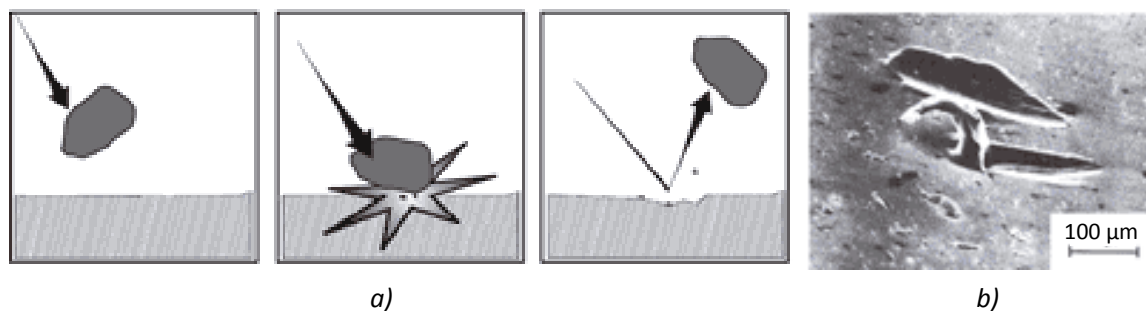


Fig. 4.7. a) Paraqitja skematike e dëmtimit të unazës së kushinetës nga harxhimi eroziv, b) dëmtimi i sipërfaqes për shkak të erozionit [40].

Nëse në pyetje është fluidi, atëherë harxhimi i unazës së kushinetës do të jetë shumë më i vogël dhe në formë të pluhurit. Në figurën 4.8., është treguar se si shkaktohet harxhimi i sipërfaqes në formë të pluhurit nga erozioni për shkak të fluidit.

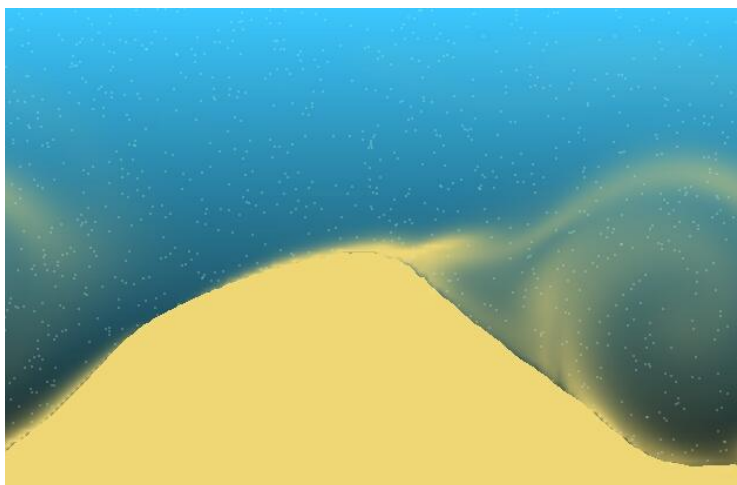


Fig. 4.8. Mekanizmi i harxhimit eroziv [41].

#### 4.1.4. Harxhimi nga kavitacioni

Kjo formë e hargjimit haset me rastin e regjimit turbulent të lyerësit gjatë rrëshqitjes së boshtit në shtresën e lyerësit. Fluskat, formohen me rastin e regjimit turbulent, me rastin e rritjes së presionit apo me rastin e ndryshimit të temperaturës, ose edhe nga futja e gasit apo fluidit tjetër në lyerës. Me rastin e “shpërthimit” këto fluska dëmtojnë sipërfaqen e kushinetës rrëshqitëse. Normalisht ky lloj i harxhimit ka ndikim më të vogël mirëpo haset shpesh tek kushinetat rrëshqitëse radiale.

Në figurën 4.9., është paraqitur shpërthimi i flukës së krijuar nga kavitacioni.

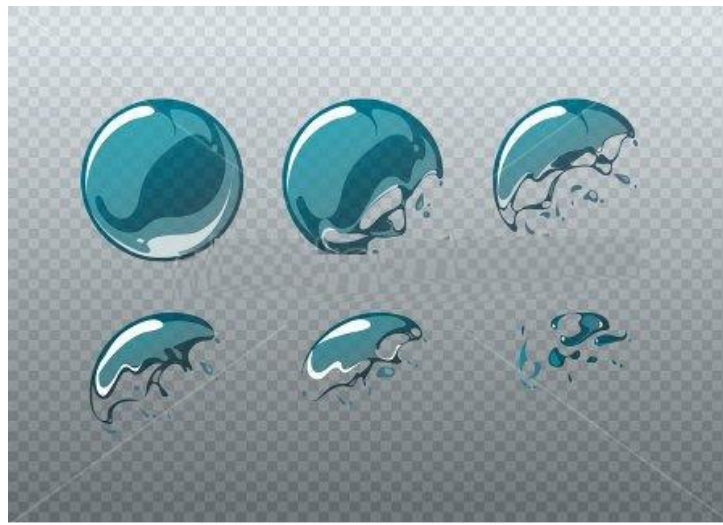


Fig. 4.9. Shpërthimi i fluskave [42]

Kur flasim për harxhimin kavitacional si fenomen, atëherë duhet të kemi parasysh se ndikimi i tij, përkatësisht, vëllimi i materialit të gërryer nga ky lloj i harxhimit sikurse tek harxhimi eroziv, nuk është i madh.

#### 4.2. HARXHIMI I UNAZËS SË KUSHINETËS

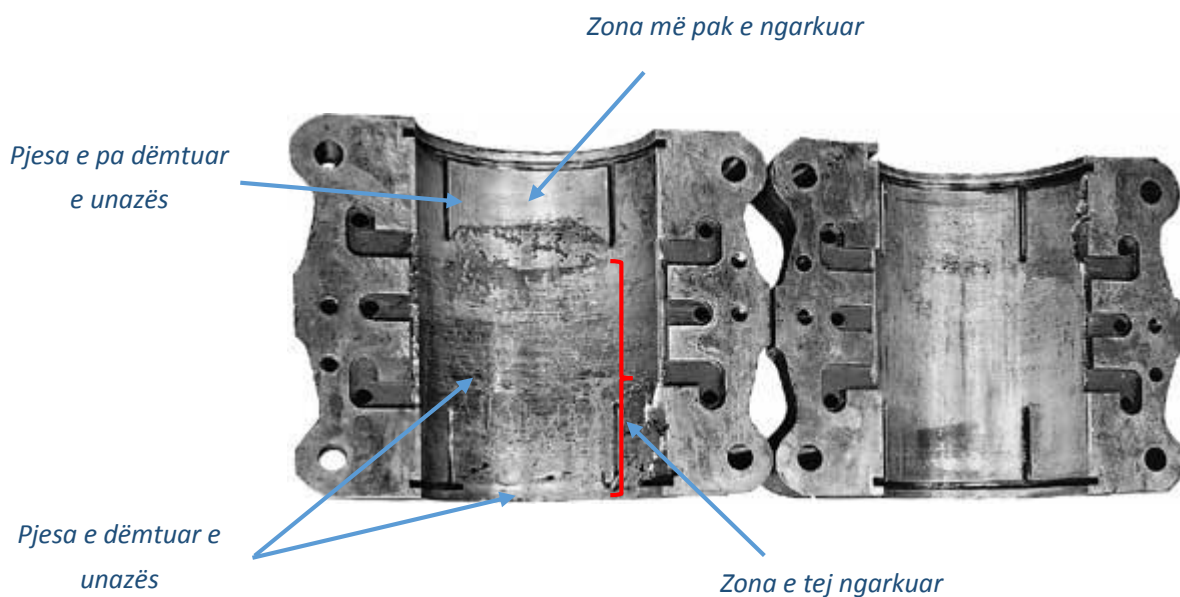
Shumë faktorë ndikojnë në harxhimin e unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale. Deri tek harxhimi, përkatësisht dëmtimi i unazës së kushinetës vije për shkak të:

- lyerjes jo të mirë dhe jo adekuate,
- ekscentricitetit të boshtit ndaj unazës së kushinetës,
- montimit të gabuar,
- lakimit të boshtit,
- hyrjes së grimcave në mes të unazës së kushinetës dhe mbajtësit- shtëpizës, etj.

Këta janë disa nga shkaktarët që ndikojnë në harxhimin e unazës së kushinetës tek kushinetat rrëshqitëse radiale dhe atë në disa lloje, si p.sh.: harxhimi adheziv, harxhimi abraziv, harxhimi për shkak të lodhjes, harxhimi eroziv, etj.

Në fig. 4.10., deri 4.15., janë paraqitur shembuj të dëmtimit të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale dhe atë nga shkaktarë të ndryshëm.

Në figurën 4.10., është paraqitur shembulli i dëmtimit të unazës së kushinetës për shkak devijimit të aksit gjeometrik të boshtit ndaj aksit gjeometrik të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale. Boshti që me rastin e montimit ka qenë i vendosur aksialisht i devijuar me unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale, e që në mënyrë të vazhdueshme ka ndikuar në gërryerjen (abrazive) vetëm të njëjës pjesë të unazës së kushinetës. Ndërsa pjesa tjetër, që në foton e paraqitur në fig. 4.10., gjendet në pjesën e sipërme, për shkak të devijimit aksial kontakti i boshtit me unazën e kushinetës në këtë pjesë pothuajse nuk ka ekzistuar fare. Ky dëmtim mund të ketë ndodhur edhe si pasojë e mbingarkimit të boshtit dhe ka ndikuar që boshti të devijojë aksialisht nga aksi gjeometrik i unazës së kushinetës. Devijimi aksial i boshtit për shkak të mbingarkimit, ka ndikuar që sforcimet të rriten në pjesën e unazës së kushinetës e cila është në anën e boshtit dhe me këtë rast kjo zonë është dëmtuar në mënyrë intensive.



*Fig. 4.10. Dëmtimi i unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale për shkak të rrëshqitjes së boshtit të ngarkuar në tehtë të guaskës së kushinetës, që ka ndikuar në lodhjen mekanike të shtresës kontaktuese [33].*



Fig. 4.11. Dëmtimi kushinetës rrëshqitëse radiale për shkak të mbingarkimit [43].

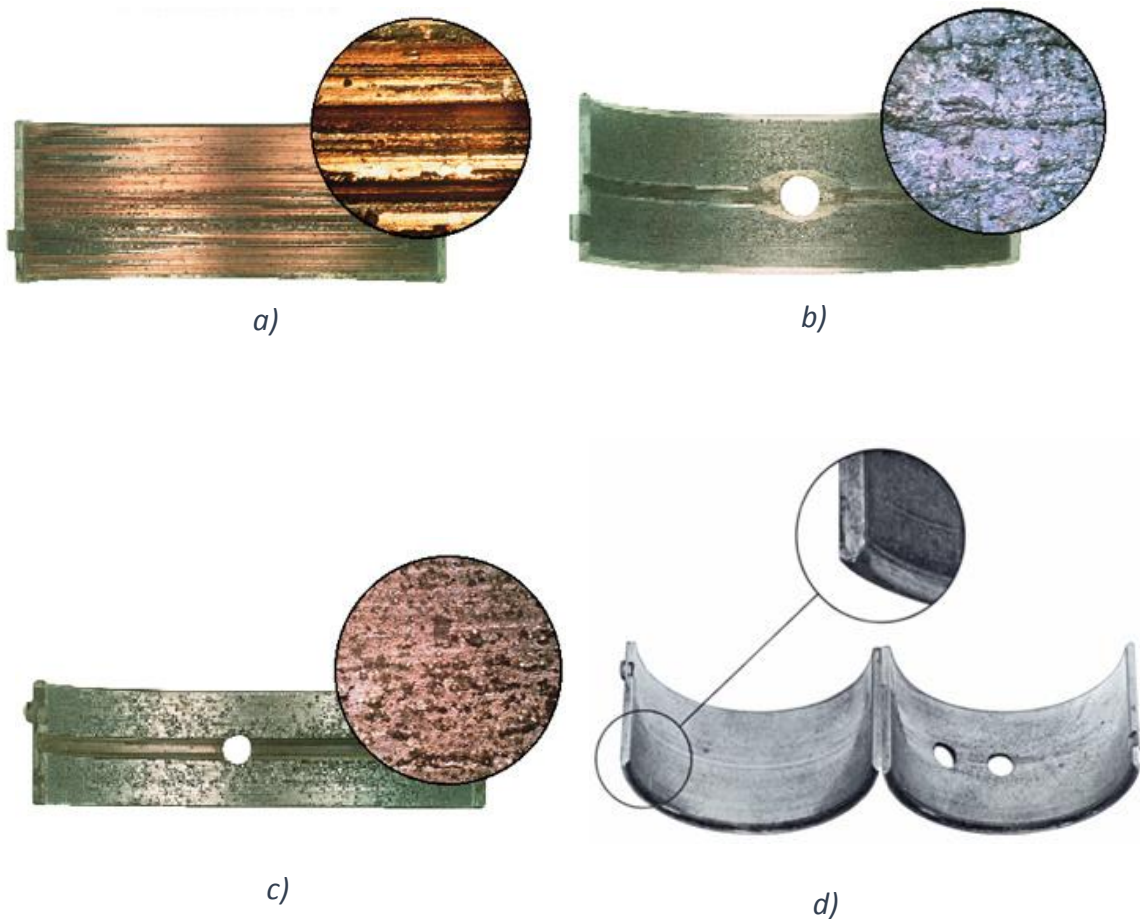


Fig. 4.12. Pjesët e kushinetave të cilat janë dëmtuar apo harxhuar nga procese të ndryshme: a) për shkak të gërryerjes abrazive, b) për shkak të lodhjes, c) për shkak të kavitacionit dhe oksidimit, d) për shkak të adezionit [43].



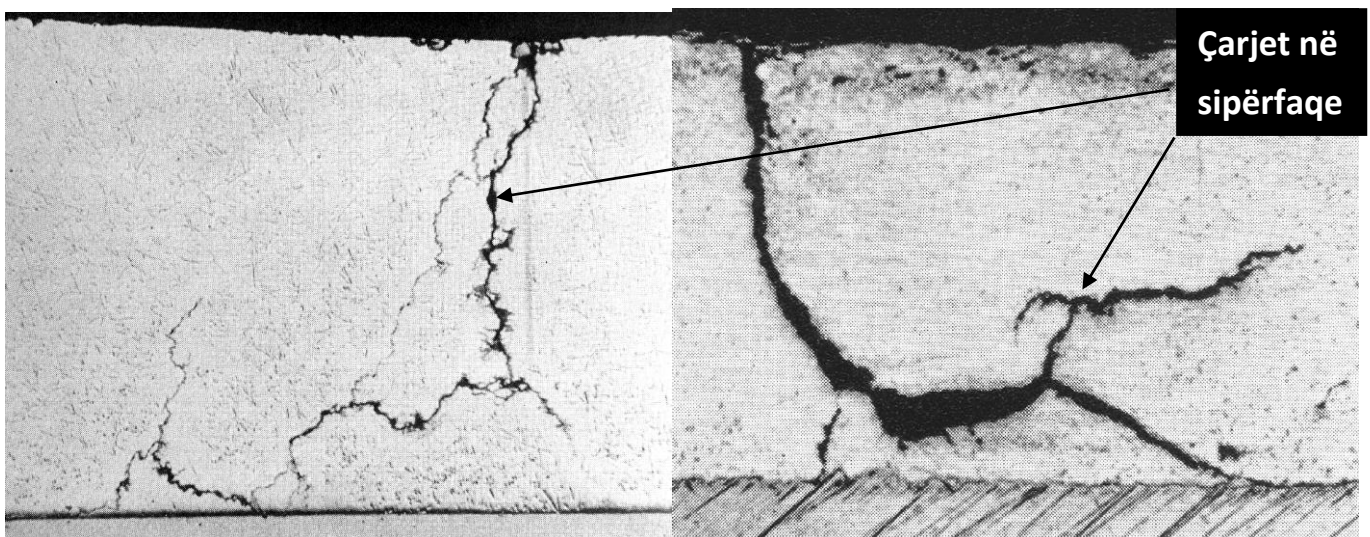
#### 4.2.1. HARXHIMI I UNAZËS SË KUSHINETËS PËR SHKAK TË LODHJES

Lodhja sipërfaqësore e materialit lajmërohet kur vlerat e frekuencës së ngarkesës i tejkalojnë ato frekuenca të cilat materiali mund ti përballojë. Lodhja mund të ndodhë për shkak të veprimit të ngarkesave ciklike për një kohë të gjatë dhe kushteve të krijuara gjatë punës, siç janë:

- *boshti ekscentrik,*
- *jo balancimi,*
- *përkulja e boshtit,*
- *ngarkesat termike,*
- *vibrimet apo gjuajtjet, etj.*

Kombinimi i shkaqeve të lartcekura kontribuon në dëmtimin, respektivisht në lodhjen e shtresës kontaktuese të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale me boshtin. Këto dëmtime fillimisht shfaqen në sipërfaqen e unazës së kushinetës si çarje të vogla, mirëpo me kalimin e kohës këto çarje fillojnë të zgjerohen.

Se si zhvillohet ky proces dhe si dëmtohet unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale, janë paraqitur në figurat: 4.13., deri 4.15.



*Fig. 4.13. Dëmtimi i shtresës kontaktuese të kushinetës rrëshqitëse radiale për shkak të lodhjes [44].*



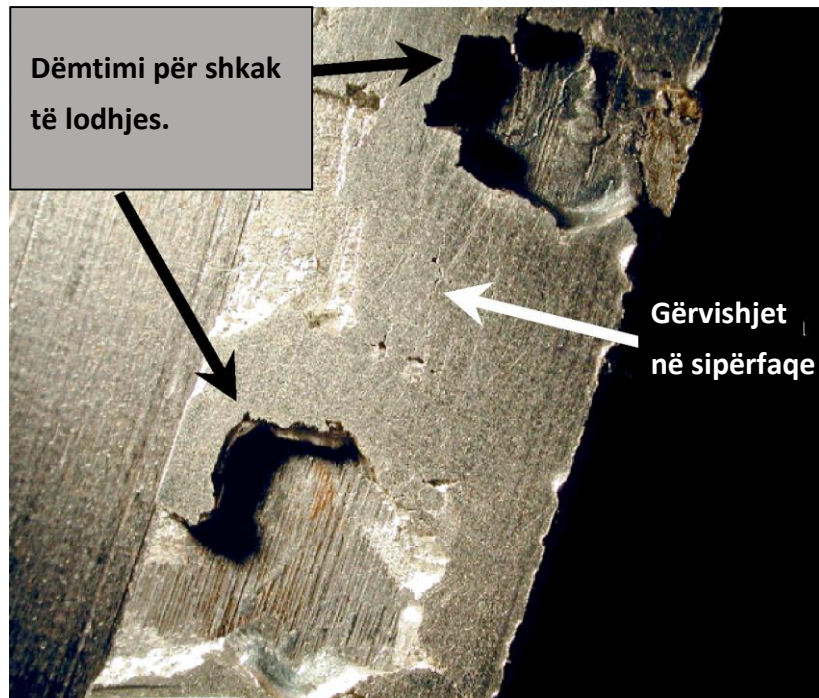


Fig. 4.14. Dëmtimi i sipërfaqes së kushinetës rrëshqitëse për shkak të lodhjes [44].

Nga figura 4.14., shihet se për shkak të veprimit ciklik të ngarkesës (mbingarkesës) ka ardhur deri tek lodhja sipërfaqësore e unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, në zonën vepruese të sajë. Shihet nga foto se si çarjet sipërfaqësore janë zgjeruar dhe kanë ndikuar në shkëputjen e pjesëzave nga unaza e kushinetës. Këto pjesëza të shkëputura ndikojnë që me rastin e vazhimit të punës të vije deri tek dëmtimi përkatësisht shkatërrimi i tërësishëm i unazës së kushinetës. Harxhimi për shkak të abrazionit dhe erozionit rritet në një shkallë relativisht të lartë, ndërsa jetëgjatësia e unazës së kushinetës zvogëlohet.

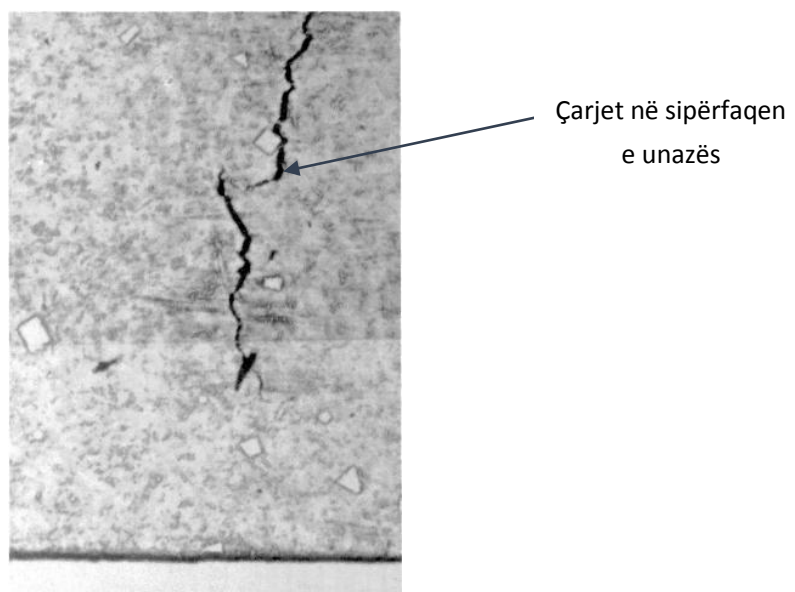


Fig. 4.15. Çarjet sipërfaqësore të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale nga lodhja [45].

Si rrjedhojë e lodhjes sipërfaqësore, shkaktohen mikro çarje në sipërfaqen e unazës së kushinetës (fig. 4.15.) pasi që materiali i unazës së kushinetës ka fortësi më të vogël, mirëpo mund të jenë edhe nga materiali i dorzës së boshtit, por në raste më të rralla. Këto mikro çarje, me vazhdimin e veprimit ciklik të ngarkesave zgjerohen në mënyrë paralele me sipërfaqen, deri tek shtresa tjetër e materialit me fortësi më të madhe, si dhe shkëputen duke formuar copëza në formë të thërmijave. Diametri i thërmijave të cilat lajmërohen mund të sillet nga 1 deri në 2 [mm]. Këto thërmija të shkëputura futen në lyerës dhe shaktojnë dëmtime erozive ose abrazive (kur thërmijat kanë fortësi të mëdha), si dhe ndikojnë në shkatërrimin e shpejtë të sipërfaqes së unazës së kushinetës.

## 5

## LYERJA E KUSHINETAVE RRËSHQITËSE RADIALE

Fërkimi dhe harxhimi, si përcjellës të pashmangshëm të punës së makinave dhe pajisjeve në të shumtën e rasteve janë të padëshirueshme. Për këtë arsyeje zvogëlimi i fërkimit dhe harxhimit është me rëndësi të jashtëzakonshme, posaçërisht në industrinë bashkëkohore të automatizimit të lartë, mekanizimit dhe prodhimit në seri të mëdha.

Lyerja është procedurë e futjes së lyerësit në mes të sipërfaqeve kontaktuese në lëvizje relative. Roli i lyerjes është ndarja e sipërfaqeve me shtresë lyerësi, ashtu që lëvizja e pjesëve të sistemit mekanik të realizohet me humbje sa më të vogël të energjisë dhe të zvogëloj dëmtimin e tyre.

Në kushinetat rrëshqitëse më së shpeshti përdoren lyerësit e lëngët si p.sh.:

- *vaji,*
- *yndyrat,*
- *emulzionet.*

Në makinat bashkëkohore si lyerës përdoret edhe ajri dhe disa gazra të tjerë. Në raste të veçanta si lyerës mund të shërbejnë edhe trupat e ngurtë p.sh. grafiti dhe molibdensusulfidi.

Vajrat për lyerje në varësi nga lënda e parë dhe mënyra e prodhimit ndahen në dy grupe:

- *minerale, dhe*
- *sintetike.*

Vajrat minerale fitohen me distilim ose rafinim të naftës, e ato sintetike fitohen në mënyrë kimike me sintezën e materialeve të larta kimike. Vaji sintetik në raport me atë mineral, ka stabilitet më të lartë termik, për një diapazon më të gjerë temperaturash, por edhe shpenzimet e prodhimit janë më të mëdha [2].

Lyerja si procedurë është mjaftë e rëndësishme në funksionimin e kushinetave rrëshqitëse radiale. Lyerja është proces nga i cili mvaret puna dhe koha e shfrytëzimit të kushinetës rrëshqitëse radiale.

Vetitë fizike, të cilat mund të kenë ndikim gjatë zgjedhjes së vajit për kushineta rrëshqitëse radiale janë:

- *viskoziteti dhe indeksi i viskozitetit,*
- *temperatura e ndezjes,*
- *dendësia,*
- *nxehtësia specifike,*
- *stabiliteti kimik dhe termik,*
- *rezistenca në oksidim, korodim dhe toksicitet.*

Të gjitha këto veti figurojnë në katalogët e prodhuesit të vajit në bazë të cilave bëhet zgjedhja e llojit të lyerësit për kushinetën rrëshqitëse radiale.

## 5.1. METODAT E LYERJES

Në varësi nga trashësia e shtresës së lyerësit, shpërndarjes së tij, shkallës së ngjashmërisë gjeometrike të sipërfaqeve në kontakt dhe kushteve të punës së pjesëve të makinave mund të realizohen forma të ndryshme të lyerjes.

Dy forma themelore të lyerjes janë:

- *lyerja e plotë, dhe*
- *lyerja e pjesshme.*

Lyerja e plotë është formë e lyerjes, tek e cila sipërfaqet në kontakt të pjesëve të makinave janë të ndara plotësisht me shtresë kontinuale të lyerësit. Që shtresa e lyerësit me trashësi të caktuar të mbahet në mes të sipërfaqeve në lëvizje, duhet që në të, të realizohet shtypje, e cila do të bartë ngarkesën e jashtme përkatësisht është e nevojshme që shtresa të ketë aftësi të caktuar të bartjes. Lyerja e këtillë mund të realizohet, në varësi nga pjesa e makinës dhe kushtet e caktuara, në më shumë mënyra, ashtu që dallohen regjimet vijuese të lyerjes së plotë:

- *lyerja hidrostatike (LHS),*
- *lyerja hidrodinamike (LHD) dhe*
- *lyerja elastohidrodinamike (LEHD).*

Në kushinetat rrëshqitëse radiale, boshti është i vendosur në mënyrë direkte në kushinetë. Kjo rezulton në kontakt direkt në mes të metaleve. Si pasojë e kësaj fërkimi i lartë në mes të sipërfaqes së brendshme të kushinetës dhe sipërfaqes së jashtme të boshtit, nëse nuk ka prezencë të ndonjë lyerësi në mes tyre.

Ekzistojnë dy mënyra bazike të lyerjes, përmes:

- lyerësit më viskoz- konzistentë, dhe
- vajrave më të hollë.

Në lyerjen me shtresë të trashë të lyerësit, dy sipërfaqet e kushinetës në lëvizje relative (d.m.th. boshti dhe unaza e kushinetës) janë të ndara plotësisht me shtresë të lyerësit. Rezistenca ndaj lëvizjes relative vije nga rezistenca e viskozitetit të fluidit. Kjo nuk varet nga struktura e sipërfaqes së boshtit apo sipërfaqes së brendshme të kushinetës duke qenë se nuk kontaktojnë në mes vete. Lyerja me shtresë të trashë të lyerësit klasifikohet në lyerje: hidrostatike dhe hidrodinamike.

Lyerja me vajra të hollë përdoret tek kushinetat rrëshqitëse radiale, te të cilat numri i rrotullimeve të boshtit është relativisht i madh, ndërsa në të nuk veprojnë ngarkesa të mëdha.

Viskoziteti i lyerësit bie me rritjen e temperaturës. Rritja e temperaturës me rastin e ferkimit ndikon në zvoglimin e viskozitetit. Nëse lyerësi është shumë i trashë- viskoz atëherë krijohet nxehtësi në mes të shtresave të lyerësit me rastin e rrotullimit të boshtit dhe ndikon në uljen e viskozitetit.

## 5.2. LYERJA HIDRODINAMIKE

Lyerja hidrodinamike është definuar si sistem i lyerjes, në të cilin ngarkesa mbështetet në shtresën e lyerësit, i cili është krijuar nga forma dhe lëvizja relative e elementeve rrëshqitëse në këtë rast dorëzës së boshtit. Parimi i lyerjes hidrodinamike në kushinetat rrëshqitëse është paraqitur në fig. 5.0.

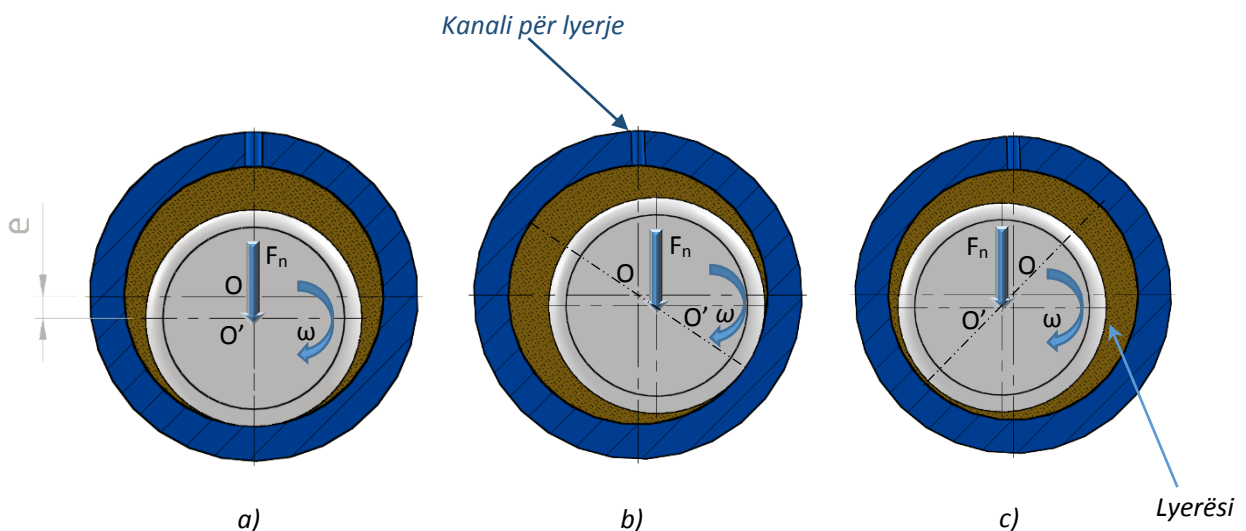
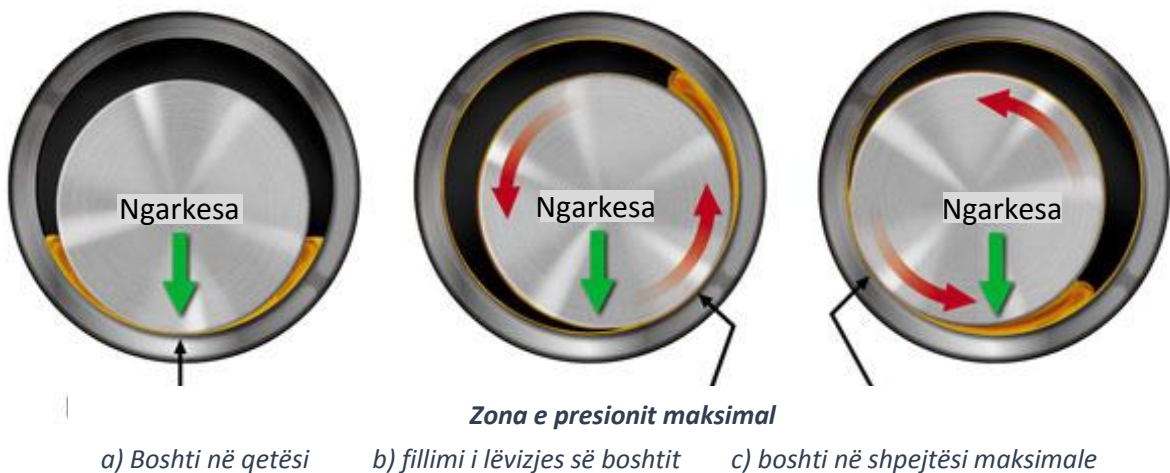


Fig. 5.0. Lyerja hidrodinamike: a) boshti në qetësi, b) boshti me rastin e fillimit të rrotullimit, dhe c) boshti në shpejtësinë maksimale [46].

Kur boshti me qendër në  $O'$  është në qetësi, përkatësisht nuk lëvizë  $\omega=0$ , kontakton në fundin e kushinetës, e cila ka me qendrën në  $O$ . Në dorëzën e boshtit vepron forca normale  $F_n$ . Kjo ngarkesë është për shkak të peshës së boshtit dhe pjesëve të ndryshme (dhëmbëzorëve, makarave, etj.) të vendosura në bosht. Sipërfaqja e jashtme e dorëzës së boshtit dhe sipërfaqja e brendshme e unazës së kushinetës kontaktojnë njëra tjetrën gjatë qetësisë, pa hapësirë në pjesën e poshtme fundore të kushinetës. Me  $e$  është shënuar ekscentriciteti, zhvendosja radiale në mes qendrës së boshtit dhe kushinetës.

Me rastin e fillimit të rrotullimit të boshtit, atëherë ai do të ngrihet nga sipërfaqja e kushinetës. Kur shpejtësia e boshtit rritet edhe më tej, detyron lëngun të futet në mes të boshtit dhe kushinetës. Fluidi gjithmonë e më shumë detyrohet të futet në regjionin e hapësirës së formuar siç tregohet në *fig. 5.1*. Ky presion i fluidit ndikon që boshti të ngrihet duke përballuar forcën e jashtme  $F_n$ . Mund të shihet se shpërndarja e presionit rreth boshtit ndryshon shumë. Me rastin e lyerjes hidrodinamike nuk ka nevojë për furnizim me lyerës nën presion të lartë nga ndonjë burim i jashtëm (si p.sh. pompat), meqenëse presioni i krijuar i fluidit brenda sistemit është i mjaftueshëm. Kushinetat, të cilat përdorin lyerjen hidrodinamike quhen *kushineta hidrodinamike*.



*Fig. 5.1. Zona e presionit maksimal për shpejtësi të ndryshme të boshtit tek lyerja hidrodinamike [47].*



### 5.3. LYERJA HIDROSTATIKE

Në rastin e lyerjes hidrostатike, boshti i cili e bartë ngarkesën mbahet larg kontaktit me unazën e kushinetës me anë të presionit të lyerësit, i cili është krijuar nga burime të jashtme, si p.sh. pompa. Tek ky lloj i kushinetave rrëshqitëse radiale, ekziston rezervuari me lyerës, i cili futet me presion në hapësirën ndërmjet unazës së brendshme të kushinetës dhe dorzës së boshtit, vetëm me rastin e fillimit të punës së makinës.

Pompa si burim i jashtëm me lyerës, vihet në punë vetëm me rastin e lëvizjes së boshtit. Pra, së pari pompohet lyerësi me presion, i cili e largon nga kontakti (e ngritë) boshtin nga unaza e kushinetës dhe më pas fillon puna përkatësisht lëvizja e boshtit. Kushinetat, të cilat përdorin një sistem të tillë quhen “kushineta me presion të jashtëm” ose “kushineta hidrostатike”. Parimi i punës së këtij lloji të lyerjes të kushinetave është paraqitur në fig. 5.3.

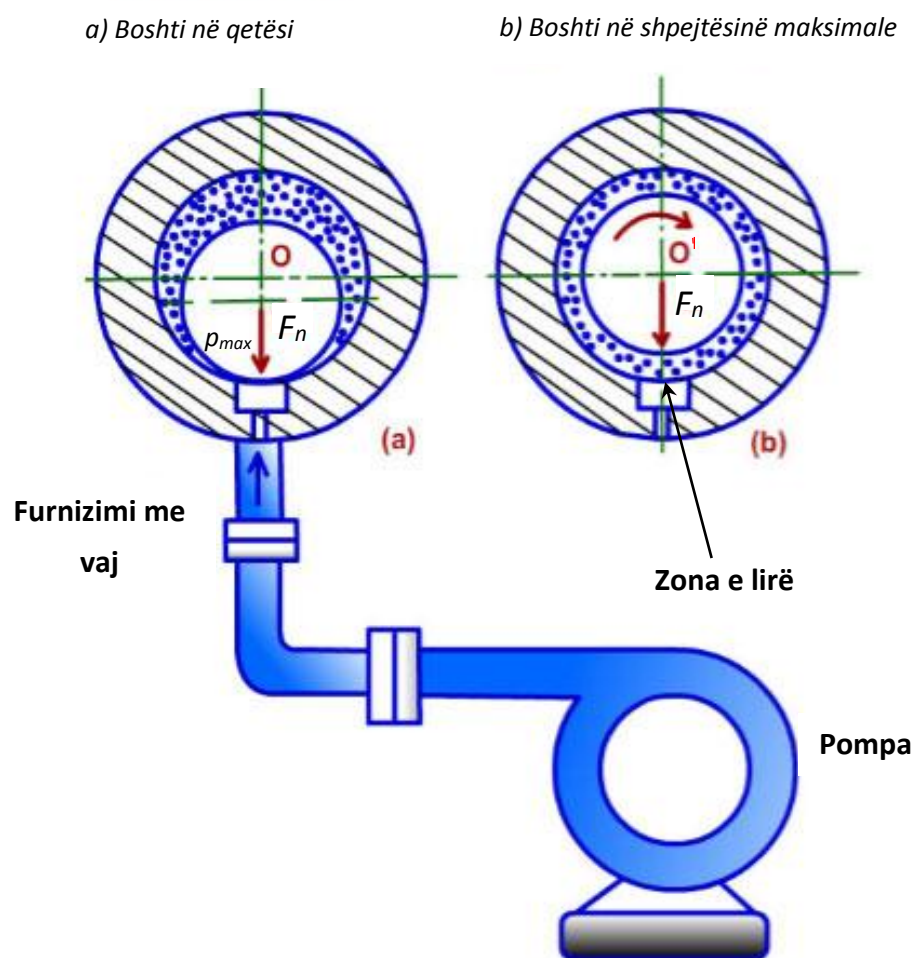


Fig. 5.3. Kushineta hidrostатike, a) boshti në qetësi, dhe b) boshti në shpejtësinë maksimale [48].

Kur boshti nuk lëvizë (është në qetësi)  $O$ , në kushinetë nuk ka presion të mjaftueshëm të lyerësit si dhe furnizimi me lyerës nuk ka filluar- *fig. 5.3. a*). Kur boshti fillon të rrotullohet, pompa fillon të pompoj me presion të mjaftueshëm vajin në zonën e lirë në kushinetës. Me këtë rast bëhet ngritja e boshtit  $O'$ , me këtë rast reduktohen fërkimet startuese dhe gjithashtu formohet ekscentriciteti ( $e$ ) në mes të boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale.

#### 5.4. Lyerja kufitare

Lyerja kufitare definohet si lyerje ku sasia e lyerësit në unazën e kushinetë është relativisht e vogël dhe e cila mund të dërgon në kontakt direkt të metalit me metal (boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale). Ky lloj i lyerjes njihet në literaturë si lyerje kufitare.

Tek ky lloj i lyerjes shtresa e lyerësit është më e vogël se jorrafshirat, pra nuk i mbulon jorrafshirat sipërfaqësore të boshtit apo unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale.

Ky lloj i lyerjes nuk është planifikuar nga konstruktori dhe as nuk është e dëshirueshme të ndodhë.

Te kushinetat rrëshqitëse radiale, mbingarkimi i kushinetës, furnizimi i pamjaftueshëm me lyerës, vedosja jo e drejtë e boshtit në kushinetë, temperaturat e larta (që ndikojnë në zvogëlim të viskozitetit të lyerësit), krijojnë kushte për lyerje kufitare.



*Fig. 5.4. Njëra nga mënyrat e thjeshta të lyerjes tek kushinetat rrëshqitëse radiale [49].*

## 6

## ANALIZA E SHPËRNDARJES SË PRESIONIT NË SHITESËN E LYERËSIT

Analizimi i kushinetave rrëshqitëse radiale, përkatësisht i efekteve tribologjike tek ky lloj i kushinetave, është proces mjaftë delikat dhe se deri tek arritja e rezultateve të dëshiruara, pra rezultateve të sakëta, mund të vihet pas një pune të gjatë dhe shumë precize.

Gjatë analizimit të efekteve tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale, me rastin lyerjes së plotë, meqenëse nuk kemi kontakt (lyerësi e ndan plotësisht nga kontakti boshtin dhe unazën e kushinetës) atëherë fërkimi i cili e pengon lëvizjen e boshtit është fërkimi i lyerësit. Ky lloj i fërkimit formohet ndërmjet shtresave të lyerësit, përkatësisht, me rastin e shkëputjes së këtyre shtresave të cilat kanë shpejtësi të ndryshme. Shtresa e lyerësit e cila është në afërsi të unazës së kushinetës ka shpejtësi shumë të vogël dhe llogaritet të jetë zero, ndërsa duke iu afruar boshtit, shpejtësia e shtresave rritet sikurse është paraqitur skematikisht në fig. 6.0.

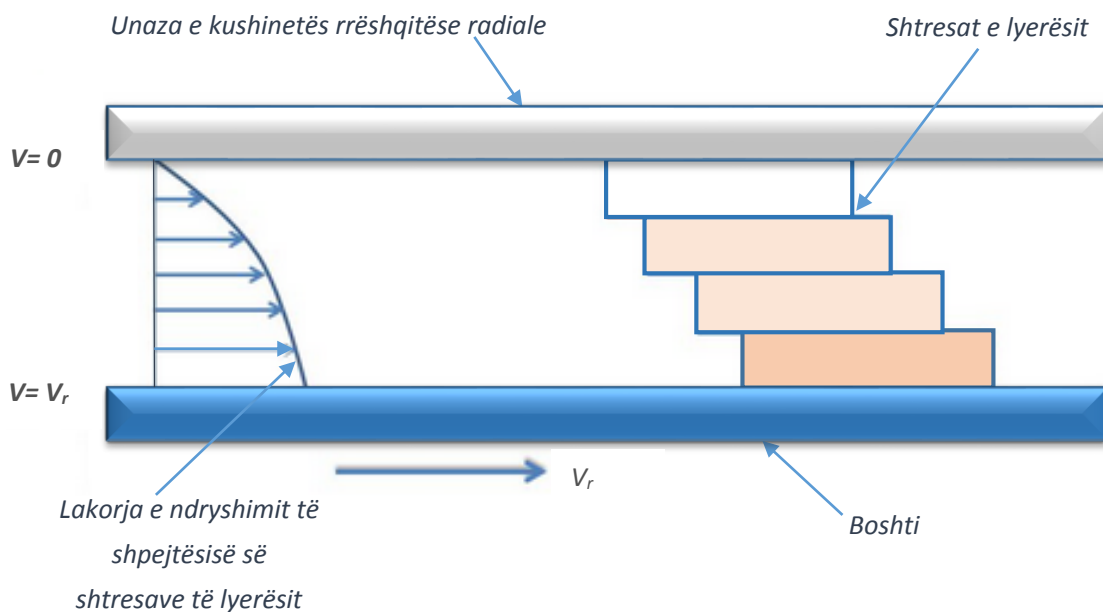


Fig. 6.0. Paraqitja skematike e ndryshimit të shpejtësisë në shtresat e lyerësit [50].

Për llogaritje të shpërndarjes së presionit në shtresën e lyerësit shfrytëzohet ekuacioni i Rejnolsit, si funksion i: shpejtësisë së boshtit, gjeometrisë dhe dimensioneve të kushinetës rrëshqitëse radiale, hapësirës diametrale të mbushur me lyerës dhe viskozitetit të lyerësit.

Në figurën 6.1 është paraqitur se si llogaritet presioni në shtresën e lyerësit.

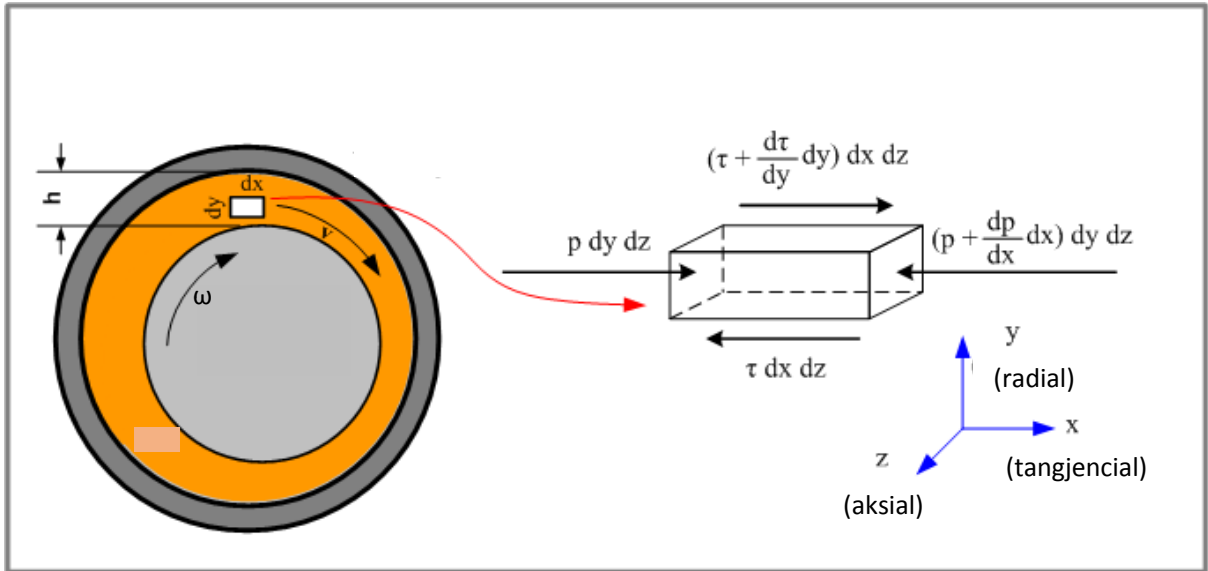


Fig. 6.1. Nxjerrja për llogaritje e presionit në shtresën e lyerësit [51].

Ekuacioni i Rejnolsit për llogaritje të shpërndarjes së presionit në shtresën e lyerësit ka formën:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( h^3 \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6\eta v_t \frac{\partial h}{\partial x} \quad [6.1]$$

Ku janë

$h$  [mm]- trashësia e shtresës së lyerësit,

$\eta$  [Pa·s]- viskoziteti dinamik i lyerësit,

$p$  [Pa]- presioni lokal i lyerësit,

$v_t$  [m/s]– shpejtësia periferike e boshtit,

$x$  – aksi i drejtimit periferik,

$y$  – aksi i drejtimit normal,

$z$  – aksi i drejtimit gjatësorë.

Rrjedha totale e lyerësit caktohet me shprehjen:

$$Q = \int_0^h v_t dy \quad [6.2]$$

Pas integrimit të shprehjes [6.1] fitojmë shprehjen:

$$Q = \frac{v_t \cdot h}{2} - \frac{1}{12 \cdot \eta} \frac{dp}{dx} \cdot h^3 \quad [6.3]$$

Duke supozuar se lyerësi është fluid i pashtypshëm, rrjedha e tij  $Q$  në drejtim të aksit  $x$  nuk ndryshon:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad [6.4]$$

Ekuacioni i Rejnoldsit për rrjedhën një dimensionale, mund të përdoret për llogaritje nëse supozohet se nuk ka rrjedhë në drejtim të aksit  $z$  (kushineta me gjatësi infinit) dhe ka formën:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h^3 \frac{\partial p}{\partial x} \right) = 6\eta v_t \frac{\partial h}{\partial x} \quad [6.5]$$

Nëse merret se ka rrjedhë në drejtim të aksit  $z$  (kushineta me rrjedhje anësore të lyerësit), atëher analizimi i ekuacionit të Rejnoldsit të rrjedhës dy dimensionale bëhet me shprehjen [6.0].

Zgjidhjet analitike e ekuacionit të Rejnoldsit ekziston vetëm për supozime të caktuara, për shembull zgjidhja sipas shprehjes së Somerfeldit (Sommerfeld) nuk kemi rrjedhje të vajit në mënyrë aksiale:

$$p = \frac{\eta \cdot v_t \cdot R}{C_r^2} \cdot \left( \frac{6\varepsilon \cdot (2 + \varepsilon \cdot \cos\varphi) \cdot \sin\varphi}{(2 + \varepsilon^2) \cdot (1 + \varepsilon \cos\varphi)^2} \right) + p_0 \quad [6.6]$$

*Ku janë:*

$C_r$  [ $\mu\text{m}$ ]- hapësira radiale  $C_r = (D-d)/2$ ,

$R$  [ $\text{mm}$ ]- rrezja e kushinetës,

$D$  [ $\text{mm}$ ]- diametri i kushinetës,

$d$  [ $\text{mm}$ ]- diametri i dorëzës së boshtit,

$\varepsilon$  - ekscentriciteti relativ  $\varepsilon = e/c_r$

$e$  [ $\mu\text{m}$ ]- ekscentriciteti absolut i kushinetës,

$b$  [ $\text{mm}$ ]- gjerësia e kushinetës,

$p_0$  [ $\text{N/m}^2$ ]- presioni kavitacional,

$So$  – numri i Somerfeldit.

Zgjidhja e Somerfeldit është e aplikueshme vetëm në regjionin ku ka mbi presion. Kjo shprehje është një ndër shprehjet më të rëndësishme me rastin e kalkulimit të kushinetave rrëshqitëse radial, ndërësa ka formën:

$$S_0 = \frac{F \cdot \Psi^2}{D \cdot b \cdot \omega \cdot \eta} \quad [6.7]$$

Ku janë:

$F$  [N]– Ngarkesa në kushinetë,

$\Psi$  [ $\mu\text{m}$ ]– hapësira relative në kushinetë  $\Psi = (D-d)/D$ ,

$\eta$  [mm]– viskoziteti dinamik i vajit,

$\omega$  [ $\text{min}^{-1}$ ] – shpejtësia këndore e boshtit.

Për llogaritjen se në cilin kënd është presioni maksimal në shtresën e lyerësit tek unaza e kushinetës, shfrytëzohet shprehja:

$$\theta_m = \cos^{-1}\left(\frac{1 - \sqrt{1 + 24\varepsilon^2}}{4\varepsilon}\right) \quad [6.8]$$

Ngarkesa totale e bartjes së kushinetës llogaritet me shprehjen:

$$F = \sqrt{(F_n \cos \phi)^2 + (F_n \sin \phi)^2} \quad [6.9]$$

Ku janë:

$F_n \sin \phi$  dhe  $F_n \cos \phi$ - komponentët e ngarkesës në drejtim normal dhe paralel në bosht.

Llogaritja e këndit të kontaktit nxirret nga shprehja sipas literaturës [52]:

$$F_n \cos \phi = 2 \int_0^b \int_0^\pi (p r d\theta dz) \cos \theta \quad [6.10]$$

$$F_n \sin \phi = 2 \int_0^b \int_0^\pi (p r d\theta dz) \sin \theta \quad [6.11]$$

$$F_n = \frac{\eta V_t l^3}{c^2} \frac{\varepsilon [\pi^2 (1 - \varepsilon^2) + 16\varepsilon^2]^{1/2}}{4 (1 - \varepsilon^2)^2} \quad [6.12]$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{F_n \sin \phi}{F_n \cos \phi}\right) = \tan^{-1} \frac{\pi \sqrt{1 - \varepsilon^2}}{4\varepsilon} \quad [6.13]$$



Aftësia bartëse e kushinetës rrëshqitëse radiale  $F_C$ , përkatësisht aftësia bartëse e shtresës së lyerësit llogaritet me shprehjen:

$$F_C = S_0 \cdot \frac{b \cdot d}{C_r} \cdot \eta \cdot \omega \quad [6.14]$$

Madhësia  $S_0$ , e cila quhet numri i Somerfeldit, paraqet: *veçorinë e pa dimensionuar të aftësisë bartëse* të kushinetës rrëshqitëse radiale.

Vlera e numrit të Somerfeldit varet nga raporti i ekscentricitetit  $\varepsilon$ , përkatësisht nga pozita e dorëzës në kushinetë në gjendjen e ekuilibrit dinamik.

Te kushinetat me gjatësi të përkufizuar veçoria e aftësisë bartëse ( $S_0$ ) varet nga gjatësia relative e kushinetës ( $\lambda = b/d$ ). Me zvogëlimin e gjatësisë relative, për parametra tjerë të njëjtë, zvogëlohet numri i Somerfeldit (tabela 6.1.).

*Tabela 6.1. Vlerat e numrit të Somerfeldit për kushineta radiale me gjatësi të përkufizuar me përfshirje të plotë të këndit të nënshtresës (360°) [1].*

$\varepsilon$		0.1	0.3	0.5	0.7	0.9	0.99
b/d	1	0,1196	0,4091	0,8903	2,0432	8,4392	107,78
	0,5	0,0368	0,1304	0,3124	0,8595	5,0881	93,788

Meqenëse vlera mesatare e shtypjes sipërfaqësore:  $p_{mes}$ , të lyerësit përkufizohet si raporti i ngarkesës së jashtme radiale:  $F$  dhe projekcionit të sipërfaqes së kontaktit të dorëzës së boshtit:  $b/d$ , normal me drejtimin e veprimit të ngarkesës, atëher numri i Somerfeldit mund të caktohet me shprehjen:

$$S_0 = \frac{p_{mes} \cdot C_r^2}{\eta \cdot \omega} \quad [6.15]$$

Nga kjo shprehje shihet se kushinetat e ngarkuara shumë dhe me numër të vogël të rrotullimit karakterizohen me vlera të mëdha të numrit të Somerfeldit, derisa kushinetat më pak të ngarkuara e me numra të mëdhenj të rrotullimeve u përgjigjen vlerat e vogla ( $S_0 < 1$ ).

Përpos numrit të Somerfeldit, madhësia e: *hapësirës relative*  $C_r$ , është njëri nga faktorët kryesorë nga e cili varen vetitë punuese të kushinetës. Vlera e preferuar e hapësirës relative mund të caktohet edhe në varësi të shpejtësisë periferike të dorëzës:  $v_t$  (m/s) dhe atë sipas shprehjes [1]:

$$C_r = 10^{-3} \cdot \sqrt[4]{\frac{v_t}{2,5}} \quad [6.16]$$

Gjatë llogaritjes së kushinetave rrëshqitëse radiale, pasi që fërkimi i cili e pengon lëvizjen e boshtit është fërkimi i brendshëm ndërmjet shtresave të lyerësit, atëherë është me rëndësi njohja e disa vetive të viskozitetit.

Temperatura, përkatësisht ndryshimi i saj, ndikon në ndryshimin e viskozitetit të lyerësit. Me rritjen e temperaturës viskoziteti i lyerësit bie, ndërsa ekzistojnë edhe rrugë matematikore të cilat mund ta përcaktojnë vlerën e viskozitetit në raport të ndryshimit të temperaturës. Gjithashtu mund të shfrytëzohen diagrame grafike për përcaktimin e viskozitetit të lyerësve të ndryshëm, me rastin e ndryshimit të temperaturës, të cilat kanë dal si rezultat i rrugëve matematikore ose praktike [53].

$$\eta_T = \eta_0 \cdot e^{-\alpha \cdot [T - T_h]} \quad [6.17]$$

*Ku janë:*

$\eta_T$  [MPa·s]- viskoziteti dinamik në temperaturën  $T$ ,

$\eta_0$  [MPa·s]- viskoziteti dinamik në shtypjen atmosferike,

$\alpha$  [1/MPa]- koeficient i viskozitetit,

$T_h$  [°C]- temperatura hyrëse.

Në viskozitetin e lyerësit ka ndikim edhe ndryshimi i presionit, i cili vepron në lyerës. Gjithashtu si edhe me rastin e ndryshimit të temperaturës edhe me rastin e ndryshimit të presionit, ekzistojnë rrugë matematikore për llogaritjen e viskozitetit me rastin e ndryshimit të presionit. Shprehja për llogaritjen e viskozitetit në funksion të presionit ka formën:

$$\eta_p = \eta_0 \cdot e^{B \cdot p} \quad [6.18]$$

*Ku janë:*

$\eta_p$  [MPa·s]- viskoziteti dinamik nën presionin  $p$ ,

$\eta_0$  [MPa·s]- viskoziteti dinamik në shtypjen atmosferike,

$e$ - numri i Eulerit,

$B$  [m<sup>2</sup>/N]- koeficienti i ndryshimit të viskozitetit me presionin dhe

$p$  [MPa]- presioni të cilit i është ekspozuar lyerësi.

Për vajra minerale, koeficienti  $B$  sillet në kufijt prej:  $1,6 \cdot 10^{-8}$  deri  $2,2 \cdot 10^{-8}$  [m<sup>2</sup>/N] [2].

Pasiqë viskoziteti i vajit është funksion i presionit dhe i temperaturës së bashku, atëher për llogaritje matematikore të ndryshimit të viskoziteitt, shfrytëzohet metoda e Vogel- Barus, e cila ka formën [54]:

$$\eta(p, T) = A \cdot e^{\left[\frac{B}{T+C} + \alpha \cdot p\right]} \quad [6.19]$$

*Ku janë:*

*A [Pa·s]- koeficient i viskozitetit dhe*

*C [°C]- koeficient i viskozitetit.*

Koeficientët e viskozitetit janë të ndryshëm për lyerës të ndryshëm. Specifikat e lyerësve dhe vlerat e koeficientëve përkatës jepen nga prodhuesi.

Vlerat e koeficientëve të viskozitetit sipas Vogel dhe Barus gjatë llogaritjeve janë marrë:

*A= 0.0000154 [Pas],*

*B= 1600 [°C],*

*C= 137.7 [°C] dhe*

*$\alpha$ = 0.002 [1/MPa].*

## 7

## ANALIZA E NJË SHEMBULLI KONKRET

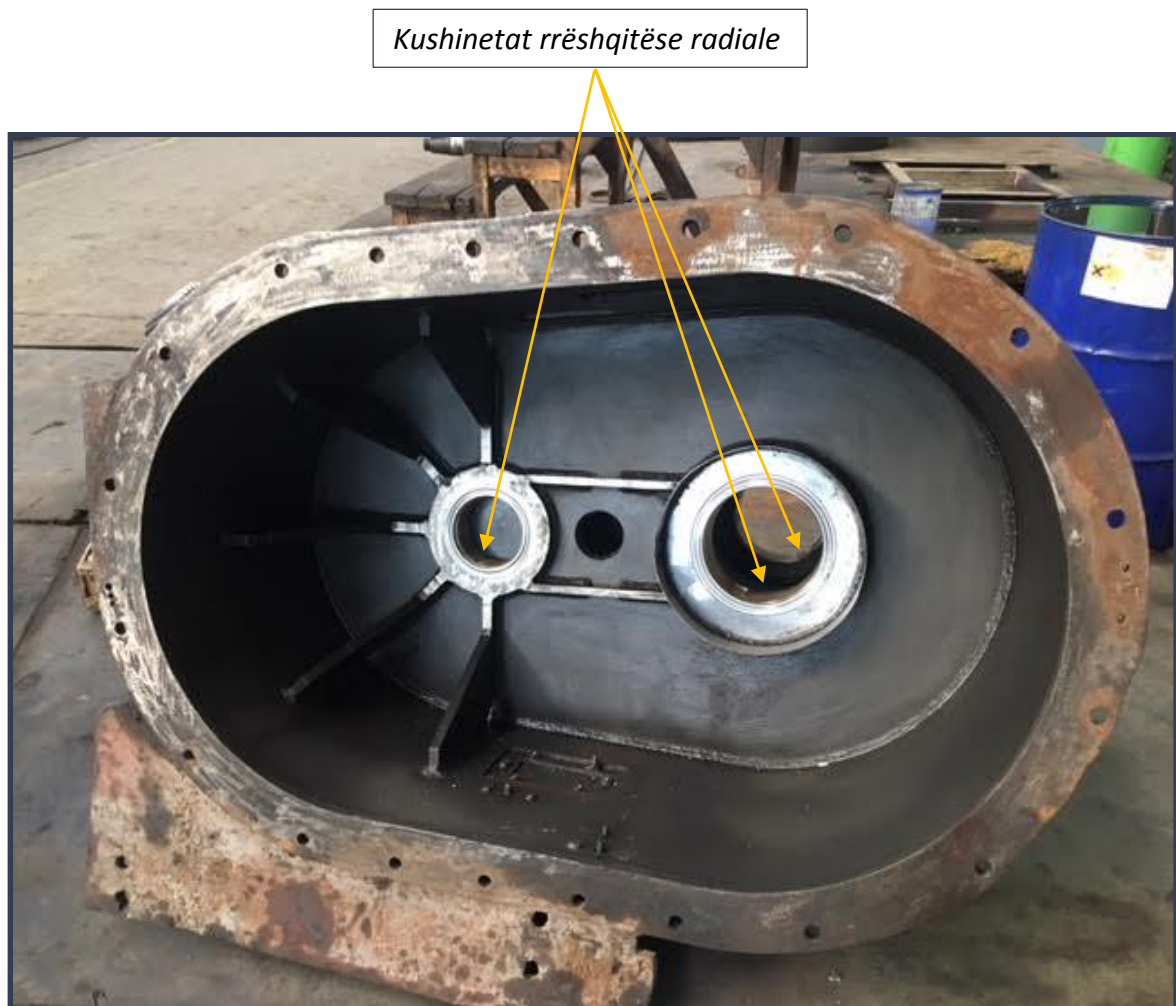
Si pjesë e punës praktike, për qëllim të mbështetjes së teorisë së shqyrtuar rreth kushinetave rrëshqitëse radiale dhe në veçanti efekteve tribologjike me rastin e ndryshimit të ngarkesave, është realizuar vizita në Korporatën Energjetike të Kosovës- KEK.

Gjatë punës praktike në repartin e pajimeve xehtare në Bardh të Madh në Obiliq, punëtori kjo e cila funksionon në kuadër të KEK, është marrë në shqyrtim rasti i dëmtimit të kushinetës (kushinetave) rrëshqitëse radiale tek reduktori i cili mundëson zhvendosjen horizontale të krahut tek rrota punuese e ekskavatorit, gjatë mihjes sipërfaqësore të thëngjillit.



*Fig. 7.1. Ekskavatori gjatë mihjes së thëngjillit, në mihjen sipërfaqësore në Bardh të Madh-Obiliq në kuadër të KEK-ut [6].*

Në repartin e pajimeve xehtare, si pjesë e dëmtuar është sjellë reduktori i cili përdoret tek rrota punuese e ekskavatorit SR<sub>s</sub> 470. Ky reduktor përmban gjithsej 5 (pesë) kushineta rrëshqitëse radiale, të cilat janë dëmtuar dhe duhet ndërruar. Të gjitha kushinetat e përdorura tek ky reduktor janë të vendosura në shtëpizën e reduktorit. Tre nga këto kushineta janë paraqitur në fig. 7.2., ndërsa dy të tjera janë të vendosura në kapakun e shtëpizës së reduktorit.



*Fig. 7.2. Shtëpiza e reduktorit e demontuar me kushineta rrëshqitëse radiale nga bronzi- të dëmtuara [6].*

Reduktorit me kushineta të dëmtuara, është pastruar duke i larguar lyerësin si dhe pjesët tjera përbërëse të reduktorit: boshtet, dhëmbëzorët, kushinetat e llojeve tjera të përdorura, etj. Në këtë mënyrë mund të shiqohet se cilat nga unazat e kushinetave janë të dëmtuara dhe duhet të ndërrohen, si dhe shiqohet për dëmtime tjera eventuale.



Një pamje më e afërt e kushinetave rrëshqitëse të përdorura tek ky reduktor është paraqitura në fig. 7.3.



Fig. 7.3. Kushinetat rrëshqitëse radiale të montuara në shtëpizën e reduktorit [6].

Në figurën 7.4., është paraqitur njëra nga unazët e kushinetës rrëshqitëse radiale, e cila ka pësuar dëmtime më intensive.

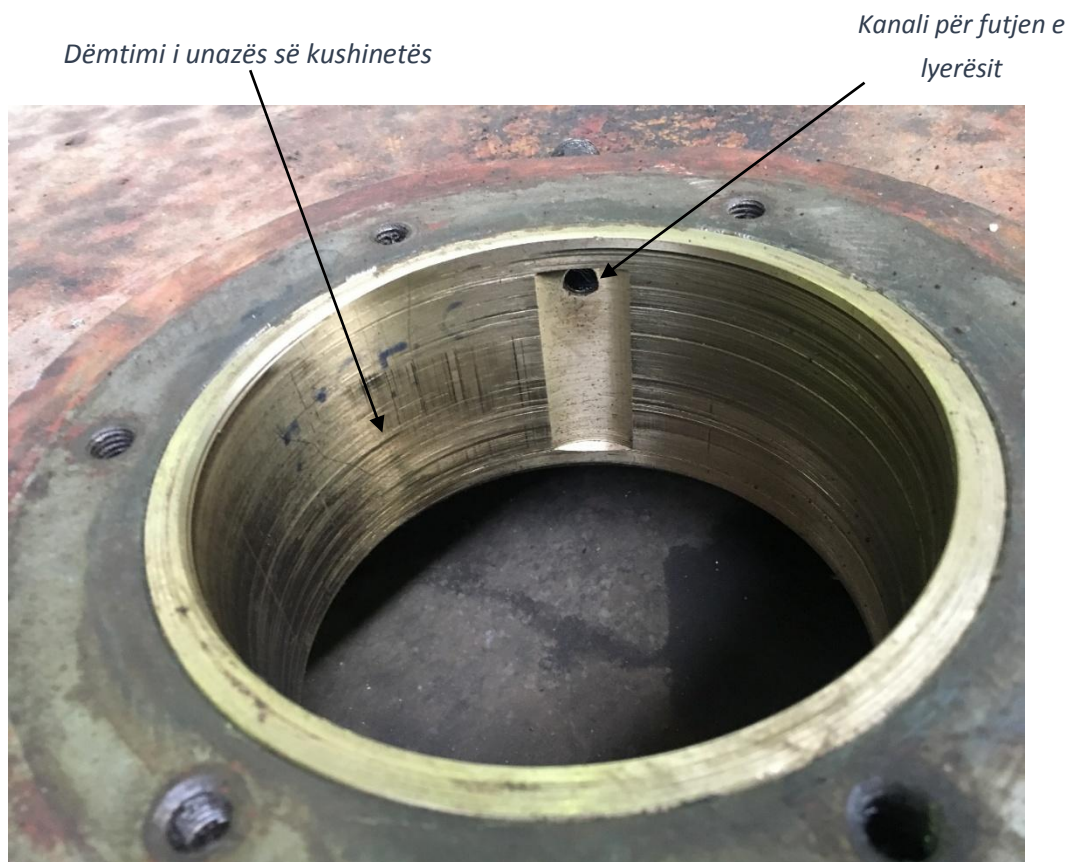


Fig. 7.4. Dëmtimi i unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale [6].



Unaza e kushinetës e paraqitur në fig. 7.4., është njëra nga unaza e cila është e vendosur në kapakun e reduktorit.

Nga lloji i dëmtimit të sipërfaqes së kushinetës të paraqitur në fig. 7.4., mund vihet në përfundim se dëmtimi i unazës është shkaktuar nga abrazioni. Ndërsa deri tek ky lloj i dëmtimit ka ardhur nga niveli jo i duhur i lyerjes. Boshti me rastin e lyerjes jo të duhur ka kontaktuar direkt unazën e kushinetës, duke e gërryer atë.

Madhësia e thellimeve të shkaktuara si pasojë e abrazionit nga kontakti i drejtëpërdrejtë i boshtit dhe unazës së kushinetës, përkatësisht nga kontakti i jorrafshirave të sipërfaqes së boshtit, ka arritur vlerën e disa milimetrave ( $R_{max} \approx 2 [mm]$ ).

Në fig. 7.5., është paraqitur gypi i furnizimit me lyerës për kushinetat rrëshqitëse radiale të përdorura tek ky reduktor. Secila nga kushinetat rrëshqitëse radiale të përdorura tek ky reduktor kanë kanalet për furnizim me lyerës. Këto kanale janë të lidhura me gypa në mes vete dhe që kanë qasje në rezervoarin i cili është i mbushur me lyerës. Lyerja e tyre bëhet në mënyrë ciklike, manualisht.



*Fig. 7.5. Gypi i furnizimit me lyerës për kushinetën rrëshqitëse radiale, tek shtëpiza e reduktorit [6].*

Sipas informatave të marra nga punëtorët përgjegjës të KEK-ut, lyerja bëhet përafërsisht çdo 2 javë (manualisht). Ekzistojnë edhe metoda të avancuara të lyerjes automatike, që kanë koston e tyre fillestare, mirëpo shiqar në përgjithësi kosto e dëmtimeve me rastin e lyerjes jo të duhur është shumë herë më e madhe. Rekomandohet përdorimi i këtij sistemi automatik të lyerjes.

Pas përcaktimit të dëmtimeve fillohet me zëvendësimin e unazave të dëmtuara të kushinetave. Gjithashtu shiqohet edhe për dëmtime tjera eventuale, të shtëpizave të kushinetave, kanaleve të lyerjes si dhe dëmtime tjera në shtëpizën e reduktorit.

Përpunimi i unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale bëhet në tërësi, pasi që unazat të montohen në shtëpiza të cilat janë të vendosura në shtëpizën e reduktorit. Kjo bëhet në mënyrë që të mos ketë devijime ndërmjet akseve gjeometrike të unazave të kushinetave.

Në figurën 7.6., është paraqitur shtëpiza e reduktorit me unazat e kushinetave të montuara, e vendosur në makina tornuese dhe frezuese duke u përpunuar sipërfaqja e brendshme e unazave.



*Fig. 7.6. Shtëpiza e reduktorit e vendosur në makinën frezuese, për përpunimin e unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale [6].*

Në figurën 7.7. janë paraqitur disa fotografi të tjera të shtëpizës së reduktorit, duke u bërë përpunimi i unazave të kushinetave.



*Fig. 7.7. Inspektimi i përpunimit të sipërfaqeve të brendshme të unazave të kushinetave [6].*

Në fig. 7.7., është duke u bërë inspektimi i unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale të reduktorit të ekskavatorit SRs 470, përkatësisht sipërfaqeve të brendshme.

Pas përpunimit të sipërfaqeve të brendshme të unazave, një punëtor i inspekton duke bërë matjet e dimensioneve të brendshme të unazave, se a i plotësojnë tolerancat përkatësisht shmangiet e lejuara, të përcaktuara nga konstruktori në vizatimin e punëtorisë.

Shiqohet se a është realizuar përpunimi i këtyre sipërfaqeve si duhet, si dhe mos ka ndonjë çarje apo dëmtim i cili pastaj mund të shkaktoj problem gjatë punës së reduktorit.

Gjatë përpunimit të unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale nga bronzi, gjithashtu edhe gjatë riparimeve tjera, qofshin ato në shtëpizat e kushinetave ose në shtëpizën e vetë reduktorit, krijohen ashkla. Ka mundësi që të mos bëhet largimi i tërësishëm i këtyre ashklave. Nëse këto ashkla nuk largohen, mund futen ndërmjet trupave në kontakt dhe të dëmtojnë sipërfaqet e kontaktuese të tyre.





*Ashklat e larguara me rastin e përpunimit të unazave të kushinetave, si dhe shtëpizës së reduktorit.*

*Fig. 7.8. Ashklat e larguara me rastin e përpunimit të unazave të kushinetave dhe shtëpizës së reduktorit [6].*

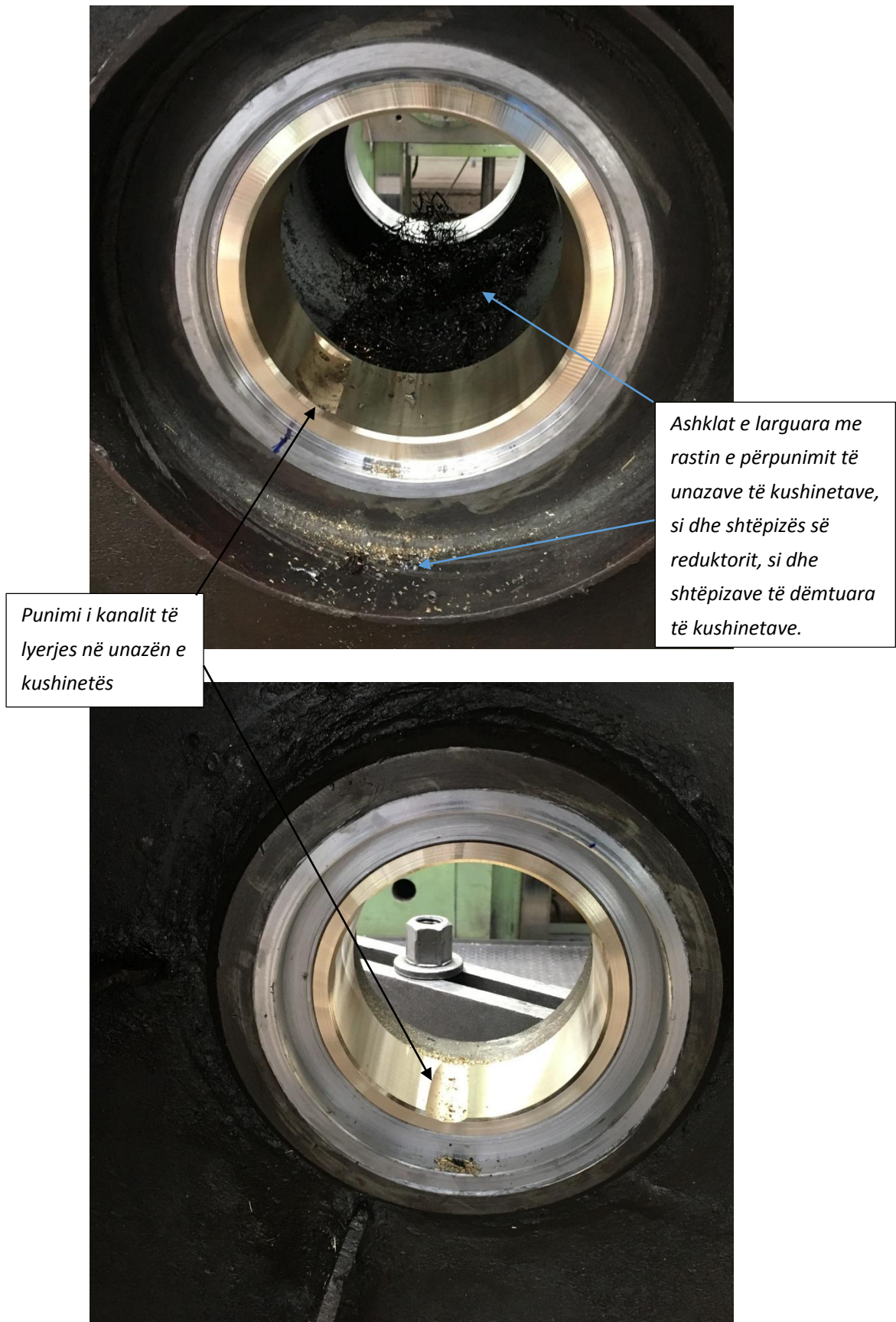


Fig. 7.9. Paraqitja e punimit të kanalit për lysterje dhe shtëpizës së kushinetës, si dhe ashklat e larguara [6].

## 7.1. MODELIMI I REDUKTORIT, LLOGARITJA DHE PARAQITJA GRAFIKE E KARAKTERISTIKAVE TRIBOLOGJIKE

Gjatë punimit të kësaj teme diplome duke shfrytëzuar programet softuerike dhe duke u bazuar në formulat dhe supozimet nga pjesa teorike, janë fituar diagrame dhe vlera të karakteristikave tribologjike, të cilat kanë vërtetuar supozimet nga pjesa teorike dhe njëherit kanë rritur besueshmërinë e shfrytëzimit të këtyre programeve. Rezultatet e marra nga këto programe softuerike me rastin e simulimeve si dhe duke analizuar rastet praktike të dëmtimit të kushinetave rrëshqitëse radiale, lehtësojnë kuptimin dhe analizimin e shkaktarëve të karakteristikave tribologjike tek ky lloj i kushinetave.

Njëri nga softuerët që është përdorur për modelim dhe llogaritje, është programi *SolidWorks*. Në figurat në vazhdim është paraqitur reduktori i modeluar në *SolidWorks*.

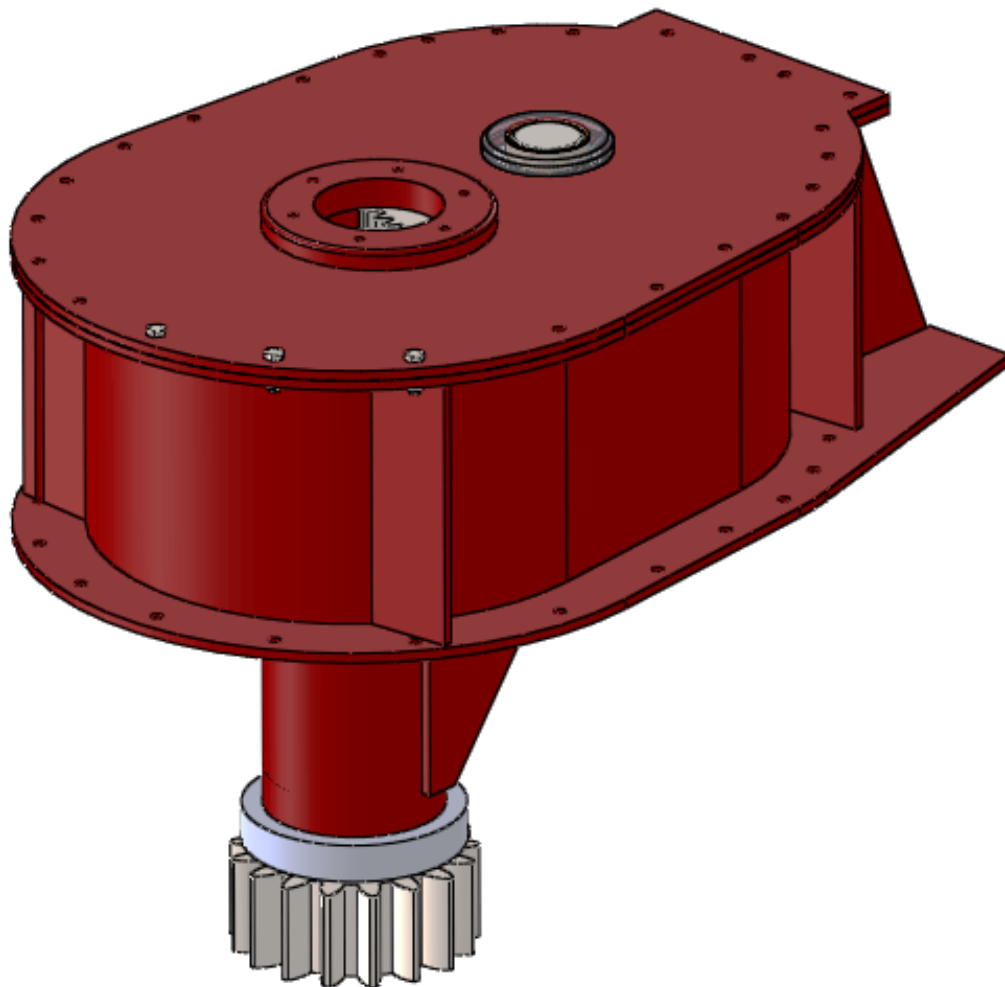


Fig. 7.10. Reduktori i punuar në programin softuerik *SolidWorks*.



Në figurën 7.11, është paraqitur skema e reduktorit të shqyrtuar nga pjesa praktike gjatë vizitës në repartin e pajimeve xehtare në KEK.

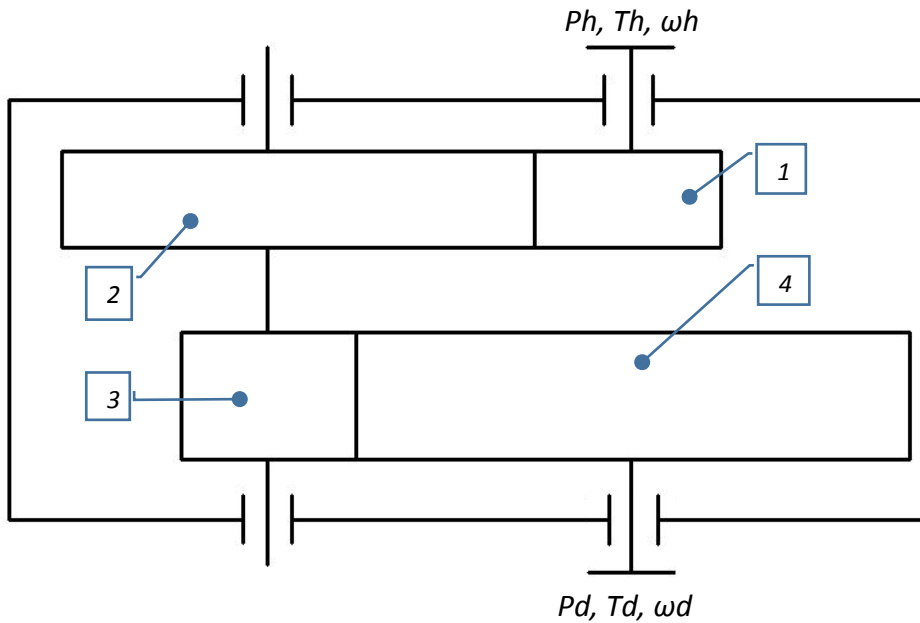


Fig. 7.11. Skema e reduktorit të ekskavatorit SR<sub>s</sub> 470.

Në vazhdim janë paraqitur të dhënat e reduktorit të paraqitur në fig. 7.11.

- $P_H = 10$  [kW]
- $T_H = 61,34$  [kN·m]
- $n_h = 15.6$  [min<sup>-1</sup>]
- $Z_1 = 20$
- $m_{n1} = 12$
- $b_1 = 160$  [mm]
- $Z_3 = 17$
- $m_{n3} = 18$
- $b_3 = 221$  [mm]
- $a_{12} = 747- 450$  [mm]
- $P_D = 9,63$  [kW]
- $T_D = 442,2$  [kN·m]
- $n_d = 2.1$  [min<sup>-1</sup>]
- $Z_2 = 58$
- $m_{n2} = 12$
- $b_2 = 160$  [mm]
- $Z_4 = 44$
- $m_{n4} = 18$
- $b_4 = 220$  [mm]
- $a_{34} = 549$  [mm]

Nga llogaritjet që dalin nga diagrami i forcave të paraqitura në fig. 7.12., forcat të cilat veprojnë në mbështetësin A dhe B përkatësisht në kushineta, kanë vlerat:  $F_A = 31.494$  [kN] dhe  $F_B = 27.984$  [kN].

Pasi që ekskavatori gjatë mihjes së thëngjillit, me rastin e lëvizjes horizontale të krahut dhe me ç’rast hyn në punë reduktori i shqyrtuar, hasë në rezistenca të ndryshme. Atëherë gjatë llogaritjeve në vazhdim jepet një diapazon më i gjerë i intensitetit të veprimit të forcave në kushineta.

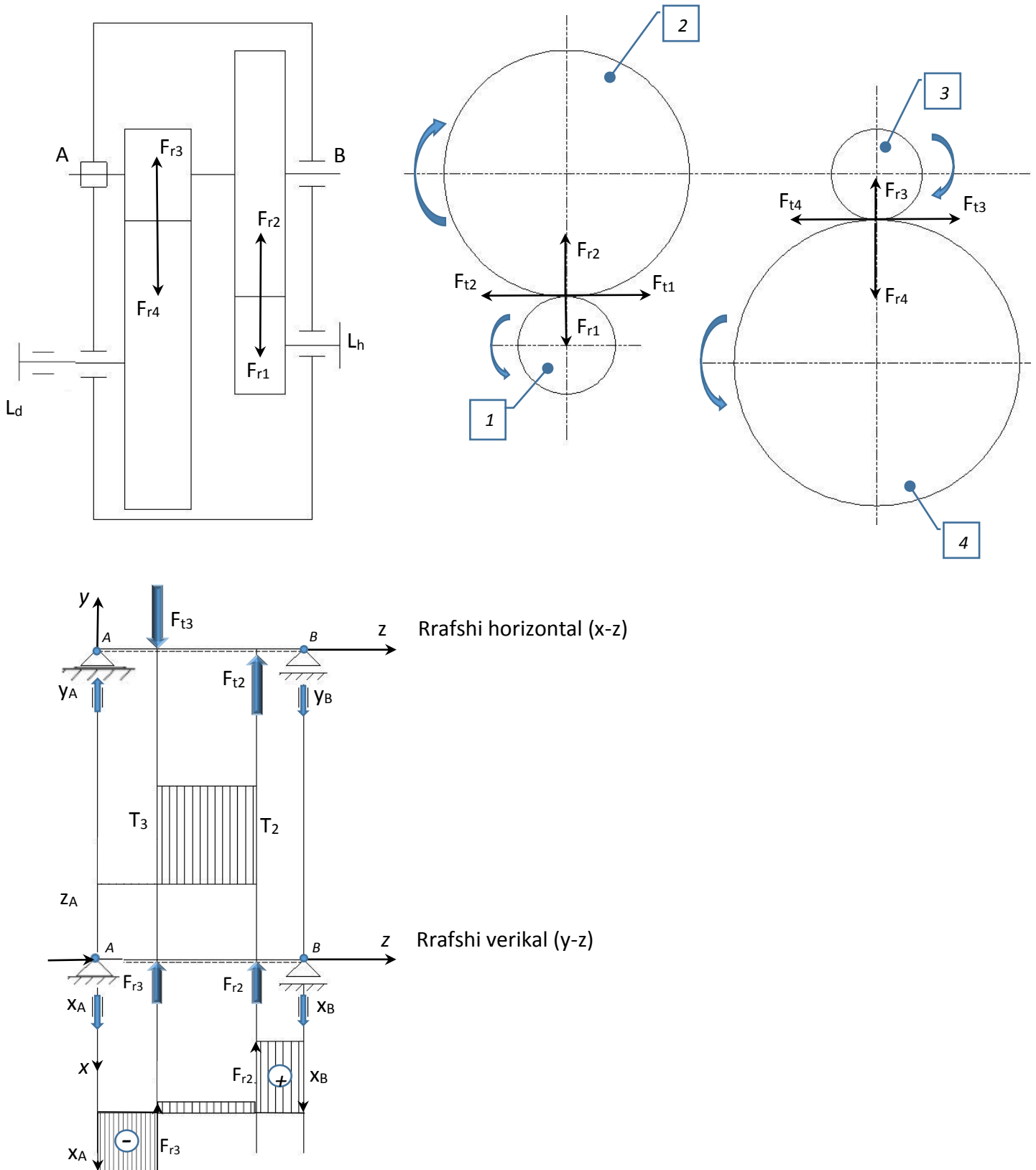


Fig. 7.12. Diagrami i forcave të cilat veprojnë në reduktorin e ekskavatorit SRs 470, të shqyrtuar në pjesën praktike në KEK.

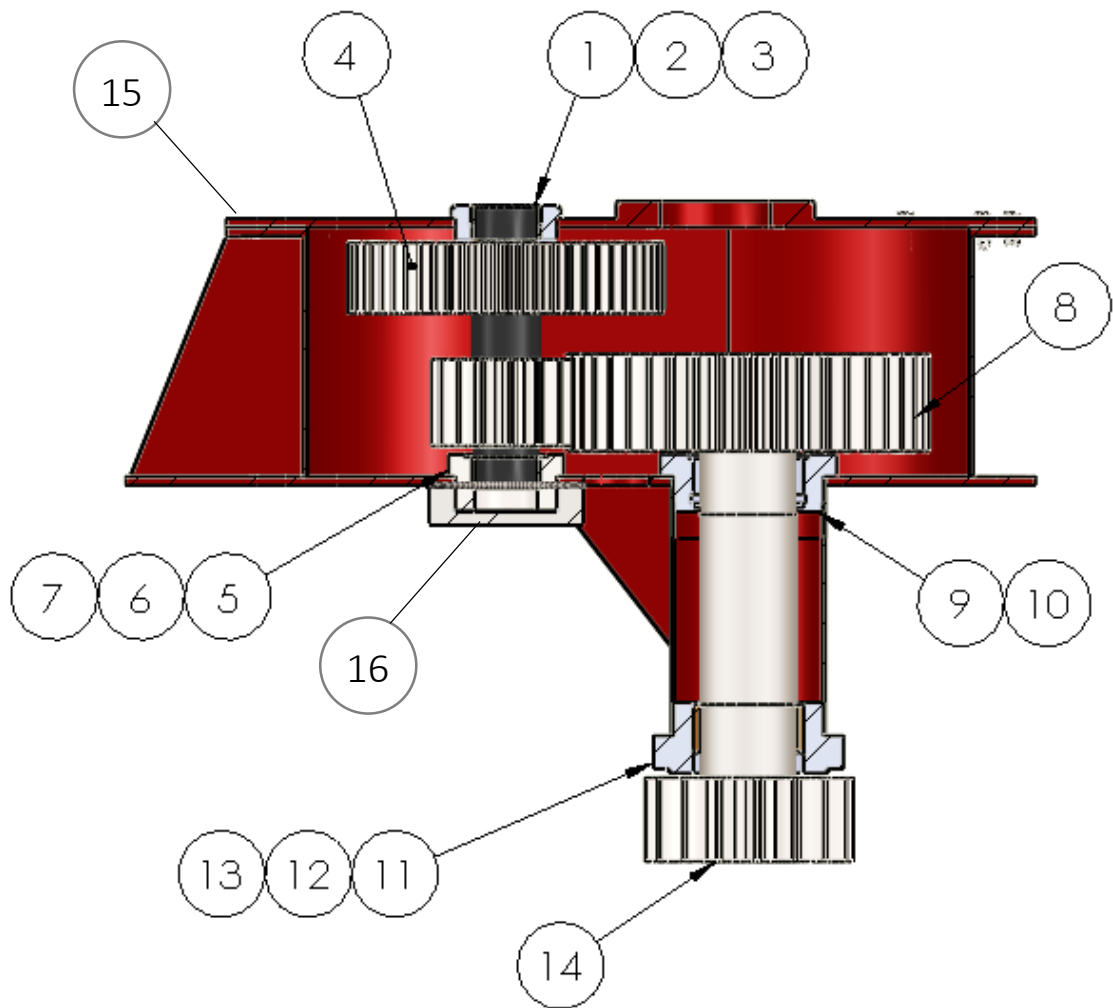


Fig. 7.13. Prerja gjatësore e reduktorit të ekskavatorit SR<sub>s</sub> 470.

(1- Unaza e kushinetës nr. 1, 2- shtëpiza e kushinetës, 3- boshti nr. 1, 4- dhëmbëzori nr.1, 5- unaza e kushinetës nr. 2, 6- shtëpiza e kushinetës nr. 2, 7- dhëmbëzori 2, 8- dhëmbëzori nr. 3, 9- unaza e kushinetës nr. 3, 10- shtëpiza e kushinetës nr. 3, 11 unaza e kushinetës nr. 4, 12- shtëpiza e kushinetës nr. 4, 13- boshti 2, 14- dhëmbëzori nr. 4, 15- shtëpiza e reduktorit, 16- kanali për lyerje).

Në fig. 7.13., janë paraqitur pjesët kryesore përbërëse të reduktorit të ekskavatorit të shqyrtuar SR<sub>s</sub> 470, me rastin e prerjes gjatësore të tij. Ky reduktor përmbanë gjithsej 5 kushineta rrëshqitëse radiale, 3 nga këto kushineta janë të vendosura në shtëpizën e reduktorit ndërsa 2 të tjra në kapakun e reduktorit. Njëra nga 5 kushinetat nuk kalkullohet si tërësi e këtij reduktori, por si pjesë e reduktorit tjetër i cili montohet sipër. Ky reduktor përbëhet nga 2 boshte me diametër të ndryshëm.

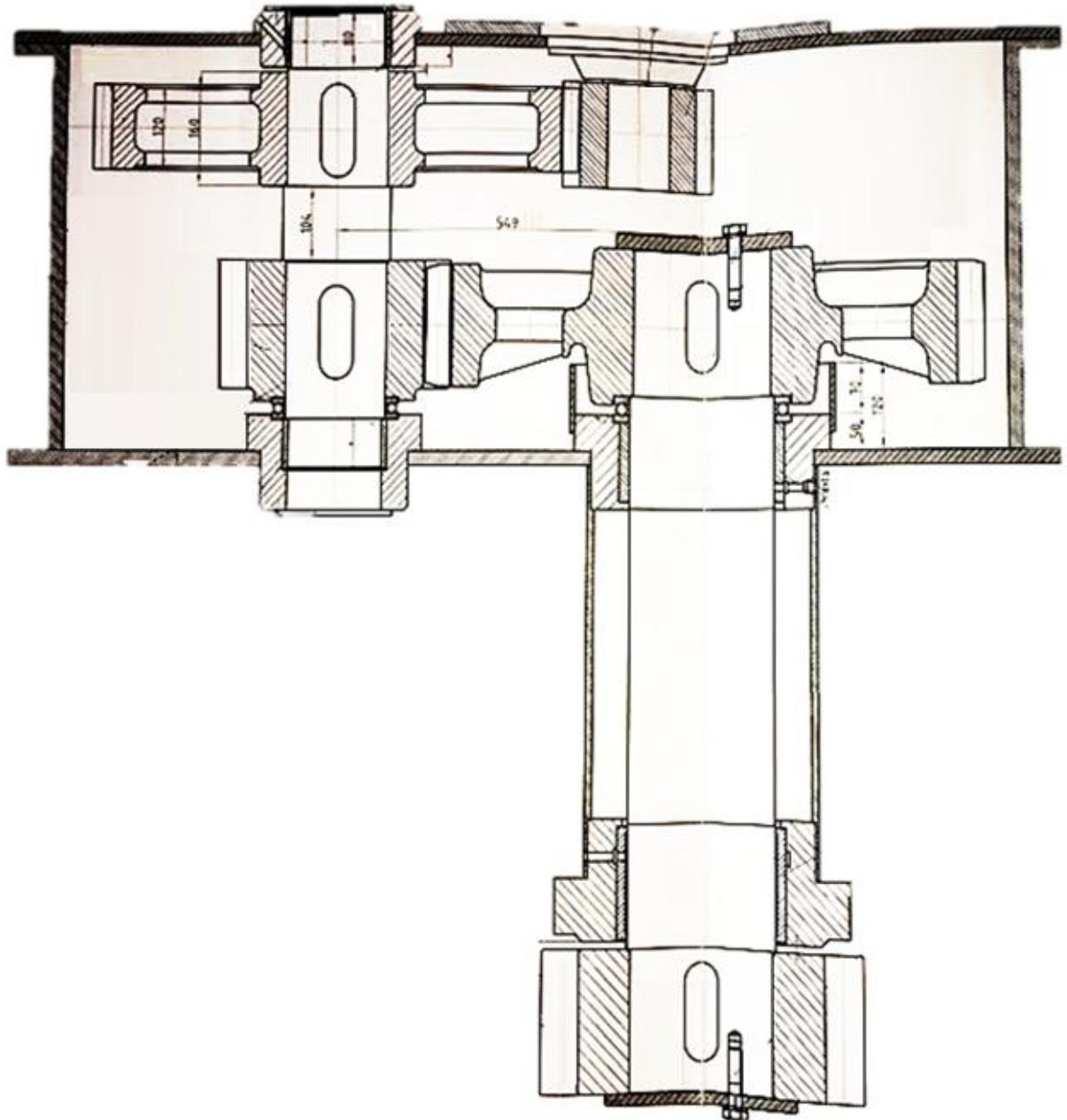


Fig. 7.14. Prerja gjatësore e reduktorit të ekskavatorit SR<sub>s</sub> 470 [6].

Në vazhdim është bërë llogaritja e hapësirave ndërmjet kushinetave rrëshqitëse radiale të përdorura tek reduktori i shqyrtuar nga pjesa praktike në KEK, përkatësisht unazave të kushinetave dhe boshteve.

- Për diametrin e dorzës së boshtit 1:  $d_1 = \phi 140\ h7$  [mm]:
  - *shmangia e epërme kufitare*:  $es_1 = 0$  [ $\mu\text{m}$ ],
  - *shmangia e poshtme kufitare*:  $ei_1 = -40$  [ $\mu\text{m}$ ],
  - *Përmasa e epërme kufitare*:  $de_1 = 140$  [mm],
  - *Përmasa e poshtme kufitare*:  $de_1 = 139.960$  [mm],
  - *toleranca*:  $t_1 = 40$  [ $\mu\text{m}$ ].

Për diametrin e brendshëm të unazës së kushinetës 1:  $D_2 = \phi 140 E8 [mm]$ :

- *shmangia e epërme kufitare:  $ES_2 = 148 [\mu m]$ ,*
- *shmangia e poshtme kufitare:  $EI_2 = 85 [\mu m]$ ,*
- *Përmasa e epërme kufitare:  $De_2 = 140.148 [mm]$ ,*
- *Përmasa e poshtme kufitare:  $Dp_2 = 140.085 [mm]$ ,*
- *toleranca:  $T_2 = 40 [\mu m]$ .*

Nga llogaritjet që dalin për tolerancat përkatëse, përkatësisht shmangiet e fushave toleruese për dorëzën e boshtit- 1 dhe unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale- 1, hapësira diametrale ndërmjet dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale për përmasën e epërme kufitare të diametrit të boshtit dhe përmasës e poshtme kufitare të diametrit të brendshme të unazës së kushinetës është:  $He = 0.125 [mm]$ . Ndërsa hapësira e poshtme  $Hp = 0.085 [mm]$ .

➤ Për diametrin e dorëzës së boshtit 2:  $d_3 = \phi 220 h7 [mm]$ :

- *shmangia e epërme kufitare:  $es_3 = 0 [\mu m]$ ,*
- *shmangia e poshtme kufitare:  $ei_3 = -46 [\mu m]$ ,*
- *Përmasa e epërme kufitare:  $de_3 = 220 [mm]$ ,*
- *Përmasa e poshtme kufitare:  $dp_3 = 219.954 [mm]$ ,*
- *toleranca:  $t_3 = 46 [\mu m]$ .*

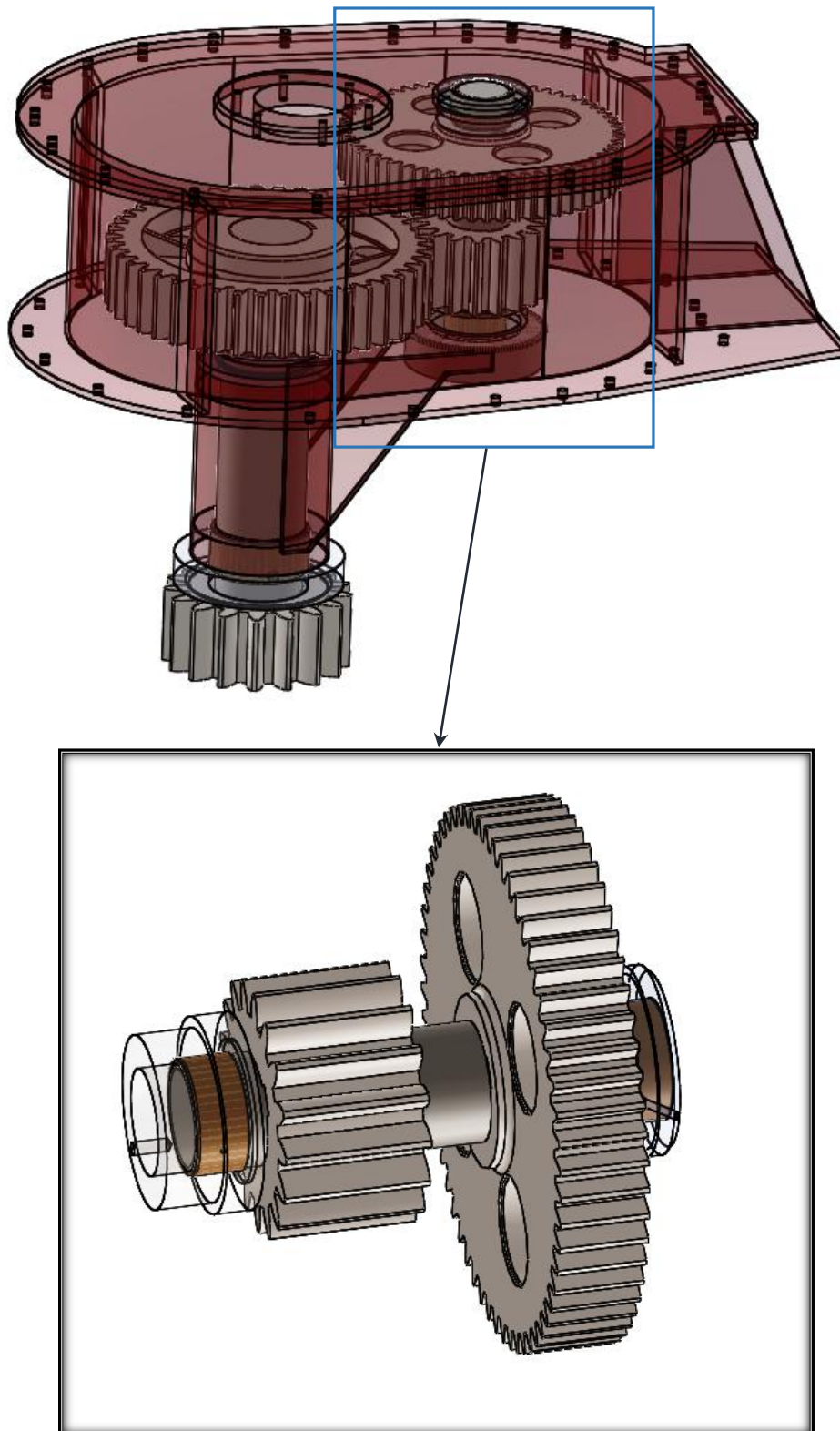
Për diametrin e brendshëm të unazës së kushinetës 4:  $D_4 = \phi 220 E8 [mm]$ :

- *shmangia e epërme kufitare:  $ES_4 = 172 [\mu m]$ ,*
- *shmangia e poshtme kufitare:  $EI_4 = 100 [\mu m]$ ,*
- *Përmasa e epërme kufitare:  $De_4 = 220.172 [mm]$ ,*
- *Përmasa e poshtme kufitare:  $Dp_4 = 200.172 [mm]$ ,*
- *toleranca:  $T_4 = 72 [\mu m]$ .*

Nga llogaritjet paraprake që dalin për tolerancat e dorëzës së boshtit-2 dhe unazës së kushinetës-2 hapësira e poshtme kufitare është:  $Hp = 0.218 [mm]$ , ndërsa hapësira e epërme kufitare  $He = 0.085 [mm]$ . Vendosja e dorëzës së boshtit në unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale është vendosje e lirë. Hapësira radiale ndërmjet dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale, për rastin konkret më së shumti mund të jetë 0.125 [mm].

Në përbërjen e këtij reduktori, pasi që është i vendosur vertikalisht, janë të vendosura edhe kushineta aksiale të cilat eliminojnë veprimin e peshave të boshteve, dhëmbëzorëve dhe forcave tjera të cilat veprojnë përgjatë aksit vertikal. Prandaj në llogaritjen e reduktorit, përkatësisht në analizën e ndikimit të ngarkesave në karakteristikat tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale, nuk merret parasysh ndikimi i këtyre forcave.

Në fig. 7.15., janë paraqitur kushinetat rrëshqitëse radiale të cilat do të analizohen, së bashku me boshtin 1 dhe dhëmbëzorët.



*Fig. 7.15. Reduktori i modeluar në programin softuerik SolidWorks, si dhe paraqitja e unazave të kushinetave, shtëpizave të tyre dhe dhëmbëzorëve të boshti 1.*



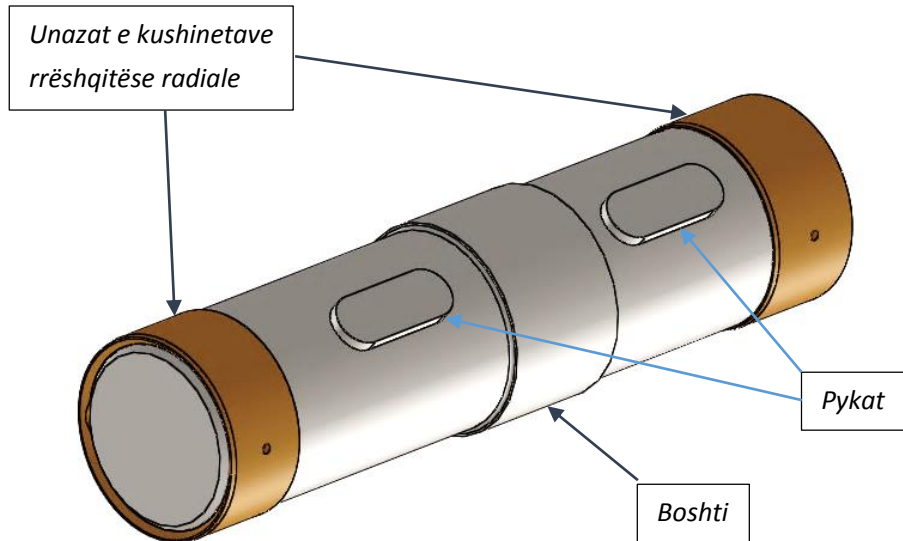


Fig. 7.16. Njëri nga boshtet e reduktorit (boshti 1) së bashku me pyka dhe unaza të kushinetave.

Në fig. 7.17., është paraqitur veprimi i ngarkesave në unazat e kushinetës rrëshqitëse radiale gjatë simulimit me anë të programit softuerik *SolidWorks*. Unazat e kushinetave rrëshqitëse radiale janë fiksuar ndërsa boshti rrotullohet me një shpejtësi këndore dhe moment të caktuar.

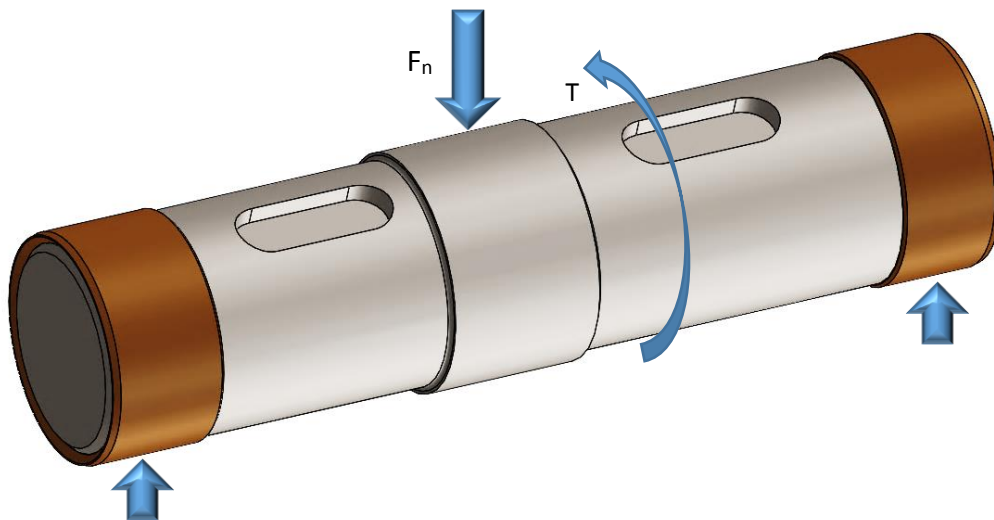


Fig. 7.17. Paraqitja e veprimit të momentit rrotullues në boshtin 1 si dhe forcat e reaksionit në unaza të kushinetave.

Për simulim janë zgjedhur unazat e kushinetave të njërit nga boshtet e reduktorit, ndërsa janë analizuar sforcimet, deformimet, zhvendosjet, fërkimet, me rastin e kontaktit të boshtit me unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale nën veprimin e ngarkesave të ndryshme.

Nga fig. 7.18., shihet se si dorëza e boshtit me diametër  $\varnothing 140$  h7, rrëshqet në sipërfaqen e brendshme të unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale  $\varnothing 140$  E8. Hapësira diametrale është në nivel të disa mikrometra. Gjatë rrëshqitjes së boshtit në sipërfaqen e brendshme të pa lyer të unazës së kushinetës krijohen sforcime në zonën e kontaktit, fërkim, lirohet nxehtësi për shkak të kontaktit si dhe ka humbje të fuqisë.

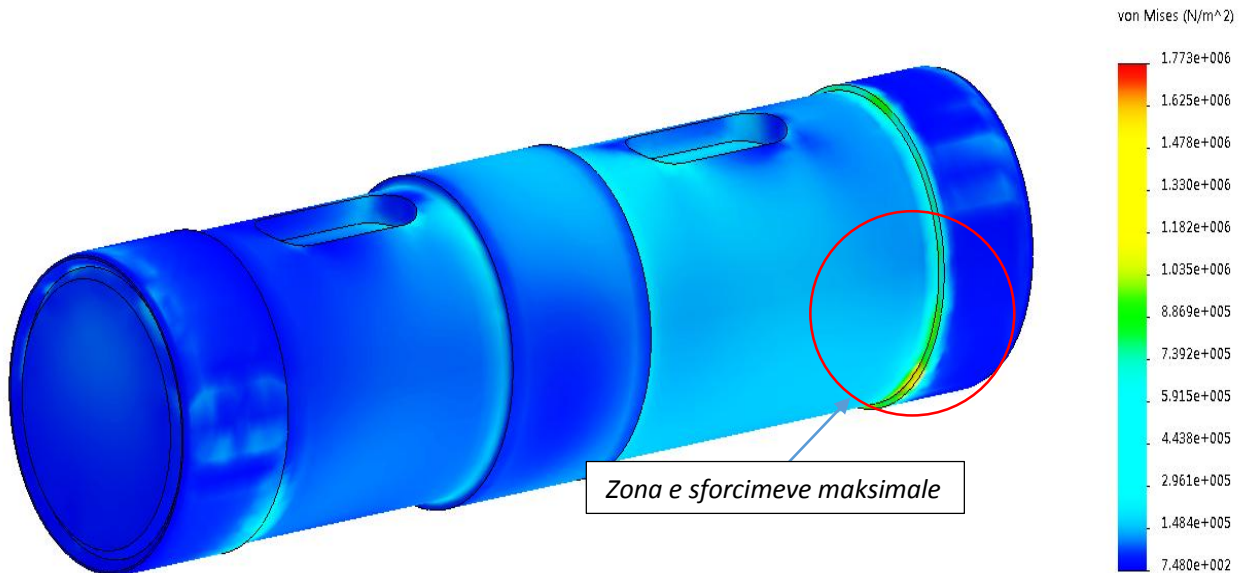


Fig. 7.18. Zona e sforcimeve maksimale gjatë simulimit të kontaktit të dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës dhe nën veprimin të ngarkesave.

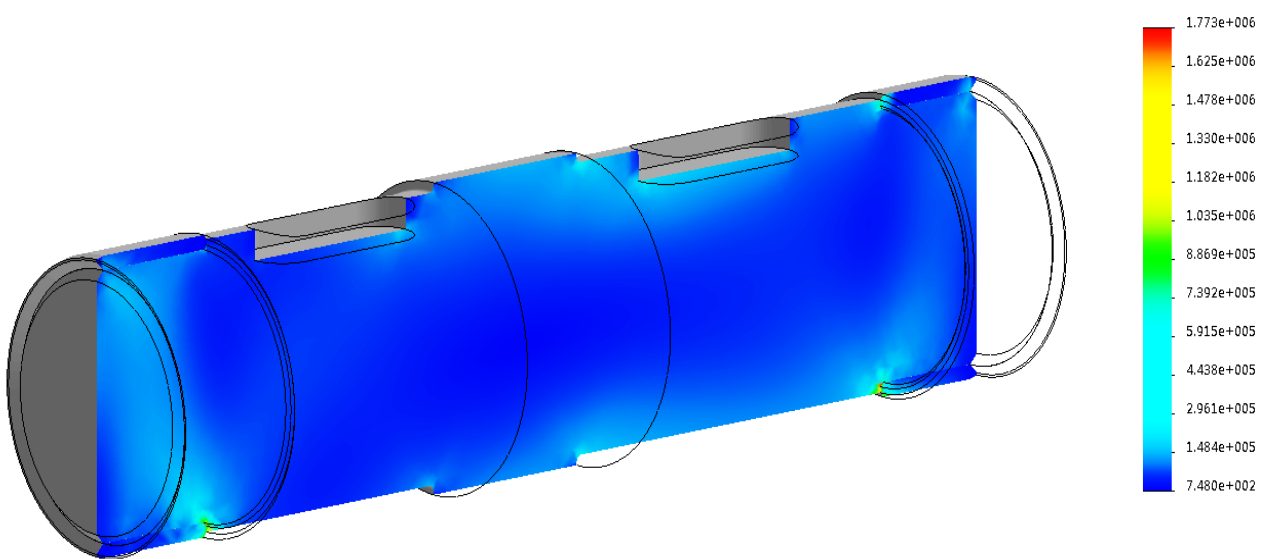


Fig. 7.19. Paraqitja izometrike e prerjes gjatësore gjatë simulimit të veprimin të ngarkesave në unazën e kushinetave rrëshqitëse radiale.

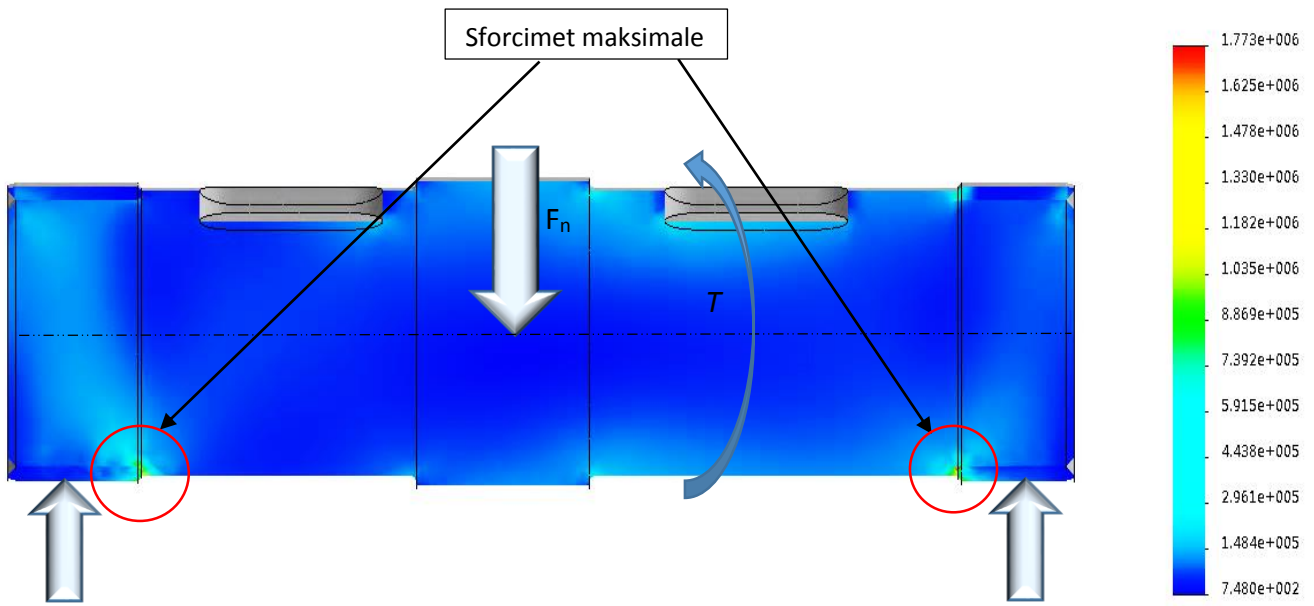


Fig. 7.20. Prerja gjatësore e boshtit dhe unazave të kushinetave gjatë simulimit.

Për kuptim dhe analizim të shpërndarjes së sforcimeve në zonën e kontaktit në brendësi të materialeve, programi *SolidWorks* na mundëson prerjen cilindrike në brendësi të tyre. Në fig. 7.21., është paraqitur prerja cilindrike në brendësi të materialeve.

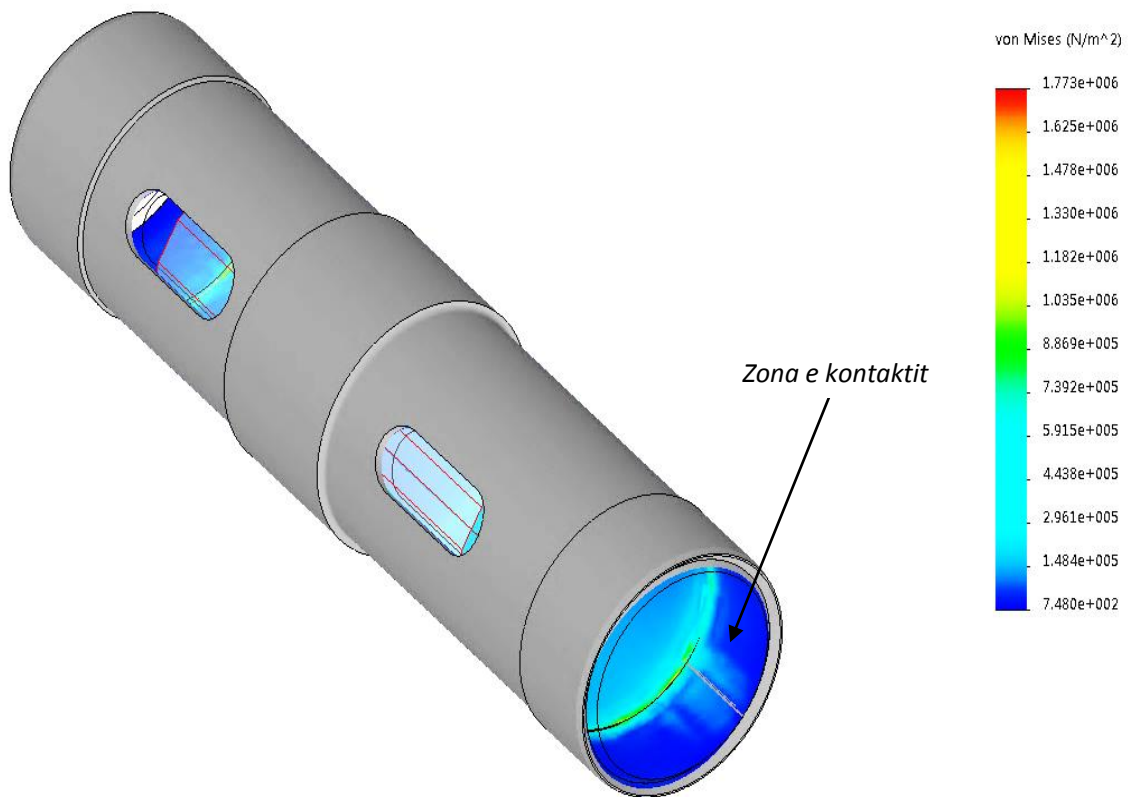


Fig. 7.21. Prerja cilindrike e boshtit dhe unazës së kushinetës në mënyrë të përcaktimit të sforcimit maksimal në zonën e kontaktit.

Në fig. 7.22., është paraqitur një pamje më e afërt e sforcimeve në zonën e kontaktit të dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës, me rastin e prerjes cilindrike.

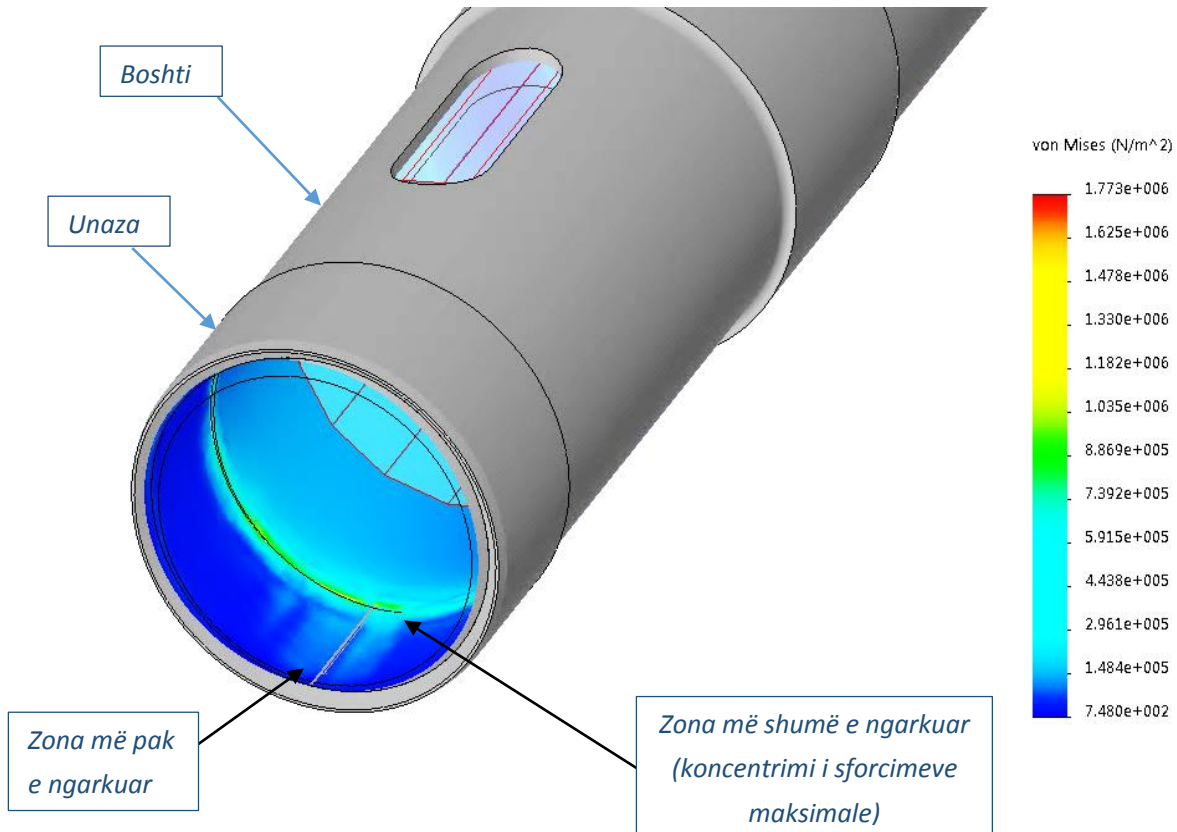
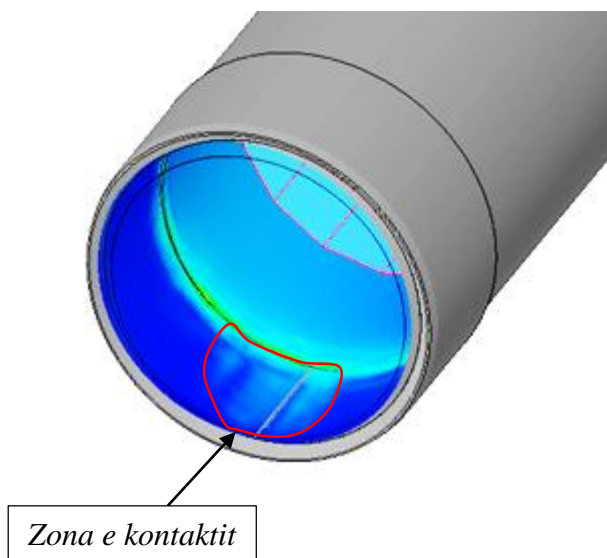


Fig. 7.22. Prerja cilindrike e boshtit në mënyrë të përcaktimit të sforcimit në zonën e kontaktit të boshtit dhe unazës së kushinetës.

Nën veprimin e (mbi) ngarkesave në bosht, shfaqen edhe deformime (qofshin edhe të vogla) elastike (ose edhe plastike) të boshtit të cilat pastaj ndikojnë që aksi gjeometrik i dorëzës së boshtit të devijojë nga aksi gjeometrik i unazës së kushinetës.



Me rastin e devijimit, zona e kontaktit ndërmjet dorëzës dhe unazës së kushinetës, nuk është më zonë drejkëndëshe e cila shpërndahet përgjatë gjithë gjatësisë së kushinetës, por që zgjerohet në anën e boshtit dhe mbyllet në formë elipse në pjesën tjetër të unazës.

Fig. 7.23. Zona e kontaktit të dorëzës së boshtit dhe unazës së kushinetës.

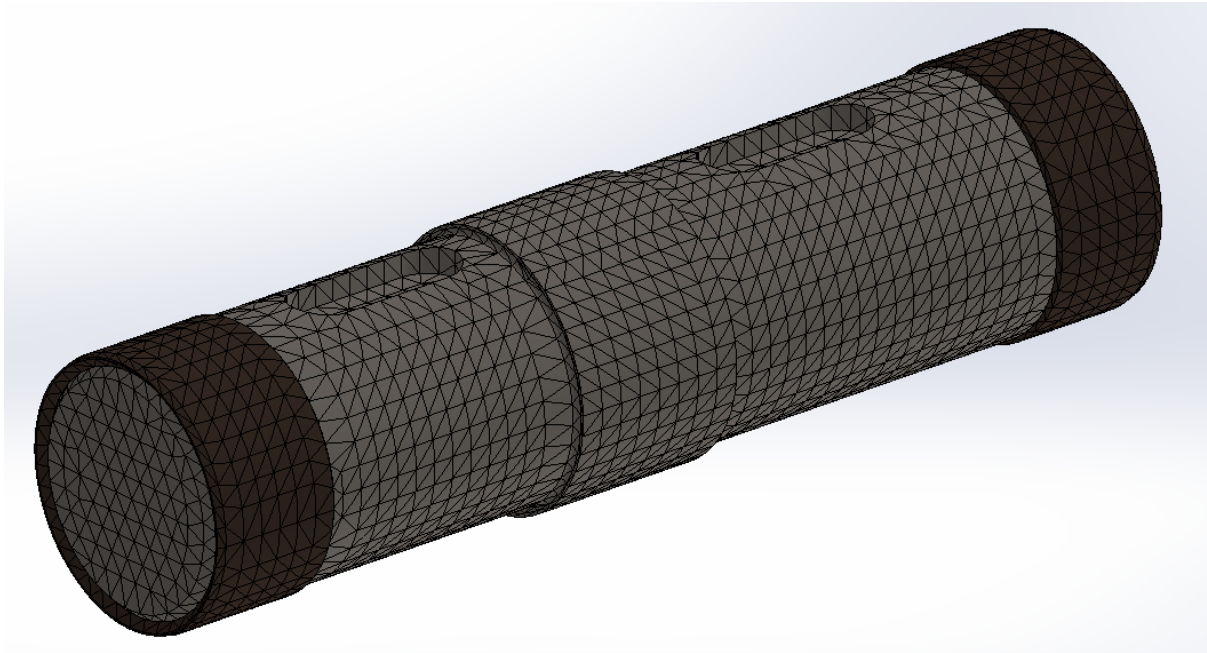


Fig. 7.24. Krijimi i rrjetave elementare (ang. mesh) për llogaritje me rastin e simulimit.

Me rastin e simulimit të veprimit të ngarkesës në bosht, i cili kontakton pastaj direkt unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale, fillimisht duhet të krijohen rrjetat elementare trekëndëshe (ang. mesh), të caktohen pjesët fikse dhe të ngarkohet bosht me forcën normale apo momentin e caktuar.

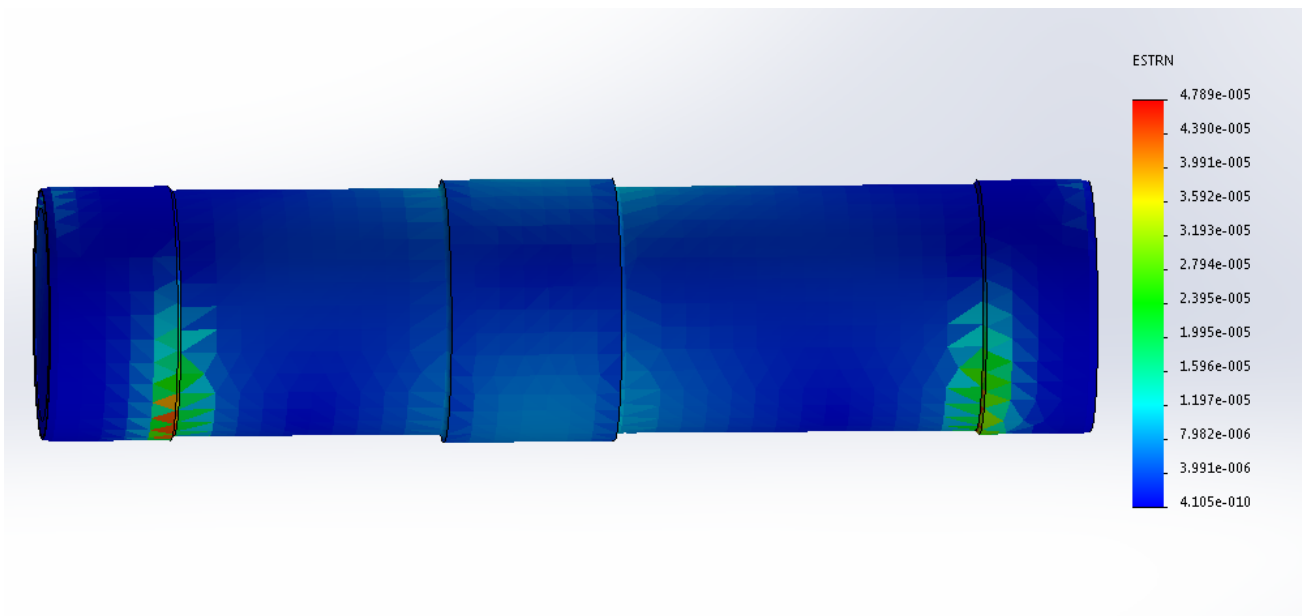


Fig. 7.25. Lodhja unazës së kushinetës me rastin e veprimit të ngarkesës prej 30[kN].

Në fig. 7.25., janë paraqitur zonat në të cilat veprimi i ngarkesës prej 30 [kN] ndikon më shumë dhe shkakton dëmtime për shkak të lodhjes. Këto zona janë të shfaqura në unazën e kushinetës, përkatësisht në zonën e kontaktit ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës.



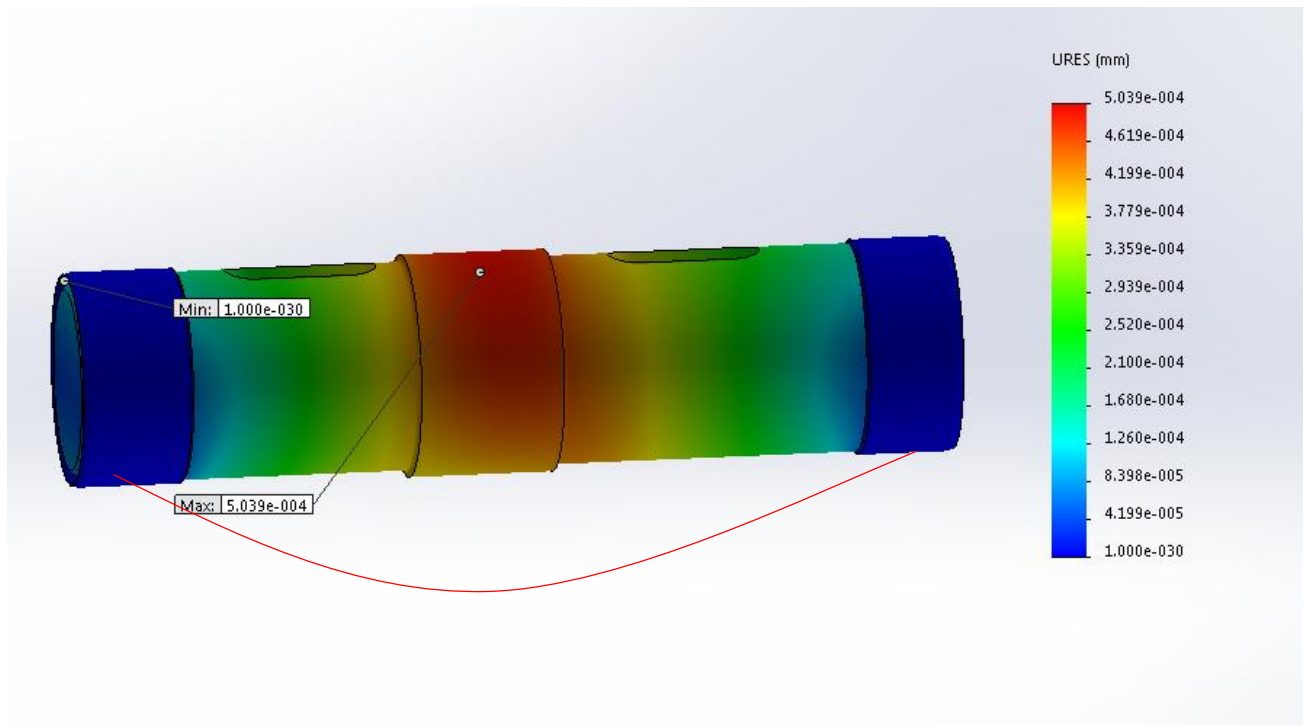


Fig. 7.26. Deformimet maksimale ne bosht dhe unazën e kushinetës, me rastin e veprimit të ngarkesës prej 30 [kN].

Në fig. 7.26., janë paraqitur deformimet maksimale, me rastin kur vepron forca prej 30 [kN]. Deformimet maksimale në bosht kanë arritur vlerën prej 5.039e-004 [mm].

Me rastin e rritjes së forcës vepruese në bosht nga:  $F = 30000 [N]$ , në:  $F = 50000 [N]$ , atëherë vlerat e sforcimeve, spostimeve dhe deformimeve rriten.

Vlerat maksimale të sforcimeve, spostimeve dhe deformimeve për unazën e kushinetës shpërndahen përgjatë zonës kontaktuese të saj me boshtin.

Në fig. 7.26., janë paraqitur zonat të cilat dëmtohen për shkak të lodhjes nga kontakti direkt i boshtit dhe unazës së kushinetës. Pasi që ngarkesa ndikon që aksi gjeometrik i boshtit të devijoj pak nga aksi gjeometrik i unazës së kushinetës dhe meqenëse hapësira diametrale është mikrometrike, atëherë boshti prek edhe pjesën lart të kushinetës. Prandaj dëmtimi më i madh ndodhë në pjesën e poshtme të paraqitur në fig. 8.14, mirëpo dëmtohet edhe pjesa e kushinetës lartë.

Në simulimin e kontaktit ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës së paraqitur në fig. 7.27., në bosht veprohet me forcën prej: 50 [kN].



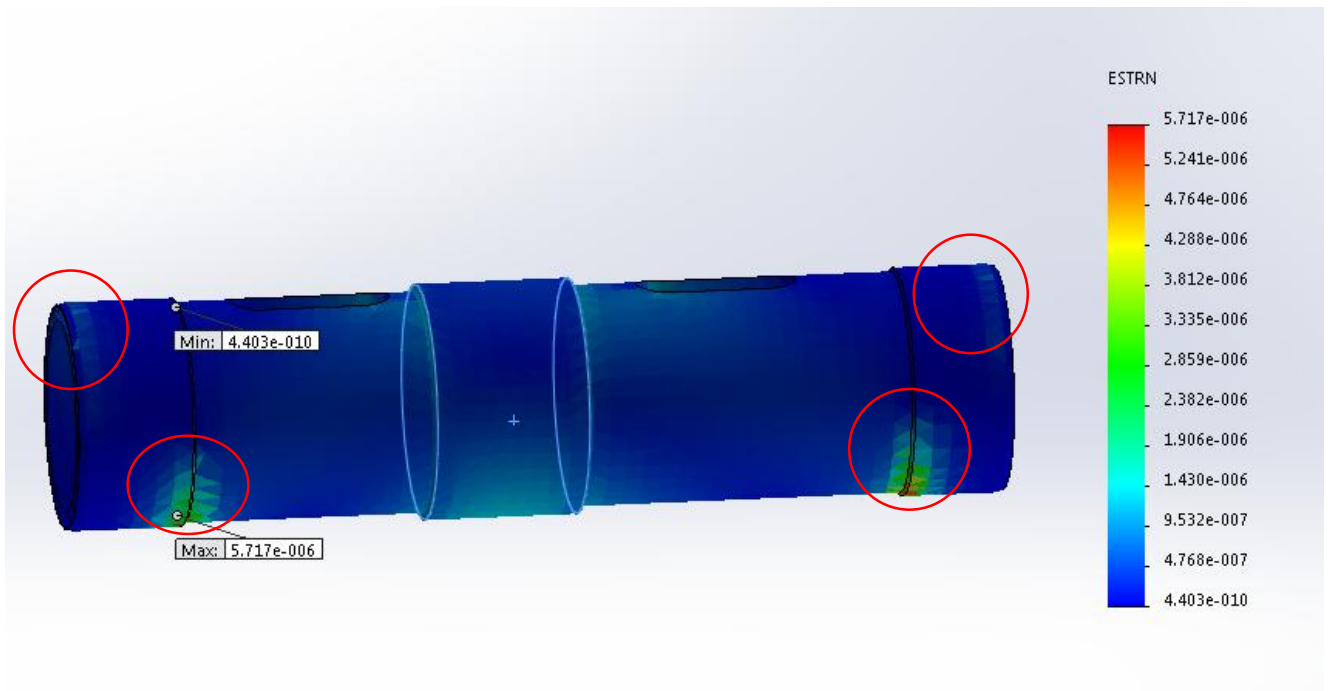


Fig. 7.27. Zonat të cilat dëmtohen me rastin e veprimit të ngarkesës.

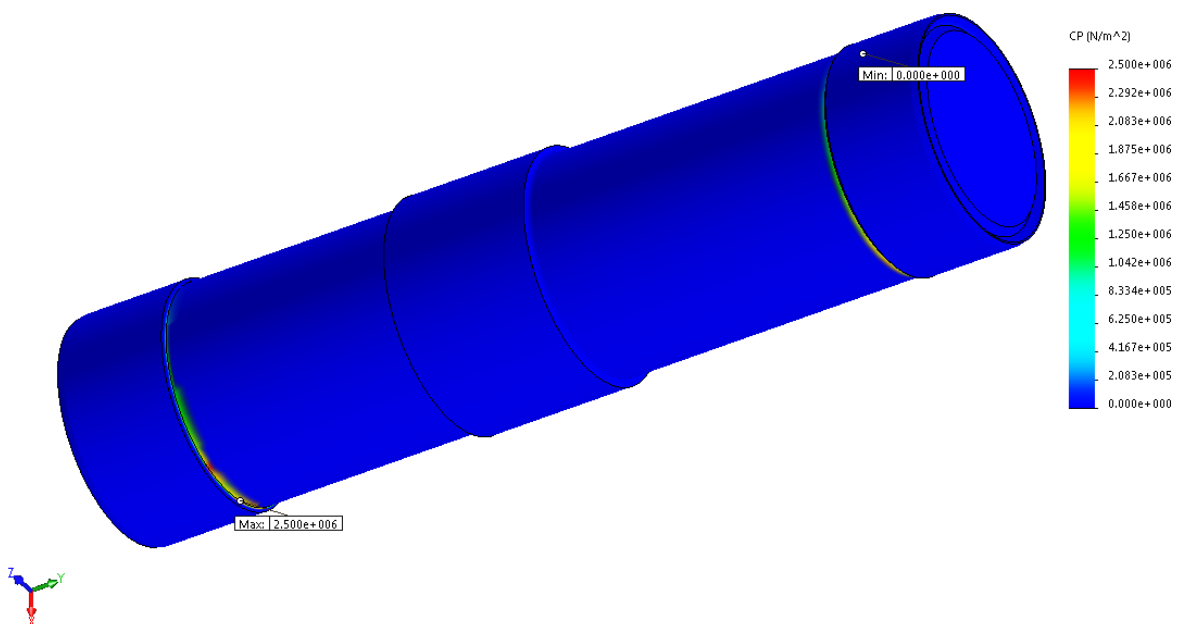


Fig. 7.28. Presioni maksimal në kontakt me rastin e veprimit të forcës prej 50 [kN].

Në figurat e paraqitura më lartë, si dhe në figura në vazhdim të literaturës në të cilat janë paraqitur rastet e simulimit me anë të programit *SolidWorks*, shiriti me vlera në anën e djathtë paraqet vlerat e fituara me rasitn e simulimit. Ngjyra e kuqe njëherit paraqet vlerat më të larta ndërsa duke zbritur nga ngjyra e kaltër vlerat bien.

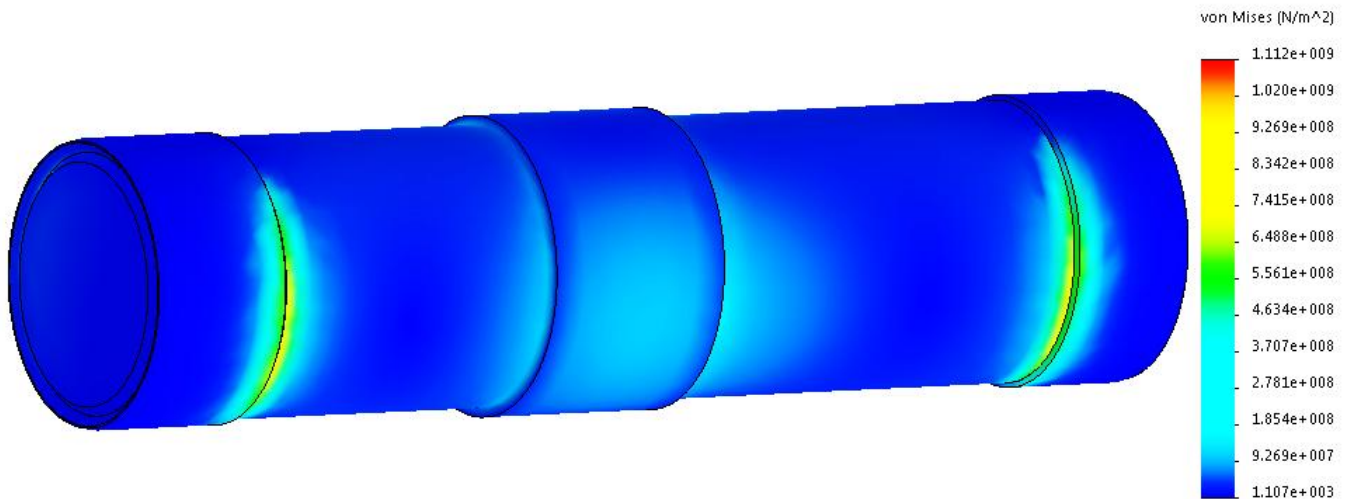


Fig. 7.29. Sforcimet maksimale me rastin e veprimit të forcës prej 50 [kN].

Sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes për unazën e kushinetës me rastin e veprimit të forcës prej 50 [kN], në zonën e kontaktit kanë arritur vlerën 1.112e+009 [N/m<sup>2</sup>] fig. 7.29.

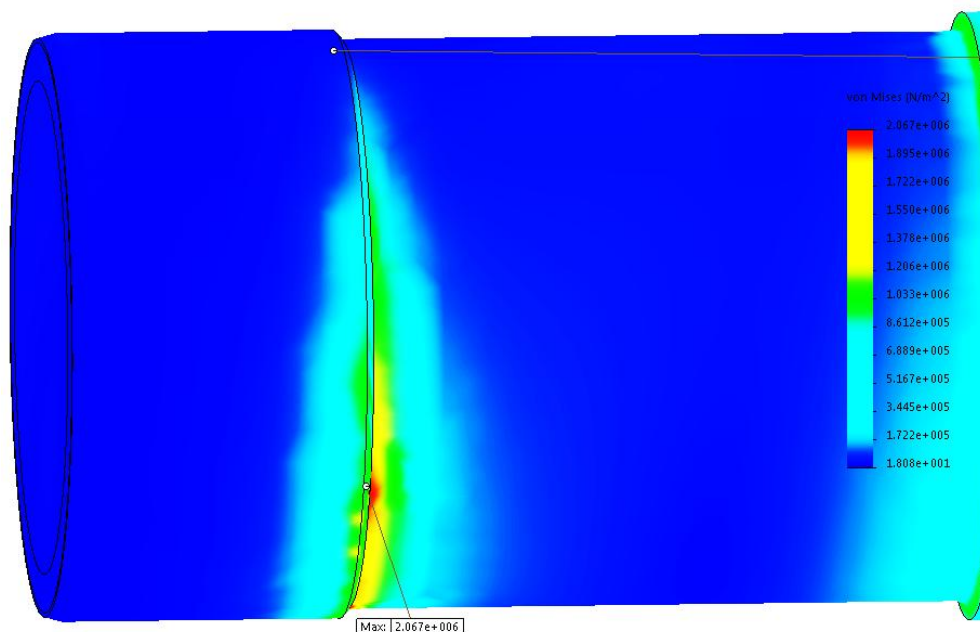


Fig. 7.30. Sforcimet maksimale me rastin e veprimit të forcës prej 50 [kN].

Sforcimet maksimale në kufirin e rrjedhjes me rastin e veprimit të forcës prej F=50000 [N] arrijnë vlerën maksimale  $\sigma_m = 2.067e+006$  [N/m<sup>2</sup>]. Këto sforcime janë shfaqur në zonën e kontaktit të boshtit me unazën e kushinetës.

Në fig. 7.31., janë paraqitur deformimet e boshtit me rastin e veprimit të ngarkesës prej:  $50 [kN]$  në mes të gjysmë anës së djathtë të boshtit. Gjithashtu në fig. 7.32., është bërë një paraqitje më e afërt e sforcimeve me rastin e veprimit të kësaj ngarkese prej:  $50 [kN]$ .

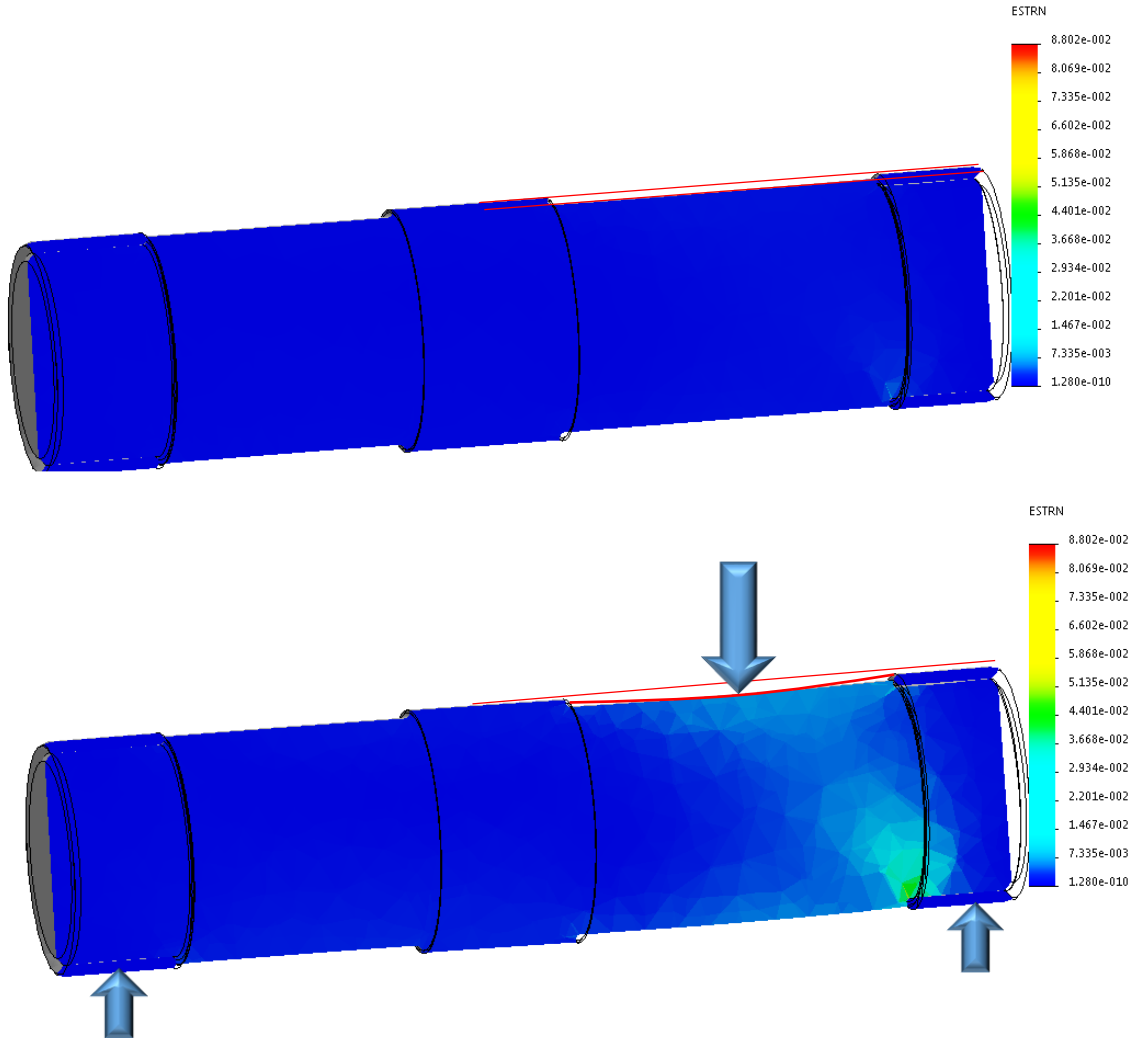


Fig. 7.31. Deformimet në bosht dhe në unazën e kushinetës me rastin e veprimit të forcës prej  $50 [kN]$ .

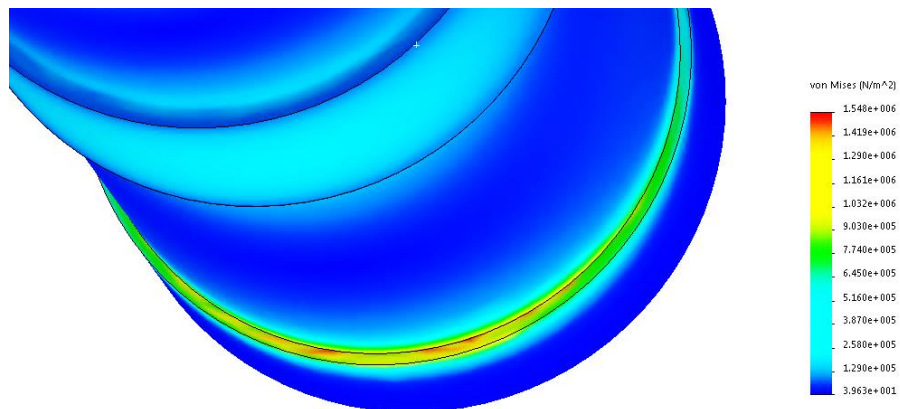


Fig. 7.32. Sforcimet në unazën e kushinetës.

## 7.2. PARAQITJA GRAFIKE E REZULTATEVE TË FITUARA DUKE APLIKUAR PROGRAMIN MATHCAD

Fërkimi, gërryerja, lyerja, si karakteristika tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale kanë ndikimet e tyre negative, që rezultojnë në humbje të materialit dhe që manifestohen pastaj në humbje të fuqisë. Prandaj njohja dhe analizimi i efekteve tribologjike është me rëndësi të veçantë.

Duke shfrytëzuar programin softuerik Mathcad dhe duke aplikuar formulat nga pjesa teorike, për vlera të ndryshme të veprimit të ngarkesave dhe parametrave tjerë, janë fituar diagrame me vlera të ndryshme të karakteristikave tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale, duke përfshirë edhe rastin e kushinetave rrëshqitëse radiale të reduktorit të shqyrtuar në pjesën praktike. Nga shprehja [2.19] me ndihmën e programit Mathcad është fituar fig. 7.33.

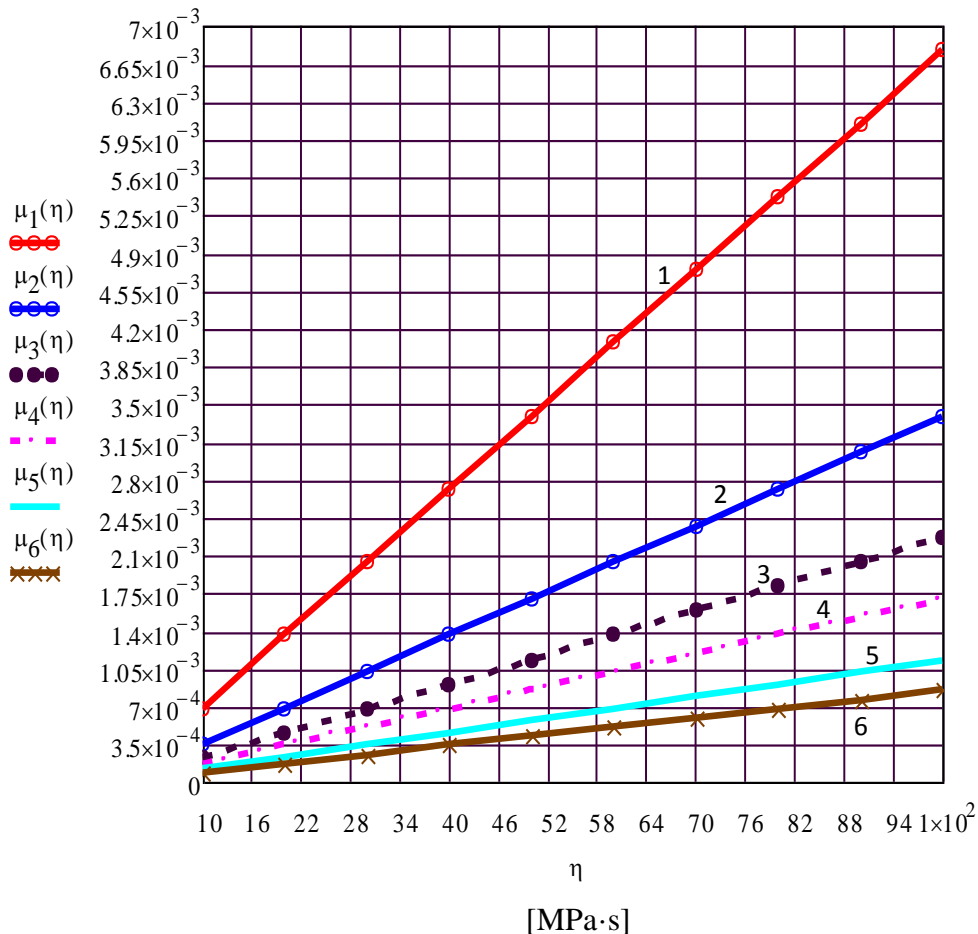


Fig. 7.33. Koeficienti i fërkimit me rastin e ndryshimit të viskozitetit të lyerësit dhe ngarkesave.

(1- për ngarkesë 10 [kN], 2- për ngarkesë 20 [kN], 3- për ngarkesë 30 [kN], 4- për ngarkesë 40 [kN], 5- për ngarkesë 60 [kN], 6- për ngarkesë 80 [kN]).

Diagrami me vlerat e fituara i paraqitur në fig. 7.33., paraqet ndryshimin e vlerës së koeficientit të fërkimit tek kushinetat hidrodinamike me rastin e lyerjes së plotë, me përdorim të lyerësve me viskozitet të ndryshëm dhe nën veprimin e ngarkesave me intensitet të ndryshëm.

Me rastin e lyerjes së plotë fërkimi i cili pengon lëvizjen e boshtit është fërkimi ndërmjet shtresave të lyerësit, prandaj viskoziteti i lyerësit të përdorur është parametër i rëndësishëm tek ky lloj i kushinetave.

Nga drejtëzat e fituara shihet se me rritjen e viskozitetit, rritet edhe koeficienti i fërkimit. Shihet nga rezultatet e fituara se fërkimi më i madh ndodhë për lyerësin me viskozitet:  $\eta = 100 \text{ [MPa}\cdot\text{s]}$ , me rastin kur në të vepron ngarkesa prej 30 [kN] (drejtëza 1).

Gjatë llogaritjes së kushinetave rrëshqitëse radiale- hidrodinamike, bëhet llogaritja e momentit të nevojshëm për mposhtjen e sforcimit në shkëputje të lyerësit.

Duke e shfrytëzuar shprehjen [2.13] për vlera të ndryshme të diametrit të dorëzës së boshtit dhe viskozitet të lyerësit, është fituar diagrami me vlerat përkatëse të momentit për mposhtjen e sforcimeve në shkëputje të lyerësit, i paraqitur në fig. 7.34.

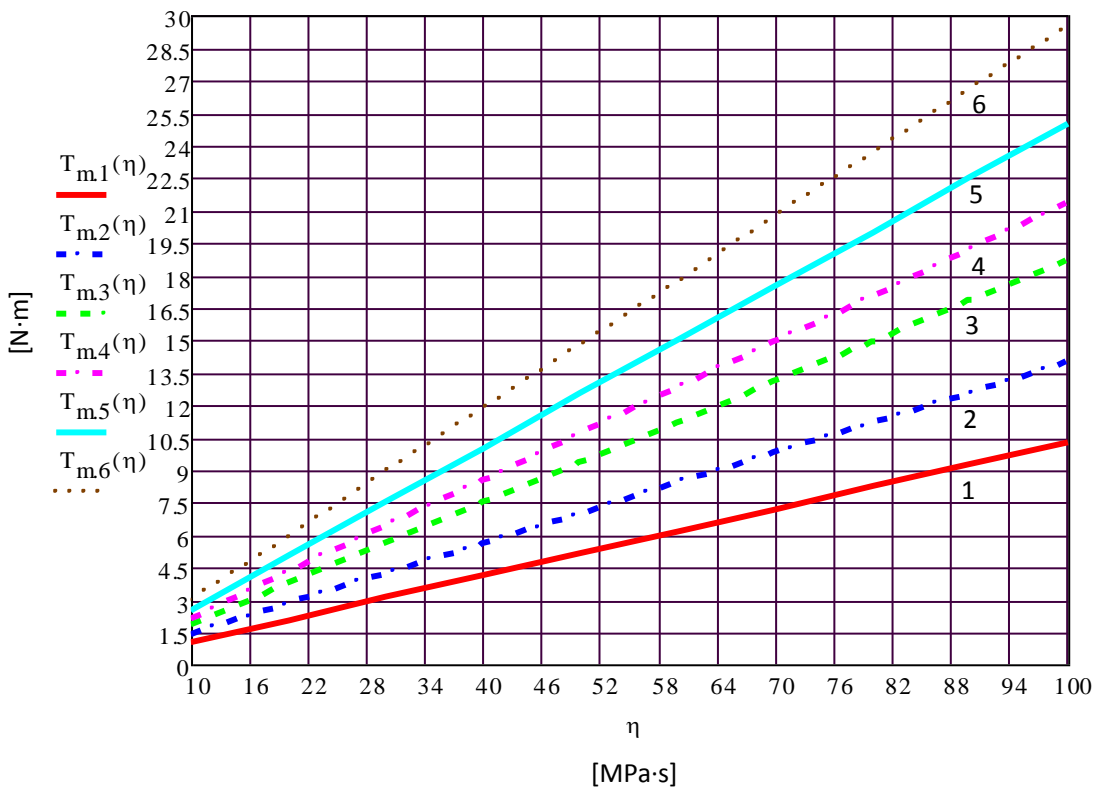


Fig. 7.34. Momenti i nevojshëm për mposhtjen e sforcimeve në shkëputje të lyerësit, për diametër të ndryshëm të dorëzës së boshtit dhe lyerësve me viskozitet të ndryshëm.

(1- për diametër të boshtit  $\phi 140 \text{ [mm]}$ , 2- për diametër të boshtit  $\phi 160 \text{ [mm]}$ , 3- për diametër të boshtit  $\phi 180 \text{ [mm]}$ , 4- për diametër të boshtit  $\phi 200 \text{ [mm]}$ , 5- për diametër të boshtit  $\phi 240 \text{ [mm]}$ , 6- për diametër të boshtit  $\phi 260 \text{ [mm]}$ ).

Nga drejtëzat e paraqitura në diagramin në fig. 7.34., për vlera të ndryshme të viskozitetit të lyerësit dhe diametër të dorëzës së boshtit, shihet se me rritjen e diametrit të dorëzës së boshtit nevojitet moment më i madh për shkëputjen e shtresave të lyerësit, përkatësisht, për mposhtjen e sforcimeve në shkëputje të lyerësit. Prandaj, nëse përdorim lyerësin me viskozitet të njëjtë, me rritjen e diametrit të boshtit, momenti i nevojshëm për shkëputjen e shtresave të lyerësit rritet. Kjo ndodh për arsyeje të rritjes së sipërfaqes kontaktuese të dorëzës së boshtit me lyerësin. Ndërsa edhe nga diagrami në fig. 7.34., si dhe nga materiali i pjesës teorike, mirëpo që vërtetohet edhe nga ky diagram, se me rritjen e viskozitetit të lyerësit, nevojitet moment më i madh për shkëputjen e shtresave të lyerësit.

Në fig. 7.35., është paraqitur diagrami i fuqisë së humbur që shndërrohet në nxehtësi me lakoret që janë fituar, për diametër të ndryshëm të dorëzës së boshtit dhe për shpejtësi këndore të ndryshueshme. Diagrami i paraqitur në figurën 7.35., me lakoret përkatëse është fituara duke shfrytëzuar shprehjen [3.5].

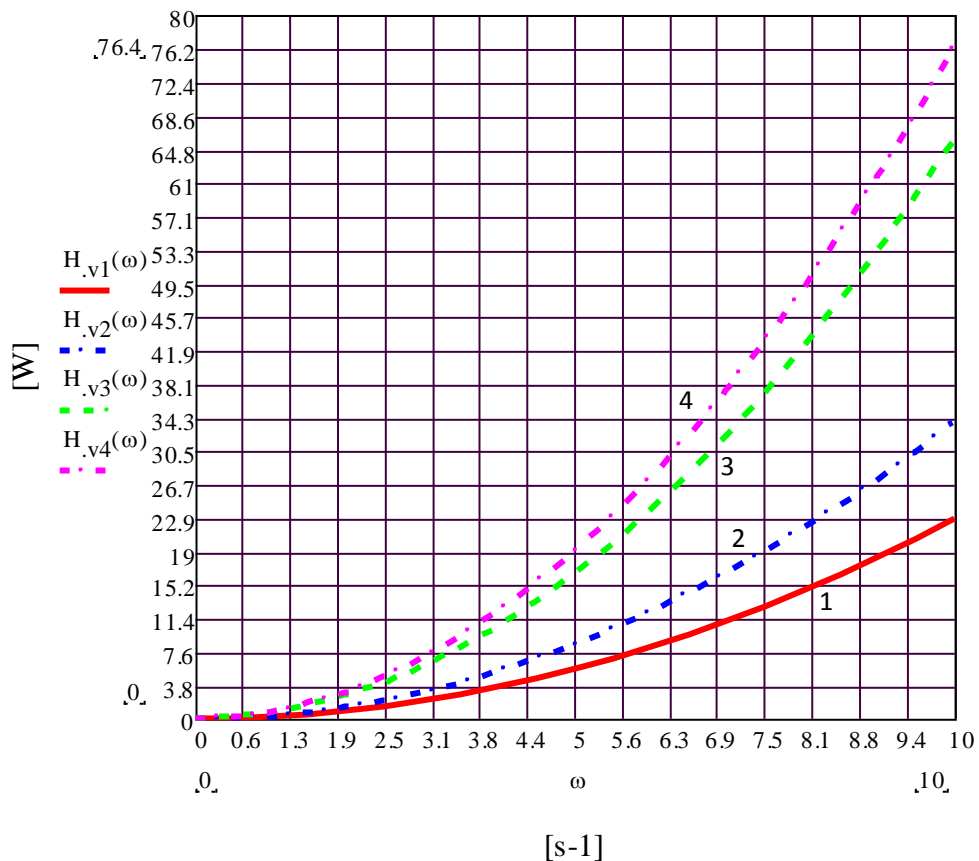


Fig. 7.35. Fuqia e humbur e shndërruar në [W], për shpejtësi këndore dhe diametër të ndryshëm të dorëzës së boshtit.  
 (1- për diametër të boshtit:  $\phi$  140 [mm], 2- për diametër të boshtit:  $\phi$  160 [mm], 3- për diametër të boshtit:  $\phi$  200 [mm], 4- për diametër të boshtit:  $\phi$  220 [mm]).



Nga lakoret e fituara në fig. 7.35., shihet se me rritjen e shpejtësisë këndore, rriten humbjet e fuqisë të shprehura në vat [Watt- W]. Gjithashtu me rritjen e diametrit të dorëzës së boshtit, për shpejtësi këndore të njëjtë humbjet e fuqisë të shndërruara në nxehtësi rriten.

Diametrat e dorëzave të boshteve të reduktorit të shqyrtuar kanë vlera:

- për boshtin 1-  $d_1 = \varnothing 140$  [mm] dhe
- për boshtin 2-  $d_2 = \varnothing 220$  [mm].

Prandaj rasti i shqyrtimit tonë janë lakoret 2 dhe 4.

Pasi që shpejtësia këndore boshtit të reduktorit të cilin e kemi shqyrtuar si pjesë të punës praktike është:  $\omega \approx 2$  [s<sup>-1</sup>], atëherë është paraqitur diagrami në fig. 7.36., për diapazon më të ngushtë të vlerave të shpejtësisë këndore deri në  $\omega = 2.5$  [s<sup>-1</sup>].

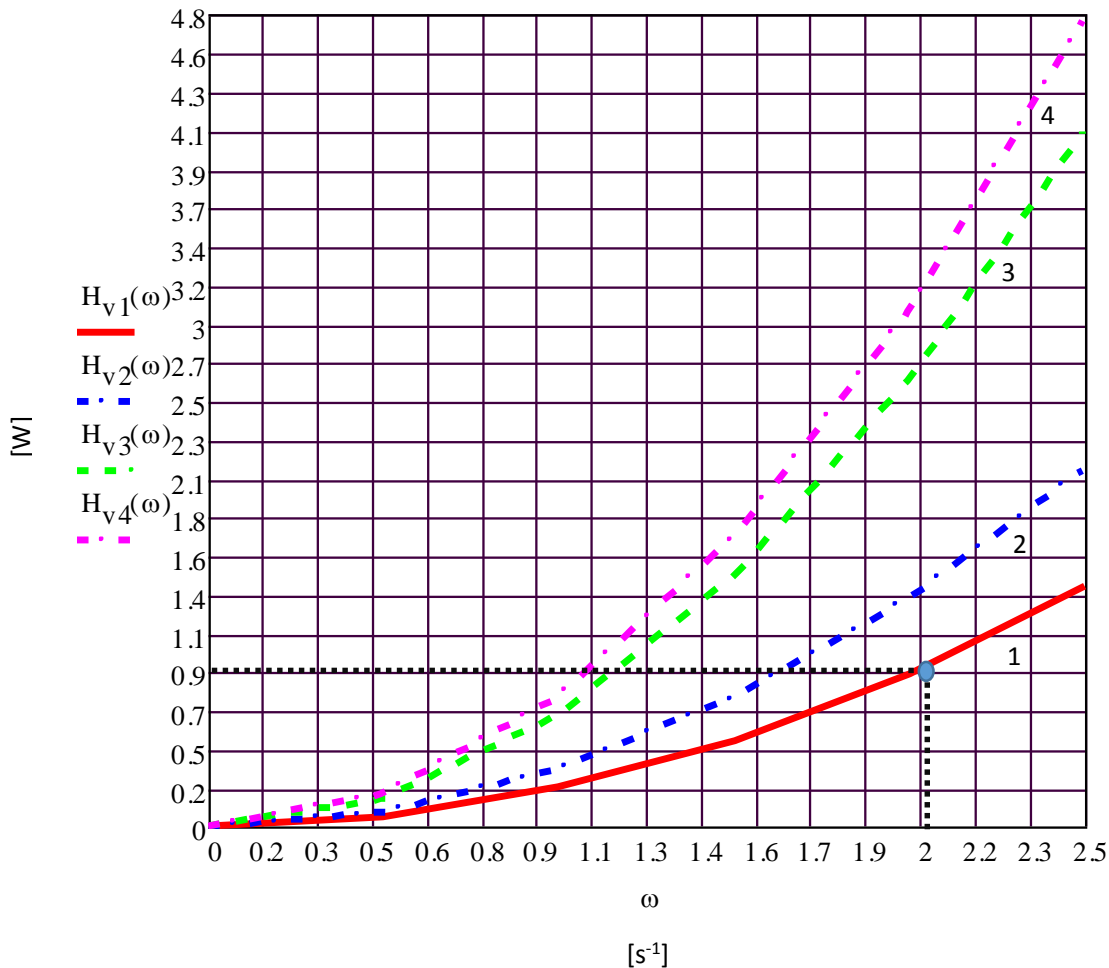


Fig. 7.36. Fuqia e humbur e shndërruar në nxehtësi, për shpejtësi këndore deri në 2.5 [s<sup>-1</sup>] dhe diametër të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

(1- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\varnothing 140$  [mm], 2- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\varnothing 160$  [mm], 3- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\varnothing 200$  [mm], 4- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\varnothing 220$  [mm]).

Për rastin e reduktorit të shqyrtuar, humbja e fuqisë e shprehur në nxehtësi tek kushinetat e boshtit 1- për diametër:  $\phi 140$  dhe për shpejtësinë këndore:  $\omega = 2.16 [s^{-1}]$ , është:  $H_v = 1 [W]$ . Viskoziteti i lyerësit është i njëjtë për të gjitha diametrat e boshteve të paraqitura në diagram.

Nëse përdorim lyerës me viskozitet të ndryshëm, atëherë, për shpejtësi këndore të njëjtë dhe me rritjen e viskozitetit të lyerësit rriten humbjet.

Në fig. 7.37., është paraqitur diagrami me vlerat e fituara të fuqisë së humbur të shprehura në nxehtësi, me rastin e ndryshimit të viskozitetit të lyerësit dhe për diametër të ndryshëm të dorzës së boshtit. Diagrami i paraqitur në fig. 7.37., është fituar duke aplikuar shprehjen [3.5].

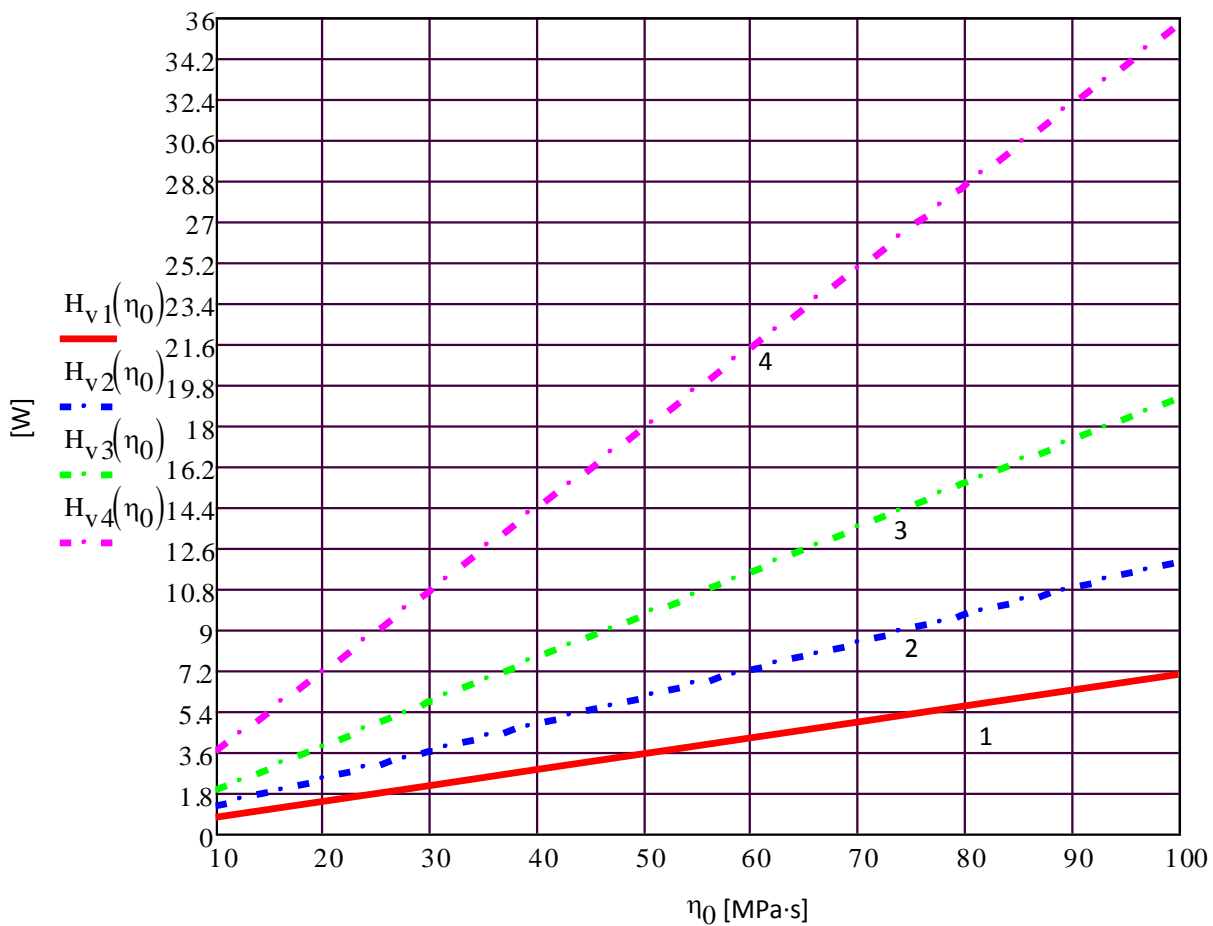


Fig. 7.37. Fuqia e humbur e shndërruar në nxehtësi, për viskozitet të ndryshëm të lyerësit dhe diametër të ndryshëm të dorzës së boshtit.

(1- për diametër të dorzës së boshtit:  $\phi 140$  [mm], 2- për diametër të dorzës së boshtit:  $\phi 160$  [mm], 3- për diametër të dorzës së boshtit:  $\phi 180$  [mm], 4- për diametër të dorzës së boshtit:  $\phi 220$  [mm]).

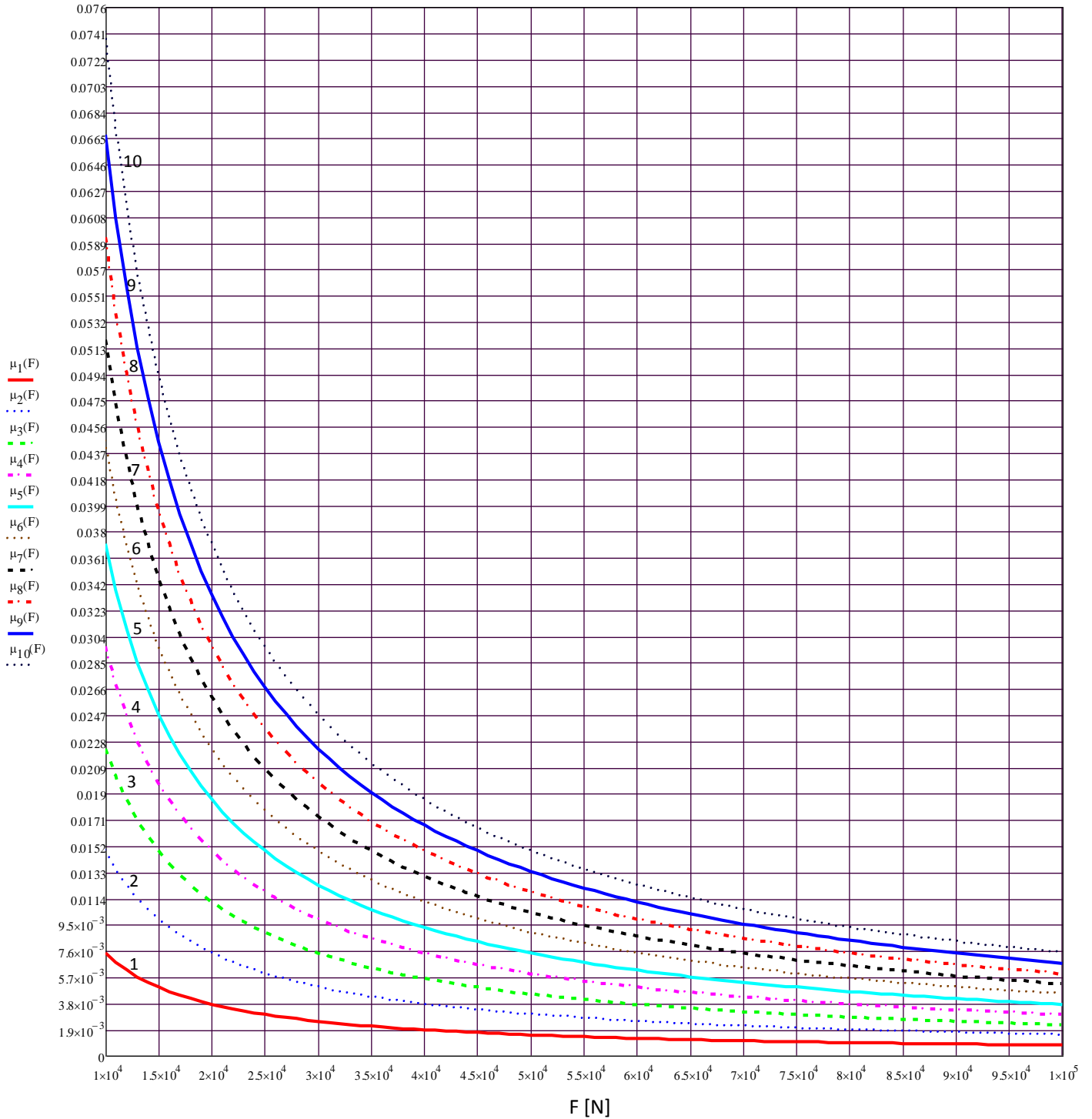


Fig. 7.38. Koeficienti i fërkimit me rastin e ndryshimit të ngarkesave dhe viskozitetit të ndryshëm të lyerësit.

(1- për viskozitet të lyerësit 10 [MPa·s], 2- për viskozitet të lyerësit 20 [MPa·s], 3- për viskozitet të lyerësit 30 [MPa·s], 4- për viskozitet të lyerësit 40 [MPa·s], 5- për viskozitet të lyerësit 50 [MPa·s], 6- për viskozitet të lyerësit 60 [MPa·s], 7- për viskozitet të lyerësit 70 [MPa·s], 8- për viskozitet të lyerësit 80 [MPa·s], 9- për viskozitet të lyerësit 90 [MPa·s], 10- për viskozitet të lyerësit 100 [MPa·s]).

Në fig. 7.38., është paraqitur diagrami me lakoret e fituara të koeficientit të fërkimit me rastin e ndryshimit të forcës vepruese dhe aplikimit të lyerësve me viskozitet të ndryshëm. Ndërsa në fig. 7.39., është paraqitur diagrami me lakoret e fituara të koeficientit të fërkimit me rastin e ndryshimit të numrit të rrotullimeve.

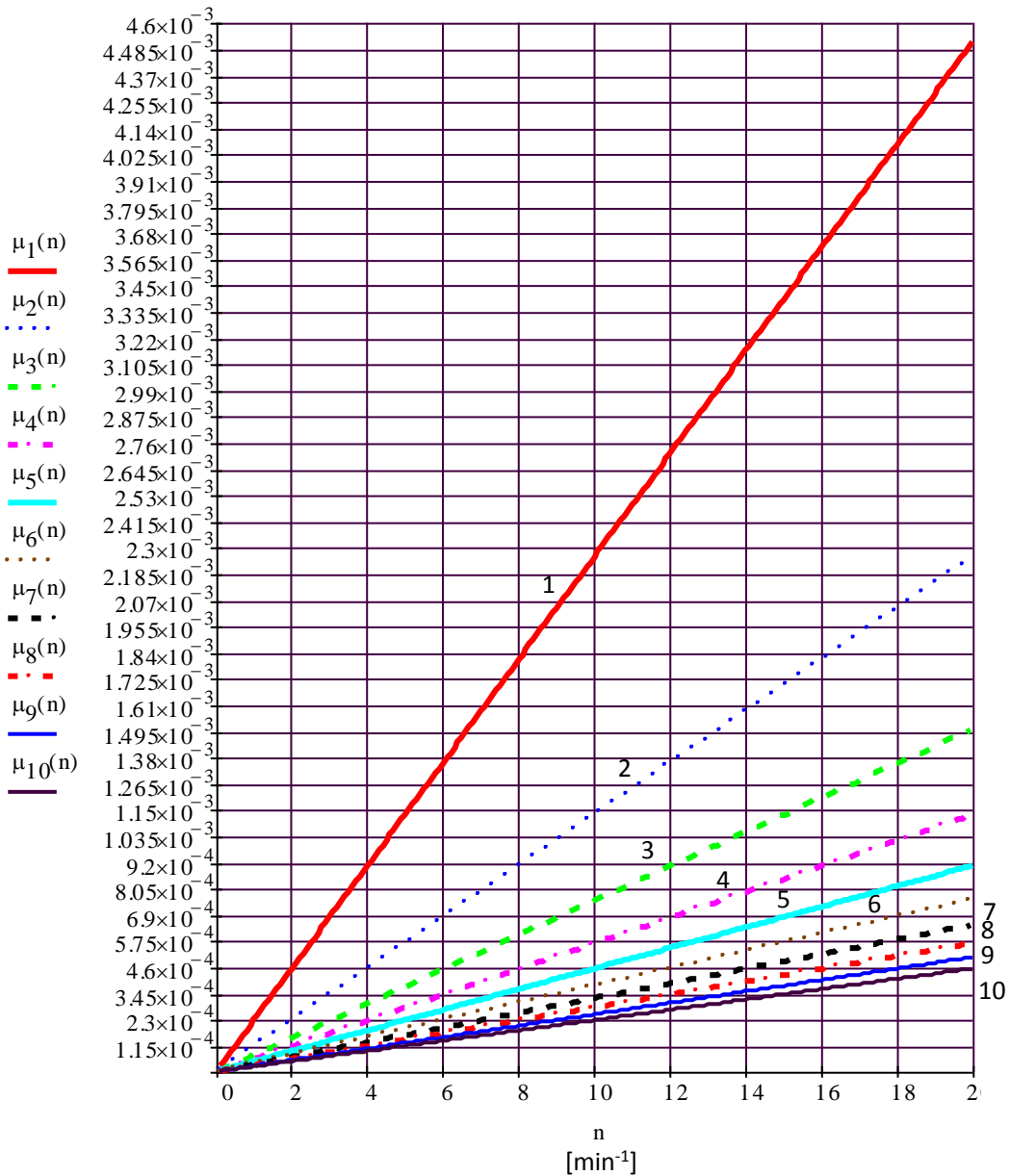


Fig. 7.39. Koeficienti i fërkimit me rastin e ndryshimit të numrit të rrotullimeve të boshtit dhe ngarkesave.

(1- për ngarkesën 20 [kN], 2- për ngarkesën 40 [kN], 3- për ngarkesën 60 [kN], 4- për ngarkesën 80 [kN], 5- për ngarkesën 100 [kN], 6- për ngarkesën 120 [kN], 7- për ngarkesën 140 [kN], 8- për ngarkesën 160 [kN], 9- për ngarkesën 180 [kN], 10- për ngarkesën 200 [kN]).

Në fig. 7.40., është paraqitur diagrami i ndryshimit të vlerave të viskozitetit të lyerësit SAE në raport të ndryshimit të temperaturës.

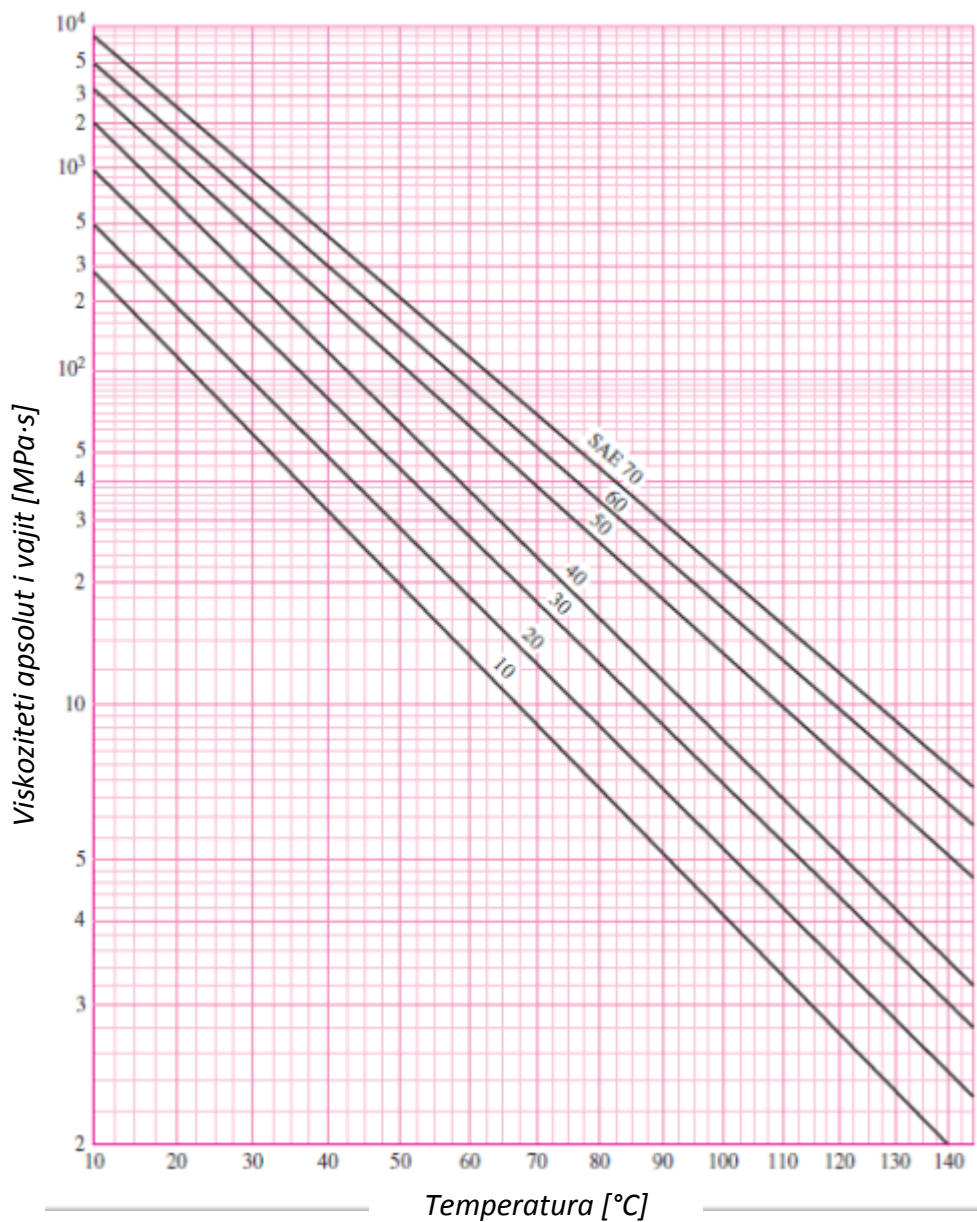


Fig. 7.40. Ndryshimi i viskozitetit të lyerësve, në bazë të ndryshimit të temperaturës sipas SAE [55].

Nga diagrami në fig. 7.40., mund të shihet se si viskoziteti i lyerësit bie me rritjen e temperaturës.

Ky diagrami është marrë nga SAE- Shoqëria e Inxhinierëve Automobilistik (Society of Automobile Engineers). Vlerat nga ky diagram shfrytëzohen gjatë llogaritjes së kushinetave rrëshqitëse radiale- hidrodinamike, me rastin e zgjedhjes së lyerësit.

Në të vërtetë ndryshimi i viskozitetit me rritjen e temperaturës bie, mirëpo intensiteti i rënies së viskozitetit me rastin e rritjes së temperaturës nuk është drejtëz e drejtë por lakore.

Në fig. 7.41., është paraqitur diagrami me lakoret e fituara, i ndryshimit të viskozitetit të lyerësve të ndryshëm, me rastin e ndryshimit të teperaturës.

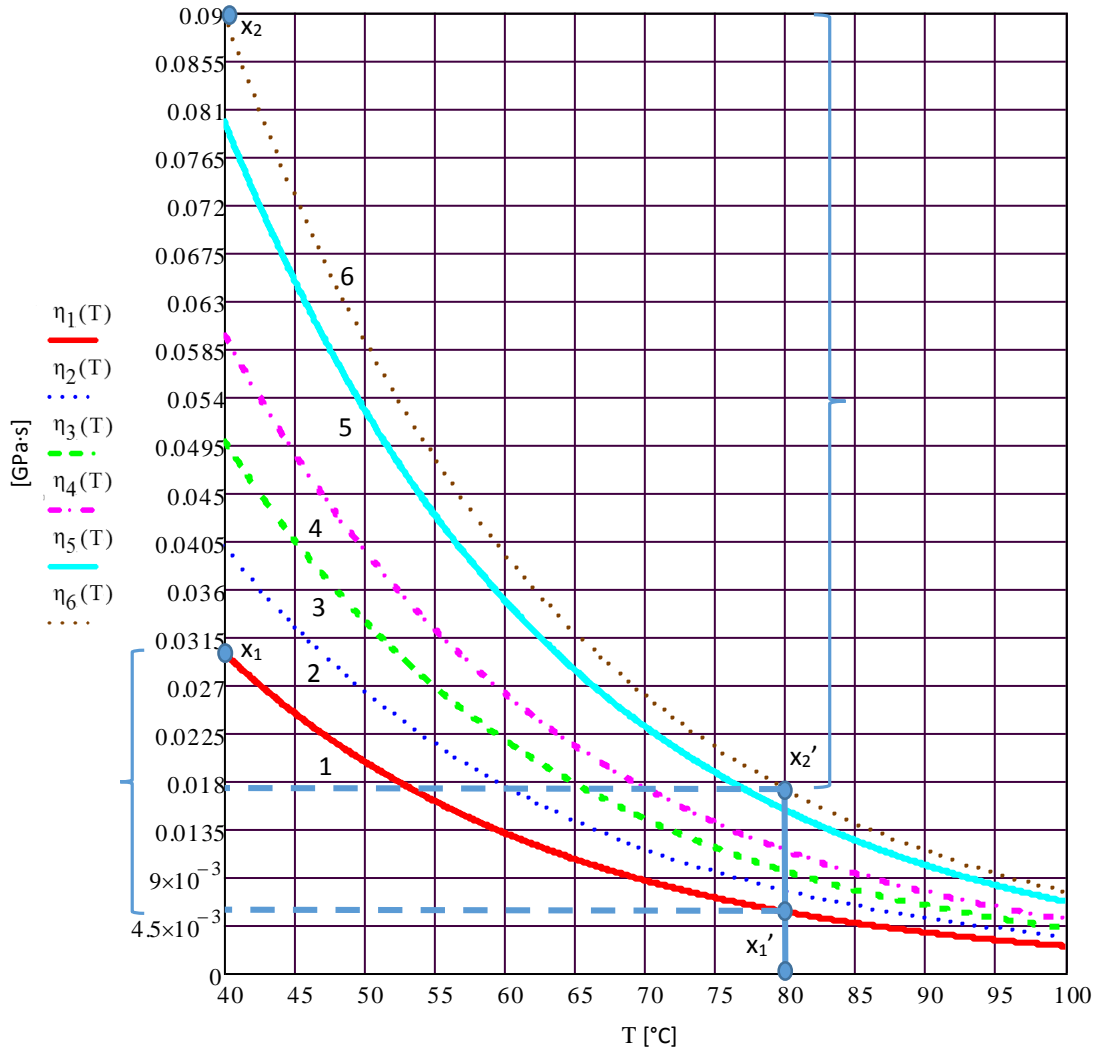


Fig. 7.41. Ndryshimi i viskozitetit në varësi të temperaturës dhe për lloje të lyerësve me viskozitet të ndryshëm.

Shihet nga figura 7.41., se me rritjen e temperaturës bie viskoziteti i lyerësit, ndërsa intenziteti i rënies së viskozitetit, rritet me rritjen e viskozitetit. Nga kjo figurë mund të shihet se rënia e viskozitetit për lyerësin 6 (gjashtë) me rritjen e temperaturës për 40 °C është shumë më e madhe se për lyerësin 1 (një).

Vlerat:  $x_1, x_2, x_1', x_2'$ , janë marrë si matje referente të viskozitetit të lyerësve me rastin e ndryshimit të temperaturës. Temperatura në hyrje është 40 °C dhe rritet për 60 °C deri në 100 °C.



Jo vetëm ndryshimi i temperaturës ka ndikim në viskozitetin e lyerësit. Presioni, shpejtësia këndore, si dhe parametra të tjerë ndikojnë në ndryshimin e vlerave të viskozitetit të lyerësit.

Me rritjen e intenzitetit të presionit në lyerës, për dallim nga rritja e temperaturës, në këtë rast viskoziteti i lyerësit rritet. Në fig. 7.42., është paraqitur diagrami i fituar i viskozitetit të lyerësve të ndryshëm, me rastin e rritjes së presionit në lyerës.

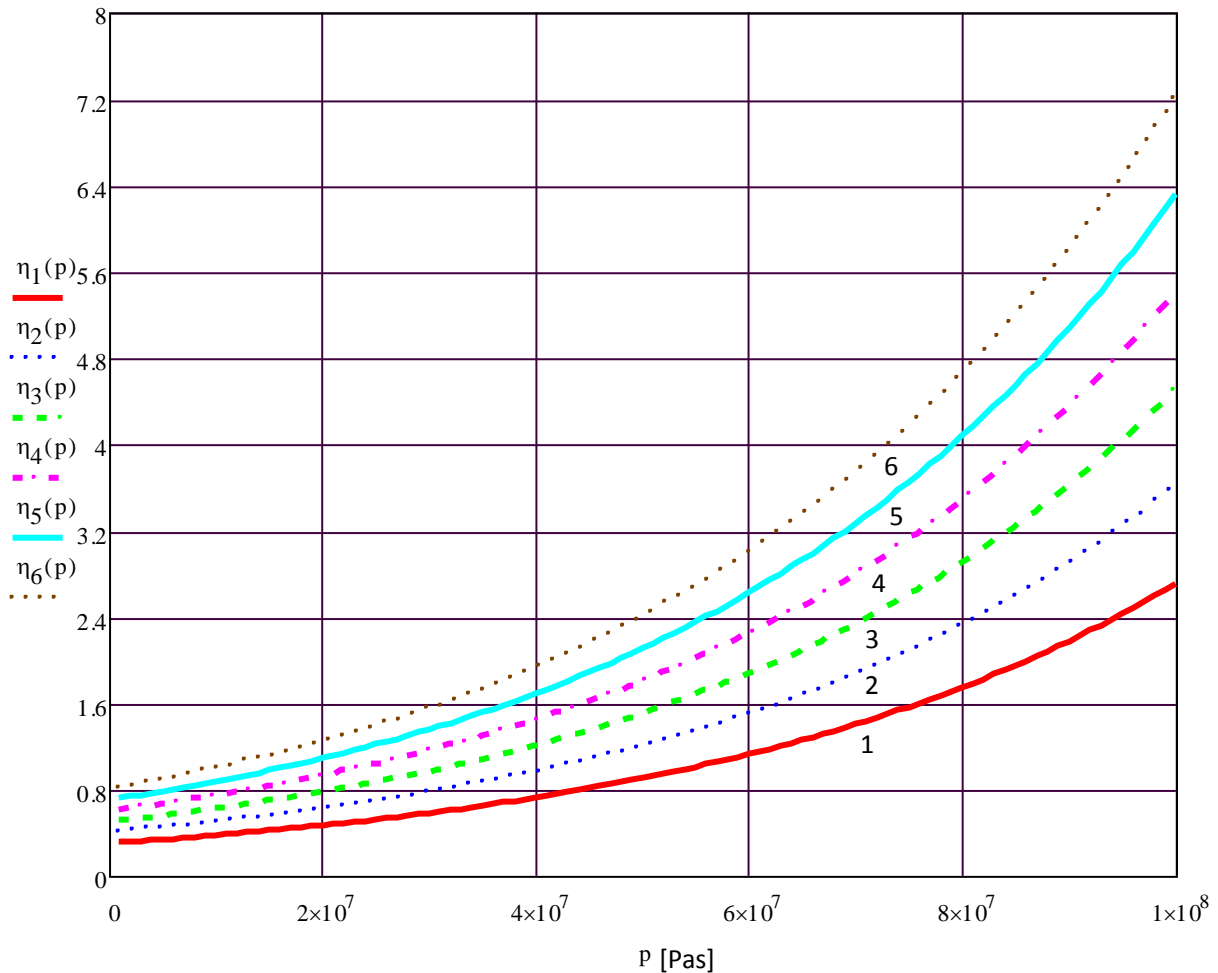


Fig. 7.42. Ndryshimi i viskozitetit në raport me rritjen e presionit dhe për lloje të lyerësve me viskozitet të ndryshëm.

Nga fig. 7.42., shihet se si me rritjen e presionit në shtresën e lyerësit, rritet edhe viskoziteti i lyerësit, për lyerës të ndryshëm.

Viskoziteti i lyerësit tek kushinetat rrëshqitëse radiale nuk ndryshon vetëm me rastin e ndryshimit të temperaturës, mirëpo së bashku edhe me ndryshimin e presionit që vepron

në lyerës. Prandaj për llogaritje të viskozitetit të lyerësit tek kushinetat rrëshqitëse radiale, viskoziteti i lyerësit është funksion i presionit dhe i temperaturës:  $\eta(p, T)$ .

Në fig. 7.43., është paraqitur në hapësirë ndryshimi i viskozitetit me rastin e ndryshimit të presionit dhe temperaturës.

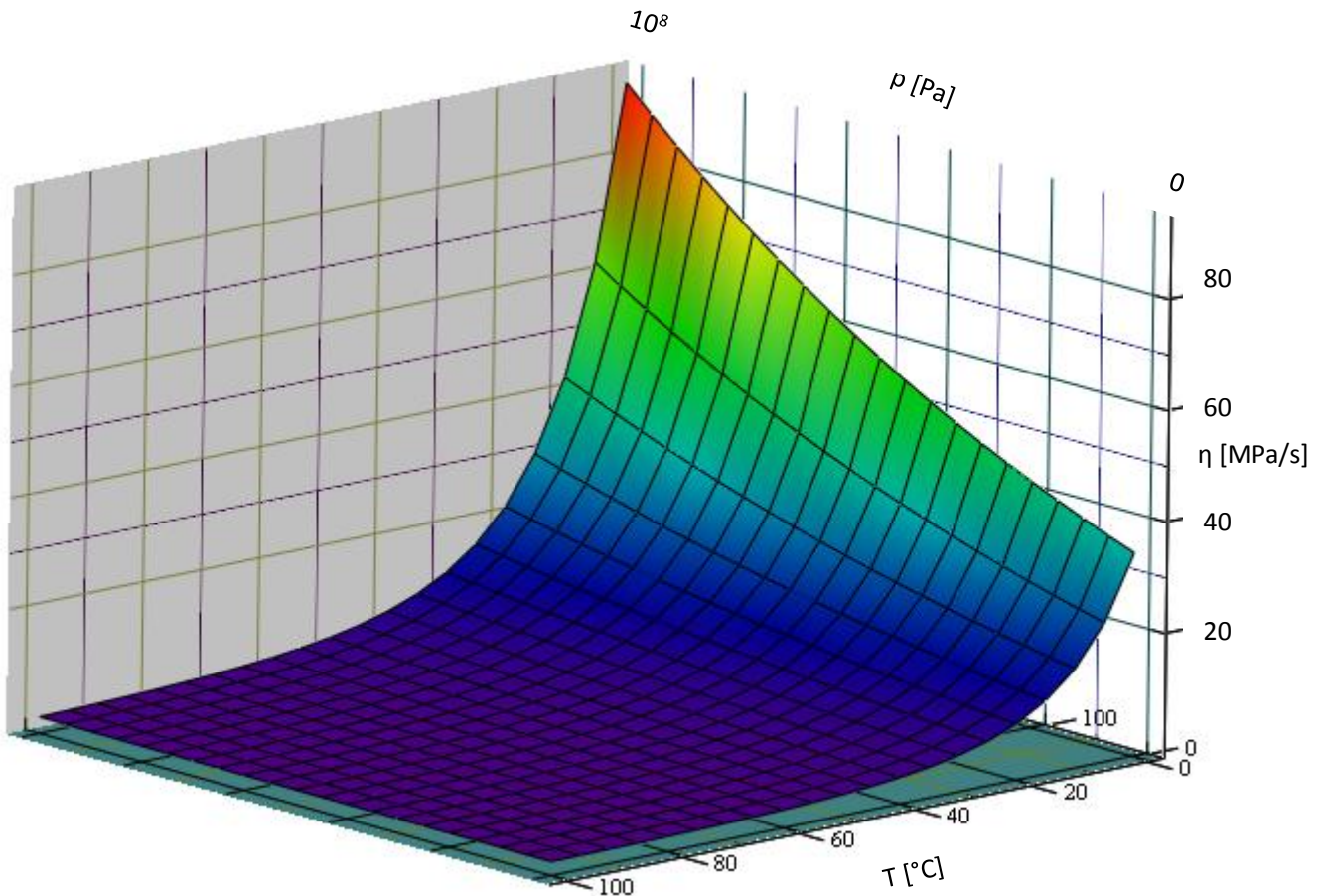


Fig. 7.43. Ndryshimi i viskozitetit në raport me rritjen e presionit dhe temperaturës.

Në fig. 7.43., në të cilën është paraqitur ndikimi në viskozitet i presionit dhe temperaturës, shihet se si viskoziteti i lyerësit ndryshon me rastin e rritjes së presionit dhe temperaturës. Vlera më e madhe e viskozitetit të lyerësit arrihet me rrasitn e veprimit maksimal të presionit dhe në temperaturën më të ulët.

Ky diagram është fituar duke shfhtëzuar shprehjen nga pjesa teorike, për ndikimin e presionit dhe temperaturës në viskozitetin e lyerësit. Vlerat e koeficientëve të viskozitetit janë marrë:

$$A = 0.0000154 \text{ [Pas]}, B = 1600 \text{ [}^\circ\text{C]}, C = 137.7 \text{ [}^\circ\text{C]} \text{ dhe } \alpha = 0.002 \text{ [1/MPa]}.$$

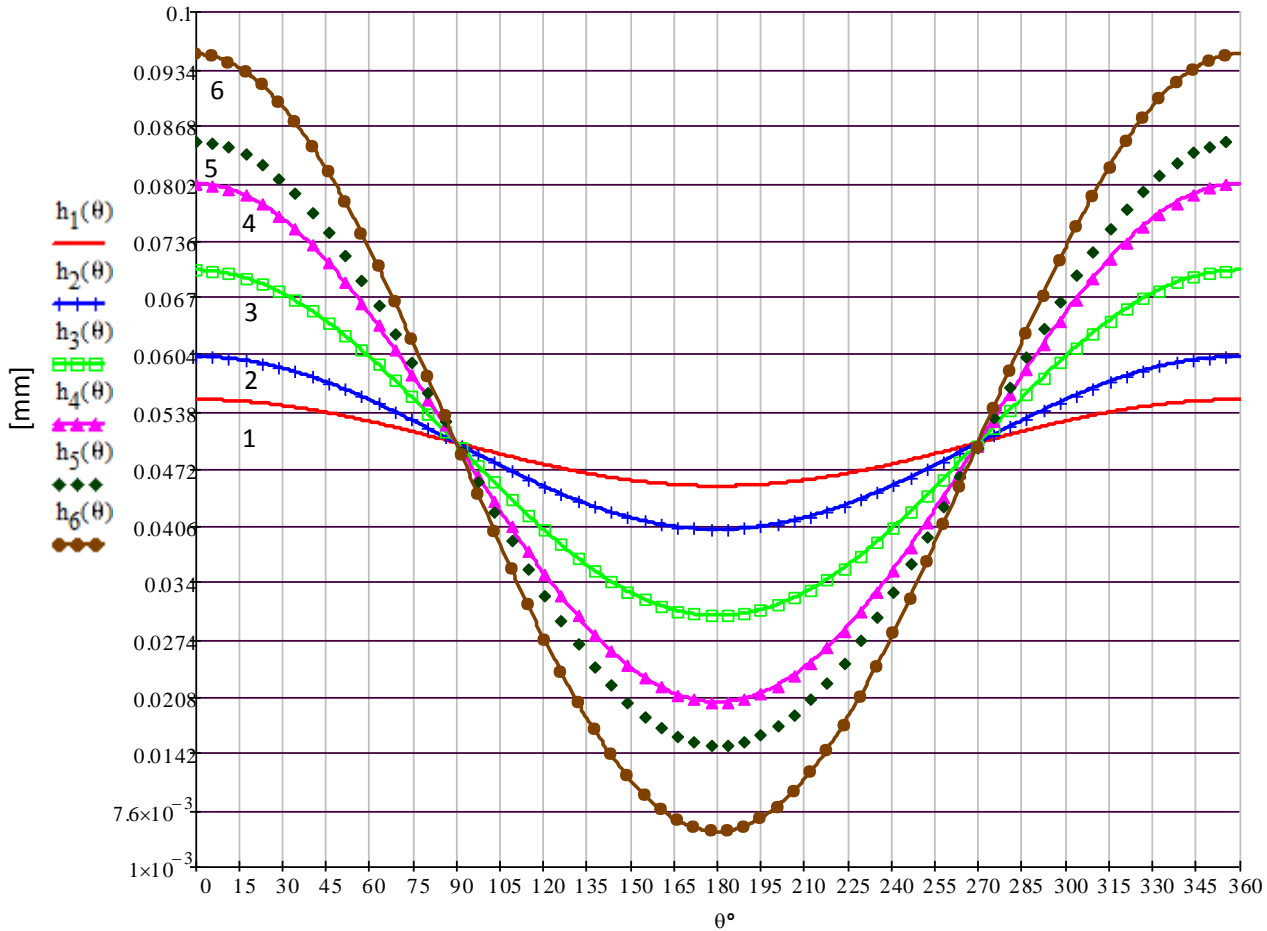


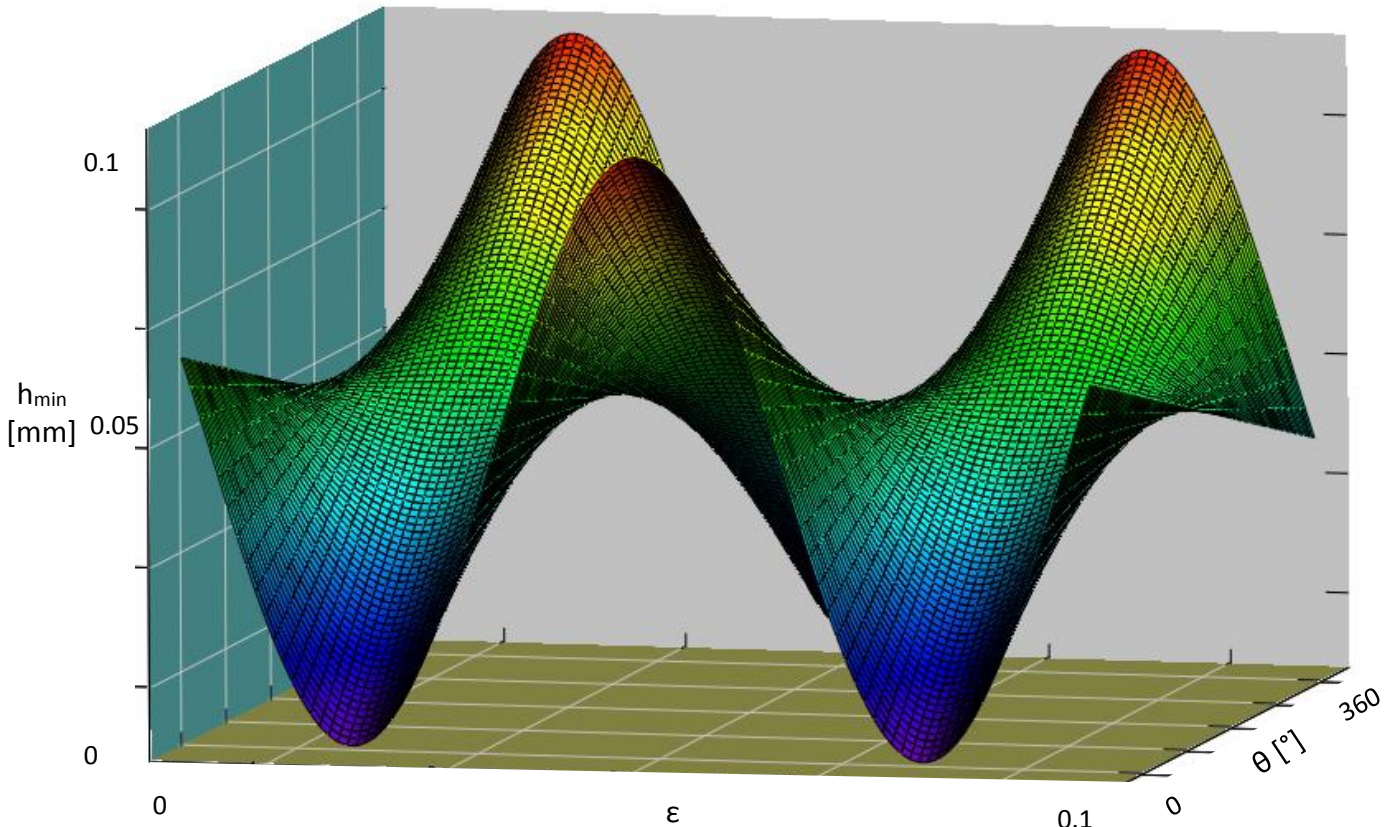
Fig. 7.44. Trashësia e shtresës së lyerësit në një prerje të çfarëdoshme me rastin e ndryshimit të këndit dhe ekscentricitetit-  $\epsilon$ .

(1- për ekscentricitet:  $\epsilon = 0.1$  [mm], 2- për ekscentricitet:  $\epsilon = 0.2$  [mm], 3- për ekscentricitet:  $\epsilon = 0.4$  [mm], 4- për ekscentricitet:  $\epsilon = 0.6$  [mm], 5- për ekscentricitet:  $\epsilon = 0.8$  [mm], 6- për ekscentricitet:  $\epsilon = 0.9$  [mm]).

Në diagramin e paraqitur në figurën 7.44., që njëherit paraqet ndryshimin e trashësisë së shtresës së lyerësit në funksion të çfarëdo këndi, mund të shihet se si trashësia e shtresës së lyerësit rritet me rritjen e ekscentricitetit-  $\epsilon$ . Vlera maksimale e trashësisë së shtresës së lyerësit, arrihet në këndin prej:  $\theta = 360^\circ$  dhe  $\theta = 0^\circ$  (pika referente- trashësia maksimale e shtresës së lyerësit). Ndërsa vlera minimale arrihet në anën tjetër, përkatësisht në këndin prej  $\theta = 180^\circ$  (paraqitur gjithashtu edhe në fig. 3.8.).

Diagrami me lakoret e fituara, i paraqitur në fig. 7.44., është fituar duke shfrytëzuar shprehjen [3.8] nga pjesa teorike.

Në figurën 7.45., është paraqitur në hapësirë ndryshimi i trashësisë së shtresës së lyerësit në funksion të dy parametrave: ndryshimit të këndit të rotullimit-  $\theta$  dhe ekscentricitetit-  $\varepsilon$ .



*Fig. 7.45. Ndryshimi i trashësisë së shtresës së lyerësit në funksion të ndryshimit të këndit të rotullimit-  $\theta$  dhe ekscentricitetit-  $\varepsilon$ .*

Ndryshimi i trashësisë së shtresës së lyerësit me rastin e ndryshimit të këndit, përkatësisht lakoret e paraqitura në hapësirë në figurën 7.45., sikurse diagrami i fituar në figurën 7.44., janë fituar duke shfrytëzuar shprehjen [3.8] nga pjesa teorike.

Mund të shihet edhe nga figura 7.45., se vlerat maksimale të hapësirës ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës arrihen në këndet:  $\theta = 0^\circ$  dhe  $\theta = 360^\circ$ .

Në fig. 7.46., është paraqitur diagrami i përcaktimit të hapësirës radiale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës, në funksion të numrit të rotullimeve të boshtit dhe për diametra të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

Mund të shihet edhe nga diagrami me lakoret e fituara në fig. 7.46., se me rritjen e numrit të rotullimeve të boshtit dhe rritjen e diametrit të dorëzës së boshtit, hapësira radiale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës e cila mbushet me vaj rritet.

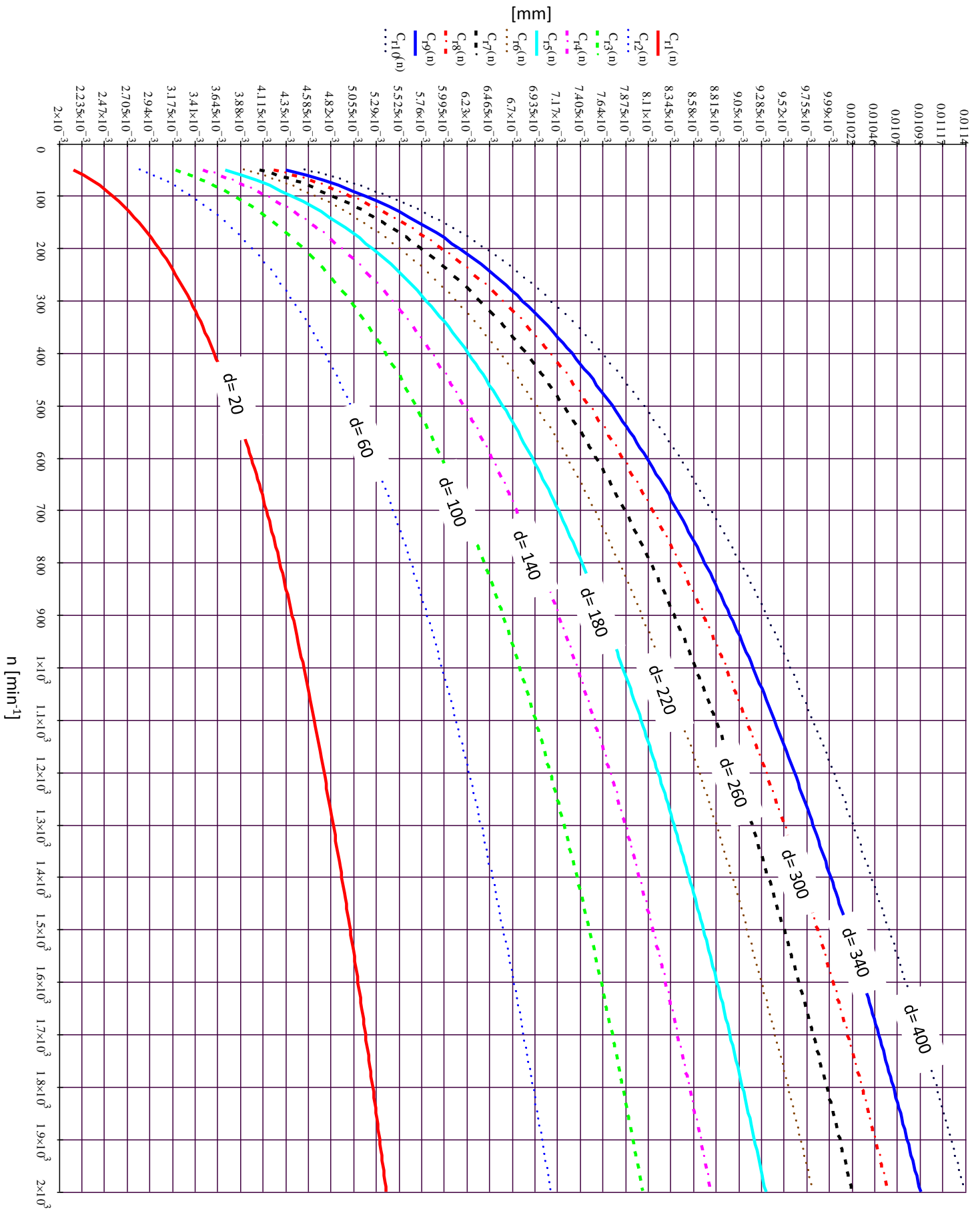


Fig. 7.46. Përcaktimi i hapësirës radiale në funksion të numrit të rrotullimeve të boshtit dhe për diametër të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

Në fig. 7.47., është paraqitur diagrami me vlerat e fituara, i vëllimit të gërryer për shkak të adhezionit, nën veprimin e ndryshimit të ngarkesave dhe për diametra të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

Diagrami në fig. 7.47., është fituar duke shfrytëzuar shprehjen [4.7] nga pjesa teorike.

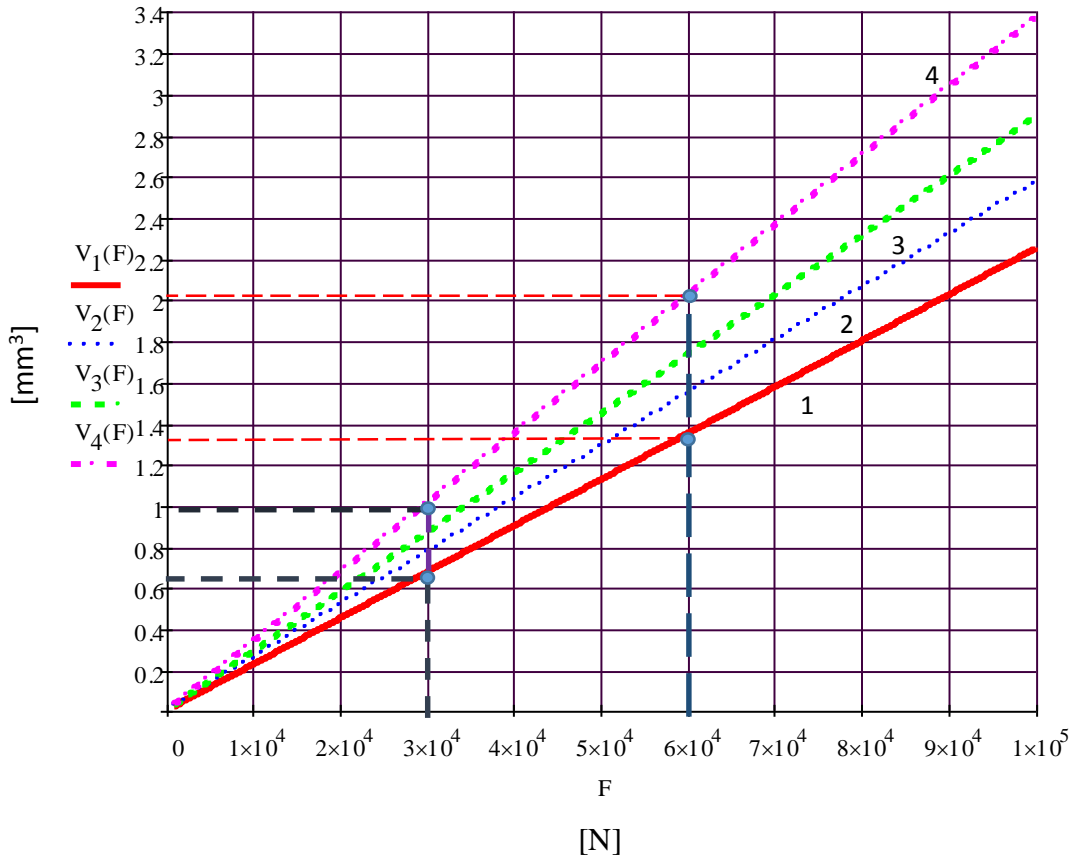


Fig. 7.47. Vëllimi i gërryer për shkak të adhezionit, nën veprimin e ndryshimit të ngarkesave dhe për diametra të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

(1- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 140$  [mm], 2- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 160$  [mm], 3- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 180$  [mm], 4- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 220$  [mm]).

Nga fig. 7.47., mund të shihet se me rastin e rritjes së veprimit të ngarkesës rriten edhe harxhimet për shkak të adhezionit. Numri i rrotullimeve për këtë rast të shqyrtimit është marrë për një rrotullim të plotë të dorëzës së boshtit, në kontakt direkt me unazën e kushinetës.

Nëse për veprimin e forcës prej:  $30$  kN, për diametër të dorëzës së boshtit:  $d_1 = \phi 140$  [mm], vëllimi i gërryer i materialit të unazës së kushinetës për shkak të adhezionit do të jetë:  $V = 0,65$  [mm³]. Me rritjen e veprimit të ngarkesës p.sh. nga:  $30$  [kN] në  $60$  [kN], vëllimi i materialit të gërryer rritet nga  $V = 0,65$  [mm³] në rreth:  $V = 1,35$  [mm³].



Për veprimin e forcës prej:  $30 [kN]$ , për diametër të dorzës së boshtit:  $d_2 = \phi 220 [mm]$  dhe një rrotullim të plotë të boshtit, vëllimi i gërryer i materialit të unazës së kushinetës do të jetë:  $V = 1 [mm^3]$ . Me rritjen e veprimit të ngarkesës nga:  $30 [kN]$  në  $60 [kN]$ , vëllimi i materialit të gërryer rritet rreth  $V = 1,1 [mm^3]$ , nga  $V = 1 [mm^3]$  në rreth:  $V = 2,1 [mm^3]$ .

Prandaj, me rritjen e diametrit të dorzës së boshtit, për rastin kur vepron ngarkesë e njëjtë, vëllimi i materialit të gërryer rritet. Koeficienti i adhezionit ( $k_{ad}$ ), është koeficient i cili nuk ka njësi dhe është i ndryshëm për materiale të ndryshme. Prandaj përdorimi i koeficientëve të ndryshëm të adhezionit në diagramin në fig. 7.47., nënkupton edhe përdorimin e materialeve të ndryshme të unazës së kushinetës. Ndërsa boshti vepron me gjashtë intenzitete të ndryshme të forcës normale.

Vëllimi i gërryer i materialit rritet me rritjen e koeficientit të adhezionit dhe rritjen e forcës normale që vepron në bosht.

Në fig. 7.48., është paraqitur në hapësirë, vëllimi i materialit të gërryer për shkak të adhezionit me rastin e ndryshimit të forcës vepruese dhe rrugës së përkthyer të dorzës së boshtit, përkatësisht jorrafshirave.

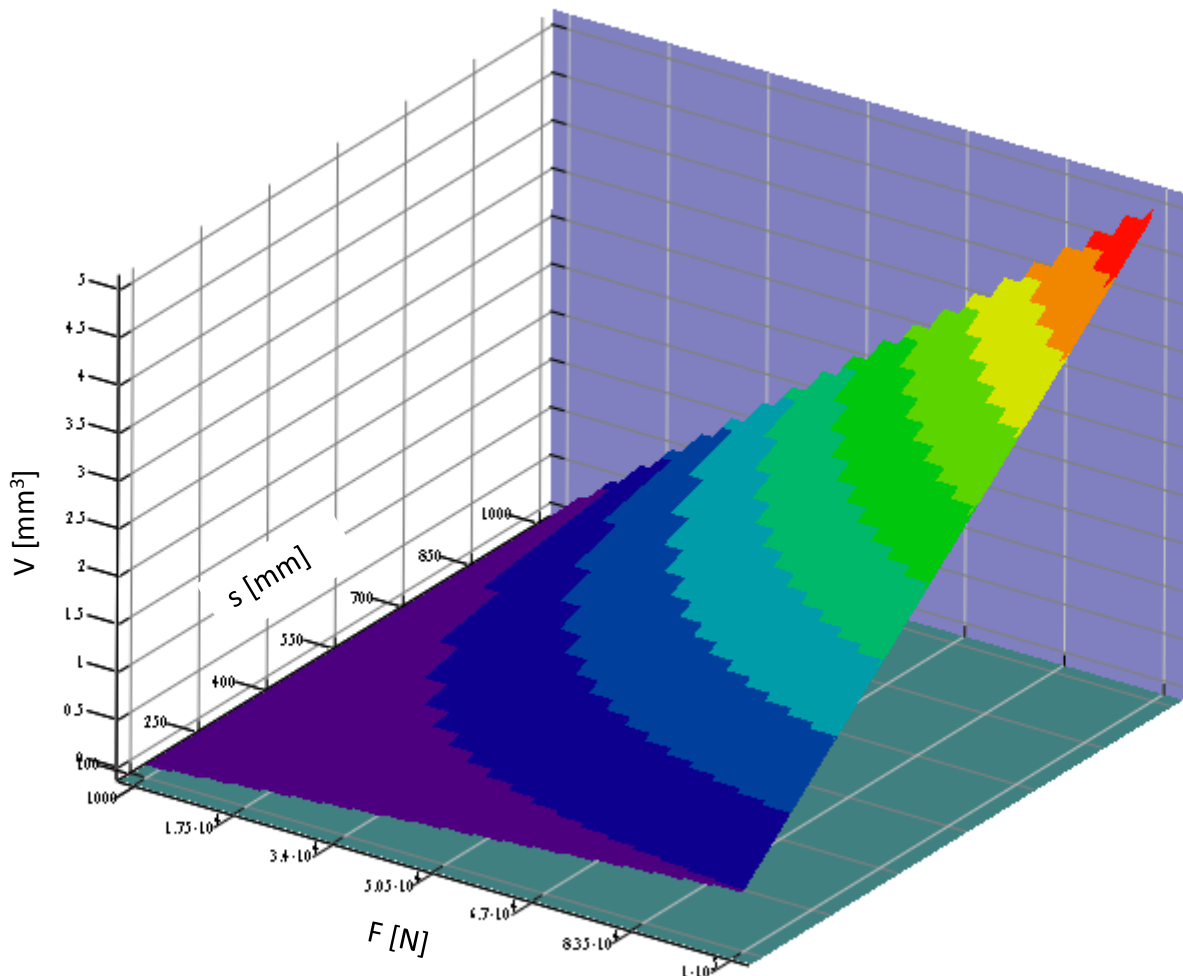


Fig. 7.48. Vëllimi i gërryer nga adhezioni në funksion të forcës dhe rrugës së përkthyer.

Në fig. 7.48., është paraqitur vëllimi hapësinor i materialit të gërryer për shkak të adhezionit dhe në funksion të ndryshimit të forcës vepruese dhe rrugës së përshkruar të boshtit. Rruga që kalon jorrafshira varet nga diametri i dorëzës së boshtit, prandaj në shqyrtim janë marrë shembuj të ndryshimit të diametrit nga  $\phi 100 [mm]$  deri në  $\phi 260 [mm]$  me rritje të diametrit prej çdo:  $\phi 20 [mm]$ .

Vëllimi materialit të gërryer nga adhezioni, për rastet e shqyrtuara në fig. 7.48., arrin vlerën më të madhe për diametrin e dorëzës së boshtit prej:  $\phi 260 [mm]$  dhe për forcën normale prej:  $F= 30 [kN]$ .

Në fig. 7.49., është paraqitur diagrami i fituar, i gërryerjes për shkak të gërryerjes abrazive, nën veprimin e ndryshimit të ngarkesave dhe për diametra të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

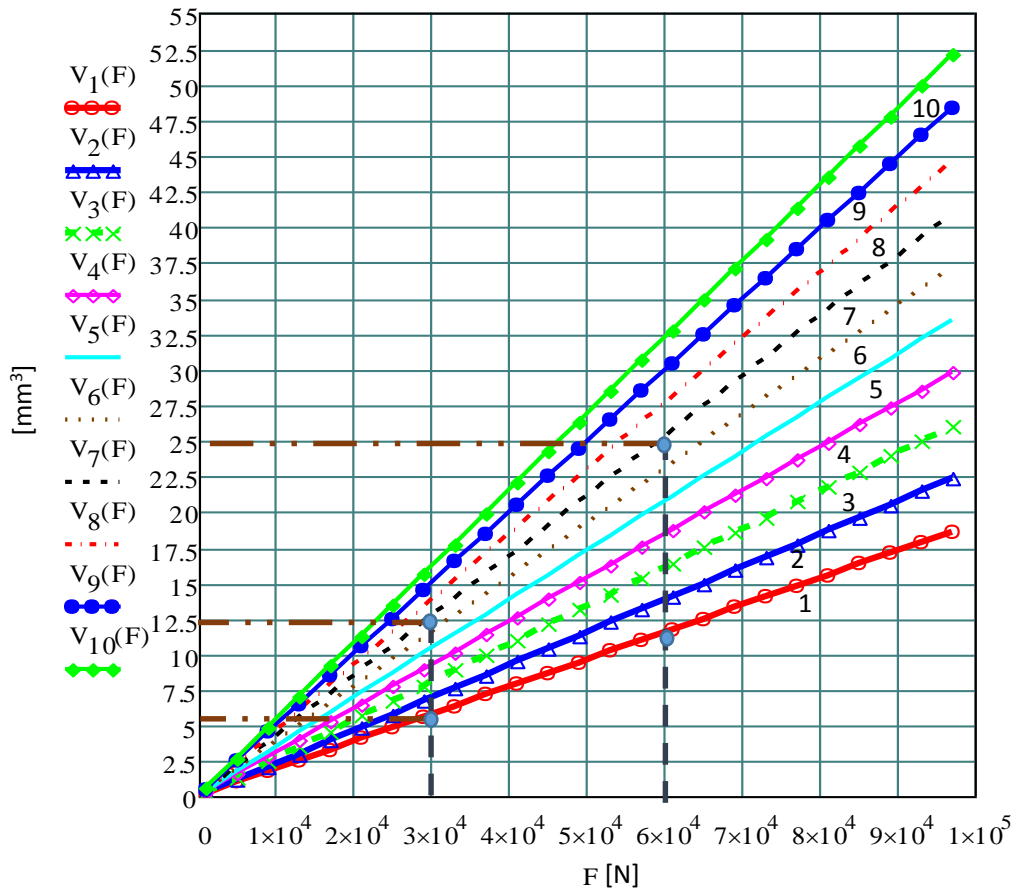


Fig. 7.49. Vëllimi i gërryer për shkak të abrazionit, nën veprimin e ngarkesave të ndryshme dhe për diametra të ndryshëm të dorëzës së boshtit.

(1- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 100 [mm]$ , 2- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 120 [mm]$ , 3- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 140 [mm]$ , 4- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 160 [mm]$ , 5- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 180 [mm]$ , 6- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 200 [mm]$ , 7- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 220 [mm]$ , 8- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 240 [mm]$ , 9- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 260 [mm]$ , 10- për diametër të dorëzës së boshtit:  $\phi 280 [mm]$ ).

Nga fig. 7.49., mund të shihet se me rastin e rritjes së ngarkesës rritet edhe vëllimi i materialit të gërryer për shkak të abrazionit. Numri i rrotullimeve për këtë rast është marrë për një rrotullim të plotë të dorëzës së boshtit, në kontakt direkt me unazën e kushinetës.

Nëse për veprimin e forcës prej:  $30 [kN]$ , për diametër të dorëzës së boshtit:  $d_1 = \phi 140 [mm]$ , vëllimi i gërryer i materialit të unazës së kushinetës do të jetë  $V = 6 [mm^3]$ .

Nëse vepron forca prej:  $30 [kN]$ , për diametër të dorëzës së boshtit:  $d_2 = \phi 220 [mm]$  dhe një rrotullim të plotë të boshtit, vëllimi i gërryer i materialit të unazës së kushinetës do të jetë:  $V = 12.5 [mm^3]$ . Prandaj me rritjen e diametrit të dorëzës së boshtit, për rastin kur vepron ngarkesë e njëjtë, vëllimi i materialit të gërryer për shkak të veprimit abraziv të jorrafshirave të supozuara konike, rritet.

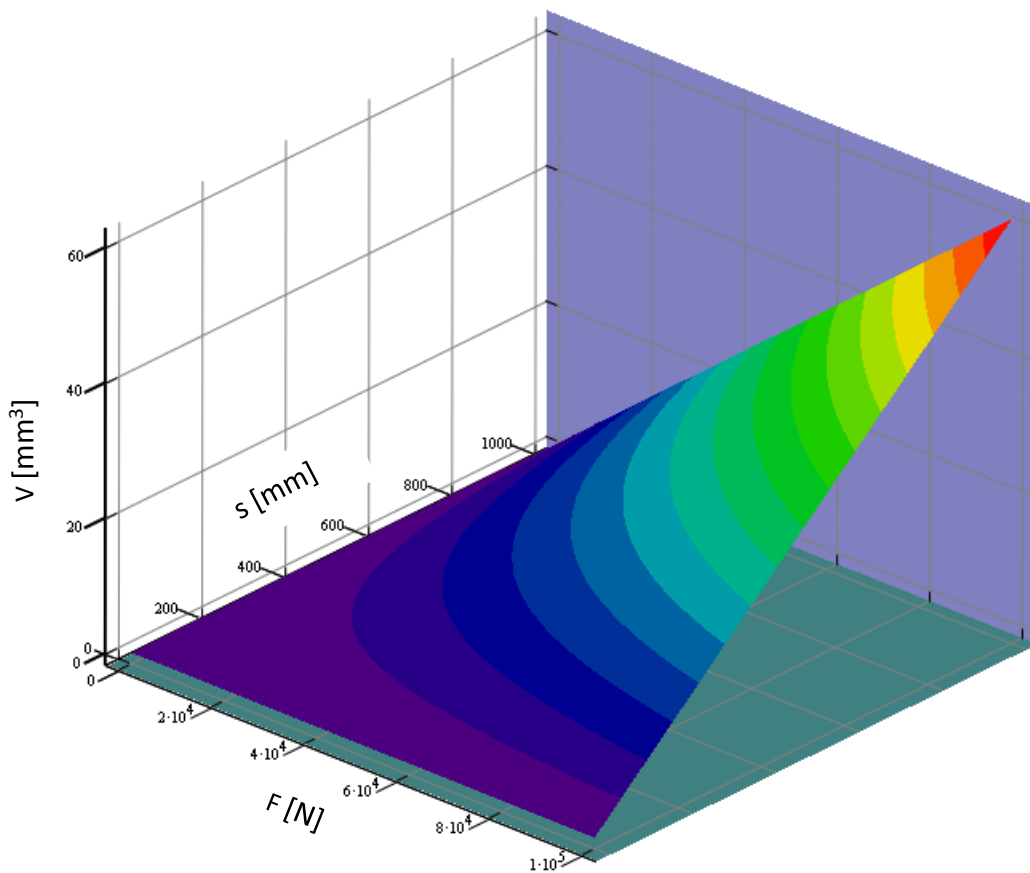


Fig. 7.50. Vëllimi i gërryer nga abrazioni në funksion të forcës dhe rrugës së përshkruar.

Në fig. 7.50., është paraqitur vëllimi hapësinor i materialit të gërryer për shkak të abrazionit, në funksion të ndryshimit të forcës vepruese dhe rrugës së përshkruar të boshtit. Rruga që kalon jorrafshira varet nga diametri i dorëzës së boshtit, prandaj në shqyrtim janë marrë shembuj të ndryshimit të diametrit të dorëzës së boshtit nga:  $\phi 100 [mm]$  deri në  $\phi 280 [mm]$  me rritje të diametrit prej çdo:  $\phi 20 [mm]$ .

Vëllimi më i madh i gërryerjes nga abrazioni arrin vlerën më të madhe për diametrin e boshtit prej:  $\varnothing 260 [mm]$  dhe për forcën maksimale për këtë rast, prej:  $F= 30 [kN]$ .

Me rastin e llogaritjes së presionit maksimal në shtresën e lyerësit në prerjen tërthore, tek unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale, duke shfrytëzuar shprehjen [6.7], janë fituar vlerat e paraqitura në fig. 7.51., në koordinata polare.

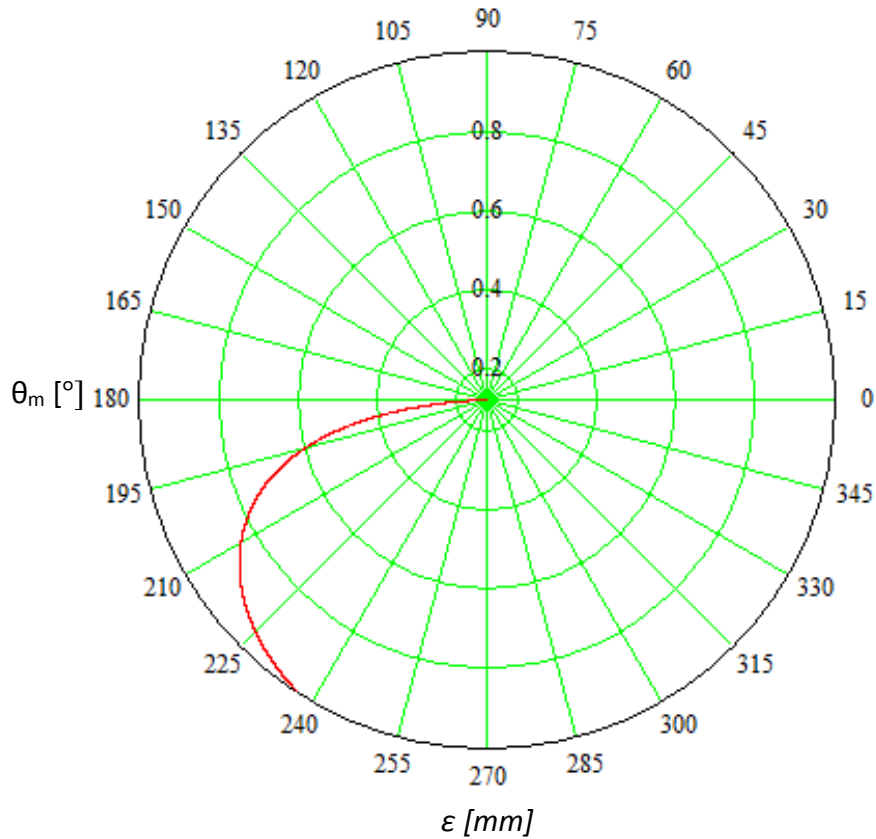


Fig. 7.51. Paraqitja grafike në koordinata polare e ndryshimit të këndit të veprimit maksimal të presionit-  $\theta_m$ , në varësi të ndryshimit të ekscentricitetit relativ-  $\epsilon$ .

Nga fig. 7.51., shihet se vlera e presionit maksimal në shtresën e lyerësi arrihet në këndin prej rreth:  $\theta \approx 235^\circ$ . Me zvogëlimin e raportit të ekscentricitetit, këndi i veprimit të presionit maksimal ndryshon si dhe me këtë edhe vlerat e presionit maksimal fillojnë të bien.

Fillimisht, kur boshti është në qetësi, kontakton direkt unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale në këndin:  $\theta= 270^\circ$ , ndërsa ekscentriciteti ka vlerën maksimale:  $\epsilon=1$ .

Me rastin e fillimit të lëvizjes së boshtit, pasi që boshti kontakton direkt unazën e kushinetës, vlerat e fërkimit janë të larta, gjithashtu edhe gërryerjet për shkak të abrazionit dhe adhezionit janë të mëdha. Me vazhdimin e lëvizjes së boshtit vlera e ekscentricitetit fillon të bie, lyerësi fillon të futet ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës dhe me këtë rast boshti

fillon të ngritet. Me ngritjen e boshtit, ekscentriciteti fillon të bie, pra, distanca ndërmjet akseve gjeometrike të boshtit dhe unazës së kushinetës zvogëlohet.

Rritja e shpejtësisë së lëvizjes së boshtit, ndikon që ekscentriciteti zvogëlohet, ndërsa arrinë vlerën:  $\epsilon \approx 0$ , kur shpejtësia është maksimale.

Në fig. 7.52., duke shfrytëzuar shprehjen [6.13], është paraqitur diagrami i fituar i aftësisë bartëse të kushinetës në funksion të shpejtësisë këndore të rrotullimit të boshtit.

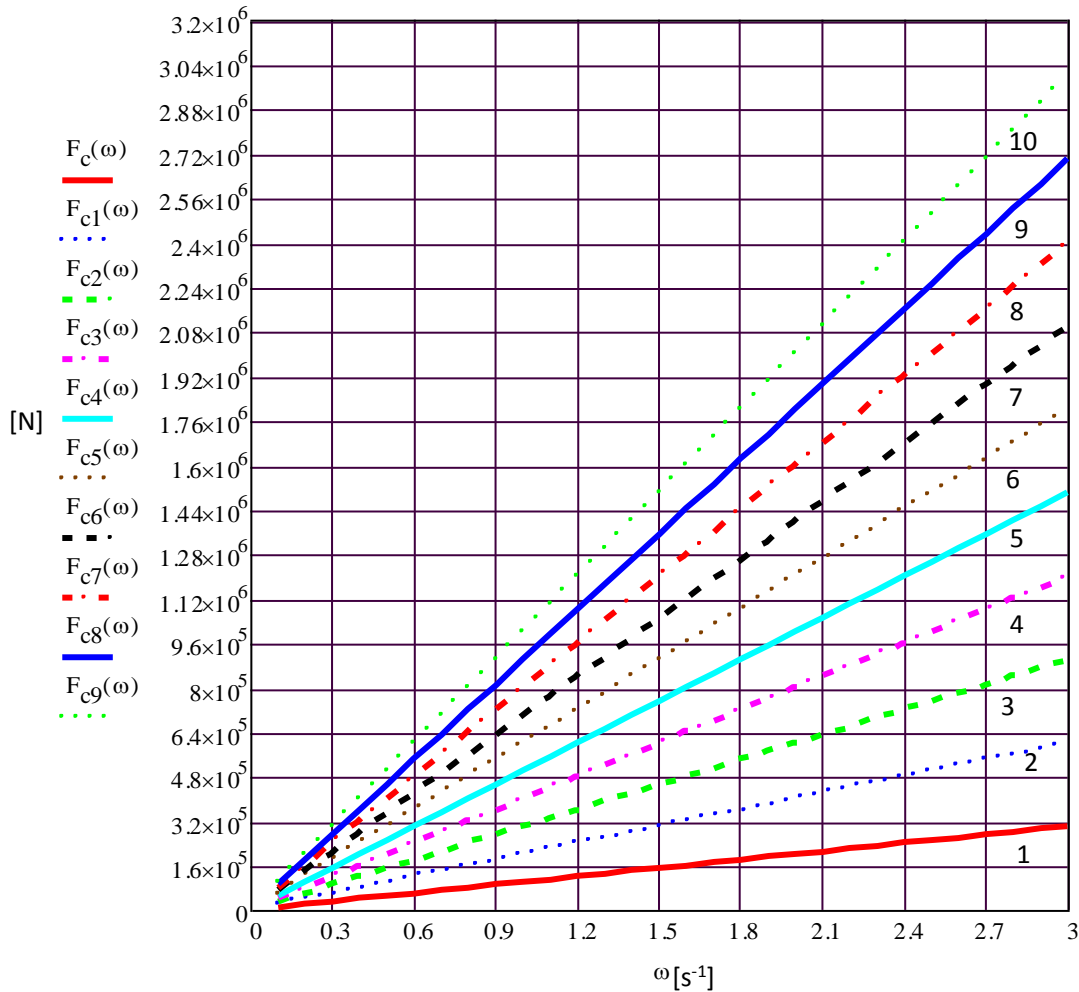


Fig. 7.52. Aftësia bartëse e kushinetës në funksion shpejtësisë këndore të rrotullimit të boshtit.

(1- për viskozitet të lyerësit 10 [MPa·s], 2- për viskozitet të lyerësit 20 [MPa·s], 3- për viskozitet të lyerësit 30 [MPa·s], 4- për viskozitet të lyerësit 40 [MPa·s], 5- për viskozitet të lyerësit 50 [MPa·s], 6- për viskozitet të lyerësit 60 [MPa·s], 7- për viskozitet të lyerësit 70 [MPa·s], 8- për viskozitet të lyerësit 80 [MPa·s], 9- për viskozitet të lyerësit 90 [MPa·s], 10- për viskozitet të lyerësit 100 [MPa·s]).

Nga diagrami i paraqitur në fig. 7.52., mund të shihet se si aftësia bartëse rritet me rritjen e viskozitetit të lyerësit si dhe me rritjen e shpejtësisë këndore të rrotullimit të boshtit apo aksit.

Në fig. 7.53., është paraqitur diagrami i fituar i vlerave të numrit të Somerfeldit në funksion të forcës dhe me rastin e aplikimit të lyerësve me viskozitet të ndryshëm.

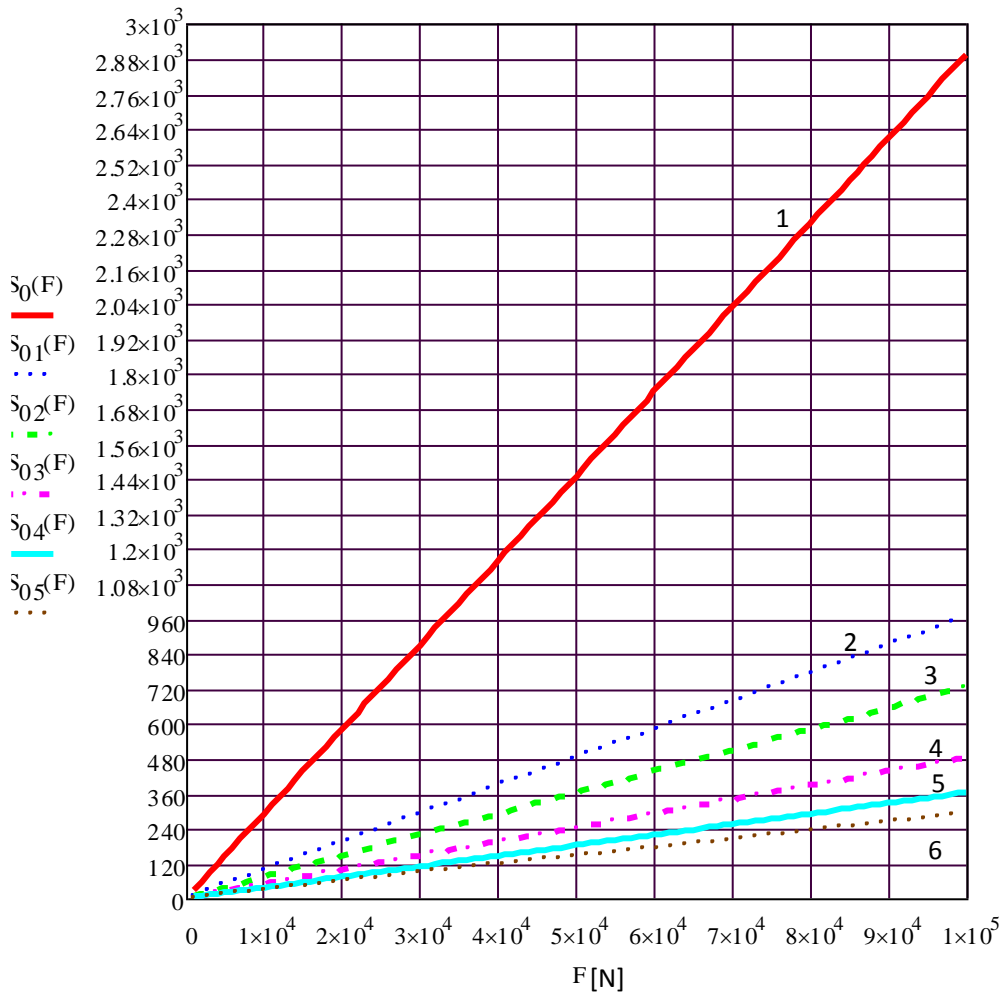


Fig. 7.53. Vlerat e numrit të Somerfeldit në funksion të forcës dhe me rastin e aplikimit të lyerësve me viskozitet të ndryshëm.

(1- për viskozitet të lyerësit 10 [MPa·s], 2- për viskozitet të lyerësit 30 [MPa·s], 3- për viskozitet të lyerësit 40 [MPa·s], 4- për viskozitet të lyerësit 60 [MPa·s], 5- për viskozitet të lyerësit 80 [MPa·s], 6- për viskozitet të lyerësit 90 [MPa·s].

Nga fig. 7.53., mund të shihet se me rastin e rritjes së forcës vepruese, vlera e numrit të Somerfeldit rritet. Ndërsa me rastin e ndryshimit të lyerësit, përkatësisht me rritjen e viskozitetit, vlera e numrit të Somerfeldit bie.

Diagrami i paraqitur në fig. 7.53., është fituar duke shfrytëzuar shprehjen [6.13] nga pjesa teorike.

Në aftësinë bartëse të kushinetave rrëshqitëse radiale, ka ndikim gjerësia e kushinetës. Në fig. 7.54., është paraqitur diagrami i fituar i aftësisë bartëse të kushinetës rrëshqitëse radiale, në funksion të gjerësisë së e kushinetës dhe me rastin e përdorimit të lyerësve të ndryshëm.



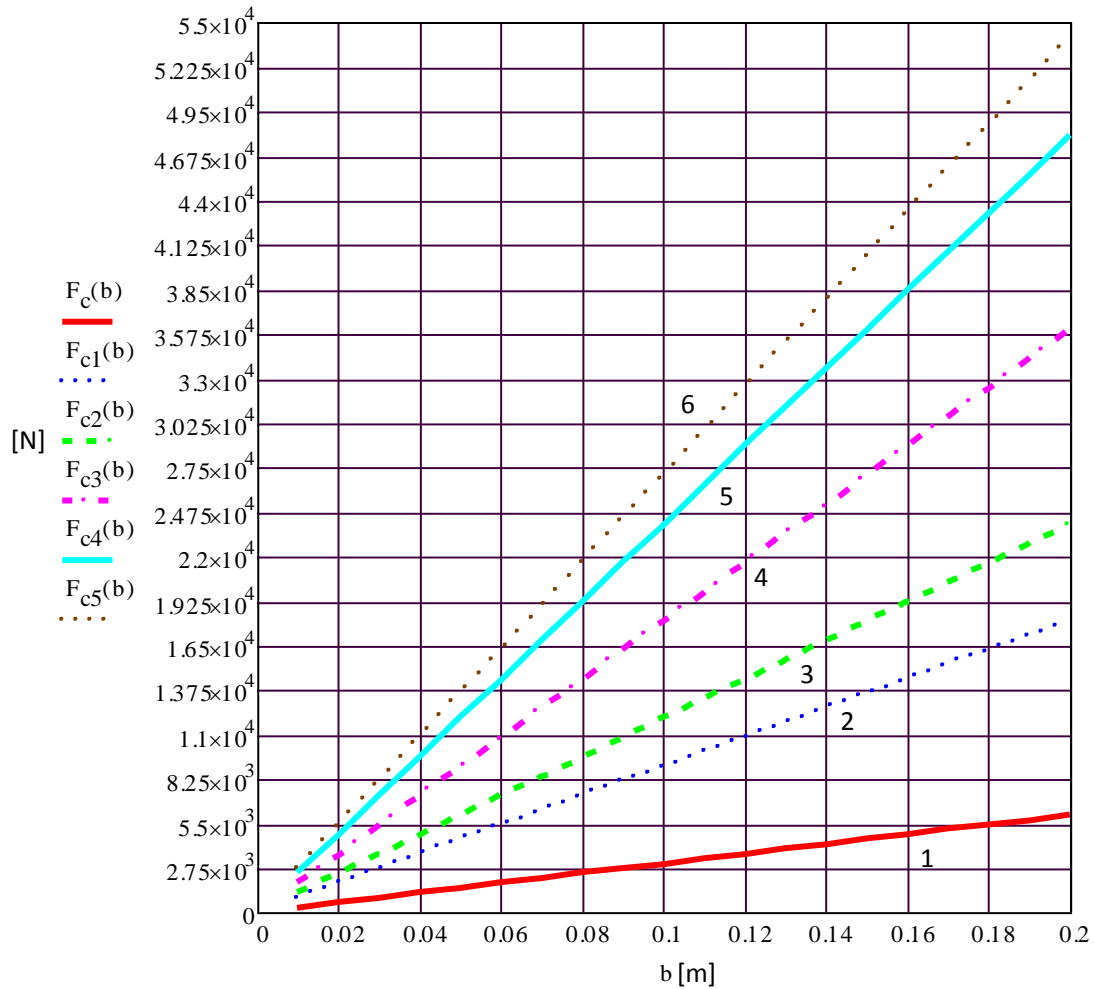


Fig. 7.54. Aftësia bartëse e kushinetës në funksion të gjerësisë së kushinetës dhe me rastin e aplikimit të lyerësve me viskozitet të ndryshëm.

(1- për viskozitet të lyerësit 10 [MPa·s], 2- për viskozitet të lyerësit 30 [MPa·s], 3- për viskozitet të lyerësit 40 [MPa·s], 4- për viskozitet të lyerësit 60 [MPa·s], 5- për viskozitet të lyerësit 80 [MPa·s], 6- për viskozitet të lyerësit 90 [MPa·s].

Nga diagrami i paraqitur në fig. 7.54., mund të shihet se me rastin e rritjes së gjerësisë së kushinetës, rritet edhe aftësia bartëse e saj. Gjithashtu edhe me rritjen e viskozitetit të lyerësit rritet aftësia bartëse e kushinetës.

Diagrami i paraqitur në fig. 7.54., është fituar duke shfrytëzuar shprehjen [6.13] nga pjesa teorike. Diametri i brendëshëm i unazës së kushinetës rrëqitëse radiale, me këtë rast është marrë:  $D = 0.14 [m]$ . Hapësira radiale është marrë:  $C_r = 0.009 [mm]$ . Forca vepruese:  $F = 30 [kN]$ , ndërsa shpejtësia e rrotullimit të boshtit:  $\omega \approx 2 [s^{-1}]$ .

Në diagramin në figurën 7.55., janë paraqitur lakoret e fituara të zonës katërkëndëshe të shpërndarjes së sforcimit në kontakt, në funksion të ndryshimit të forcës vepruese dhe për

materiale të ndryshme të unazës së kushinetës. Materiali i dorëzës së boshtit është çelik për përmisim, ndërsa materiali i unazës së kushinetës është marrë:

- *lakorja 1- për unazën nga bronzi,*
- *lakorja 2- për unazën nga alumin 7075,*
- *lakorja 3- për unazën nga nikeli,*
- *lakorja 4- për unazën nga plumbi,*
- *lakorja 5- për unazën nga zinku dhe*
- *lakorja 6- për unazën nga inoksi 316.*

Me anë të diagramit të paraqitur në fig. 7.55., është treguar ndikimi i materialit në zonën katërkëndëshe të shpërndarjes së sforcimit në kontakt.

Nga ky diagram mund të shihet se si me rastin e përdorimit të materialeve më të buta zona katërkëndëshe e shpërndarjes së sforcimeve në kontakt rritet. Nëse përdorim për material të unazës plumbin (lakorja 4), zona katërkëndëshe e shpërndarjes së sforcimeve në kontakt është më e madhe, në krahasim nëse përdorim unazë nga bronzi (lakorja 1) apo njdonjë material me fortësi më të madhe. Kjo zonë rritet me rastin e rritjes së ngarkesës, ndërsa vlera më e madhe në këtë diagram arrihet me rastin e përdorimit të unazës nga plumbi nën veprimin e forcës maksimale.

Gjithashtu nga ky diagram mund të shihet se zona katërkëndëshe e shpërndarjes së sforcimeve në kontakt, me rastin e përdorimit të unazës nga bronzi, ka vlerat më të vogla. Duke pas parasysh se edhe fërkimi ndërmjet çelikut (materiali i boshtit) dhe bronzës (materiali i unazës së kushinetës) ka vlera rreth:  $\mu= 0.3$ - me rastin e kontaktit në mjedis të pa lyer, ndërsa arrinë vlerën rreth:  $\mu= 0.16$ - me rastin e kontaktit në mjedis të lyer, përdorimi i unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale nga bronzi, është zgjedhja më e mirë.

Diagrami i paraqitur në fig. 7.55., është fituara duke shfrytëzuar vlerën absolute të shprehjes [2.8] dhe shprehjen [2.7] nga pjesa teorike.



Fig. 7.55. Zona katërkëndëshe e shpërndarjes së sforcimit në kontakt, në funksion të ndryshimit të forcës vepruese dhe për materiale të ndryshme të unazës.

(1- për Bronzë, 2- për Alumin 7075, 3- për Nikël, 4- për Plumb, 5- për Zink, 6- për Inoks 316).

Në fig. 7.56, është paraqitur diagrami i ndryshimit të presionit në shtresën e lyerësit në funksion të ekscentricitetit dhe për vlera të ndryshme të këndit  $\phi$ .

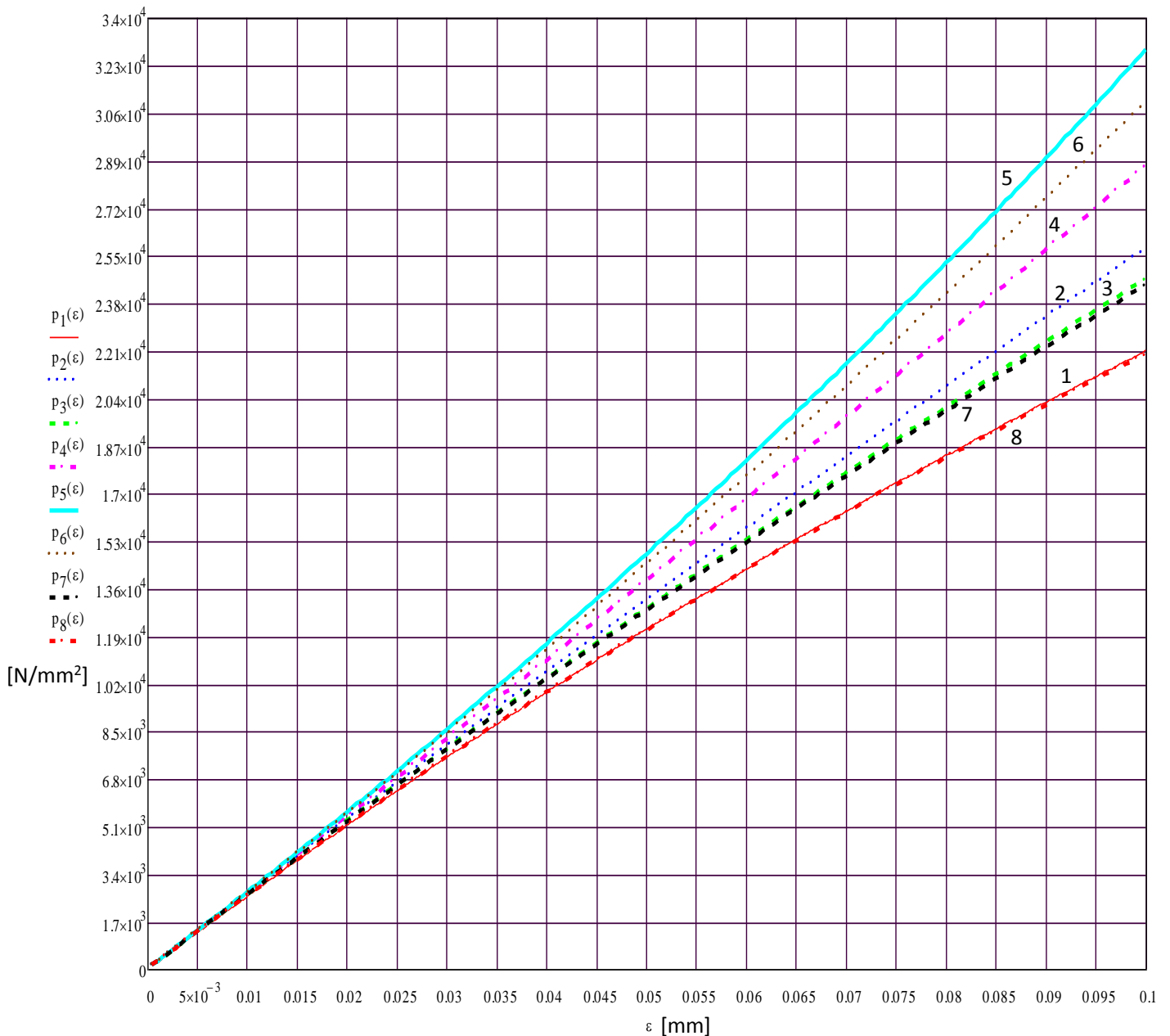


Fig. 7.56. Presioni në shtresën e lyerësit në funksion të ekscentricitetit dhe për vlera të ndryshme të këndit  $\phi$ .

(1- për kënd  $0^\circ$ , 2- për kënd  $30^\circ$ , 3- për kënd  $45^\circ$ , 4- për kënd  $90^\circ$ , 5- për kënd  $135^\circ$ , 6- për kënd  $180^\circ$ , 7- për kënd  $225^\circ$ , 8- për kënd  $270^\circ$ ).

Në diagramin në fig. 7.56., është paraqitur ndryshimi i presionit në shtresën e lyerësit në funksion të ekscentricitetit me rastin e ndryshimit të këndit të rrotullimit. Shihet se me rritjen e ekscentricitetit, presioni në shtresën e lyerësit rritet.

## 8

## KOMENTIMI I REZULTATEVE DHE REKOMANDIMET

Llogaritet e kryera në kapitullin e 9- të, kanë vërtetuar supozimet nga pjesa teorike si dhe me këtë rast janë fituar rezultatet për problemin praktik të shqyrtuar.

Nga rezultatet e fituara është vërtetuar se:

- *koeficienti i fërkimit tek kushinetat rrëshqitëse radiale, gjatë lyerjes hidrodinamike arrin vlera relativisht të vogla,*
- *me rastin e rritjes së forcës vepruese, vlerat e koeficientit të fërkimit zvogëlohen ndjeshëm,*
- *aftësia bartëse e kushinetave rrëshqitëse radiale, rritet me rastin e rritjes së: shpejtësisë së boshtit apo aksit, viskozitetit të lyerësit dhe dimensioneve të kushinetës (gjerësisë së unazës-b dhe diametrit të saj D),*
- *viskoziteti i lyerësit bie me rastin e rritjes së temperaturës ndërsa rritet me rritjen e presionit,*
- *me rritjen e viskozitetit të lyerësit, rriten harxhimet, përkatësisht rritet fuqia e humbur,*
- *përdorimi i unazës nga bronzi është zgjedhja më e mirë, shikuar edhe nga aspekti i fërkimit si dhe nga zona kontaktuese me rastin e kontaktit direkt me dorëzën e boshtit apo aksit,*
- *vëllimi i materialit të gërryer për shkak të adezionit dhe abrazionit ndodhë me rastin e lyerjes jo të duhur, apo me rastin kur boshti ose aksi është në qetësi dhe kontakton direkt unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale,*
- *me rritjen e shpejtësisë së boshtit apo aksit ekscentriciteti zvogëlohet,*
- *me rritjen e ekscentricitetit presioni në shtresën e lyerësit rritet.*

Dëmtimi i unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale të përdorura tek reduktori i rrotës punuese të ekskavatorit ka ardhur si pasojë e nivelit të lyerjes jo të duhur.

Rekomandohet që:

- *sistemi i lyerjes së kushinetave rrëshqitëse radiale të automatizohet plotësisht,*
- *të shmangët ngarkimi i përnjëhershëm që në fillimin e punës së reduktorit,*
- *kushinetat rrëshqitëse radiale dhe i tërë reduktori të pastrohen nga grimcat të cilat janë futur në shtëpizën e reduktorit gjatë përpunimit,*
- *me rastin e montimit të unazës së kushinetës të shmangët futja e grimcave ndërmjet unazës dhe shtëpizës së kushinetës,*
- *të shmangët depërtimi i grimcave të forta në lyerës,*
- *të bëhen matjet e vrazhdësisë së sipërfaqes së boshtit dhe unazës së kushinetës, në mënyrë që vlerat maksimale të jorrafshirave të mos jenë më të mëdha se hapësira diametrale ndërmjet boshtit dhe unazës së kushinetës.*



## 9

## PËRFUNDIMI

Analiza e ndikimit të ngarkesave në karakteristikat tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale, si problematikë e shtjellimit të kësaj teme diplome, është përpunuar në hollësi, si dhe janë dhënë rekomandime për problematikën e shtjelluar në pjesën praktike.

Me këtë temë diplome është tentuar të jepet një kontribut shkencor në fushën e tribologjisë së konstruksioneve makinerike, në veçanti në llogaritjen e karakteristikave tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale. Me qëllim të njohjes sa më të mirë të problematikës së dëmtimit të unazave të kushinetave rrëshqitëse radiale, janë bërë edhe disa kontakte me ekspertët në Repartin e Pajimeve Xehtare në KEK.

Kushinetat rrëshqitëse radiale, si tërësi makinerike, me rastin e përdorimit kanë një rol kyç në funksionimin e pjesëve makinerike, përkatësisht të atyre pjesëve të cilat kryejnë lëvizje rrotulluese. Mundësia e pranimit të ngarkesave të mëdha nga boshti ose aksi përmes dorëzës duke mos u kushtëzuar nga dimensionet gabarite, e bëjnë këtë lloj të kushinetave të veçantë. Lyerësi, është elementi kryesor me ndikim në funksionimin e këtyre kushinetave. Prandaj, lyerja si proces është procesi më i rëndësishëm gjatë mirëmbajtjes tek kushinetat rrëshqitëse radiale.

Gjatë projektimit të kushinetave rrëshqitëse radiale duhet pasur parasysh ashpërsinë sipërfaqësore të unazës së kushinetës si dhe të dorëzës së boshtit apo aksit. Përcaktimi i duhur i ashpërsisë do të ndikojë në punën dhe afatin e shërbimit të kushinetës.

Me rastin e shqyrtimit të kushinetave rrëshqitëse radiale në këtë punim, për ndihmë në llogaritje janë shfrytëzuar programet e ndryshme kompjuterike siç janë: *HertzWin*, *MathCad*, *SolidWorks*, etj.

Njëri nga programet kompjuterike i cili bënë llogaritjen e kontaktit sipas Hertz-it është programi HertzWin. Ky program është shfrytëzuar për llogaritjen e presionit në zonën e kontaktit ndërmjet të dorëzës së boshtit apo aksit dhe unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale. Me anë të këtij programi është vërtetuar se me rastin e ndryshimit të forcës vepruese në dorëzën e boshtit apo aksit, zona e projektuar e kontaktit ndryshon, nga sipërfaqe e kontaktit vijë kur nuk vepron forcë në katërkëndësh kur vepron forca. Sipërfaqja e kontaktit rritet me rastin e rritjes së forcës vepruese. Sipërfaqja e kontaktit ndërmjet dorëzës së boshtit

apo aksit dhe unazës, rritet gjithashtu edhe me rastin e ndryshimit të materialit të unazës. Kjo është vërtetuar edhe me rastin e aplikimit të programit *MathCad*, ku me anë të diagrameve është vërtetuar se materiali i unazës më i përshtatshëm është bronza, që njëherit është edhe materiali më i përdorur për punimin e unazave së kushinetave rrëshqitëse radiale. Gjithashtu edhe unazat e kushinetave rrëshqitëse radiale të reduktorit të shqyrtuar janë të punuara nga bronza.

Për modelim dhe llogaritje të sforcimeve tek unazat e kushinetave rrëshqitëse radiale të reduktorit të shqyrtuar në pjesën praktike, është përdorur programi *SolidWorks*. Ky program na ka dhënë informata mbi ndryshimin e sforcimeve në zonën kontaktuese ndërmjet dorëzës së boshtit apo aksit dhe unazës së kushinetës, me rastin e ndryshimit të forcës vepruese. Duke e shfrytëzuar këtë program janë evidentuar zonat më të ndjeshme me rastin e kontaktit të dorëzës së boshtit, gjatë lyerjes jo të duhur.

Të gjitha dëmtimet të cilat shkaktohen në unaza e kushinetës rrëshqitëse radiale, pothuajse gjithmonë janë si pasojë e lyerjes jo të duhur dhe veprimit të ngarkesës së përnjëhershme që me fillimin e punës së boshtit apo aksit. Prandaj në mënyrë që të mos dëmtohen kushinetat rrëshqitëse radiale duhet që makina, respektivisht reduktori në fjalë të mos e ngarkohet përnjëherë që me rastin e fillimit të punës. Duhet dhënë mundësi që lyerësi të futet në zonën kontaktuese dhe në këtë mënyrë të shmanget dëmtimi i unazës së kushinetës rrëshqitëse radiale.

Nëse lyerja nuk është në nivelin e duhur, në kuptimin cilësor dhe sasior, jorrafshirat e sipërfaqes së dorëzës së boshtit futen në materialin e unazës së kushinetës duke shkaktuar dëmtime abrazive. Me rastin rritjes së ngarkesës vëllimi i materialit të gërryer nga abrazioni rritet. Kjo është vërtetuar edhe nga diagramet e vëllimit të gërryer nga abrazioni (fig. 7.49. dhe fig. 7.50.).

Kur boshti gjendet në qetësi, dorëza e boshtit kontakton direkt unazën e kushinetës rrëshqitëse radiale, ndërsa me këtë rast për shkak të veprimit të adhezionit, kemi shkëputje të materialit të unazës, me rastin e lëvizjes së boshtit. Vëllimi i materialit të shkëputur nga unaza për shkak të veprimit adheziv ndërmjet dorëzës së boshtit dhe unazës, rritet me rastin e rritjes së forcës vepruese në bosht. Gjithashtu edhe ky konstatim nga pjesa teorike është vërtetuar edhe me anë të diagrameve, duke shfrytëzuar programin kompjuterik *MathCad* (fig. 7.47. dhe fig. 7.48.).

Gjatë punës së kushinetave rrëshqitëse radiale ndikim ka edhe temperatura e ambientit në të cilën punon makina në fjalë. Rritja e temperaturës ndikon në zvogëlimin e viskozitetit të lyerësit dhe që pastaj ka ndikim edhe në performancën e kushinetave rrëshqitëse radiale.

Njohja dhe aplikimi i duhur i tribologjisë si shkencë për trupat që janë në kontakt dhe kryejnë lëvizje relative ndaj njëri tjetrit është mjaftë i rëndësishëm. Ka ndikim si në precizitet gjatë punës, gjithashtu edhe në dëmtime dhe harxhime të cilat janë të kushtueshme.

Programet e përdorura gjatë analizës së ndikimit të ngarkesave në karakteristikat tribologjike tek kushinetat rrëshqitëse radiale, kanë dhënë rezultate shumë të kënaqshme. Programet si *SolidWorks*, janë laboratorë virtual, të cilat i kanë zëvendësuar me mjaftë sukses laboratorët konvencionale, por të cilët assesi nuk duhet të anashkalohen. Këto programe softuerike kanë lehtësuar shumë punën e konstruktorit, kanë ndikuar që gabimet të evitohen që në fazën e konstruktimit dhe jo pasi që produkti të finalizohet. Duke i shfrytëzuar këto programe eliminohen kostot e fazës së konstruktimit, të cilat janë shfrytëzuar për krijimin e prototipave testuese, është optimalizuar shfrytëzimi i materialeve dhe është eliminuar mundësia e tej dimensionimit, etj. Me fjalë të tjera, falë këtyre, dhe programeve tjera të avancuara kompjuterike, detalet, konstruksionet, makinat, etj., janë shumë më të sigurta, gabimet gjatë konstruktimit janë shumë më të vogla dhe ndryshimet janë shumë më të lehta.

Prandaj, materiali i dhënë në këtë punim ka një rëndësi të veçantë praktike për të gjithë ekspertët, të cilët merren me problematikën e kushinetave rrëshqitëse radiale.

## REFERENCAT

- [1]- *Detalet e makinave 2- Libri 2, Dr.sc. Nijazi Ibrahim, Prishtinë 2006.*
- [2]- *Tribologjia e konstruksioneve makinerike, Prof. Dr. Nijazi Ibrahim, Prishtinë 2006.*
- [3] <http://www.directindustry.com/prod/john-crane/product-14142-560024.html>
- [4] [http://www.hasmak.com.tr/dodgerulman/bronze\\_bushed\\_journal.html](http://www.hasmak.com.tr/dodgerulman/bronze_bushed_journal.html)
- [5] <http://hydraulicspneumatics.com/machine-tools/easier-fit-clevis-pins>
- [6] Foto nga: *Fabrika e pajimeve xehtare ne kuadër të KEK-ut.*
- [7] <http://mei-babbittbearings.com/products/product-range.html>
- [8] <http://www.nauticexpo.com/prod/cedervall/product-28113-264754.html>
- [9] <http://www.nauticexpo.com/prod/feadship/product-20491-450777.html>
- [10] <http://www.sailmagazine.com/diy/give-your-running-gear-an-upgrade/>
- [11] <http://americanmachinist.com/news/rolls-royce-selling-fluid-bearings-business>
- [12] <http://www.trijournalbearings.com/index.php/fixed-bore-babbitt-bearings>
- [13] <http://www.nationalbronze.com/News/410/>
- [14] <http://www.machinedesign.com/bearings/detect-oil-film-bearing-failure>
- [15] <https://www.ksb.com/centrifugal-pump-lexicon/plain-bearing/191450>
- [16] <http://www.baldor.com/brands/baldor-dodge/products/mounted-bearings/mounted-plain-bearings/babbitted-journal-plain-bearings>
- [17] <http://new.abb.com/mechanical-power-transmission/mounted-bearings/journal-plain-bearings>
- [18] <http://vibrationacoustics.asmedigitalcollection.asme.org/article.aspx?articleid=1471504>
- [19] <http://www.baldor.com/brands/baldor-dodge/products/mounted-bearings/mounted-plain-bearings/bronze-bushed-journal-bearings>
- [20] *Bharat Bhushan- Principles and Applications of Tribology, Second edition- faqe 199.*
- [21] [https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fimages.slideplayer.com%2F19%2F5756872%2Fslides%2Fslide\\_28.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fslideplayer.com%2Fslide%2F5756872%2F&docid=3KXbmE\\_Nme3QHM&tbnid=9NPL3Sua5SzwuM%3A&vet=1&w=960&h=720&client=firefox-b&bih=635&biw=1024&q=lubricated%20shear%20stress&ved=0ahUKEwiM0vHf85nSAhXBA5oKHaw\\_AxwQMwiHASHjMGM&iact=mrc&uact=8#h=720&imgsrc=9NPL3Sua5SzwuM:&vet=1&w=960](https://www.google.com/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fimages.slideplayer.com%2F19%2F5756872%2Fslides%2Fslide_28.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fslideplayer.com%2Fslide%2F5756872%2F&docid=3KXbmE_Nme3QHM&tbnid=9NPL3Sua5SzwuM%3A&vet=1&w=960&h=720&client=firefox-b&bih=635&biw=1024&q=lubricated%20shear%20stress&ved=0ahUKEwiM0vHf85nSAhXBA5oKHaw_AxwQMwiHASHjMGM&iact=mrc&uact=8#h=720&imgsrc=9NPL3Sua5SzwuM:&vet=1&w=960)
- [22] <http://www.olympus-ims.com/th/ultrasonic-inspection-babbitt-bearing-liners/>
- [23] *Leimei Lin- Assessment of Effects of Surface Roughness and Oil Viscosity on Friction Coefficient under Lubricated Rolling-sliding Conditions (Analysis of Lubrication Modes Based on EHL Theory) (f. 2).*
- [24] *Bharat Bhushan- Principles and Applications of Tribology (f. 105).*

- [25] [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj\\_juvnperUAhUGbBoKHW\\_jCTIQFggxMAA&url=http%3A%2F%2Fhighered.mheducation.com%2Fsites%2Fdl%2Ffree%2F0073529281%2F365764%2FCh03\\_Section19\\_Hertz\\_Contact\\_Stresses.pdf&usg=AFQjCNGqNaQc9BFvCk8T98-\\_krZFjHP9Ig](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwj_juvnperUAhUGbBoKHW_jCTIQFggxMAA&url=http%3A%2F%2Fhighered.mheducation.com%2Fsites%2Fdl%2Ffree%2F0073529281%2F365764%2FCh03_Section19_Hertz_Contact_Stresses.pdf&usg=AFQjCNGqNaQc9BFvCk8T98-_krZFjHP9Ig)
- [26] [http://www.efunda.com/formulae/solid\\_mechanics/failure\\_criteria/failure\\_criteria\\_ductile.cfm](http://www.efunda.com/formulae/solid_mechanics/failure_criteria/failure_criteria_ductile.cfm)
- [27] <http://phys.org/news/2014-04-ancient-egyptians-pyramid-stones-sand.html>
- [28] Riyadh A. Al-Samarai, Haftirman, Khiarel Rafezi Ahmad, Y. Al-Douri- *The Influence of Roughness on the Wear and Friction Coefficient under dry and lubricated sliding* (f.5).
- [29] *Modern Handbook Tribology- Volume one*, by Bharat Bhushan- Department of Mechanical Engineering, The Ohio State University, Columbus, Ohio (faqe 166).
- [30] <http://www.daviddarling.info/encyclopedia/B/bearing.html>
- [31] Norton, R.2011.*Machine design: an integrated approach*. New Jersey: Pearsons.
- [32] Pinkus, O.; Sternlicht, B.: *Theory of Hydrodynamic Lubrication*, Mcgraw-Hill, New York- 1961 (f. 199).
- [33] <http://www.machinerylubrication.com/Read/638/failure-analysis-bearings>
- ISO 4287- 1996- standardi internacional për mënyrën e përcaktimit të ashpërsisë së sipërfaqes
- [34] [http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403\\_PDF\\_CH07.pdf](http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403_PDF_CH07.pdf)
- [35] <http://nptel.ac.in/courses/112102015/12>
- [36] Marrë nga: Hokkirigawa, K. and Kato, K. (1988), *An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedge formation during abrasive wear*, *Tribology Int.*, (f. 21, 1, 51)
- [37] Prof. Dr. –Ing. P. J. Mauk, Institut für Angewandte Materailtechnik, Universität Duisburg-Essen. IAM-DT-3: SS2005, LEC- DT3- Journal\_Bearings.doc.
- [38] [http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403\\_PDF\\_CH07.pdf](http://home.ufam.edu.br/berti/nanomateriais/8403_PDF_CH07.pdf)
- [39] Hokkirigawa, K. and Kato, K. (1988) *An experimental and theoretical investigation of ploughing, cutting and wedgeformation during abrasive wear*, *Tribology Int.*, (f. 21, 1, 51-57)
- [40] <http://www.machinerylubrication.com/Read/1375/wear-modes-lubricated>
- [41] <http://www.cs.unc.edu/~blloyd/comp259/project/>
- [42] [https://www.shutterstock.com/de/image-vector/soap-bubble-bursting-animation-frames-set-370546541?utm\\_medium=Affiliate&utm\\_campaign=Eezy%20Inc&utm\\_source=38919&irgwc=1](https://www.shutterstock.com/de/image-vector/soap-bubble-bursting-animation-frames-set-370546541?utm_medium=Affiliate&utm_campaign=Eezy%20Inc&utm_source=38919&irgwc=1)
- [43] <http://www.knowyourparts.com/technical-articles/types-of-engine-bearing-damage>
- [44]- *Understanding Journal Bearings-* Malcolm E. Leader, P.E.- *Applied Machinery Dynamics Co.*Durango, Colorado (f. 13).
- [45] *Troubleshooting Bearing and Lube Oil System Problems* by Thomas H. McCloskey- *Electric Power Research Institute*, Pao Alto California (f. 157)

- [46] *Malcolm E. Leader, P.E. - Understanding Journal Bearings- Applied Machinery Dynamics Co. Durango, Colorado- [http://edge.rit.edu/edge/P14453/public/Research/2-LEADER\\_-\\_Understanding\\_Journal\\_Bearings.pdf](http://edge.rit.edu/edge/P14453/public/Research/2-LEADER_-_Understanding_Journal_Bearings.pdf), (f. 4-24).*
- [47] <http://machinerylubrication.com/Read/126/journal-bearing-contamination>
- [48] [http://www.calqlata.com/Maths/Surface\\_Finish.html](http://www.calqlata.com/Maths/Surface_Finish.html)
- [49] <http://nptel.ac.in/courses/116102012/bearings/lubrication%20in%20bush%20bearings.html>
- [50] [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hydrodynamic\\_journal\\_bearing](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hydrodynamic_journal_bearing)
- [51] <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~walshc2/FWM/Research%20Project/Sources/9780198526780.pdf>
- [52] [http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hydrodynamic\\_journal\\_bearing](http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=hydrodynamic_journal_bearing)
- [53] *Luis San Andres- Modern Lubrication (c) 2009.*
- [54] *Oil film pressure in hydrodynamic journal bearings, Antti Valkonen, Espoo 2009 (f. 100-102).*



