

Прорачун снаге и избор редуктора за погон роторног точка багера SRs-470 на ПК Дрмно

Душан Цветковић



Дигитални репозиторијум Рударско-геолошког факултета Универзитета у Београду

[ДР РГФ]

Прорачун снаге и избор редуктора за погон роторног точка багера SRs-470 на ПК Дрмно | Душан Цветковић | | 2023 |

<http://dr.rgf.bg.ac.rs/s/repo/item/0007582>

Универзитет у Београду
Рударско-геолошки факултет



Завршни рад

Мастер академске студије

Прорачун снаге и избор редуктора за погон
роторног точка багера SRs-470 на ПК Дрмно

Кандидат

Душан Цветковић

P564-22

Ментор

проф.др Предраг Јованчић

Београд, 2023.

Комисија:

1. Проф. др Предраг Јованчић, ментор

Рударско-геолошки факултет, Београд

2. Проф. др Драган Игњатовић, члан

Рударско-геолошки факултет, Београд

3. Доц. др Стеван Ђенадић, члан

Рударско-геолошки факултет, Београд

Датум одбране:

Резиме: У овом Завршном раду извршен је прорачун неопходан за реконструкцију редуктора за погон роторног точка багера SRs 47017/1.5. Дате су детаљне техничко-технолошке карактеристике роторног багера, техничке карактеристике старе изведбе и нове изведбе. Изведеним прорачуном оба редуктора и извршеном анализом, подухват се испоставио као исправна и корисна известиција по питању иновације и модернизације багера.

Кључне речи: *Роторни багер, роторни точак, редуктор, прорачун, површински коп,*

Садржај

1. Увод	5
2. Погон роторног точка багера	6
2.1. Роторни багер.....	6
2.2. Конструктивне изведбе погона роторног точка	13
2.3. Зависност конструктивних параметара код различитих типова багера.....	18
3. Погон роторног точка багера SRs470.17/1.5	26
3.1. Техничко-технолошке карактеристике багера	26
3.2. Техничке карактеристике редуктора за погон роторног точка	27
3.2.1. Стара изведба погона	29
3.2.2. Нова изведба погона	29
3.2.3. Упоредивање техничких карактеристика.....	30
3.3. Остваривање производних параметара код различитих редуктора	31
4. Прорачун потребне снаге погона роторног точка багера SRs470.17/1.5.....	35
4.1. Изведени прорачун на примеру старог погона	35
4.2. Изведени прорачун на примеру новог погона.....	38
4.3. Прорачун погона роторног точка багера	41
4.4. Упоредна анализа.....	46
5. Избор редуктора типа FLENDER на примеру роторног багера SRs470.17/1,5	47
6. Закључак.....	51
Литература.....	53

1. Увод

У раду је приказан општи прорачун погона роторног точка багера SRs470.17/1,5 који ради на површинском копу "Дрмно" у костолачком угљеном басену. Дефинисане су конструктивне изведбе погона роторног точка као и зависности конструктивних параметара код различитих типова роторних багера. Извршено је упоређивање различитих производних параметара код различитих редуктора за погон роторног точка на багеру. Главни правац овог рада је методолошки прилаз прорачуну и избору редуктора за погон роторног точка багера.

Редуктори служе за пренос снаге од погонских мотора на вратило радног елемента при чему врши редукцију броја обртаја и повећава обртни момент.

Изведбе редуктора могу бити следеће:

- Конусно-цилиндрични-планетарни редуктор,
- Конусно-планетарни редуктор,
- Конусно-планетарни цилиндрични редуктор,
- Цилиндрично-планетарни цилиндрични редуктор,
- Конусно-цилиндрични планетарни редуктор.

У овом раду биће обрађене карактеристике као и сам прорачун који треба узети у обзир при избору и замени редуктора, као и исплативост реконструкције односно модернизације погона.

2. Погон роторног точка багера

2.1.Роторни багер

Роторни багер представља самоходну машину континуираног дејства намењену за откопавање јаловине и корисне супстанце на површинским коповима.

Откопавање материјала врши се ведрима које су равномерно распоређене и причврћене на ободу роторног точка. Истовремено са обртањем роторног точка у вертикалној равни и окретањем роторне стреле заједно са платформом у хоризонталној равни свака ведрца откопава из масива одрезак који је одређен обликом и геометријским параметрима.

Обртањем роторног точка и наилазком пуних ведрца у зону истоварног сектора, материјал се празни из ведрца, предаје пријемном транспортеру на роторној стрели и даље редом, зависно од броја транспортера на багеру, задњем истоварном транспортеру.

Код роторних багера се, дакле, истовремено са откопавањем врши транспорт и утовар откопаног материјала у транспортна средства, ређе директно пребацивање у одлагалишни простор или складиштење на депонији. Величина, облик и конструкција роторног багера зависе посебно од захтеваног капацитета, начина утовара материјала, и специфичних услова рада на копу. На облик и конструкцију битно утиче дозвољени нагиб косина, затим чврстоћа материјала који се откопава, и дозвољени специфични притисак на тло. Облик и конструкција морају бити прилагођени условима доброг и лаког одржавања. Уобичајена класификација багера је на основу основних конструкционих карактеристика и капацитета на роторне багери типа А, Б и Ц. Тип А чине багери компактног типа, тип Б багери са обликом горње градње у облику латиничног слова Ц, и на крају тип Ц чине багери великог капацитета са претоварним мостом са конструкцијом са једним или два централна стуба.

Основне компоненте роторног багера приказане су на слици 2.1.:

1. Доња градња која служи за повезивање транспортног уређаја и постављање доње стазе за обртно ослони прстен и зупчасти венац
2. Транспортни уређај, најчешће гусенични, који служи за померање (транспорт) багера
3. Обртна платформа са централним стубом, која служи као ослонац за вешање роторне стреле, конзоле противтега, истоварне стреле
4. Стрела противтега и противтег за уравнотежење конструкције роторног багера у односу на окретну платформу и транспортни механизам
5. Стрела роторног точка са транспортером, која је једним крајем везана за обртну платформу, а на другом крају се поставља роторни точак.
6. Роторни точак који представља извршни орган за откопавање материјала
7. Механизам за дизање стреле роторног точка
8. Стрела истоварног транспортера (или мост) који служи за транспорт материјала

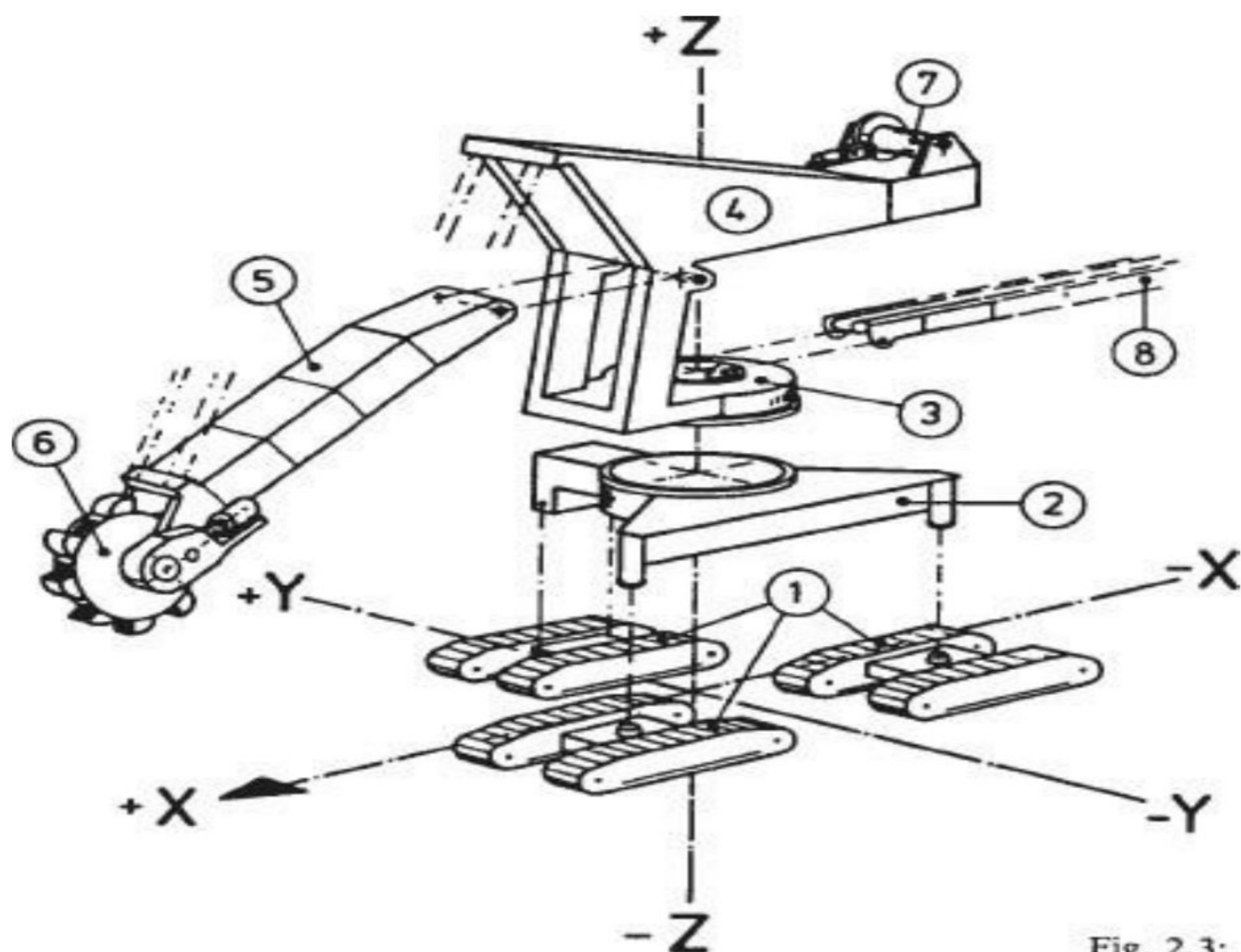
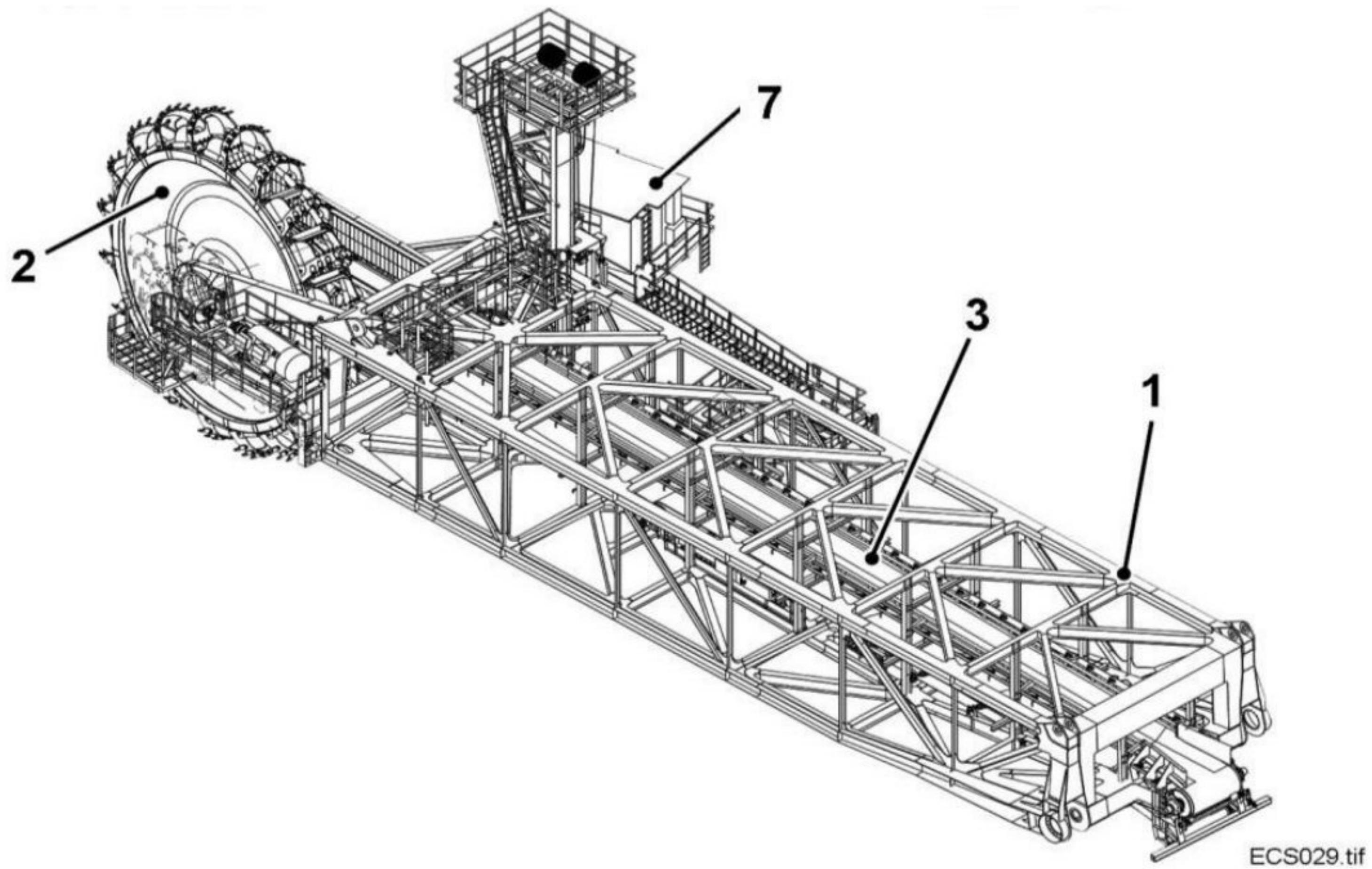


Fig. 2.3:

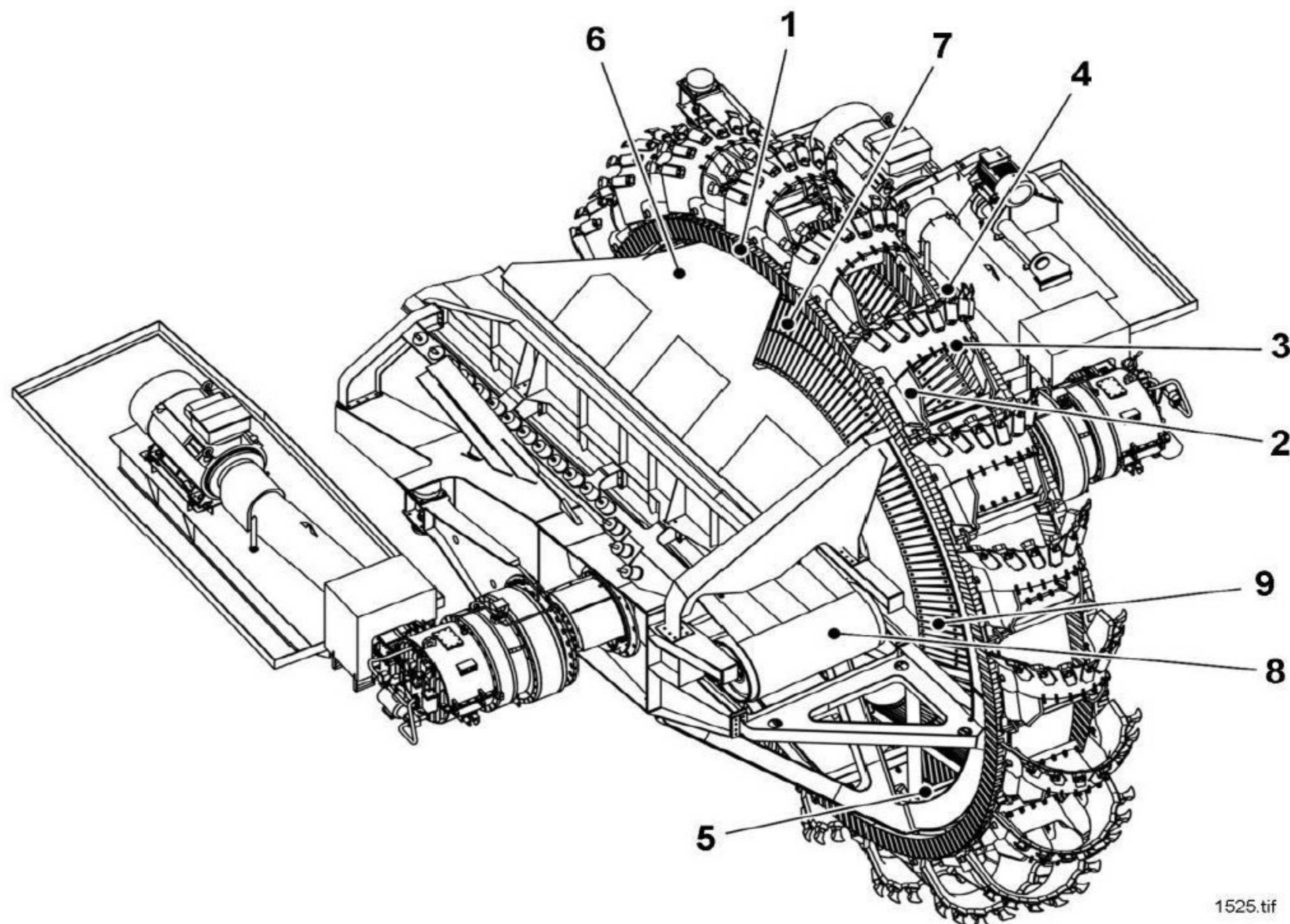
Слика 2.1. Главне компоненте роторног багера: 1. гусенични транспортни механизам, 2. доња градња, 3. ослоно-обртни део, 4. горња градња са противтегом, 5. стрела радног точка, 6. радни точак, 7. погонски систем за дизање и спуштање стреле радног точка, 8. истоварна стрела

Радни орган роторног багера чине:

- Стрела роторног точка (Слика 2.2.) и
- Роторни точак (Слика 2.3.) са елементима и погоном (тело роторног точка, ведрнице, склизнице, погонски мотор, редуктор, спојница)



Слика 2.2.Стрела роторног точка 1.Челична конструкција, 2. Роторни точак, 3. Транспортер на стрели роторног точка, 7. Кабина руковаоца



Слика 2.3.Роторни точак 1.Челична конструкција (венац), 2. Ведрнице, 3. Ланчаста завеса, 4. Зуби, 5. Полумесец, 6. Бункер, 7. Конус, 8. Транспортер са траком

Стрела радног точка припада главној носећој челичној конструкцији багера. Слободно се може истаћи да је стрела најоптерећенији и најодговорнији део конструкције багера. Рад багера се састоји од главних кретања (обртање роторног точка и кружно кретање горње градње) и помоћних кретања (кретање у правцу наступа и промена висинског положаја роторног точка у вертикалној равни). Заузимање жељеног положаја точка у вертикалној равни врши се дизањем и спуштањем стреле. Поред функције дизања роторног точка стрела има и низ других функција. На основној конструкцији стреле су уграђени елементи за копање и транспорт материјала као и више помоћних конструкција. Од помоћних конструкција треба истаћи конструкцију за вешање кабине са механизмом за подешавање положаја, конструкцију базишта, пресипних места и низ механизма, уређаја и инсталација неопходних за рад багера.

Велика оптерећења стреле динамичким и статичким силама, а такође и сопственом масом механизма и уређаја, чине је изузетно оптерећеном конструкцијом са сложеним напонским стањима високе вредности. Стрела као најоптерећенији део конструкције багера масе чини свега 6 до 13 % од масе целог багера. Смањене напрезања повећањем попречних пресека делова конструкције, доводи до знатног повећања масе целог багера.

Носећа конструкција стреле треба да пренесе све силе које се јављају (у раду, транспорту и мировању) на централну конструкцију багера. Облик носеће конструкције произилази из праваца деловања оптерећења и такође од захтеваних технолошких параметара багера. Велики утицај на облик конструкције стреле има диспозиција роторног точка са погонским агрегатима и пресипним местом. Главна конструкција стреле мора се обликовати тако да омогући уградњу помоћних конструкција при чему се мора водити рачуна о слободном простору делова који су у међусобном кретању. Поред наведених захтева, конструкција мора бити погодна за извођење радова одржавања који се редовно и често обављају на погонским механизмима, склоповима и инсталацијама. У конструкцији стреле се мора обезбедити довољан простор за рад људи и приступ дизаличним средствима при замени појединих склопова.

Век роторног багера је изузетно дуг, неколико деценија, па се без обзира на високу поузданост уграђених агрегата и склопова они морају замењивати више пута у току експлоатације багера. Дакле, на облик стреле утиче оптерећење, захтевана технологија откопавања, позиционирање помоћних конструкција, уградња инсталација, положај роторног точка, пресипних места, транспортера и наравно захтеви одржавања.

Тип изведене конструкције стреле зависи у првом реду од габарита багера, а самим тим и стреле. Примењују се два основна типа конструкције и то су:

- конструкција стреле пуних зидова и
- конструкција стреле у облику решетке.

Роторни точак представља најкарактеристичнији конструктивни део багера, по коме је и добио име. Кроз вишедеценијски развој роторних багера развијено је више типова роторних точкова уз стално даље усавршавање са циљем да се што боље одговори технолошким захтевима производње, уз смањење његове тежине, бољег и квалитетнијег одржавања као и уз повећање поузданости рада. Захтеви ка већим јединичним капацитетима условљавали су повећање димензија роторног точка. Пречник роторног точка се креће у дијапазону од 4,2 m па до 21,6 m, у зависности од величине багера, али и намене.

Роторни точак се састоји из следећих основних елемената:

- носеће конструкције роторног точка,
- вратила са лежајевима,
- ведрица са резним елементима.

Под погонским механизмом роторног точка подразумевамо:

- редуктор роторног точка (један или два),
- спојнице,
- електромотор (један или више, чак до четири комада),
- зглобна вратила за везу мотора и редуктора (само код неких багера).

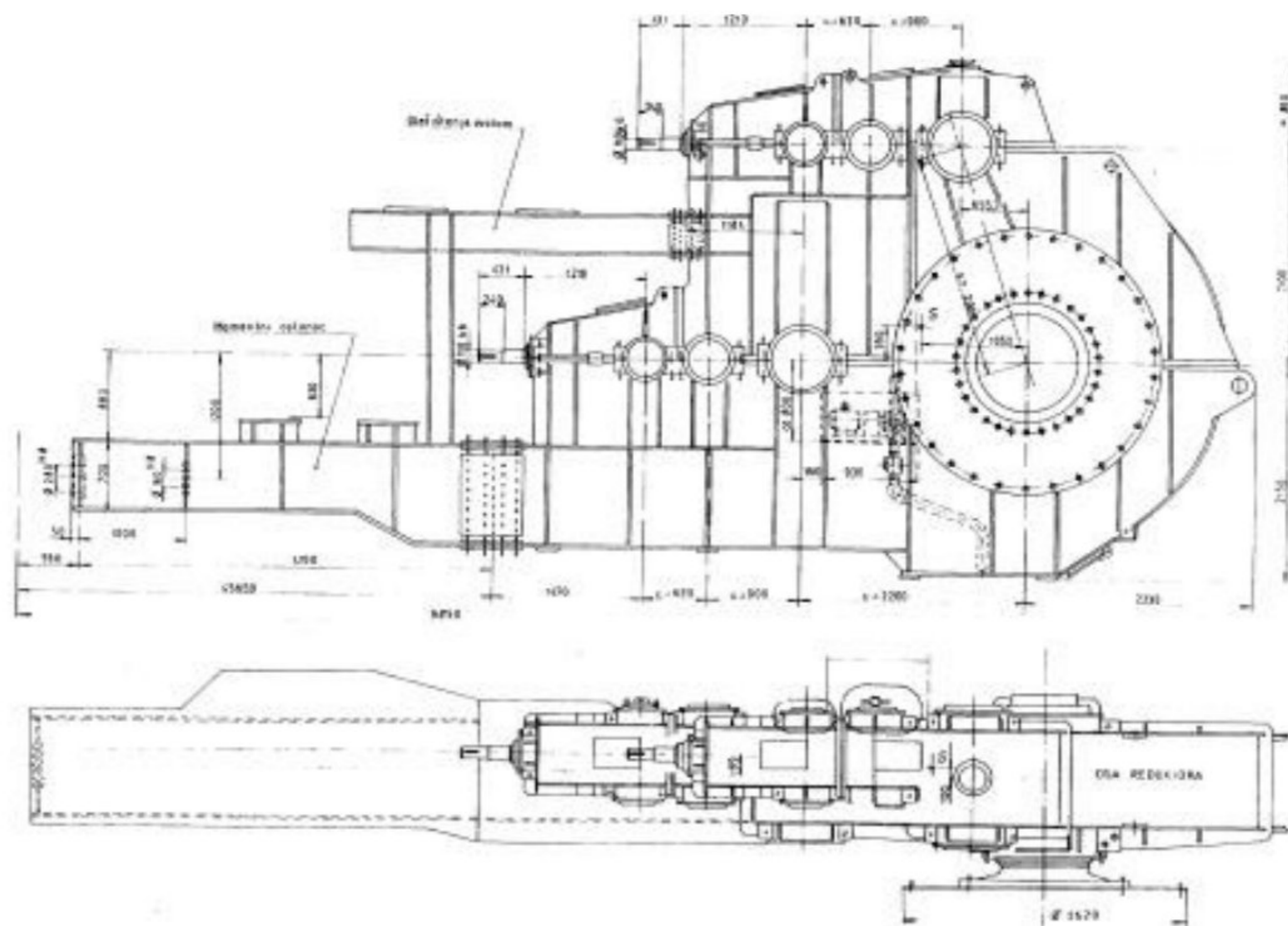
У концепцији конструкције роторног точка, почевши од првих – ћелијских и затим безћелијских (највише примењени), са њиховим предностима и недостацима, дошло је се и до полућелијских, што је свакако последица све разноврснијих услова рада багера. Повећањем висине прстенастог сектора и продужењем задњег дела ведрине у овај простор, добијена је комбинација ћелијског и безћелијског роторног точка. Највећи бегер, номиналног капацитета $240.000 \text{ m}^3/\text{дан}$ чврсте масе, има точак полућелијског типа. Поред ових, може се рећи основних типова, постоје и роторни точкови са гравитационо-инерционим или само инерционим пражњењем. Треба још напоменути да код роторних багера који су предодређени само за дубински рад, на роторном точку су ведрине заокренуте за 180° , а смер обртања супротан у односу на багере за висински рад. Постоје ћелијски, полућелијски и безћелијски роторни точкови. Задатак тела роторног точка је да обезбеди чврсту везу између вратила роторног точка и ведрине како би се све силе и моменти пренели између ова два елемента. Такође, функција тела роторног точка је да обезбеди, уз минимална просипања, одвођење материјала из ведрине преко клизних површина на пријемни транспортер. Тело роторног точка изводи се заваривањем од челичних лимова као једноставна носећа конструкција. У току рада цела конструкција је оптерећена широким спектром динамичких оптерећења, а у извесним случајевима и оптерећењима хаваријске природе. Површине које су у процесу рада у контакту са откопаном материјалом заштићене су антихабајућим облогама, али се, међутим, не може у потпуности елиминисати хабање носеће конструкције, што има за последицу смањење њене укупне чврстоће. Утицај корозије је такође изразит на везама које су изведене заваривањем или завртњима, што наравно, повлачи за собом слабљење укупне чврстоће конструкције. Носећа конструкција роторног точка се састоји од следећих радних елемената:

- тело роторног точка,
- прстенасти кутијаста носач спољни и прстенасти носач унутрашњи,
- попречни носачи и
- ушице за фиксирање ведрине.

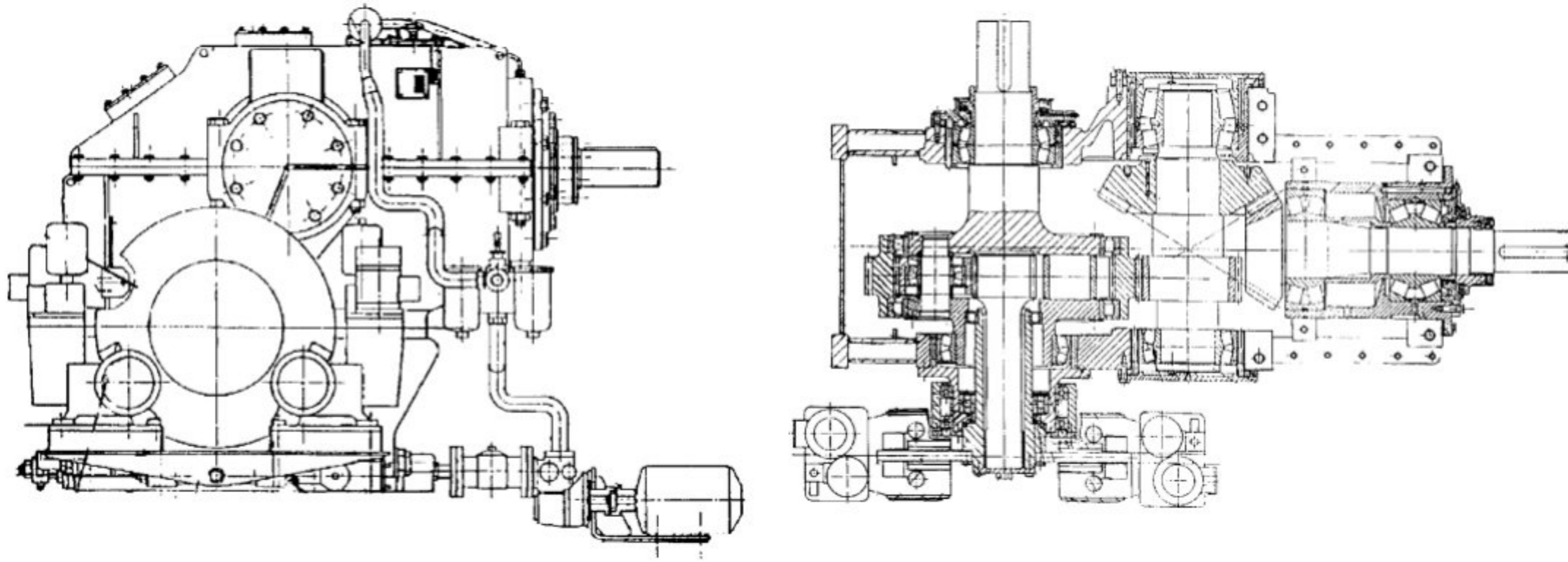
Највише у употреби су следеће конструкционе форме за извођење тела роторног точка:

- тело роторног точка са двоструким зидовима,
- тело роторног точка са једним зидом и паоцима, и
- тело роторног точка у облику зарубљене купе са једним зидом.

Редуктор роторног точка служи за пренос снаге од погонских мотора на вратило роторног точка при чему врши редукцију броја обртаја и повећава обртни момент. Код погона електромотором, број обртаја улазног вратила је по правилу од 1000 до 1500 min^{-1} , а број обртаја роторног точка од 6,0 до 7,0 min^{-1} . За овако велику редукцију броја обртаја потребни су редуктори са преносним односом $i=150\div 350$. Овакав преносни однос могуће је остварити вишестепеним редукторима. Редуктори за погон роторног точка су дуго низ година извођени у класичној концепцији односно као конусно-цилиндрични редуктори.



Слика 2.4. Вишестепени конусно-цилиндрични редуктор роторног точка багера



Слика 2.5. Комбиновани редуктор (пресек)

Редуктори се ослањају, у основи, на три ослонца: два представљају лежајеви излазног степена редуктора, а трећи се обично поставља у зони улазног вратила. Овај трећи ослонац мора бити тако изведен да се еластичне деформације вратила роторног точка пренесу на стрелу, а да се при том не појаве додатна оптерећења у ослонцима редуктора.

Погрешним ослањањем, односно погрешним конструисањем кућишта, може се изазвати оштећење зупчаника излазног степена редуктора.

Код појединих конструкција постоје и такозване моментне полуге чији је задатак да се реактивни момент, који се јавља код копања, преко посебне полуге пренесе на стрелу. На тај начин кућиште се у великој мери растеређује, јер основно оптерећење се директно са излазног степена редуктора уводи у носећу конструкцију стреле, а кућиште је поред сопствене тежине оптерећено само мањим додатним силама.

2.2. Конструктивне изведбе погона роторног точка

Дуги низ година редуктори роторног точка су извођени у класичној концепцији. Добре стране тих редуктора се огледају у једноставној и лако прегледној конструкцији, једноставном одржавању и ремонту. Недостаци се састоје у великој тежини и великим габаритима.

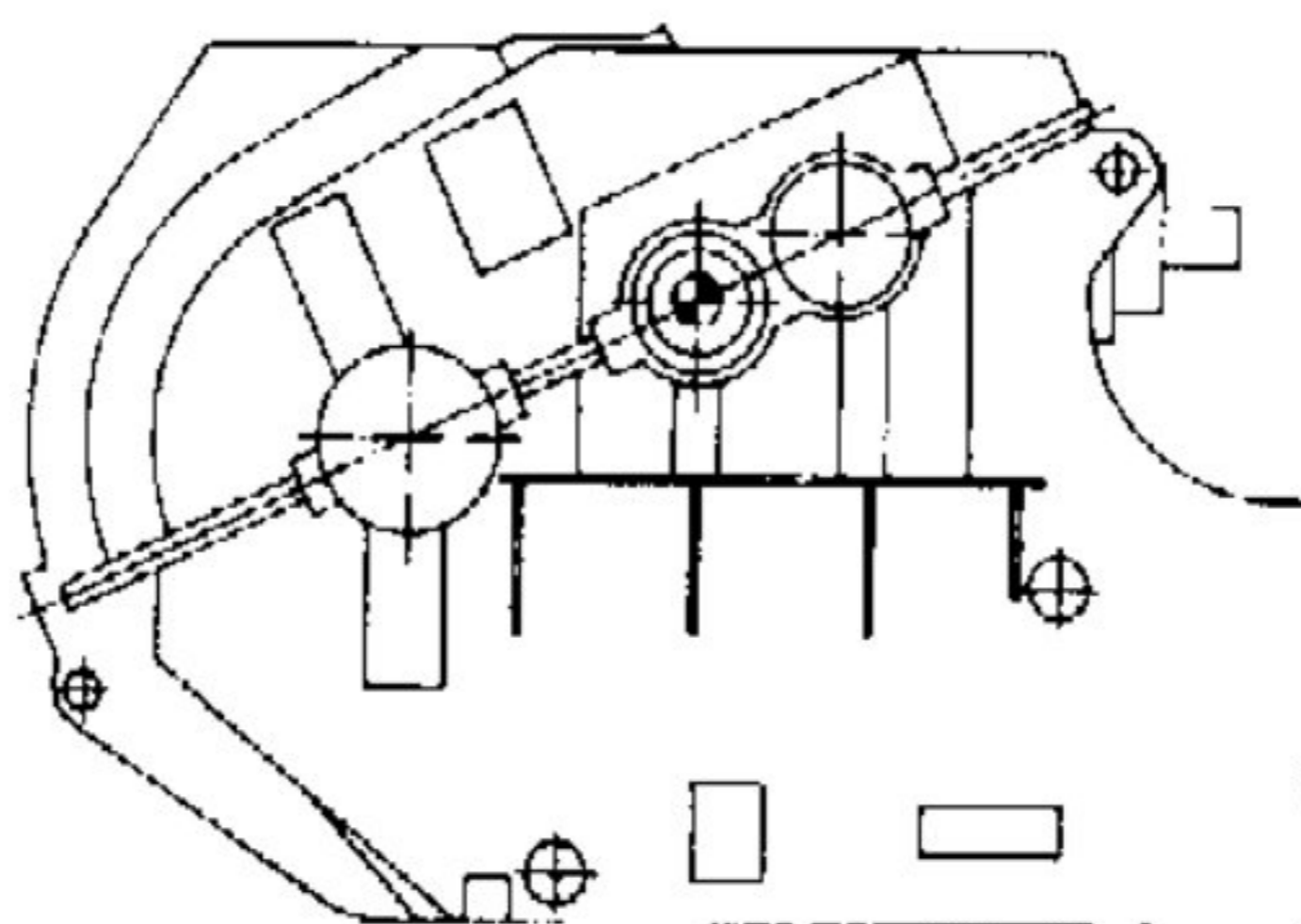
Примена планетних редуктора је све израженија, управо због далеко мање тежине и габарита. Утицај повећања тежине у зони роторног точка је већ напред истакнут. Мање димензије кућишта омогућавају повољније формирање бочне косине. Међутим, планетни редуктори су компликованији за израду и врло осетљиви на нетачности у изради и монтажи. Због збијености унутрашње конструкције контрола је врло отежана, а чест је случај да лом једног елемента изазове хаварију већег дела погонских елемената редуктора.

Комбиновани редуктори, који имају само последњи степен планетног типа, а претходне у класичном извођењу врло су поуздани, јер су преузели добре стране класичних и планетних преносника уз смањење наведених негативних особина.

Конструктивне изведбе погона роторног точка:

1. Конусно-цилиндрични-планетарни редуктор

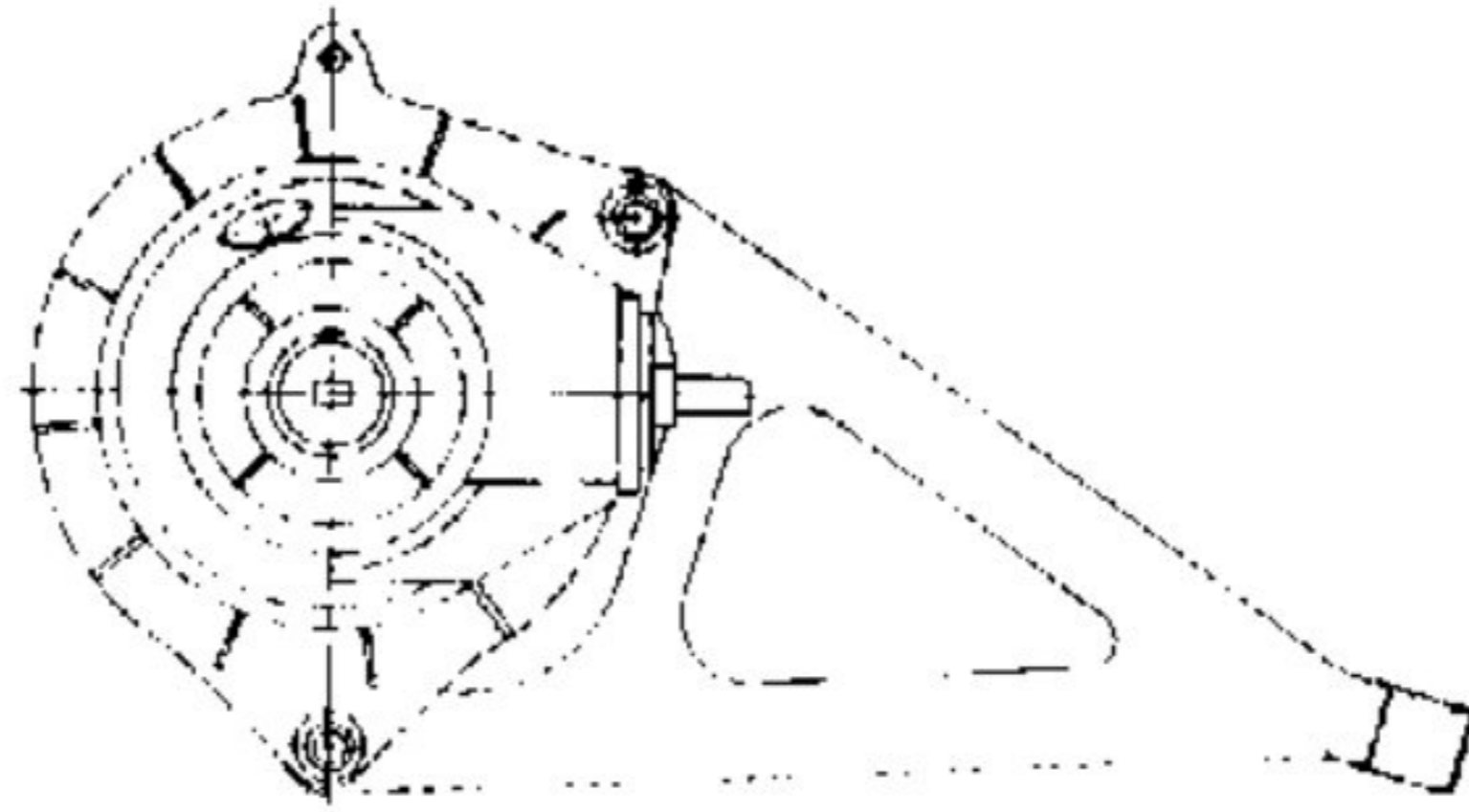
- $150 \leq i \leq 310$
- $M_{ab} \leq 1.700 \text{ kNm}$
- $m \leq 25.000 \text{ kg}$
- Редуктор са једним погонским мотором



Слика 2.6. Конусно-цилиндрични-планетарни редуктор

2. Конусно-планетарни редуктор

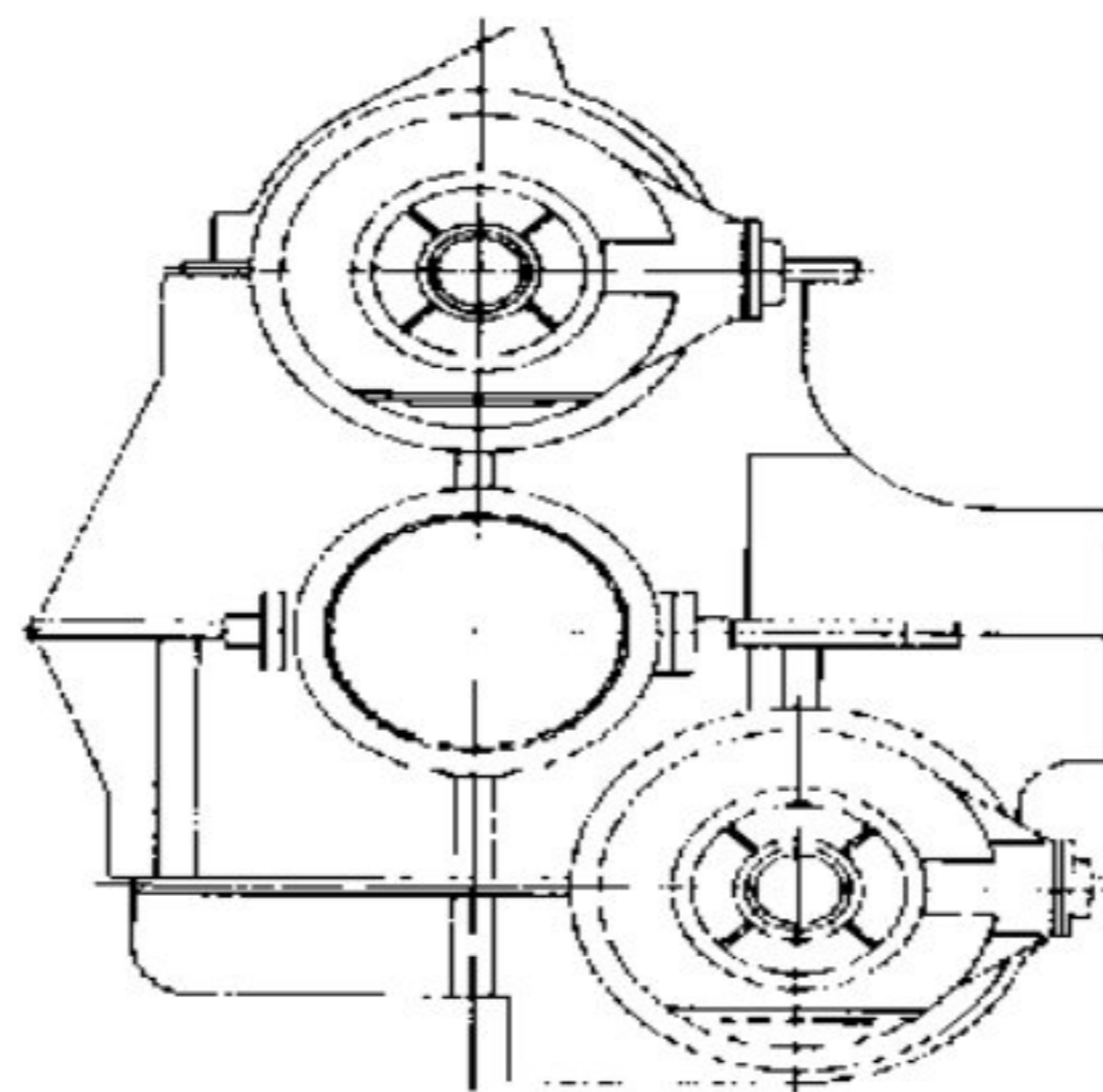
- $100 \leq i \leq 300$
- $M_{ab} \leq 2.200 \text{ kNm}$
- $3000 \leq m \leq 25.000 \text{ kg}$
- Редуктор са једним погонским мотором



Слика 2.7. Конусно-планетарни редуктор

3. Конусно-планетарни цилиндрични редуктор

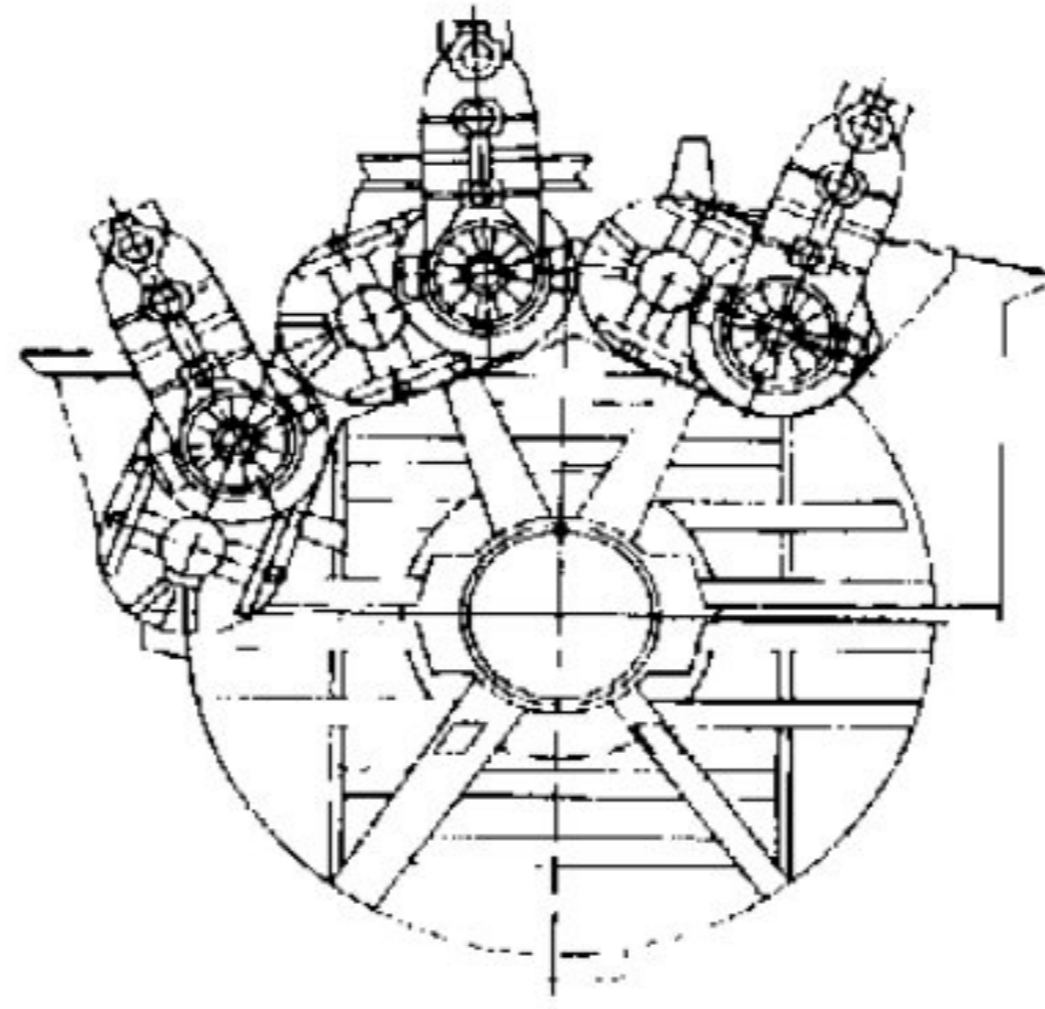
- $150 \leq i \leq 230$
- $M_{ab} \leq 2.000 \text{ kNm}$
- $m \leq 25.000 \text{ kg}$
- Редуктор са два погонска мотора



Слика 2.8. Конусно-планетарни-цилиндрични редуктор

4. Цилиндрично-планетарни цилиндрични редуктор

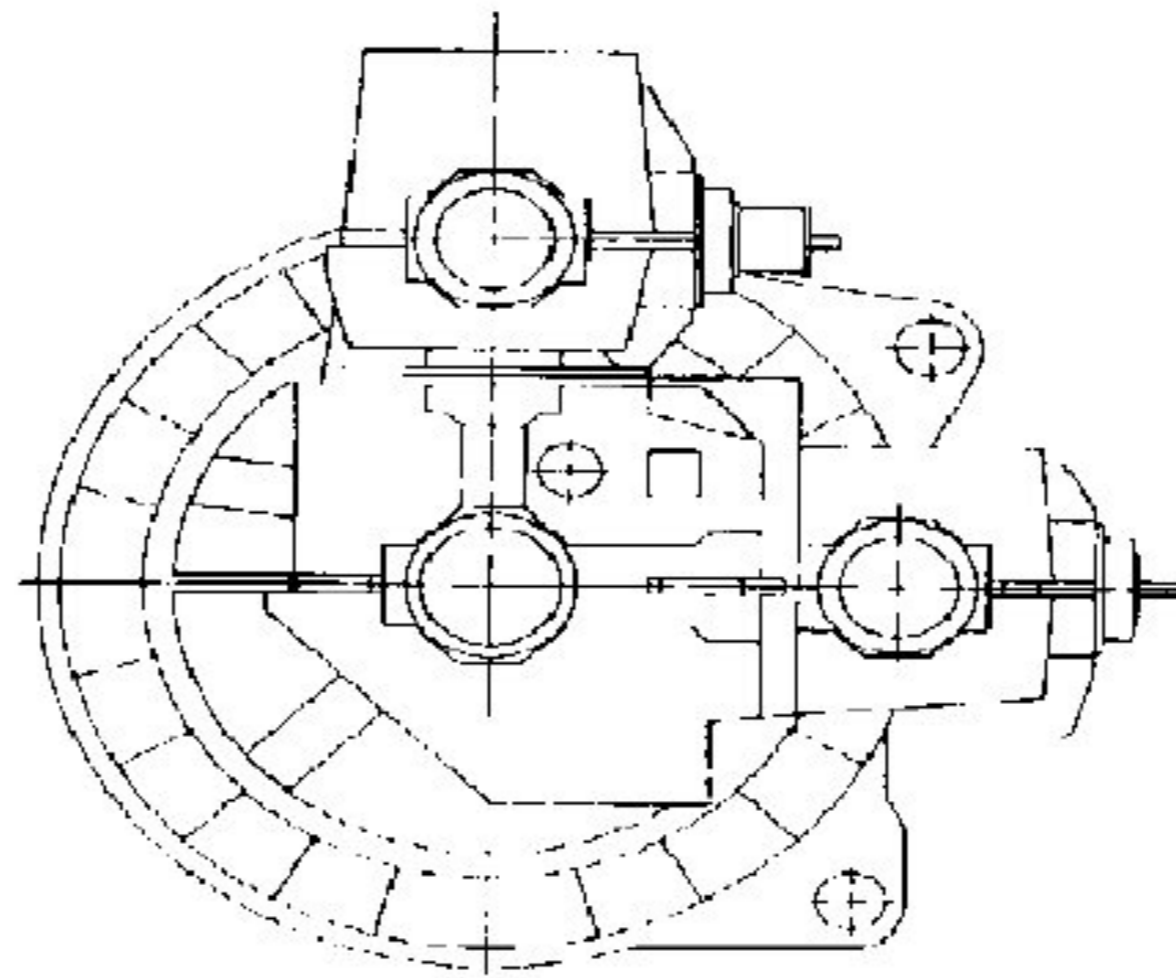
- $i \leq 240$
- $M_{ab} \leq 12.000 \text{ kNm}$
- $m \leq 170.000 \text{ kg}$
- Редуктор са три или четири погонска мотора



Слика 2.9. Цилиндрично-планетарни-цилиндрични редуктор

5. Конусно-цилиндрични планетарни редуктор

- $100 \leq i \leq 320$
- $M_{ab} \leq 7.000 \text{ kNm}$
- $m \leq 55.000 \text{ kg}$
- Редуктор са два или три погонска мотора



Слика 2.10. Конусно-цилиндрични планетарни редуктор

Погонски елементи редуктора, без обзира на тип, морају бити беспрекорно уграђени и изведени од висококвалитетних материјала. Најчешћи кварови се дешавају на зупчаницима, лежајевима, а врло ретко на вратилима. Дуги век зупчаника, уз правилно димензионисање обезбеђује се и правилним избором материјала за израду, као и квалитетом механичке и термичке обраде. На динамичку чврстоћу веома повољно утиче брушење носећих површина зубаца; реномирани произвођачи ове врсте редуктора после брушења зубаца врше и специјална испитивања ради откривања евентуалних микропрскотина насталих као последица термичке обраде. Другим речима, због дугог времена израде и високе цене редуктора, потребно је вршити строгу контролу свих

фаза израде елемената редуктора.

Треба напоменути да је употреба висококвалитетних челика уз постизање високе динамичке чврстоће, један од путева који води смањењу укупне тежине редуктора.

Кућиште редуктора је веома сложен склоп у коме су у међусобној повезаности зупчасти парови. Начин израде кућишта може бити ливењем, што је много ређа варијанта и заваривањем. Предност се по правилу даје завареним конструкцијама кућишта, јер су далеко мање тежине од ливених. За исправан дугогодишњи рад редуктора копања је неопходна висока крутост кућишта и под најнеповољнијим условима у експлоатацији. Ливена кућишта у принципу имају већу крутост од кућишта заварене конструкције и то због веће дебљине зидова. Како се редуктори роторног типа по правилу раде у веома малој серији, предност се даје, због цене израде, завареним конструкцијама. Проблем крутости се може успешно решити адекватним укрућењима. Развој рачунара омогућује примену методе коначних елемената за прорачун сложених просторних конструкција као што су кућишта редуктора. Метода овог прорачуна омогућава утврђивање напонских стања и деформација кућишта. На основу напонске и деформационе слике могуће је утврдити слаба места, у току пројектовања их отклањати и тако постићи жељену крутост кућишта.

Поред квалитета израде редуктора, за његов поуздан рад је потребно обезбедити и квалитетно подмазивање. Редуктор роторног типа у процесу рада багера мења свој положај у простору од $+ 20^\circ$ до $- 20^\circ$, па се подмазивање зупчаника и лежајева мора вршити под притиском. У ту сврху се редуктори опремају циркулационим системом подмазивања, а да би се уз то обезбедио поуздан рад система подмазивања при ниским температурама у редукторе се уграђују грејачи уља, протокомери за контролу протока и манометри за мерење притиска.

Уља за подмазивање морају бити високог квалитета, такозвана легирана уља са ЕП додацима. Предност треба дати вишим вискозним градијацијама због повољнијег утицаја на динамичку моћ ношења зубаца зупчаника.

2.3. Зависност конструктивних параметара код различитих типова багера

На сликама од 2.11. до 2.21. дат је аналитички приказ погонских група радног точка на роторним багерима површинских копова у басенима ”Костолац” и ”Колубара”.

1. Багер SRs470.17/1.5 – ПК ”Дрмно”

- Петостепени цилиндрично–конусно–цилиндрични редуктор (произвођач *ASUG*), снага 400 kW, улазни број обртаја 990 min^{-1} , преносни однос 132,6, маса 22000 kg,
- Обртни момент 540 000 Nm,
- Веза са електромотором хидродинамичка спојница Eg565, са кочионим уређајем,
- Високонапонски мотор DSR 4519- 6, напон 6 kV, струја 56A, снага 450 kW,
- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика 2.11. Погонска група радног точка багера SRs470.17/1.5

2. Багер SchRs800.15/1.5 – ПК ”Дрмно”

- Конусно-цилиндрично-планетарни редуктор SR-K2S2P (*FLENDER*), снага 700 kW, улазни број обртаја 980 min^{-1} , преносни однос 210.186, маса 19180kg,
- Обртни момент: 1 150 000 Nm,
- Веза са електромотором *PERIFLEX* спојницом и хидрауличном спојницом *VOITH 1000TC*,

- Вискоконапонски клизни-колутни електромотор 6AKZa 6450L-6, напон 6 kV, струја 86 A, снага 700 kW,
- Радни елемент: прирубничка веза за радни точак са трном за центрирање.



Слика2.12. Погонска група радног точка багера SchRs800.15/1.5

3. Багер SRs2000.28/3 – ПК ”Drmno”

- Четворостепени конусно-цилиндрични редуктор (конусни улазни пар), са два улаза и са једним излазом ка радном точку, произвођач *ASUG*, снага 2x670 kW, улазни број обртаја 980 min^{-1} , преносни однос 223.022, маса 49375 kg,
- Обртни момент : 2 730 000 Nm,
- Веза са електромотором хидродинамичка спојница *VOITH* 866ТС,
- Висконапонски електромотор 6AKZ 450М са клизним прстеновима, напон 6 kV, струја 57А, снага 2x670 kW,
- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика 2.13. Погонска група радног точка багера SRs2000.32/5

4. Багер SRs1300.26/5 – ПК ”Дрмно”

- Четворостепени конусно-цилиндрично планетарни редуктор (конусни излазни пар), тип PBUS-36 (*FLENDER*), уведена фреквентна регулација брзине; снага 900 kW, улазни број
- обртаја 994 min^{-1} , преносни однос 158.97, маса 29750 kg,
- Обртни момент: 1 580 000 Nm,
- Веза са електромотором *ARPEX* спојница (*FLENDER*), са диск кочионим механизмом,
- Висконапонски електромотор 2.RZKIT500Ldd-6, напон 690 V, струја 1094 A, снага 1100 kW,
- Радни елемент: прирубничка веза са осовином радног точка и дводелним лежајем.



Слика 2.14. Погонска група радног точка багера SRs1300.26/5

5. Багер SRs400.14/1 – ПК ”Дрмно”

- Петостепени цилиндрично-конусно-цилиндрични редуктор; снага 500 kW, улазни број обртаја 1480 min^{-1} , преносни однос 255.17, маса 28328 kg,
- Обртни момент: 774 000 Nm,
- Веза са електромотором магнетна спојница КМ630 (сигурносна), са кочионим уређајем и еластичном спојницом $\text{Ø}630$,
- Висконапонски електромотор 5AKZa 400M2-4, напон 6 kV, струја 53A, снага 500 kW,

- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика 2.15. Погонска група радног точка багера SRs400.14/1

6. Багер SRs470.20/3 – ПК ”Дрмно”

- Четворостепени конусно-цилиндрични редуктор (конусни улазни пар); снага 250 kW, улазни број обртаја 985 min^{-1} , преносни однос 128, маса 11929 kg,
- Обртни момент: 300 000 Nm
- веза са електромотором еластична спојница $\text{Ø}630$, са кочионим уређајем, ламеласти сигурносна проклизавајућа спојница S2E 2500-150,
- Високонапонски мотор DSR 1114- 6, напон 6 kV, струја 31A, снага 250 kW
- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика 2.16. Погонска група радног точка багера SRs470.20/3

7. Багер SRs1200.24/4 – ПК’’Поље Д’’

- Четворостепени цилиндрични редуктор (паралелна вратила); снага 400 kW, улазни број обртаја 1480 min^{-1} , преносни однос 246.6,
- Обртни момент: 600 000 Nm,
- Веза са електромотором еластична спојница EG650, са кочионим уређајем,
- Високонапонски електромотор ZP6170/45, напон 6 kV, струја 47.5A, снага 400 kW,
- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика2.17. Погонска група радног точка багера SRs1200.24/4

8. Багер SRs1200.22/2(G1)- ПК’’Поље Д’’

- Четворостепени цилиндрични редуктор (паралелна вратила); снага 630 kW, улазни број обртаја 1480 min^{-1} , преносни однос 246.6,
- Обртни момент: 950 000 Nm,
- Веза са електромотором еластична спојница са кочионим уређајем, на вратилу 3 фриксионе спојнице,
- Високонапонски електромотор ZP6170/45, напон 6 kV, струја 47.5A, снага 630 kW; бочно постављен мотор,
- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика2.18. Погонска група радног точка багера SRs1200.22/2

9. Багер SRs1201.24/4(G2)- ПК ”Поље Д”

- Конусно-цилиндрични редуктор (конусни улазни пар); тип UPHSD710/A1350; снага 630 kW, улазни број обртаја 985 min^{-1} , преносни однос 172.6,
- Обртни момент: 1 100 000 Nm,
- Веза са електромотором еластична спојница EG650, са зглобним вратилом (карданом),
- Нисконапонски електромотор 2RZKIT 450-L6, напон 500 V, струја 990 A, снага 710 kW,
- Радни елемент: прирубничка спојнија за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика2.19. Погонска група радног точка багера SRs1201.24/4

10. Багер SchRs630.25/6(G1)- ПК ” Тамнава Западно поље”

- Двострани четворостепени конусно-цилиндрично планетарни редуктор (конусни улазни пар); тип SR-K3P R-L (десни и леви); снага

2x500 kW, улазни број обртаја 1487 min^{-1} , преносни однос 185.185, укупна маса 37226 kg,

- Обртни момент: 1 200 000 Nm,
- Веза са електромотором зглобно вратило и сигурносни фриксиони диск $\varnothing 630$,
- Високонапонски електромотор 1PZ6400 MB4 TG клизно колутни, напон 6 kV, струја 59.5 A, снага 2x500 kW,
- Радни елемент: прирубничка спојница за везу шупљег излазног вратила са радним точком.



Слика2.20. Погонска група радног точка багера SchRs630.25/6

11. Багер SRs1300.26/5 (G8)-ПК ”Поље Д”

- Петостепени конусно-цилиндрични планетарни редуктор (кунусни улазни пар), произвођач *ASUG-Dessau* Немачка; снага 900 kW, улазни број обртаја 1487 min^{-1} , преносни однос 253.754 односно 208.555, маса 25700 kg,
- Обртни момент: 1 380 000 Nm,
- Веза са електромотором хидродинамичка,
- Високонапонски електромотор 5AKZ60500S1-4 клизно колутни, напон 6 kV, струја 103 A, снага 900 kW,
- Радни елемент: прирубничка веза са осовином радног точка и дводелним лежајем.



Слика2.21. Погонска група радног точка багера SRs1300.26/5

3. Погон роторног точка багера SRs470.17/1.5

3.1. Техничко-технолошке карактеристике багера

Роторни багер SRs470.17/1.5 ради на површинском копу Дрмно од краја осамдесетих година до данас, осим једног кратког периода када је радио на површинском копу Кленовник, где је прешао након монтаже на плацу копа Дрмно. На слици 3.1 приказан је багер SRs470.17/1.5. Фабрички број овог багера је 557, година градње 1981.



Слика 3.1. Роторни багер SRs470.17/1.5

Багер је последњих година интензивно радио на откопавању угља, где је постигао задовољавајуће резултате. Тренутно ради на откопавању откривке на I БТО систему површинског копа Дрмно, због великог заостатка у производњи откривке. Раније је радио наизменично, како на угљу тако и на I БТО јаловинском систему. Произвођач овог роторног багера је Такраф из Немачке, уз сарадњу осталих (бивших) компанија, углавном на производњи погонских група (*VEB GW Penig, VEB GW Leipzig, VEB GW Dessau*). Монтажу овог багера је радила компанија ИЕК Костолац – ООУР ПРИМ. Данас су то компаније ТЕ-КО Костолац и ПД ПРИМ из Костолаца.

Роторни багер SRs470.17/1.5 који је радио наизменично у зависности од технолошке условљености на I БТО и БТД систему, остварио је радне, производне резултате на површинском копу Дрмно. Ти резултати су дати у табели 3.1., закључно са 2022. годином.

Табела 3.1. Основни радни учинци багера

Систе м	Откривка- угаљ	Почетак рада	Теоретски капацитет (m ³ m/h), (th)	Остварена производња (m ³), (t)	Остварени сати рада (h)
I БТО	Откривка	1992.	1690	5.633.822	23398
БТД	Угаљ		1453	36.870.151	73976

Багер има 8 кофица које су распоређене на радном точку пречника 6,7 m по ободу зуба, на основу каталошких вредности. Међутим, на основу увида у постојеће званичне радионичке цртеже, долази се до сазнања да је пречник по ободу врха ножа кофице 6,7 m, а по ободу зуба нешто преко 6,9 m. За ове параметре се може рећи да су валидни јер су по њима, до сада, израђиване кофице и зуби који су радили у условима површинског копа Дрмно. Поред тога, извршена је замена редуктора за погон роторног точка због честих хаварија на редуктору (често страдање лежајева, зупчаника), као и измерених вибрација на карактеристичним тачкама. Измерене фреквенције са јасно израженим амплитудама јасно су указале на проблем не само на елементима преноса снаге, него и на носећој конструкцији и кућишту редуктора.

3.2. Техничке карактеристике редуктора за погон роторног точка

Роторни точак има спољни пречник од 6,7 m и по ободу има 8 кофица са резним елементима (зубима). За прорачун капацитета узима се пуњење кофица са прстенастим простором са око 470 литара. Радни точак је без ћелија и изведен је као заварено тело по чијем је прстенастом омотачу учвршћено 8 комада кофица. Радни точак је изложен високим оптерећењима које се преносе на погон. Погон радног точка врши се високонапонским електромотором преко редуктора који је улежиштен на вратилу радног точка.

Погонско вратило редуктора израђено је као шупље вратило које се навлачи на вратило радног точка. Радни точак празни материјал које су захватиле кофице преко косог клизног дела који је монтиран у сам радни точак. Запремина кофице износи око 315 литара, док се преостали део односи на половину простора прстенастог дела. У табели 3.2. су приказане техничке карактеристике роторног багера SRs470.17/1.5.

Табела 3.2. Техничке карактеристике роторног багера SRs470.17/1.5

Теоретски капацитет	1762(1690) m ³ /h	
Специфични отпор копања	1000 N/cm ²	
Фактор растреситости у кофицама	1,4	
Највиши положај средине точка преко плана	16 m	
Најдубљи положај доње ивице радног точка, испод плана	1,5 m	
Брзина дизања у средини точка	4 m/min	
Брзина окретања горњег постоља на врху радног точка	10-28 m/min	
Дужина истоварне катарке од средине багера до средине окретања истоварног левка	25 m	
Истоварна висина истоварне катарке, мерено од планума до доње ивице левка	минимална	1 m
	максимална	8 m
Службена маса целокупне машине (стална маса)	730 t	
Притисак на тло, средњи	12,4 N/cm ²	
Брзина кретања багера	6 m/min	
Дужина багера	52 m	
Ширина багера	15,5 m	
Висина багера са краном	22 m	
Уређај за кретање	Гусенични транспортни уређај	
Радни точак		
Пречник радног точка	6,7 m	
Број кофица	8 kom	
Запремина кофице са прстенастим делом	470 l	
Снага погона редуктора радног точка	500 (400) kW	
Инсталисана снага електромотора	450 kW	
Транспортери са гуменим транспортним тракама		
Ширина траке	1,2 m	
Брзина кретања траке радног точка	3,7 m/s	
Електро опрема		
Врста струје	наизменична	
Довод	високи напон 6 kV	
Мотори	380 V ниски напон, 6 kV	
Против тег	35 t	

3.2.1. Стара изведба погона

У табели 3.3. предстаљене су карактеристике старе изведбе редуктора роторног багера SRs470.17/1.5.

Табела 3.3. Основне карактеристике старе изведбе редуктора

Инсталисана снага редуктора	400 kW
Инсталисана снага електромотора	450 kW
Улазни број обртаја	986 min ⁻¹
Номинални улазни обртни момент	4360 Nm
Преносни однос	132,6
Излазни број обртаја	7,43 min ⁻¹
Излазни обртни момент	543400 Nm
Номинална обимна сила	162 kN
Максимална обимна сила при искључењу	203 kN
Маса редуктора (без уља и полуге)	22000 kg
Потребна количина уља	600 l
Произвођач редуктора	Getriebewerk ASUG- DESSAU/TAKRAF
Тип редуктора	цилиндрично-конусни- цилиндрични
Ознака редуктора	ASUG

3.2.2. Нова изведба погона

У табели 3.4. предстаљене су карактеристике нове изведебе редуктора роторног багера SRs470.17/1.5.

Табела 3.4. Основне карактеристике нове изведбе редуктора

Инсталисана снага редуктора	500 kW
Инсталисана снага електромотора	450 kW
Улазни број обртаја	986 min ⁻¹
Номинални улазни обртни момент	4360 Nm
Преносни однос	126,118

Излазни број обртаја	7,81 min ⁻¹
Излазни обртни момент	516900Nm
Номинална обимна сила	154 kN
Максимална обимна сила при искључењу	193 kN
Маса редуктора (без уља и полуге)	10400 kg
Потребна количина уља	400 l
Произвођач редуктора	FLENDER
Тип редуктора	Конусно-цилиндрични- планети
Ознака редуктора	PBUC-28

3.2.3. Упоређивање техничких карактеристика

Табела 3.5. Упоређивање техничких карактеристика

	Стара изведба	Нова изведба
Инсталисана снага редуктора	400 kW	500 kW
Инсталисана снага електромотора	450 kW	450 kW
Улазни број обртаја	986 min ⁻¹	986 min ⁻¹
Номинални улазни обртни момент	4360 Nm	4360 Nm
Преносни однос	132,6	126,118
Излазни број обртаја	7,43 min ⁻¹	7,81 min ⁻¹
Излазни обртни момент	543400 Nm	516900Nm
Номинална обимна сила	162 kN	154 kN
Максимална обимна сила при искључењу	203 kN	193 kN
Маса редуктора (без уља и полуге)	22000 kg	10400 kg
Потребна количина уља	600 l	400 l
Произвођач редуктора	Getriebewerk ASUG- DESSAU/TAKRAF	FLENDER Siemens AG
Тип редуктора	цилиндрично- конусно- цилиндрични	конусно- цилиндрично- планетни
Ознака редуктора	ASUG	PBUC-28

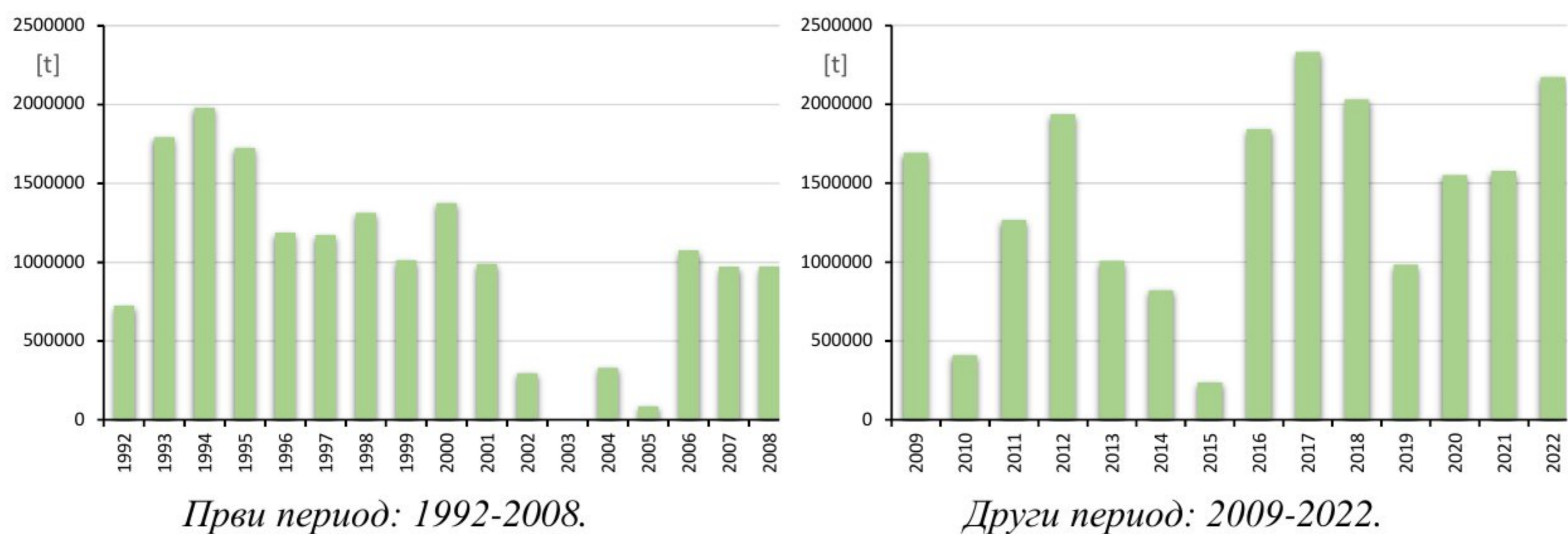


Слика 3.2. Глава радног точка багера SRs470.17/1.5 – пре и после ревитализације

3.3. Остваривање производних параметара код различитих редуктора

На слици 3.3. дати су дијаграми производње угља багера у два различита периода:

- Први период, са старим редуктором за погон роторног точка, 1992-2008.
- Други период, са новим редуктором за погон роторног точка, 2009-2022.



Слика 3.3. Производња багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка

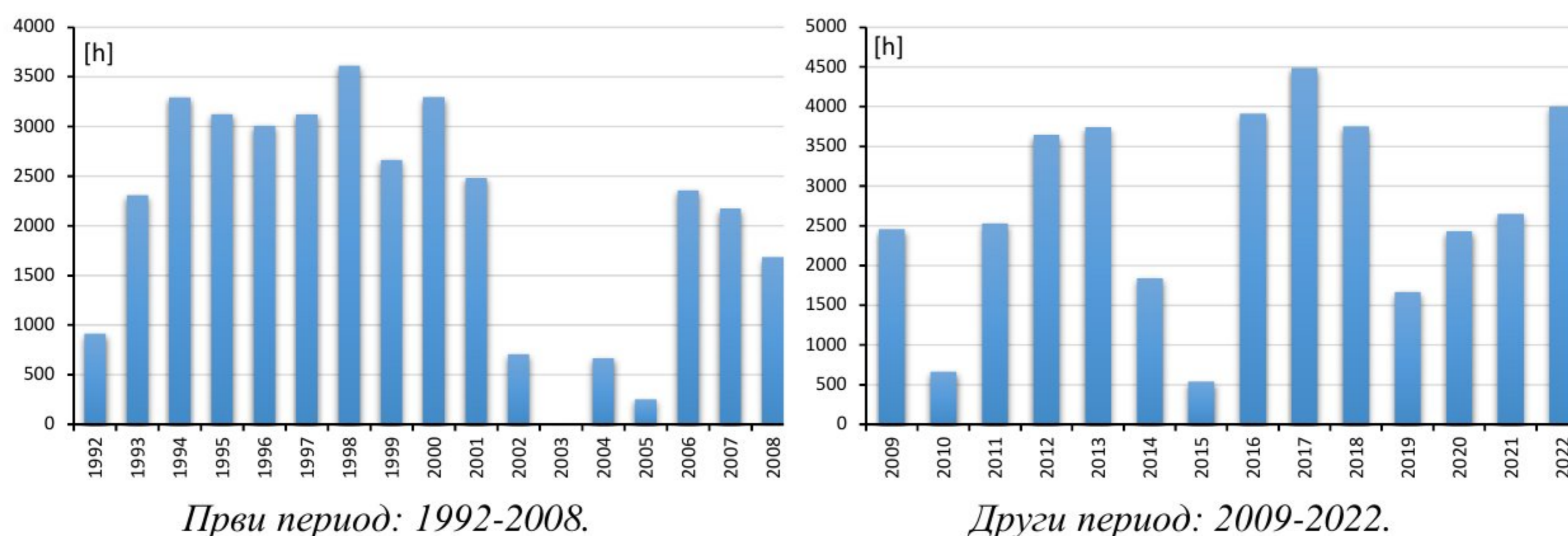
У оквиру табеле 3.6. дате су просечне производње угља багера за ова два периода.

Табела 3.6. Просечне производње

Први период: 1992-2008.	1.000.030 t	Повећање за 42%
Други период: 2009-2022.	1.419.260 t	

На слици 3.4. дати су дијаграми времена рада багера на угљу за два различита периода:

- Први период, са старим редуктором за погон роторног точка, 1992-2008.
- Други период, са новим редуктором за погон роторног точка, 2009-2022.



Слика 3.4. Време рада багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка

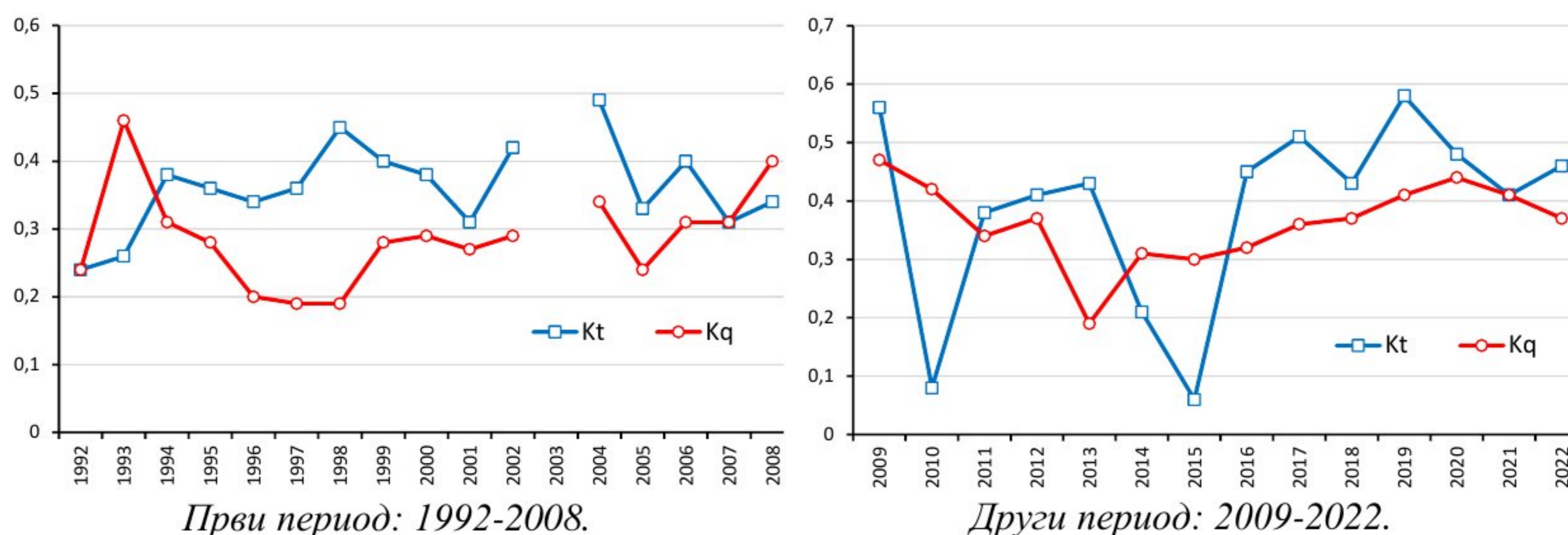
У оквиру табеле 3.7. дате су просечна времена рада багера на угљу за ова два периода.

Табела 3.7. Просечна времена рада

Први период: 1992-2008.	2098 h	Повећање за 30%
Други период: 2009-2022.	2737 h	

На слици 3.5. дати су дијаграми временског и капацитетног искоришћења багера на угљу у два различита периода:

- Први период, са старим редуктором за погон роторног точка, 1992-2008.
- Други период, са новим редуктором за погон роторног точка, 2009-2022.



Слика 3.5. Коefицијенти временског и капацитетног искоришћења багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка

У оквиру табеле 3.8. дате су просечна временска и капацитетна искоришћења багера на угљу за ова два периода.

Табела 3.8. Просечно временско и капацитетно искоришћење

Први период: 1992-2008.	Временско искоришћење: 0,361	Повећање временског искоришћења за 8%
	Капацитетно искоришћење: 0,287	
Други период: 2009-2022.	Временско искоришћење: 0,389	Повећање капацитетног искоришћења за 26%
	Капацитетно искоришћење: 0,363	

Потребно је нагласити да је 2014. године била поплава на ПК Дрмно, тако да су резултати производње и времена рада 2015. године били у паду, због реконструкције и модернизације дела опреме овог багера.

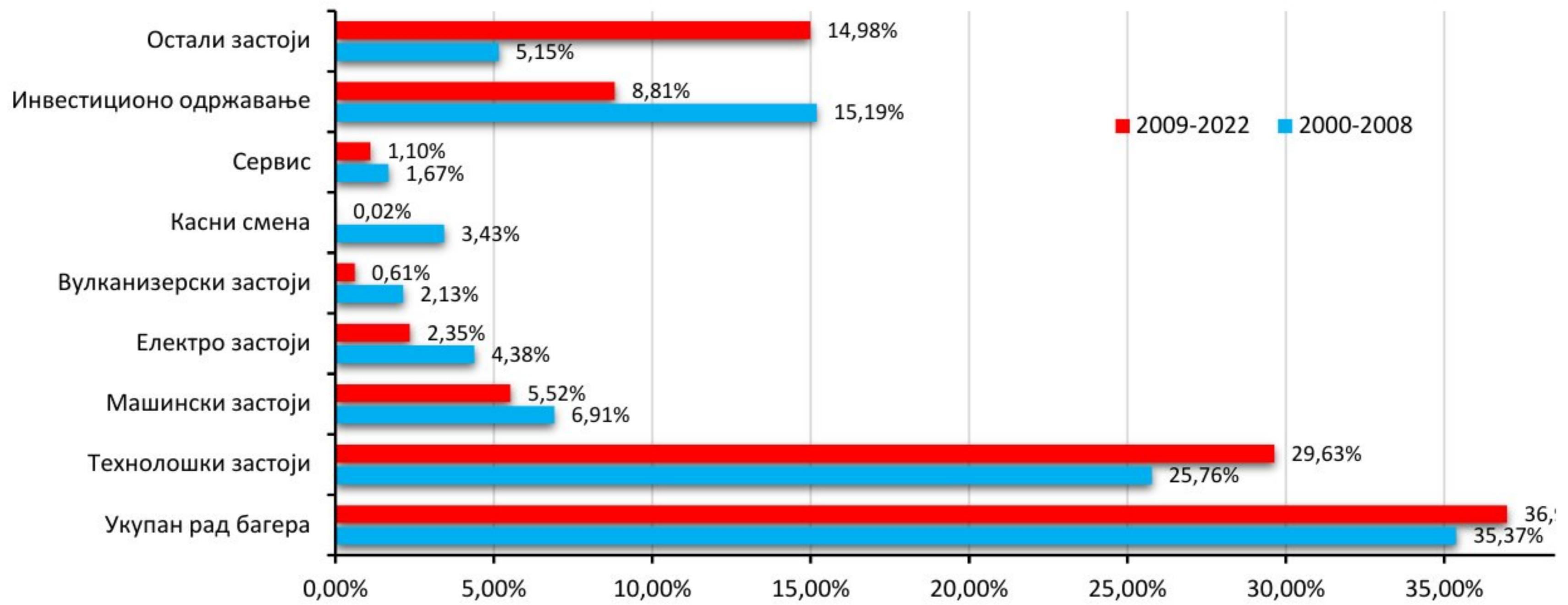
У оквиру табеле 3.9. дате су просечне планиране и остварене вредности производње багера на угљу за ова два периода.

Табела 3.9. Просечне планиране и остварене вредности производње багера на угљу

Први период: 1992-2008.	Планирано: 972.286 t	Остварена производња 78%
	Остварено: 762.037 t	
Други период: 2009-2022.	Планирано: 1.332.349 t	Остварена производња 107%
	Остварено: 1.419.260 t	

На слици 3.6. дати су дијаграми свих видова застоја система и багера SRs-470 на угљу у два различита периода:

- Први период, са старим редуктором за погон роторног точка, 1992-2008.
- Други период, са новим редуктором за погон роторног точка, 2009-2022.



Слика 3.6. Сви видови застоја и рада багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка у периоду 2000-2008. и 2009-2022.

У оквиру табеле 3.10. дати су застоји на које је могао имати утицај замене редуктора за погон роторног точка багера SRs-470 на откопавању угљу за ова два периода.

Табела 3.10. Однос карактеристичних застоја за дате временске периоде

Први период: 1992-2008.	Машински застоји: 6,91%	Смањење машинских застоја за 1,39%
	Електро застоји: 4,38%	
	Ремонти (инвестиционо): 15,19%	
Други период: 2009-2022.	Машински застоји: 5,52%	Смањење електро застоја за 2,03%
	Електро застоји: 2,35%	
	Ремонти (инвестиционо): 8,81%	

Због реконструкције и модернизације дела опреме багера током 2015. године (санација после поплаве 2014. године), драстично су скочили тзв. остали застоји (узрок "виша сила"), са 5,15% на 14,98%.

4. Прорачун потребне снаге погона роторног точка багера SRs470.17/1.5

4.1. Изведени прорачун на примеру старог погона

Снага мотора за погон роторног точка се добија на основу следећег израза:

$$N_m = \frac{N_k + N_d}{\eta} \Rightarrow N_k = N_m \cdot \eta - N_d$$

где су,

N_m – номинална снага мотора за погон роторног точка, kW

N_k – снага мотора потребна за процес копања, kW

N_d – снага мотора потребна за процес подизања материјала, kW

η – коефицијент искоришћења погона (за стари погон вредност је 0,9)

Снагу мотора за процес копања користимо да би дошли до силе копања:

$$N_k = P_k \cdot v \Rightarrow P_k = \frac{N_k}{v}$$

где су,

P_k – сила копања, kN

v – ободна брзина окретања роторног точка (брзина резања), m/s

Значи силу копања добијамо преко снаге потребне за копање и брзине окрета точка. Да би се она добила потребно је знати снагу потребну за подизање материјала (снага мотора је позната):

$$N_d = \frac{Q \cdot \gamma \cdot g \cdot h_d}{3600} \quad [kW]$$

где су,

Q – теоретски капацитет багера, m³/h

γ – насипна маса материјала (као пример узима се угаљ са ПК Дрмно; у масиву је $1,25 \text{ t/m}^3$, а у растреситом стању $0,85 \text{ t/m}^3$), t/m^3

h_d – висина подизања материјала, m

$$h_d = (0.55 \div 0.65) \cdot D = 0,6 \cdot 6,7 = 4,02 \text{ m}$$

D – пречник роторног точка, m

g – гравитационо убрзање, $9,81 \text{ m/s}^2$

Снага потребна за дизање (подаци су преузети из табеле 3.3, Поглавље 3):

$$N_d = \frac{1690 \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 4,02}{3600} = 15,74 \text{ kW}$$

Снага потребна за копање:

$$N_k = N_m \cdot \eta - N_d = 450 \cdot 0,9 - 15,74 = 389,26 \text{ kW}$$

Напокон, сила копања:

$$P_k = \frac{N_k}{v} = \frac{389,26}{2,63} = 148 \text{ kN}$$

Номинални момент који се остварује износи:

$$M_{RT} = P_k \cdot \frac{D}{2} = 148000 \cdot \frac{6,7}{2} = 495800 \text{ Nm}$$

где су,

P_k – сила копања на ободу роторног точка, N

D – пречник роторног точка, m

Максимални момент који се остварује:

$$M_{RTmax} = M_{emRT} \cdot i_{redRT} \cdot \eta = 4360 \cdot 132,6 \cdot 0,9 = 520322 \text{ Nm}$$

где су,

M_{emRT} – максимални момент електромотора, Nm

i_{redRT} – преносни однос редуктора

Максимални момент који се остварује, увећан за 50% при реаговању сигурносне спојнице:

$$M_{RTmax50\%} = 1,5 \cdot M_{RTmax} = 1,5 \cdot 520322 = 780483 \text{ Nm}$$

Однос између номиналног и максималног момента, при реаговању спојнице:

$$\frac{M_{RTmax50\%}}{M_{RT}} = \frac{780483}{495800} = 1,57$$

Максимална сила копања при реаговању сигурносне спојнице:

$$P_{k,max} = \frac{2 \cdot M_{RTmax50\%}}{D} = \frac{2 \cdot 780483}{6,7} = 233 \text{ kN}$$

4.2. Изведени прорачун на примеру новог погона

Снага мотора за погон роторног точка се добија на основу следећег израза:

$$N_m = \frac{N_k + N_d}{\eta} \Rightarrow N_k = N_m \cdot \eta - N_d$$

где су,

N_m – номинална снага мотора за погон роторног точка, kW

N_k – снага мотора потребна за процес копања, kW

N_d – снага мотора потребна за процес подизања материјала, kW

η – коефицијент искоришћења погона (за нови погон вредност је 0,95)

Снагу мотора за процес копања користимо да би дошли до силе копања:

$$N_k = P_k \cdot v \Rightarrow P_k = \frac{N_k}{v}$$

где су,

P_k – сила копања, kN

v – ободна брзина окретања роторног точка (брзина резања), m/s

Брзина точка за нови погон је другачија у односу на пројектовану (стари погон), због другачијег преносног односа новог редуктора.

$$n_r = \frac{n_{em}}{i_{red}} = \frac{986}{126,118} = 7,8 \text{ min}^{-1}$$

$$n_r = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} \Rightarrow v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_r}{60} = \frac{\pi \cdot 6,7 \cdot 7,8}{60} = 2,74 \text{ m/s}$$

где је:

n_r – број обртаја роторног точка, min-1

n_{em} – број обртаја електромотора, min-1

i_{red} – преносни однос редуктора

Значи силу копања добијамо преко снаге потребне за копање и брзине окрета точка. Да би се она добила потребно је знати снагу потребну за подизање материјала (снага мотора је позната):

$$N_d = \frac{Q \cdot \gamma \cdot g \cdot h_d}{3600} \quad [kW]$$

где су,

Q – теоретски капацитет багера, m³/h

γ – насипна маса материјала (као пример узима се угаљ са ПК Дрмно; у масиву је 1,25 t/m³, а у растреситом стању 0,85 t/m³), t/m³

h_d – висина подизања материјала, m

$$h_d = (0.55 \div 0.65) \cdot D = 0,6 \cdot 6,7 = 4,02 \text{ m}$$

D – пречник роторног точка, m

g – гравитационо убрзање, 9,81 m/s²

Снага потребна за дизање (подаци су преузети из табеле 3.4, Поглавље 3):

$$N_d = \frac{1690 \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 4,02}{3600} = 15,74 \text{ kW}$$

Снага потребна за копање:

$$N_k = N_m \cdot \eta - N_d = 450 \cdot 0,95 - 15,74 = 411,76 \text{ kW}$$

Напокон, сила копања:

$$P_k = \frac{N_k}{v} = \frac{411,76}{2,74} = 150 \text{ kN}$$

Номинални момент који се остварује износи:

$$M_{RT} = P_k \cdot \frac{D}{2} = 150000 \cdot \frac{6,7}{2} = 502500 \text{ Nm}$$

где су,

P_k – сила копања на ободу роторног точка, N

D – пречник роторног точка, m

Максимални момент који се остварује:

$$M_{RTmax} = M_{emRT} \cdot i_{redRT} \cdot \eta = 4360 \cdot 126,118 \cdot 0,95 = 522381 \text{ Nm}$$

где су,

M_{emRT} – максимални момент електромотора, Nm

i_{redRT} – преносни однос редуктора

Максимални момент који се остварује, увећан за 50% при реаговању сигурносне спојнице:

$$M_{RTmax50\%} = 1,5 \cdot M_{RTmax} = 1,5 \cdot 522381 = 783571 \text{ Nm}$$

Однос између номиналног и максималног момента:

$$\frac{M_{RTmax50\%}}{M_{RT}} = \frac{783571}{502500} = 1,56$$

Максимална сила копања при реаговању сигурносне спојнице:

$$P_{k,max} = \frac{2 \cdot M_{RTmax}}{D} = \frac{2 \cdot 783571}{6,7} = 234 \text{ kN}$$

4.3. Прорачун погона роторног точка багера

Снага мотора за погон роторног точка се добија на основу следећег израза:

$$N_m = \frac{N_k + N_d}{\eta} \Rightarrow N_k = N_m \cdot \eta - N_d$$

где су,

N_m – номинална снага мотора за погон роторног точка, kW

N_k – снага мотора потребна за процес копања, kW

N_d – снага мотора потребна за процес подизања материјала, kW

η – коефицијент искоришћења погона (за стари погон вредност је 0,95)

Снагу мотора за процес копања користимо да би дошли до силе копања:

$$N_k = P_k \cdot v \Rightarrow P_k = \frac{N_k}{v}$$

где су,

P_k – сила копања, kN

v – ободна брзина окретања роторног точка (брзина резања), m/s

Брзина точка за нови погон је другачија у односу на пројектовану (стари погон), због другачијег преносног односа новог редуктора.

$$n_r = \frac{n_{em}}{i_{red}} = \frac{986}{135} = 7,3 \text{ min}^{-1}$$

$$n_r = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot D} \Rightarrow v = \frac{\pi \cdot D \cdot n_r}{60} = \frac{\pi \cdot 6,7 \cdot 7,3}{60} = 2,56 \text{ m/s}$$

где је,

n_r – број обртаја роторног точка, min^{-1}

n_{em} – број обртаја електромотора, min^{-1}

i_{red} – преносни однос редуктора (предлог је да буде 135)

Силу копања добијамо преко снаге потребне за копање и брзине окрета точка. Да би се она добила потребно је знати снагу потребну за подизање материјала (снага мотора је позната):

$$N_d = \frac{Q \cdot \gamma \cdot g \cdot h_d}{3600} \quad [kW]$$

где су,

Q – теоретски капацитет багера, m^3/h

γ – насипна маса материјала (као пример узима се угаљ са ПК Дрмно; у масиву је $1,25 \text{ t/m}^3$, а у растреситом стању $0,85 \text{ t/m}^3$), t/m^3

h_d – висина подизања материјала, m

$$h_d = (0.55 \div 0.65) \cdot D = 0,6 \cdot 6,7 = 4,02 \text{ m}$$

D – пречник роторног точка, m

g – гравитационо убрзање, $9,81 \text{ m/s}^2$

Снага потребна за дизање (подаци су преузети из табеле 3.2., Поглавље 3):

$$N_d = \frac{1690 \cdot 0,85 \cdot 9,81 \cdot 4,02}{3600} = 15,74 \text{ kW}$$

Снага мотора за погон роторног точка:

$$N_m = \frac{N_k + N_d}{\eta} = \frac{P_k \cdot v + 15,74}{\eta} = \frac{P_k \cdot 2,56 + 15,74}{0,95}$$

За резну сила багера од 1000 N/cm, потребно је из следећег израза исказати силу копања:

$$k_L = \frac{P_k}{\sum L_i} \rightarrow P_k = k_L \cdot \sum L_i = 1000 \cdot \sum L_i$$

где је,

$\sum L_i$ – укупан линијски контакт кофица (дужина резних ивица кофица) са материјалом који се откопава, m

Прво се одређује број кофица који је у контакту са масивом (мора бити цео број):

m_i – број кофица који је у контакту са масивом (цео број)

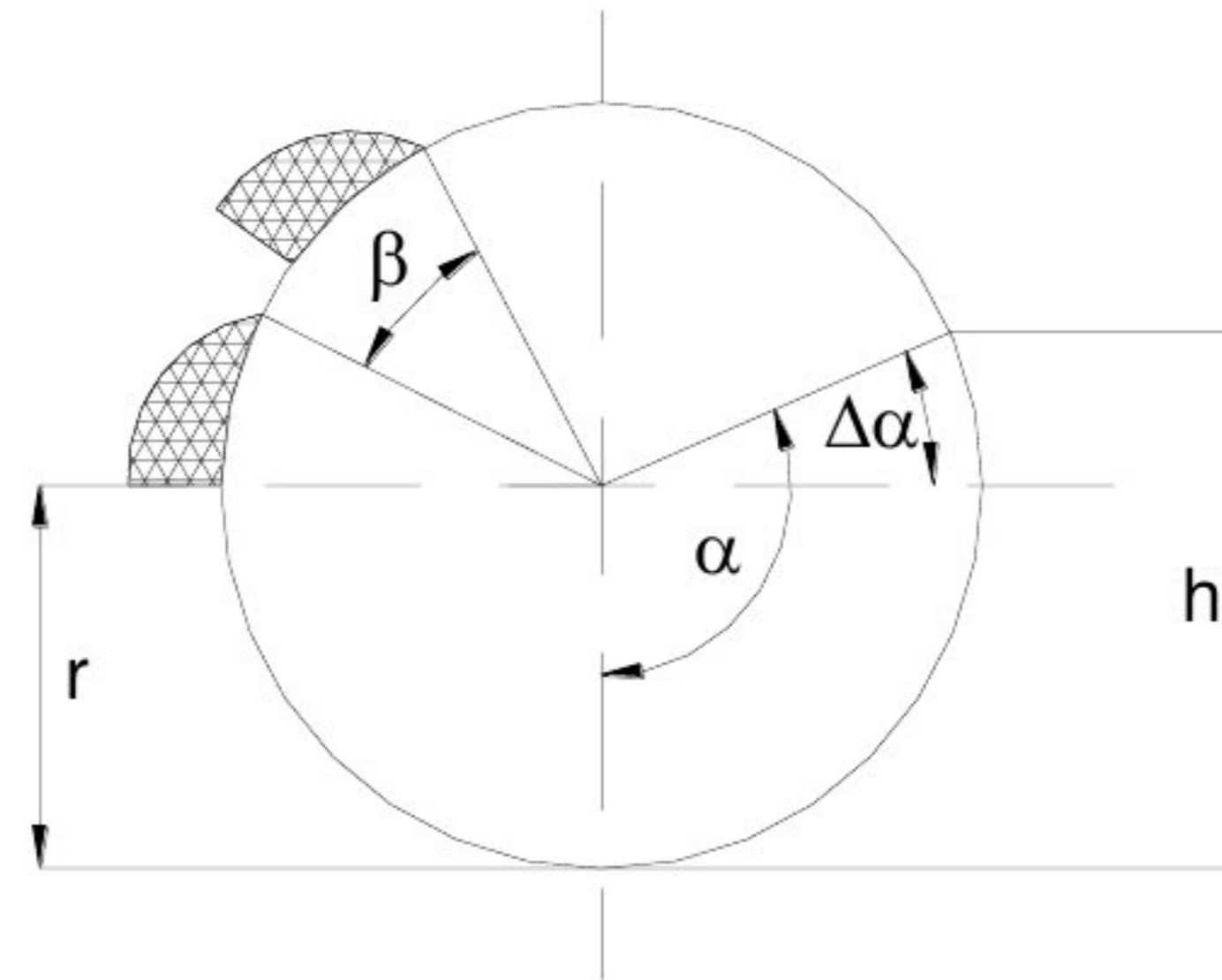
$$m_i = 1 + \frac{\alpha}{\beta}$$

где су,

α – захватни угао (угао копања)

$$\alpha = 90 + \Delta\alpha = 113,6^\circ$$

$$\Delta\alpha = \frac{h - \frac{D}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{0,7 \cdot 6,7 - 3,35}{3,35} = 23,6^\circ$$



h – висина подетаже – реза ($0,7D$)

β – угао између кофица

n_{kof} – број кофица

$$\beta = \frac{360}{n_{kof}} = \frac{360}{8} = 45^\circ$$

$$m_i = 1 + \frac{\alpha}{\beta} = 1 + \frac{113,6^\circ}{45^\circ} = 3,52$$

Усваја се прва нижа целобројна вредност.

У контакту са материјалом су $m_i = 3$ кофице.

Потребно је одредити и укупну дужину свих резних ивица које су контакту са масивом.

Пошто су углови познати (само су три кофице у контакту – три угла), потребно је наћи дебљину и ширину одреска. Дебљина одреска се одређује на основу брзине окрета горње градње и броја истресаја кофица у минути:

$$b_o = \frac{V_{bo}}{n_i} = \frac{14}{61,6} = 0,23 \text{ m}$$

Број истресаја према новом броју обртаја:

$$n_r = \frac{n_i}{m} \rightarrow n_i = n_r \cdot m = 7,7 \cdot 8 = 61,6 \text{ min}^{-1}$$

n_i – број пражњења кофица у минути

m – број кофица

Ширина одреска се одређује на основу формуле за одређивање капацитета односно односа запремина:

$$Q = 60 \cdot q \cdot n \cdot \frac{k_p}{k_r} = 60 \cdot h \cdot S \cdot b \cdot n$$

$$q \cdot \frac{k_p}{k_r} = h \cdot S \cdot b$$

$$S = \frac{Q}{60 \cdot h \cdot b \cdot n_i} = \frac{1690}{60 \cdot (0,7 \cdot D) \cdot 0,23 \cdot 61,6} = \frac{1690}{60 \cdot (0,7 \cdot 6,7) \cdot 0,23 \cdot 61,6} \\ = 0,42 \text{ m}$$

Напокон, укупна дужина:

$$\Sigma L_u = L_1 + L_2 + L_3 = b_1 + S_1 + b_2 + S_2 + b_3 + S_3 = 3 \cdot b_o + S_1 + S_2 + S_3 = \\ = 3 \cdot b_o + S_o \cdot (\sin \alpha_1 + \sin \alpha_2 + \sin \alpha_3) = \\ = 3 \cdot 0,23 + 0,42 \cdot (\sin 113,6^\circ + \sin 68,6^\circ + \sin 23,6^\circ) = 1,63 \text{ m}$$

Сила копања:

$$P_k = 1000 \cdot \sum L_i = 1000 \cdot 1,63 = 163 \text{ kN}$$

Максимална сила која се остварује, увећана за 50% при реаговању сигурносне спојнице:

$$P_{k-max50\%} = 1,5 \cdot P_k = 1,5 \cdot 163 = 244 \text{ kN}$$

Снага мотора за погон роторног точка:

$$N_m = \frac{N_k + N_d}{\eta} = \frac{163 \cdot 2,56 + 15,74}{0,95} = 456 \text{ kW}$$

Због мале разлике са постојећим електромотором, усваја се снага постојећег електромотора од 450 kW.

4.4. Упоредна анализа

Табела 4.1. Упоредна анализа старе и нове изведбе редуктора

	Номинална сила копања, kN	Максимална сила копања, kN	Снага електромотора, kW	Номинална снага редуктора, kW
Стари погон	148	233	450	400
Нови погон	150	234	450	500
Предлог	163	244	450	500

5. Избор редуктора типа FLENDER на примеру роторног багера SRs470.17/1,5

Први корак је дефинисање типа редуктора, на основу прорачуна преносног односа:

$$i_S = \frac{n_1}{n_2} = \frac{1000}{7,81} = 126,118 \quad i_N = 126,118$$

Усвојена је вредност преносног односа $i_N = 126,118$ (из каталога редуктора).

На основу добијеног преносног односа, врши се избор редуктора преко усвојеног преносног односа:

– тип **FLENDER PBUC-28**, планетарни редуктор чији је изглед дат на слици 5.1.

Максимални номинални момент који се остварује (за постојећи електромотор од 450 kW):

$$M_{RTmax} = M_{emRT} \cdot i_{redRT} \cdot \eta = 4360 \cdot 126,118 \cdot 0,95 = 522381 \text{ Nm}$$

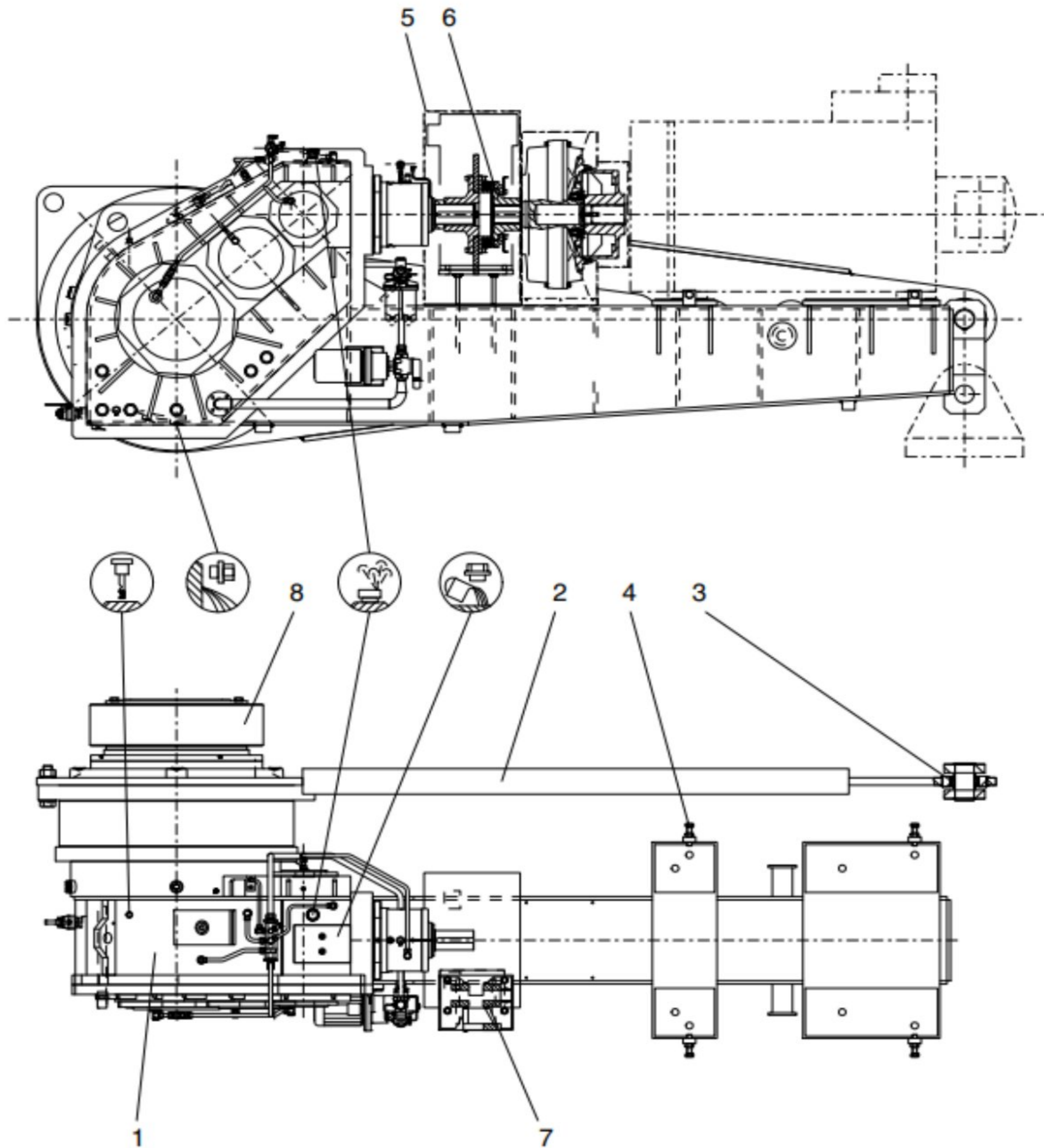
где су,

M_{emRT} – максимални момент електромотора, Nm

i_{redRT} – преносни однос редуктора

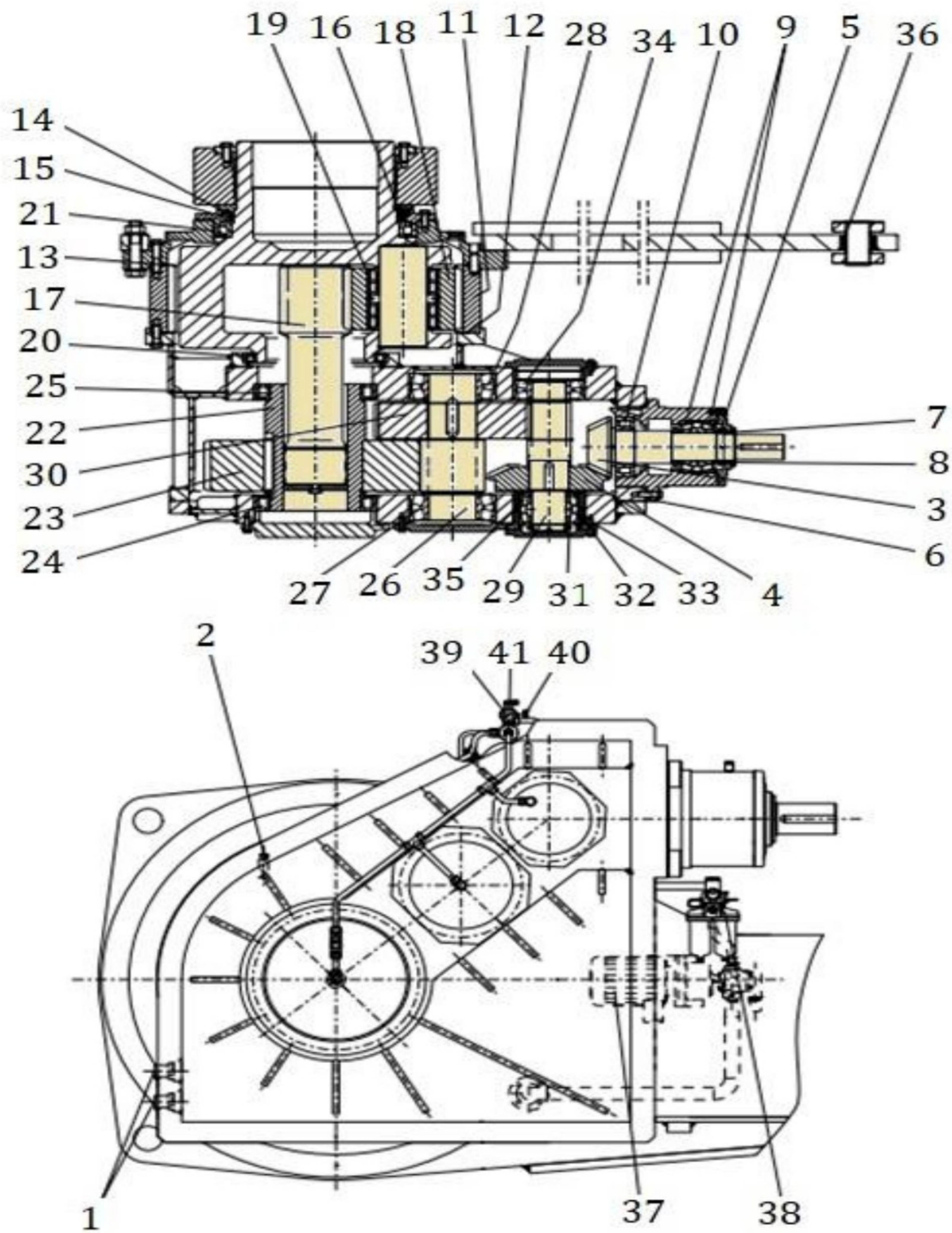
Табела 5.1. Основне карактеристике нове изведбе редуктора

Инсталисана снага редуктора	500 kW
Инсталисана снага електромотора	450 kW
Улазни број обртаја	986 min ⁻¹
Номинални улазни обртни момент	4360 Nm
Преносни однос	126,118
Излазни број обртаја	7,81 min ⁻¹
Излазни обртни момент	516900Nm
Номинална обимна сила	154 kN
Максимална обимна сила при искључењу	193 kN
Маса редуктора (без уља и полуге)	10400 kg
Потребна количина уља	400 l
Произвођач редуктора	FLENDER
Тип редуктора	Конусно-цилиндрични-планети
Ознака редуктора	PBUC-30



Слика 5.1.. Редуктор за погон роторног точка, тип *FLENDER PBUC-28*

1. конусно-цилиндрични планетни редуктор, 2. моментна полуга, 3. ослонац полуге за конструкцију, 4. завртњи за подешавање електромотора, 5. заштитни поклопац, 6. спојница, 7. кочница, 8. веза пресованог склопа



Слика 5.2. Елементи редуктора за погон роторног точка, тип FLENDER PBUC-28

Табела 5.2. Елементи редуктора

Број елемента	Количина	Ознака	Број елемента	Количина	Ознака
1	2	Грејач	22	1	Шупље вратило
2	1	Заптивни прстен	23	1	Зупчаник
3	1	Вратило конусног зупчаника	24	1	Котрљајни лежај
4	1	Конусни зупчаник	25	1	Котрљајни лежај
5	1	Навртка са прорезима	26	1	Вратило са зупчаником
6	1	Прстен за подешавање	27	1	Котрљајни лежај
7	1	Заптивни прстен вратила	28	1	Котрљајни лежај
8	3	AS прстен	29	1	Вратило са зупчаником
9	1	Котрљајни лежај	30	1	Зупчаник
10	1	Котрљајни лежај	31	1	Навртка са прорезима
11	1	Вратило са зупчаником	32	1	Заптивни прстен вратила
12	1	Заптивач	33	1	Прстен за подешавање
13	1	Заптивач	34	1	Котрљајни лежај
14	3	AS прстен	35	1	Котрљајни лежај
15	1	Заптивни прстен вратила	36	2	Куглични зглоб
16	1	V прстен	37	1	Зупчаста пумпа
17	1	Вратило са зупчаником	38	1	Двоструки филтер
18	3/4	Зупчаник	39	1	Манометар
19	6/8	Котрљајни лежај	40	1	Контрола притиска
20	1	Котрљајни лежај	41	1	Контрола притиска
21	1	Котрљајни лежај			

6. Закључак

У раду су представљене техничке карактеристике старе и нове изведбе погона роторног точка багера SRs 47017/1.5. Роторни багер SRs 470 17/1.5 се налази на површинском копу „Дрмно“ и намењен је за откопавање отквивке и корисне минералне сировине.

Као што је приказано у поглављу „Остваривање производних параметара код различитих редуктора“, замена старих редуктора и прелазак на нове редукторе вишеструко се исплати како у економском погледу, тако и по питању сигурности и поузданости машине.

Након изведеног прорачуна старе и нове изведбе редуктора и њихове упоредбе, резултати су били позитивни и овај подухват се показао као исплатива инвестиција.

Пре свега мислећи на повећање просечног времена рада, повећање временског и капацитативног искоришћења и смањење машинских и електро застоја. Такође треба напоменути да се новим редуктором чија је маса мања за 10 t добила додатна поузданост и знатно смањило оптерећење у противтегу. Тиме је багер добио додатно на статичкој и динамичкој издржљивости.

Овим радом доказано је да улагање у модернизацију основне рударске механизације веома исплативо.

Списак слика

Слика 2.1.	Главне компоненте роторног багера	Слика 2.16.	Погонска група радног точка багера SRs470.20/3
Слика 2.2.	Стрела роторног точка	Слика 2.17.	Погонска група радног точка багера SRs1200.24/4
Слика 2.3.	Роторни точак	Слика 2.18.	Погонска група радног точка багера SRs1200.22/2
Слика 2.4.	Вишестепени конусно-цилиндрични редуктор роторног точка багера	Слика 2.19.	Погонска група радног точка багера SRs1201.24/4
Слика 2.5.	Комбиновани редуктор (пресек)	Слика 2.20.	Погонска група радног точка багера SchRs630.25/6
Слика 2.6.	Конусно-цилиндрични планетарни редуктор	Слика 2.21.	Погонска група радног точка багера Srs1300.26/5
Слика 2.7.	Конусно-планетарни редуктор	Слика 3.1.	Роторни багер SRs470.17/1.5
Слика 2.8.	Конусно-планетарни-цилиндрични редуктор	Слика 3.2.	Глава радног точка багера SRs470.17/1.5 – пре и после ревитализације
Слика 2.9.	Цилиндрично-планетарни-цилиндрични редуктор	Слика 3.3.	Производња багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка
Слика 2.10.	Конусно-цилиндрични планетарни редуктор	Слика 3.4.	Време рада багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка
Слика 2.11.	Погонска група радног точка багера SRs470.17/1.5	Слика 3.5.	Коефицијенти временског и капацитетног искоришћења багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка
Слика 2.12.	Погонска група радног точка багера SchRs800.15/1.5	Слика 3.6.	Сви видови застоја и рада багера SRs-470 са старим и новим редуктором за погон роторног точка у периоду 2000-2008. и 2009-2022
Слика 2.13.	Погонска група радног точка багера SRs2000.32/5	Слика 5.1	Редуктор за погон роторног точка, тип <i>FLENDER PBUC-28</i>
Слика 2.14.	Погонска група радног точка багера SRs1300.26/5	Слика 5.2.	Елементи редуктора за погон роторног точка, тип <i>FLENDER PBUC-28</i>
Слика 2.15.	Погонска група радног точка багера SRs400.14/1		

Списак табела

Табела 3.1.	Основни радни учинци багера	Табела 3.8.	Просечно временско и капацитетно искоришћење
Табела 3.2.	Техничке карактеристике роторног багера SRs470.17/1.5	Табела 3.9.	Просечне планиране и остварене вредности производње багера на угљу
Табела 3.3.	Основне карактеристике старе изведбе редуктора	Табела 3.10.	Однос карактеристичних застоја за дате временске периоде
Табела 3.4.	Основне карактеристике нове изведбе редуктора	Табела 4.1.	Упоредна анализа старе и нове изведбе редуктора
Табела 3.5.	Упоредивање техничких карактеристика	Табела 5.1.	Основне карактеристике нове изведбе редуктора
Табела 3.6.	Просечне производње	Табела 5.2.	Елементи редуктора
Табела 3.7.	Просечна времена рада		

Литература

- [1] Durst W., Vogt W., *Schaufelradbagger*, Transstech publication, Berlin, Deutschland, 1986.
- [2] Игњатовић Д., *Машине за површинску експлоатацију – Скрипта*, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд, 2012.
- [3] Игњатовић, Д., *Рударске машине – Скрипта*, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд, 2012.
- [4] Трбојевић, М., и др., *Редуктори*, Научна књига Београд, 1984.
- [5] Јованчић, П., *Преносници снаге на рударским машинама – Скрипта*, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд, 2022.
- [6] Игњатовић, Д., Јованчић, П., *Збирка задатака Машине и уређаји за површинску експлоатацију и транспорт*, Универзитет у Београду – Рударско-геолошки факултет, Београд, 2012.
- [7] Основна техничка документација о раду и производњи на ПК Дрмно
- [8] Каталог и упутства за рад роторног багера SRs470.17/1,5
- [9] Каталог редуктора компаније FLENDER

ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ ЗАВРШНОГ РАДА

Име и презиме студента Душан Цветковић

Број индекса P564-22

Изјављујем

да је завршни рад под насловом
Прорачун снаге и избор редуктора за погон роторног точка багера SRs 470 на ПК Дрмно

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да завршни рад у целини ни у деловима није био предложен за стицање друге дипломе на студијским програмима Рударско-геолошког факултета или других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, _____

Потпис студента

ИЗЈАВА

О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Име (име родитеља) и презиме студента Душан (Дејан) Цветковић

Број индекса P564-22

Студијски програм Мастер академнске студије, рударско инжењерство

Наслов рада Прорачун снаге и избор редуктора за погон роторног точка багера
SRs-470 на ПК Дрмно

Ментор Проф. др Предраг Јованчић

Изјављујем да је штампана верзија мог завршног рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла ради одлагања у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити у електронском каталогу и у публикацијама Рударско-геолошког факултета.

У Београду, _____

Потпис студента

ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ ЗАВРШНОГ РАДА

Овлашћујем библиотеку Рударско-геолошког факултета да у Дигитални репозиторијумнесе мој завршни рад под насловом:

Прорачун и избор редуктора за погон роторног точка багера SRs-470 на ПК Дрмно

који је моје ауторско дело.

Завршни рад са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном затрајно архивирање.

Мој завршни рад одложен у Дигиталном репозиторијуму Рударско-геолошког факултета је *(заокружити једну од две опције):*

I. редуковано доступан кроз наслов завршног рада и резиме рада са кључним речима;

II. јавно доступан у отвореном приступу, тако да га могу користити сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се уз сагласност ментора одлучио/ла.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци јесаставни део ове изјаве.)

У Београду, _____

Потпис ментора

Потпис студента

1. **Ауторство.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.
 2. **Ауторство – некомерцијално.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.
 3. **Ауторство – некомерцијално – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.
 4. **Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.
 5. **Ауторство – без прерада.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.
 6. **Ауторство – делити под истим условима.** Дозвољаваате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.
-

Библиотека Рударско-геолошког факултета

ПОТВРДА

О ПРЕДАЈИ ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ ЗАВРШНОГ РАДА

Потврђује се да је студент Душан (Дејан) Цветковић _____,
(име (име родитеља) презиме)

бр. индекса Р564/22 предао/ла електронску верзију завршног рада на
основним/мастер академским студијама под насловом:

Прорачун и избор редуктора за погон роторног точка багера SRs-470 на ПК Дрмно

који је урађен под менторством Проф. др Предраг Јованчић _____
(име, презиме и звање)

за Дигитални репозиторијум завршних радова РФФ-а.

Потврда се издаје за потребе Одељења за студентска и наставна питања и не може се
користити у друге сврхе.

У Београду, _____

Библиотекар
