



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА У
НОВОМ САДУ**



Милан Рацков

**КОНЦЕПЦИЈЕ РАЗВОЈА УНИВЕРЗАЛНИХ
ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА**

ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА

Нови Сад, 2013



КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:	
Идентификациони број, ИБР:	
Тип документације, ТД:	Монографска документација
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација
Аутор, АУ:	Милан Рацков
Ментор, МН:	Проф. др Сениша Кузмановић
Наслов рада, НР:	Концепције развоја универзалних зупчастих редуктора
Језик публикације, ЈП:	српски
Језик извода, ЈИ:	српски / енглески
Земља публиковања, ЗП:	Србија
Уже географско подручје, УГП:	Војводина
Година, ГО:	2013
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт
Место и адреса, МА:	Факултет техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	9 поглавља / 263 стране / 173 слике / 53 графика / 95 табела / 76 цитата
Научна област, НО:	Машинство
Научна дисциплина, НД:	Машински елементи и принципи конструисања
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	универзални зупчасти редуктори; карактеристике; оцењивање; избор; степен спрезања профила зубаца
УДК	Монографска документација
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука, Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад
Важна напомена, ВН:	
Извод, ИЗ:	<p>Дат је детаљан преглед садашњих концепцијских решења и начина монтаже савремених универзалних зупчастих редуктора. Карактеристике ових решења анализиране су посредством јединичних и комплексних показатеља квалитета. Резултати те анализе приказани су на систематичан и јасан начин, коришћењем табела, дијаграма и схема. Тумачење резултата је јасно и адекватно, с нагласком на значајне делове који су од посебне важности. Предложено решење зупчастог редуктора за усвојену осну висину је коректно дефинисано и постављено на основу претходно извршених анализа. Начин усвајања зупчастих парова, као и појединих конструкционих решења извршен је на јасно образложен начин. Такође, дат је предлог за увођење зубаца са повећаном теменом висином.</p>
Датум прихватања теме, ДП:	19.06.2008.
Датум одбране, ДО:	03.07.2013.
Чланови комисије, КО:	Председник: Проф. др Мирослав Вереш
	Члан: Проф. др Војислав Милтеновић
	Члан: Проф. др Милосав Огњановић
	Члан: Проф. др Слободан Навалушић
	Члан, ментор: Проф. др Сениша Кузмановић

Потпис ментора



KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :	
Identification number, INO :	
Document type, DT :	Monograph documentation
Type of record, TR :	Textual printed material
Contents code, CC :	PhD. thesis
Author, AU :	Milan Rackov
Mentor, MN :	Prof. dr Siniša Kuzmanović
Title, TI :	Conceptions of Development of Universal Gear Reducers
Language of text, LT :	Serbian
Language of abstract, LA :	Serbian / English
Country of publication, CP :	Serbia
Locality of publication, LP :	Vojvodina
Publication year, PY :	2013
Publisher, PB :	Author reprint
Publication place, PP :	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	9 chapters / 263 pages / 173 pictures / 53 graphs / 95 tables / 76 references
Scientific field, SF :	Mechanical engineering
Scientific discipline, SD :	Machine elements and principles of design
Subject/Key words, S/KW :	Universal gear reducers; technical characteristics; evaluation; selection; contact ratio
UC	
Holding data, HD :	Library of Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Note, N :	
Abstract, AB :	Detailed overview of current solutions and conceptual mounting ways of modern universal helical gear reducer is presented. The characteristics of these solutions are analyzed by means of the unit and complex quality indicators. The results of this analysis are presented in a systematic and clear way, using tables, charts and diagrams. Interpretation of the results is clear and appropriate, with an emphasis on the important parts of which are of particular importance. The proposed solution of gear reducer for adopted shaft height is correctly defined and set to the previously performed analysis. The way the adoption of gear pairs, as well as some innovative designs are executed on clearly reasoned manner. Also, a proposal for the introduction of high contact ratio is given.
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	19.06.2008.
Defended on, DE :	03.07.2013.
Defended Board, DB :	
President:	Prof. dr Miroslav Vereš
Member:	Prof. dr Vojislav Miltenović
Member:	Prof. dr Milosav Ognjanović
Member:	Prof. dr Slobodan Navalušić
Member, Mentor:	Prof. dr Siniša Kuzmanović

Menthor's sign

Своју захвалност на првом месту желим да искажем свом ментору проф. др Симиши Кузмановићу на драгоценим саветима и на помоћи коју ми је пружио током израде дисертације, на указаном поверењу, стрпљењу, подршци и разумевању током досадашње сарадње.

Захваљујем се проф. др Мирославу Верешу на свеукупној подршци и драгоценим саветима који се односе на област озубљења са повећаним степеном спрезања профила.

Захваљујем се др Жељку Кановићу, пријатељу и колеги, на свесрдној помоћи коју ми је пружио приликом решавања проблема оптимизације.

Без њихове несебичне помоћи пут до ове дисертације би био неупоредиво тежи.

Посебно се захваљујем својој супрузи Софији, ћеркама Јелени и Тијани и сину Јовану који су највише, и увек са разумевањем, поднели терет израде дисертације. Овај рад посвећујем њима. Они јесу, и увек ће бити, моја највећа инспирација.

*Милан Рацков
Нови Сад, 2013.*

Садржај

1.	ПРОБЛЕМАТИКА И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА	1
2.	ПОЈАМ И ДЕФИНИЦИЈА МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА	3
2.1.	Подела механичких преносника	3
2.2.	Универзални зупчасти редуктори	7
2.2.1.	Вежа универзалног зупчастог редуктора и електромотора	7
2.3.	Основне карактеристике универзалних зупчастих редуктора и захтеви који се пред њих постављају	11
2.3.1.	Називни обртни момент и одређивање погонског фактора	12
2.3.2.	Дозвољене радијалне и аксијалне силе на улазном и излазном вратилу редуктора	15
2.3.3.	Топлотни капацитет редуктора	16
	Завртњеви за одзрачивање	20
2.3.4.	Избор потребне снаге мотора у зависности од режима оптерећења	21
2.3.5.	Уобичајен поступак избора величине универзалних зупчастих редуктора	26
	Избор редуктора из каталога произвођача редуктора	26
	Избор редуктора у оквиру понуде која је присутна на тржишту	27
	Избор редуктора који спроводе пројектанти редуктора	27
2.3.6.	Облици и положаји уградње редуктора	28
2.3.7.	Могућа концепцијска решења универзалног зупчастог редуктора	30
2.3.8.	Модулни принцип градње зупчастих редуктора	32
2.3.9.	Шум и вибрације универзалних зупчастих редуктора	33
3.	ПРЕГЛЕД КАРАКТЕРИСТИЧНИХ РЕШЕЊА УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА	35
3.1.	Универзални зупчасти редуктори произвођача SEW	35
3.2.	Универзални зупчасти редуктори произвођача Siemens-Flender	42
3.3.	Универзални зупчасти редуктори произвођача Nord	48
3.3.1.	Фамилија UNICASE универзалних зупчастих редуктора	49
3.3.2.	Фамилија NORDBLOC универзалних зупчастих редуктора	59
	Подфамилија класичних NORDBLOC универзалних зупчастих редуктора	59
	Подфамилија NORDBLOC.1 универзалних зупчастих редуктора	63
3.3.3.	Фамилија STANDARD универзалних зупчастих редуктора	70
3.4.	Универзални зупчасти редуктори произвођача Rossi	74
3.4.1.	Фамилија редуктора Rossi E04	74
3.4.2.	Фамилија редуктора Rossi ES07 (STANDARDFIT)	80
3.5.	Универзални зупчасти редуктори произвођача Lenze	84
3.5.1.	Фамилија Lenze GST редуктора	84
3.5.2.	Фамилија Lenze MultiMount редуктора	90
3.6.	Универзални зупчасти редуктори произвођача Pujol	93

3.6.1. Фамилија Pujol редуктора серије S	93
3.6.2. Фамилија Pujol редуктора серије I	97
3.7. Универзални зупчasti редуктори произвођача Bonfiglioli	102
3.7.1. Једностепени зупчasti редуктори компаније Bonfiglioli (верзија S)	102
3.7.2. Универзални зупчasti редуктори компаније Bonfiglioli (верзија C)	106
3.8. Универзални зупчasti редуктори произвођача KEB	117
3.9. Универзални зупчasti редуктори произвођача Leroy Somer	119
4. АНАЛИЗА ТЕХНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА И КОНЦЕПЦИЈСКИХ РЕШЕЊА УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА	127
4.1. Осне висине универзалних зупчастих редуктора	127
4.2. Концепцијска решења анализираних универзалних зупчастих редуктора	130
4.3. Начини склапања и монтаже анализираних универзалних зупчастих редуктора	136
4.4. Материјали који се користе за израду зупчастих редуктора	142
4.5. Показатељи квалитета универзалних зупчастих редуктора	143
4.5.1. Предлог начина оцењивања техничких карактеристика универзалних зупчастих редуктора	144
4.5.2. Оцењивање техничких карактеристика једностепених редуктора	146
4.5.3. Оцењивање техничких карактеристика двостепених редуктора	154
4.5.4. Оцењивање техничких карактеристика тростепених редуктора	169
5. АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИЧНИХ КОНЦЕПЦИЈСКИХ РЕШЕЊА САВРЕМЕНИХ УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА	185
5.1. Уобичајена концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора малих произвођача	185
5.2. Уобичајена концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора великих произвођача	187
5.3. Уобичајена концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора средњих произвођача	189
6. ОЧЕКИВАНИ ПРАВЦИ РАЗВОЈА УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА.....	191
6.1. Основне одлике савремених универзалних зупчастих редуктора	191
6.2. Очекивани правци даљег развоја универзалних зупчастих редуктора	193
6.2.1. Повећање носивости	194
6.2.2. Повећање преносног односа	198
6.2.3. Повећање степена искоришћења	198
6.2.4. Повећање универзалности	199
6.2.5. Побољшање дизајна	200
6.2.6. Смањење масе	204
6.2.7. Смањење димензија	205
6.2.8. Повећање поузданости	206
6.2.9. Повећање радног века	206
6.2.10. Смањење нивоа шума	206

6.2.11. Смањење трошкова производње и прилагођавање за једноставну монтажу	207
6.2.12. Смањење трошкова одржавања	209
6.2.13. Смањење могућности загађења животне средине	209
6.2.14. Прилагођавање редуктора за једноставан надзор, сервис, одржавање и ремонт	211
6.2.15. Прилагођавање за једноставно рециклирање	211
7. ПРЕДЛОГ СОПСТВЕНОГ РЕШЕЊА УНИВЕРЗАЛНОГ ЗУПЧАСТОГ РЕДУКТОРА НАМЕЊЕНОГ МАЛИМ ПРОИЗВОЂАЧИМА	213
7.1. Приградне димензије конкурентских решења редуктора осне висине 115 mm	213
7.2. Димензије адаптера за IEC моторе намењених за редукторе осне висине 115 mm	217
7.3. Препоруке за избор преносних односа	222
7.4. Препоруке за избор снаге мотора	229
7.5. Основне карактеристике предложеног решења	235
7.6. Предлог начина смањења шума и вибрација зупчастих редуктора	238
7.6.1. Геометријска ограничења која постоје при дефинисању повећаног степена спрезања профила зубаца	241
Ограничење услед подсецања које се може јавити током производње	242
Ограничење услед подсецања које се може јавити приликом спрезања два зупчаника	243
Ограничење услед минималне дебљине зупца на теменој кружници	244
7.6.2. Експериментална провера рада зупчастог пара са повећаним степеном спрезања	245
Опис опреме	245
Методологија испитивања	248
7.6.3. Предности примене зупчастих парова са повећаним степеном спрезања	251
8. ЗАКЉУЧАК	255
9. ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА	259
ЛИТЕРАТУРА	260
ПРИЛОГ	

1. ПРОБЛЕМАТИКА И ЦИЉ ИСТРАЖИВАЊА

Механички преносници спадају у механизме који се најдуже и највише користе у машинству. Први механички преносници почели су да се примењују када је човек почео да користи енергију животиња, воде и ветра, и када се створила потреба да се тако добијена механичка енергија пренесе до неке радне машине. Познато је да су се механички преносници користили пре више од 2000 година [1]. Они су у себи садржали дрвене зупчанике који су, по свом ободу, имали чивије као зупце (Прилог 1).

Нагли развој механичких преносника настао је у XIX веку када се почела користити енергија парних машина, у текстилној индустрији, млинарству и бродоградњи, а посебно почетком XX века, када је почела производња електромотора и мотора са унутрашњим сагоревањем код моторних возила. У то време нису постојале специјализоване фабрике за производњу преносника, али су се с временом развијале, као и фабрике за производњу машина и алата за израду зупчаника. Већина познатих фабрика за производњу преносника (SEW, Lenze, Nord, Flender, Rossi) основана је у другој половини XX века [2].

Данас се механички преносници производе у милионским серијама, као специјални преносници, у оквиру аутомобилске индустрије (на пример за пренос механичке енергије од мотора до точкова, за покретање мотора, за подизање прозора и сл.), железничког машинства, индустрије грађевинских машина и сл, али и као универзални који имају велику примену и значај у свим областима машинства, најчешће у склопу са електромоторима, када представљају тзв. погонске јединице. Употреба механичких преносника, данас, је изузетно велика и може се рећи да нема гране привреде у којој преносници нису заступљени. Универзални механички преносници се најчешће користе у рудницима, термоелектранама и хидроелектранама, прехранбеној индустрији, индустрији грађевинског материјала, комуналним предузећима, и сл.). Њихов укупан број није могуће тачно одредити, али је сигурно вишемилионски.

Услед интензивног пораста тражње за механичким преносницима, долази до њиховог сталног развоја и усавршавања. Развијају се различити типови механичких преносника са цилиндричним, конусним и пужним зупчаницима, затим планетарни, хармонијски, циклорни и многи други специјални преносници. Свакодневно долази до усавршавања појединачних решења. Повећавају се називне вредности обртних момената и преносни односи, у оквиру исте осне висине преносника. Механички преносници постају компактнији, имају мању масу и већи степен искоришћења. Посебно развој нових материјала и технологија обраде позитивно утичу на усавршавање

механичких преносника. Јавља се све чешћа потреба за уштедом енергије, већом ефикасношћу, безбедношћу, а у последње време велики утицај на усавршавање преносника имају дизајн, тј. допадљивост, и заштита животне средине, тзв. екодизајн. Усавршавањем појединих компонената механичког преносника долази до све веће конкуренције на тржишту преносника. Када се у све то укључе квалитет производа, цена, брзина испоруке, сервис и могућност ремонта и рециклаже, борба за опстанак на тржишту постаје изузетно оштра. На тржишту опстају само највећи произвођачи преносника, али и они мањи који у одређеним сегментима тржишта (пре свега обртних момената и преносних односа) могу да конкуришу великим произвођачима.

У оквиру овог рада највећа пажња је посвећена универзалним редукторима са цилиндричним зупчаницима као најчешће коришћеној врсти механичких преносника. Развој ових преносника дошао је до савршенства тако да се у скорој будућности, највероватније, не могу очекивати неки значајнији помаци. Њихова производња је често великосеријска, производе се у широком распону обртних момената и преносних односа, високог су квалитета и степена поузданости, а њихова испорука је брза, сервис и ремонт обезбеђени, као и безбедна рециклажа. Међутим, и поред тога поједини произвођачи настоје да побољшају одређене техничке карактеристике, покушавају смањити масу и/или запремину својих редуктора, настоје постићи лепши дизајн, користе савременије технологије ливења и обраде кућишта, ослањање вратила (у оквиру редуктора) врше на различите начине, док неки на постојећим решењима настоје увести само незнатне измене, имитирајући решења водећих произвођача преносника.

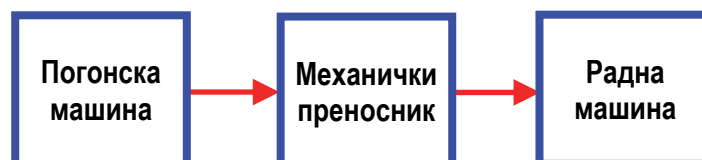
Имајући у виду примену и значај универзалних зупчастих редуктора, потребно је у оквиру фамилије универзалних зупчастих редуктора, обезбедити што боље техничке карактеристике, велики распон обртних момената и преносних односа уз што мање масе и димензија редуктора. При томе треба водити рачуна и о њиховој поузданости и оптималности конструкције. Сви ти захтеви су у супротности и искључују један другог, тако да је потребна велика вештина произвођача редуктора да их задовољи, па се на томе и заснива тржишна борба, да се испуне све те потребе уз што мању цену. Када се на ово додају још и захтеви купаца за различитим врстама и начинима уградње (хоризонтална, вертикална и коса уградња, са стопалима, са прирубницом, и са стопалима и са прирубницом, са шупљим вратилом, итд.), па и специјални захтеви (за рад на повишеним температурама, за рад у посебним условима, нпр. производња хране, лекова и сл.), производња редуктора постаје изузетно сложена.

Циљ овог рада је да се анализирају и упореде разне концепције универзалних зупчастих редуктора, да се на основу тих анализа одаберу најповољнија решења и да се дају смернице њиховог даљег развоја.

Мада се универзални редуктори у садашњој форми производе већ педесетак година [2,3,4,5] и њихова конструкција је већ одавно доведена до савршенства, потребно је нагласити да је ипак, пре десетак година направљен значајни помак у развоју редуктора. Истовремено је повећана и носивост и преносни однос за око 100% што је неочекиван напредак. Наиме, малом изменом концепције омогућила су се та побољшања (напуштена је уобичајена концепција саосности улазног и излазног вратила, повећана су међуосна растојања, тако да су редуктори добили „мале стомачиће“ са стране, мали зупчаници се утискују у вратило електромотора, уместо да се постављају на вратило мотора; захваљујући примени савремене технологије почели су се користити зупчаници са мањим бројем зубаца од 10). Неоспорно је да се и у будућности могу очекивати овакви револуционарни захвати. Следећи корак ће се сигурно моћи предузети развојем нових технологија ливења и израде озубљења, а посебно развојем нових материјала.

2. ПОЈАМ И ДЕФИНИЦИЈА МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА

Под *механичким преносницима* подразумевају се сви механизми намењени за пренос механичке енергије и кретања од погонске до радне машине (сл. 2.1). Њима се врши промена броја обртаја, обртног момента, и понекад, смера обртања погонске машине. Механички преносници имају изузетно велику примену у машинству, јер погонске машине (електромотори, мотори са унутрашњим сагоревањем, хидромотори и сл.) обично раде са знатно већим бројем обртаја од радних, тако да се механичким преносницима врши прилагођавање броја обртаја и обртног момента погонске машине захтевима радне машине. Механички преносници, намењени за пренос механичке енергије, обично се називају *преносници снаге*, док се механички преносници намењени за пренос кретања називају *преносници кретања*. У даљем тексту ће се разматрати само преносници снаге.



Сл. 2.1.

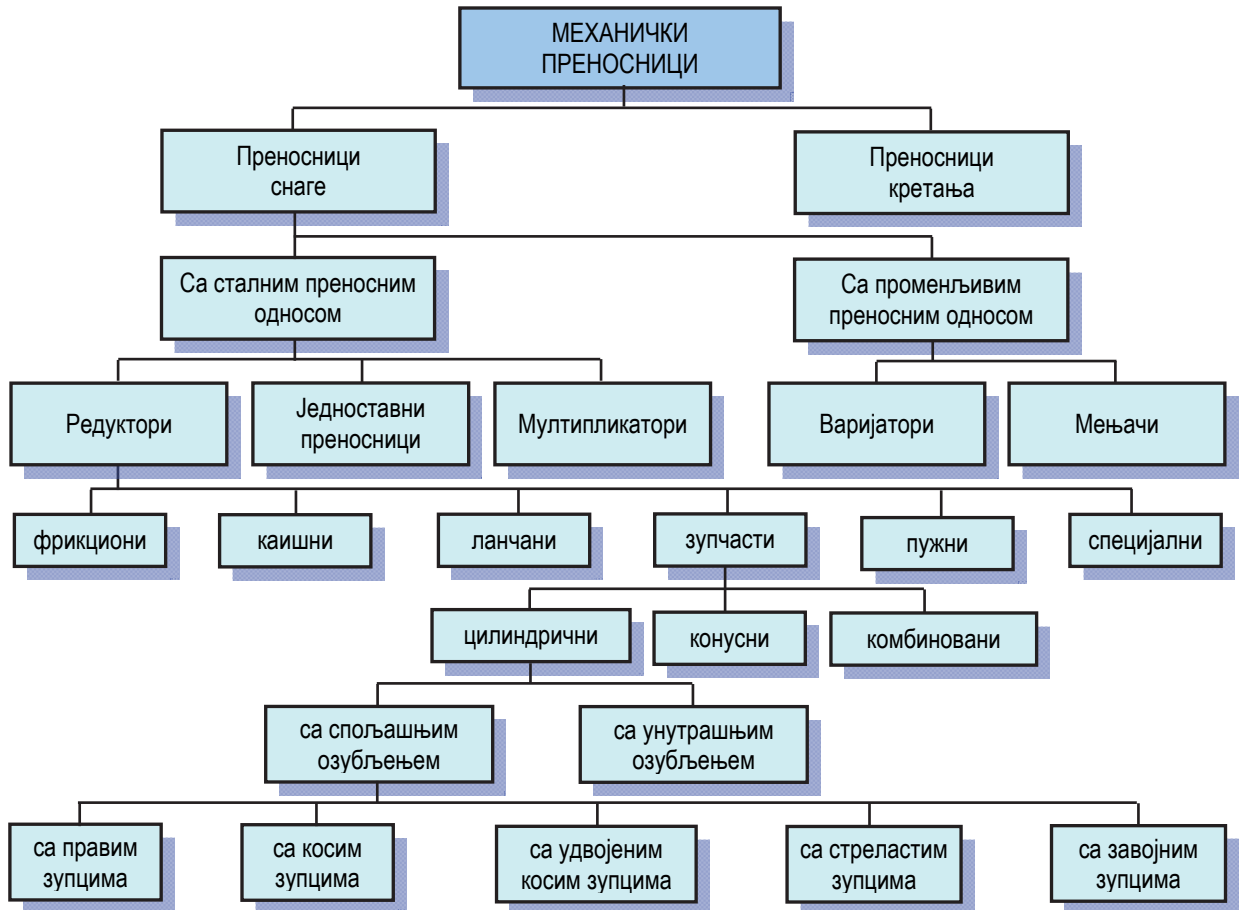
Шематски приказ преноса енергије од погонске машине, преко механичког преносника, до радне машине

2.1. Подела механичких преносника

Подела механичких преносника се може извршити према више основа [6].

- У зависности од преносног односа (сл. 2.2), разликују се:
 1. преносници са сталним преносним односом ($i = const.$), у оквиру којих се разликују:
 - редуктори ($i > 1$), код којих се број обртаја смањује;
 - једноставни преносници ($i = 1$), код којих се број обртаја не мења, већ само, евентуално, смер обртања и/или положај осе обртања;
 - мултипликатори ($i < 1$), код којих се број обртаја повећава;

2. преносници са променљивим преносним односом ($i \neq const.$) који могу радити као редуктори и/или као мултипликатори, где спадају:
- варијатори, код којих се постепено мења број обртаја;
 - мењачи, код којих се степенасто мења број обртаја.



Сл. 2.2.

Шематски приказ поделе механичких преносника

У оквиру овог рада ће се разматрати само редуктори.

- У зависности од употребљених преносних елемената редуктори се даље могу поделити на:
 - фрикционе,
 - каишне,
 - ланчане,
 - зупчaste,
 - пужне,
 - специјалне редукторе.
- Зупчasti редуктори, који ће се даље разматрати, могу бити са:
 - цилиндричним зупчаницима,
 - конусним зупчаницима,
 - комбинованим зупчаницима (само код вишестепених редуктора).

Зупчasti редуктори са цилиндричним зупчаницима могу бити са спољашњим и са унутрашњим озубљењем. Редуктори са унутрашњим озубљењем (углавном планетарни) представљају

посебну и веома широку област редуктора, а пошто нису предмет овога разматрања, даље се неће анализирати. Зупчасти редуктори са цилиндричним зупчаницима могу бити са:

- правим,
- косим,
- удвојеним косим,
- стреластим,
- завојним зупцима.

У даљем ће се разматрати само зупчасти редуктори са цилиндричним зупчаницима са правим и косим зупцима.

■ У зависности од положаја оса улазног и излазног вратила (само код вишестепених редуктора са цилиндричним зупчаницима), постоје редуктори са:

- паралелним вратилима,
- саосним (коаксијалним) вратилима;

при чему треба истаћи да се једностепени редуктори са спољашњим озубљењем не могу израђивати са саосним вратилима.

■ Према намени, редуктори могу бити:

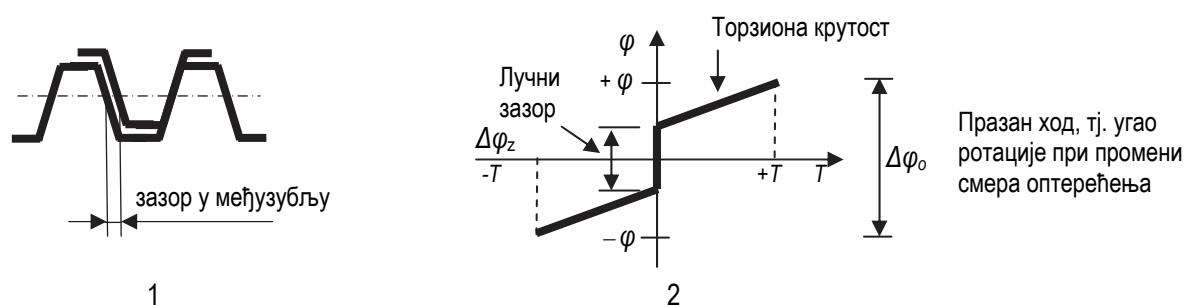
- универзални, тзв. стандардни, који се најчешће срећу у машинској пракси јер су предвиђени за најразличитије области примене и производе се у различитим стандардизованим осним висинама, преносним односима и носивостима;
- специјални редуктори који имају посебну примену, као што су редуктори за алатне, грађевинске, пољопривредне и сличне машине.

■ У оквиру универзалних зупчастих редуктора са цилиндричним зупчаницима и спољашњим озубљењем, у зависности од величине лучног зазора ($\Delta\varphi$), разликују се [7]:

- безазорни редуктори, са $\Delta\varphi_z \leq 10'$ по зупчастом пару;
- малозазорни редуктори, са $\Delta\varphi_z \leq 1^\circ$ по зупчастом пару;
- индустријски редуктори, са којима се остварују тзв. нормални зазори (са $\Delta\varphi_z > 1^\circ$).

Лучни зазор ($\Delta\varphi_z$) представља угао заокретања излазног вратила, у случају да је улазно вратило фиксирано (тј. непокретно), и његова вредност се изражава у угаоним минутама. У случају да је вредност тог угла мања од 10 угаоних минута сматра се да је редуктор безазоран. Треба имати у виду да је зазор у зупчастом пару само део празног хода, који описује стање у којем се, на основу улаза у механизам, не добија никакав одговор (померање) на излазу.

Под празним ходом ($\Delta\varphi_0$) зупчастих редуктора подразумева се угао ротације излазног вратила редуктора, под оптерећењем са моментом T , при непомићном улазном вратилу (сл. 2.3). Он је збир лучног зазора и еластичне торзионе деформације вратила.



Сл. 2.3.

1 - Графички приказ зазора у међузубљу; 2 – графички приказ промене празног хода са променом оптерећења [7]

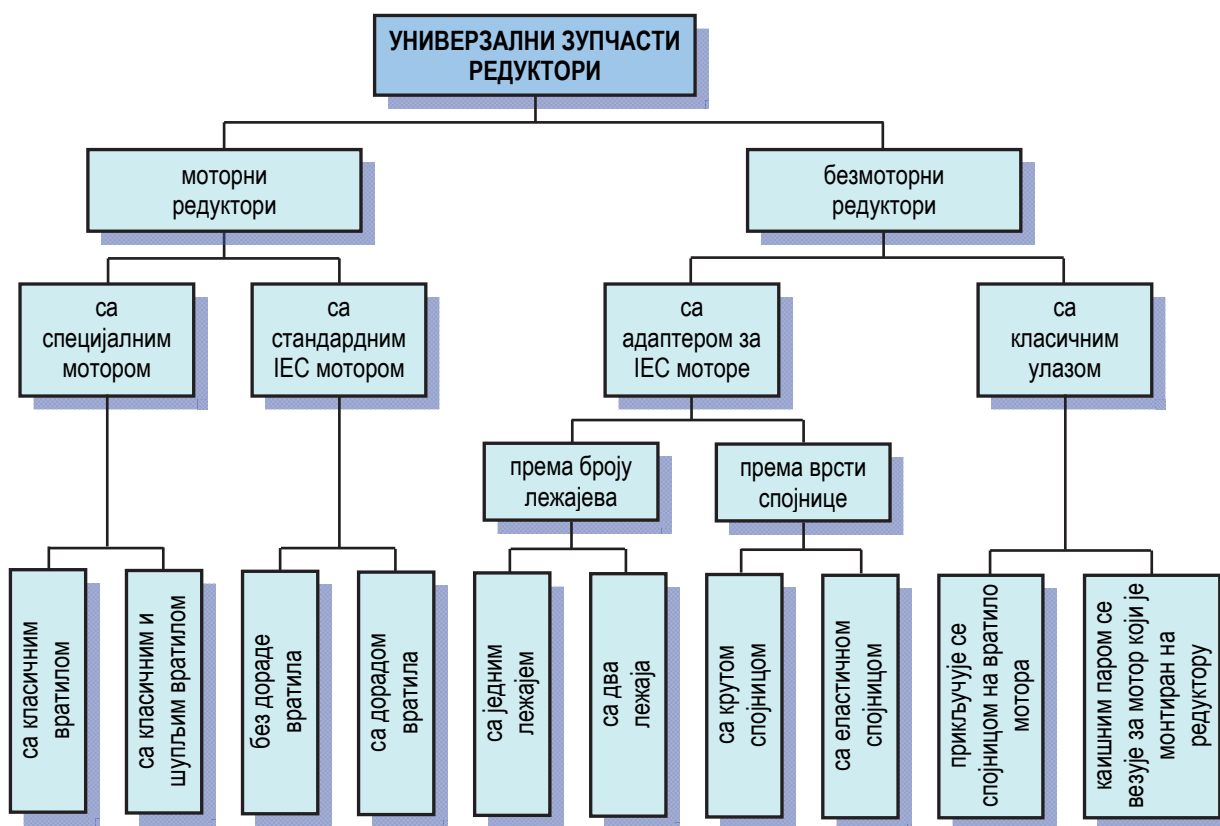
Безазорни редуктори се одликују великом тачношћу израде и прецизношћу при обртању, али и високом ценом. У овом раду они се неће разматрати, већ ће се разматрати само индустријски редуктори.

- У зависности од тога да ли је кућиште редуктора састављено од једног или више кућишта, разликују се [8]:
 - једноструки,
 - вишеструки редуктори (када се користе два или више кућишта редуктора).
- Према броју зупчастих парова, постоје:
 - једностепени,
 - двостепени,
 - тростепени,
 - вишестепени редуктори.
- Према тачности израде озубљења, редуктори се могу поделити на [6,7]:
 - тачне, са класом израде 5 и мањом,
 - средње класе тачности, са класом 6 до 9,
 - грубе, са класом 10 и већом.
- У зависности од величине редуктора, тј. осне висине, разликују се [6,7]:
 - мали редуктори, са $h \leq 100$ mm,
 - средњи редуктори, са $100 \text{ mm} < h \leq 500$ mm,
 - велики редуктори, са $h > 500$ mm.
- Према величини модула излазног зупчастог пара, редуктори се могу поделити на [6,7]:
 - мале редукторе, са $m_n \leq 2$ mm,
 - средње редукторе, са $2 \text{ mm} < m_n \leq 10$ mm,
 - велике редукторе, са $m_n > 10$ mm.
- У зависности од масе редуктора, постоје [6,7]:
 - мали (лаки) редуктори, са $m \leq 10$ kg,
 - средњи редуктори, са $10 \text{ kg} < m \leq 100$ kg,
 - велики (тешки) редуктори, са $m > 100$ kg.
- Редуктори се могу поделити и према величини називног обртног момента (T_N), па се тако разликују [6,7]:
 - микро редуктори, са $T_N \leq 1$ Nm,
 - мали редуктори, са $1 \text{ Nm} < T_N \leq 100$ Nm,
 - средњи редуктори, са $100 \text{ Nm} < T_N \leq 10000$ Nm,
 - велики редуктори, са $T_N > 10000$ Nm.
- Према величини серије, тј. броју израђених комада, серија израђених редуктора може бити [6,7]:
 - појединачна, до 10 комада,
 - малосеријска, од 10 до 100 комада,
 - серијска, од 100 до 1000 комада,
 - великосеријска, када се израђује преко 1000 комада.

Серијност редуктора свакако зависи и од величине редуктора, па тако за мање величине редуктора број који ограничава серијност је већи, док при производњи великих редуктора тај број је мањи.

2.2. Универзални зупчасти редуктори

Универзални зупчасти редуктори условно су стандардизовани [6] и они су својим обликом, прикључним димензијама и облицима и положајима уградње прилагођени најчешћим захтевима погона. Највећу примену имају у машинству, пре свега због једноставне израде, ниске цене, великог степена искоришћена и једноставног и лаког одржавања. Универзални зупчасти редуктори су нешто сложенији од специјалних, имају нешто више делова и захтевају већи обим машинске обраде, а све то да би се могло удовољити различитим захтевима уградње. И поред тога, они су до одређене величине серије јефтинији од специјалних редуктора, који се користе за тачно одређену намену и немају никаквих сувишних делова нити обрада. Тек при великим серијама, због цене и релативно велике масе, универзалне зупчасте редукторе није рационално примењивати, па се тада, по правилу, користе специјални редуктори, нпр. у грађевинским, пољопривредним и алатним машинама.



Сл. 2.4.

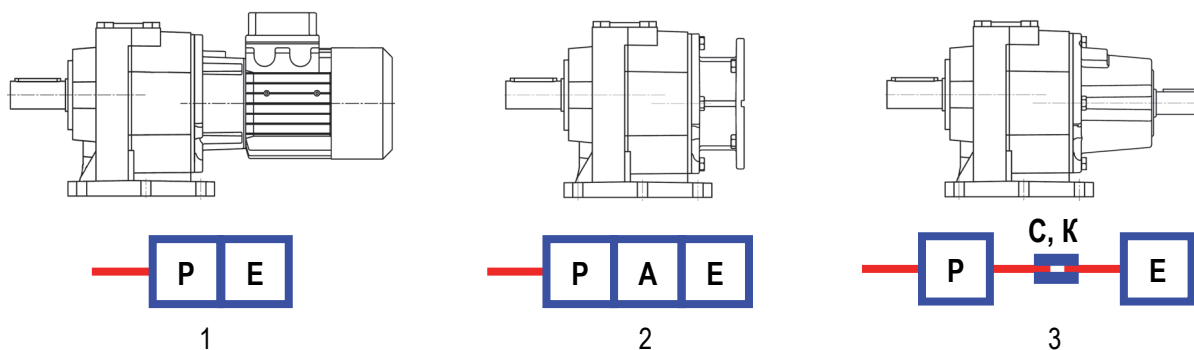
Шематски приказ начина повезивања универзалних зупчастих редуктора

2.2.1. Веза универзалног зупчастог редуктора и електромотора

Универзални редуктори се израђују у различитим верзијама у зависности од начина везе са:

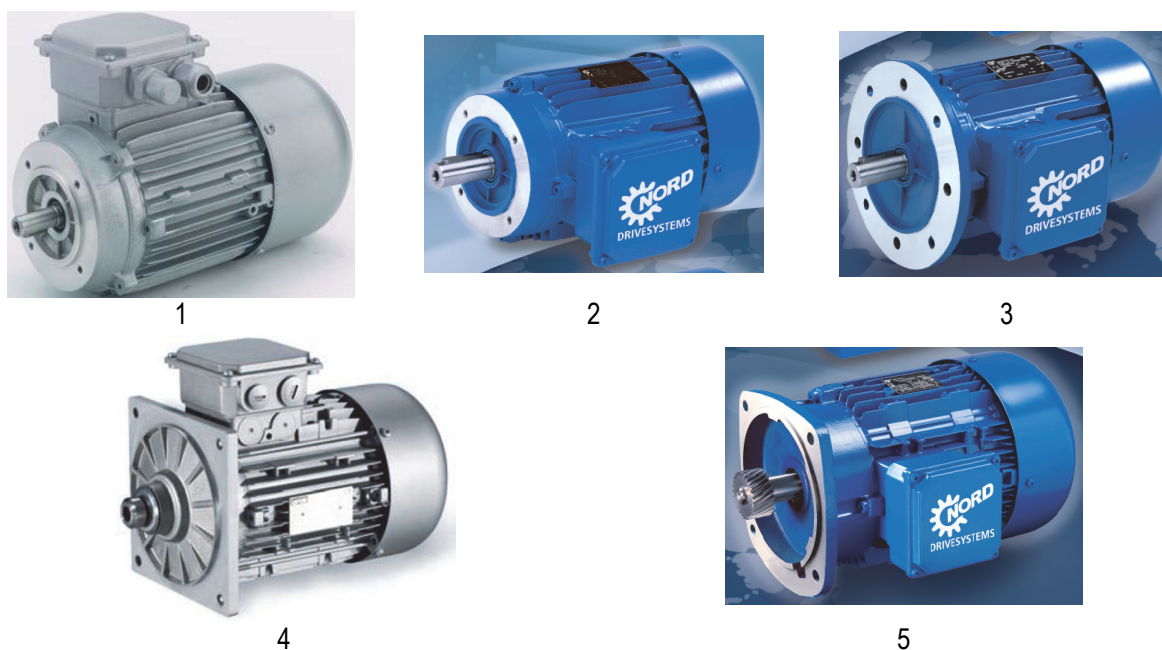
- погонском машином (мотором),
- радном машином,
- темељем (подлогом).

Универзални зупчасти редуктори могу се испоручивати са или без електромотора. Редуктор и електромотор могу бити повезани: директно, посредно или одвојено (сл. 2.5).

**Сл. 2.5.**

Шематски приказ могућих начина везе електромотора (ЕМ) и редуктора (Р): 1 – директна веза, 2- посредна веза са адаптером за IEC моторе (А) и 3 – одвојена веза са спојницом (С) или каишним преносником (решење компаније Motovario [9])

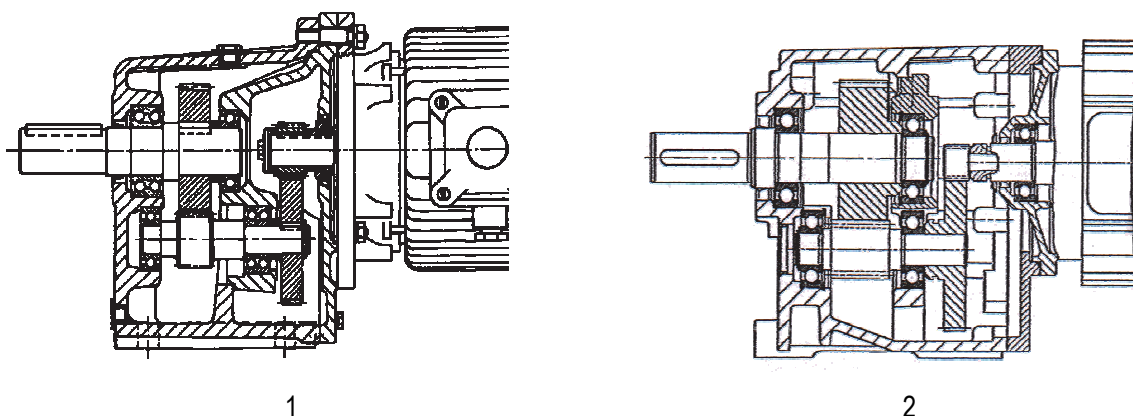
У случају да се редуктор и електромотор директно везују, такав склоп се назива *моторни редуктор* и он се најчешће користи у пракси. Моторни редуктори се користе због многих предности као што су компактнија конструкција, мања маса, већа тачност (саосност вратила електромотора и првог зупчаника), мањи број елемената, није потребно темељење електромотора, лако центрирање, итд. За погон се могу користити стандардни IEC електромотори (сл. 2.6-1,2,3) или специјални редукторски електромотори (сл. 2.6-4,5).

**Сл. 2.6.**

Електромотори који се постављају на редуктор при директној вези: стандардни IEC мотор облика уградње В14 (1 – решење компаније Lenze, 2 – решење компаније Nord) и стандардни IEC мотор облика уградње В5 (3 – решење компаније Nord) и специјални редукторски електромотор (4 – решење компаније Lenze, 5 – решење компаније Nord) [26, 32]

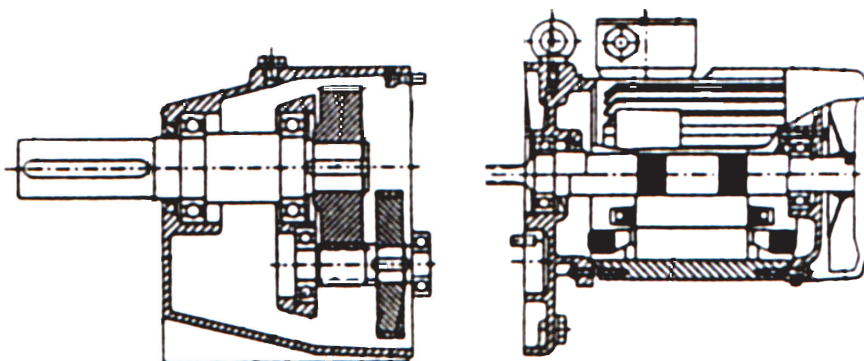
Стандардни мотори се ређе користе за директну везу са редуктором (сл. 2.7-1), и то углавном практикују мањи произвођачи редуктора, који немају сопствену производњу мотора. Таква веза је веома погодна, јер се користе лакдоступни стандардни IEC мотори, али су димензије целог склопа нешто веће, а преносни односи нешто мањи, отежано је и повезивање, а посебно што слободни крај вратила стандардног мотора не може да прихвати велика радијална и аксијална оптерећења и теже је обезбедити херметичност, тј. нецурење уља у кућиште електромотора.

Специјалне редукторске електромоторе (сл. 2.7-2) уграђују велики произвођачи редуктора, јер се њима то у великим серијама исплати, као и они произвођачи који имају сопствену производњу мотора. Редукторски мотори су карактеристични по специјалним димензијама прирубница, специјалним димензијама слободног краја вратила, јачим лежајевима и уграђеном заптивком на вратилу мотора. Захваљујући томе, мотор се без проблема може директно повезати са различитим величинама редуктора. Тањи, слободни крај вратила омогућује постављање или утискивање мањих зупчаника, а тиме и постизање већих преносних односа, док се јачим лежајевима постиже прихватање већих оптерећења слободног краја вратила мотора које потиче од сила које се јављају на првом зупчанику. Они су својим обликом, прикључним димензијама и начинима и положајима уградње, прилагођени најчешћим захтевима погона. Код старијих решења моторних редуктора, посебно у случају дводелних кућишта са аксијалном монтажом, прирубница специјалног електромотора је истовремено била и поклопац кућишта редуктора са стране мотора и као део кућишта јер се у њему улежишти једно или више вратила (сл. 2.8). Оваква решења су све ређа јер су овакви специјални мотори скупи и рокови испоруке су знатно дужи. Да би се обезбедило квалитетно подмазивање и спречило цурење уља из кућишта, мора се обезбедити квалитетно заптивање на месту кућишта и поклопца, односно кућишта и електромотора, а посебно на месту кућишта и вратила. Као заптивачи се обично користе клингеритски заптивачи (дебљине 0,5 mm), а тамо где је то могуће тзв. „О” прстенови. Данас се све чешће примењују и разна синтетичка лепила, тзв. „херметици”, мада се сматра да они нису погодни на местима где се очекује често растављање редуктора [6] и посебно при раду на терену.



Сл. 2.7.

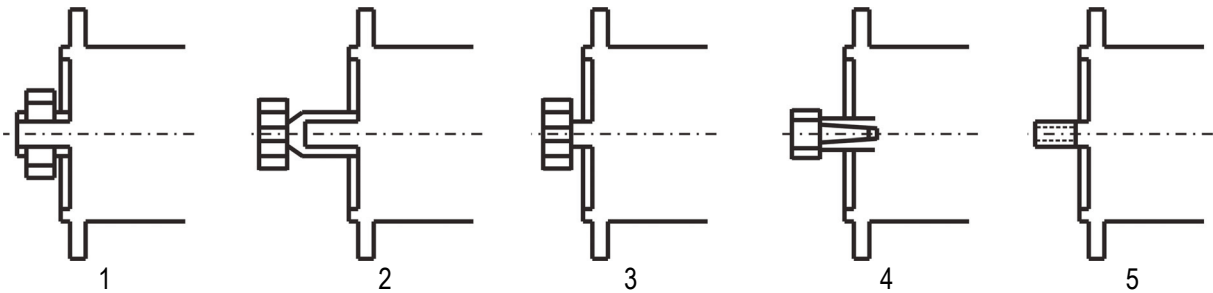
Зупчasti моторни редуктор са карактеристичним решењем везе редуктора и стандардног IEC мотора (старо решење компаније Rossi) (1) и специјалног редукторског електромотора (решење компаније Lenze) (2) [6]



Сл. 2.8.

Растављени моторни редуктор са специјалним мотором (старо решење компаније KEB) [6]

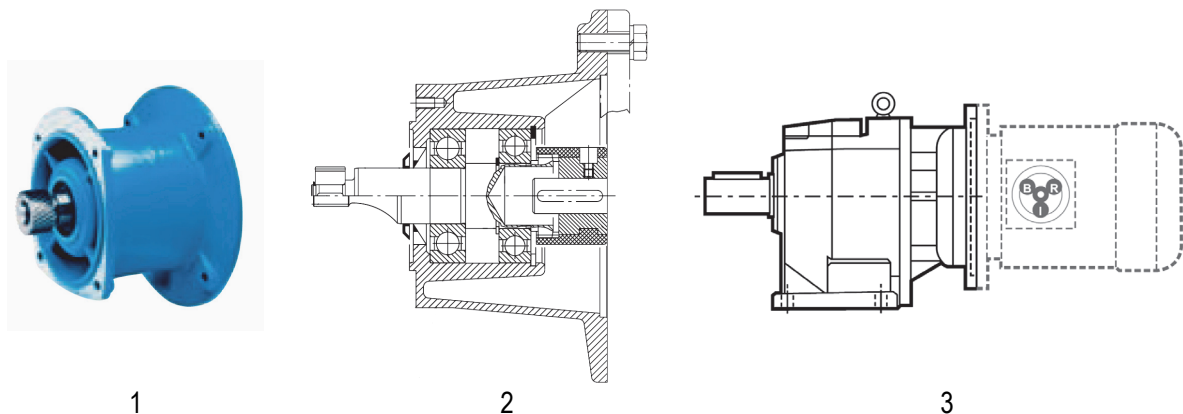
Применом специјалних електромотора омогућено је да се користе мањи први зупчаници чиме се омогућава постизање већих преносних односа на првом пару. Тиме се, уместо монтаже великих првих зупчаника (сл. 2.9-1) или постављања првог зупчаника на додатну чауру (сл. 2.9-2) која се поставља на вратило IEC мотора, користе специјални електромотори са јачим лежајевима и посебно прилагођеним обликом вратила за постављање првог зупчаника (сл. 2.9-3,4,5).



Сл. 2.9.

Шематски приказ директне веза мотора и редуктора: 1 - IEC мотор, 2 - IEC мотор са додатном чауром, 3 - специјални редукторски мотор, 4 - специјални редукторски мотор са "шупљим" вратилом и 5 - специјални редукторски мотор са зупчастим вратилом [6]

Посредна веза се користи када се жели повезати IEC електромотор и редуктор и када се жели остварити једноставнија веза електромотора са редуктором, односно када се купцу препушта монтажа мотора, при чему не постоји могућност оштећења ни мотора ни редуктора. Посредна веза остварује се посредством адаптера за IEC моторе, тако да се могу остварити све предности које имају специјални мотори, али уз нешто већу цену. У оквиру моторних редуктора може се очекивати и интензивнији развој моторних редуктора са IEC мотором, како би се што више повећала универзалност, односно, скратили рокови испоруке. Овај захват је посебно интересантан у случају извоза моторних редуктора у земље које своје произвођаче електромотора штите великим царинама, па је извоз моторних редуктора у те земље практично неисплатив.

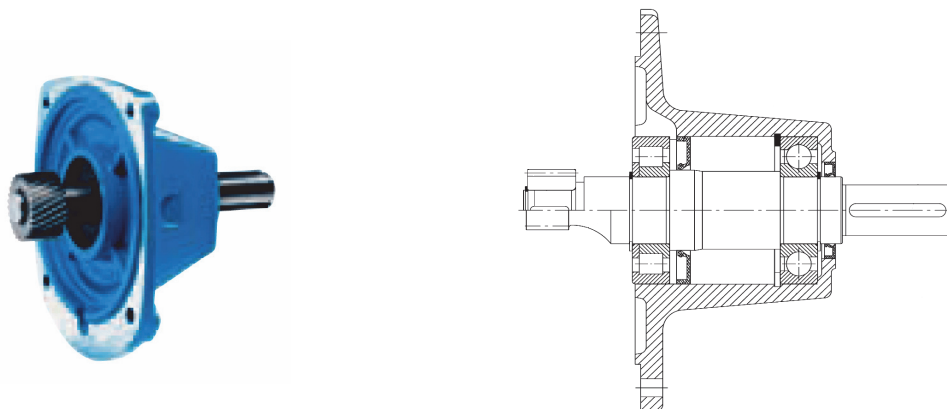


Сл. 2.10.

1 – Адаптер за IEC моторе (решење компаније Nord, Unicase [11]); 2 – шематски приказ адаптера за IEC моторе (решење компаније Nord, Nordbloc [12]); 3 – шематски приказ редуктора са адаптером и постављеног електромотора (решење компаније Bonfiglioli) [10]

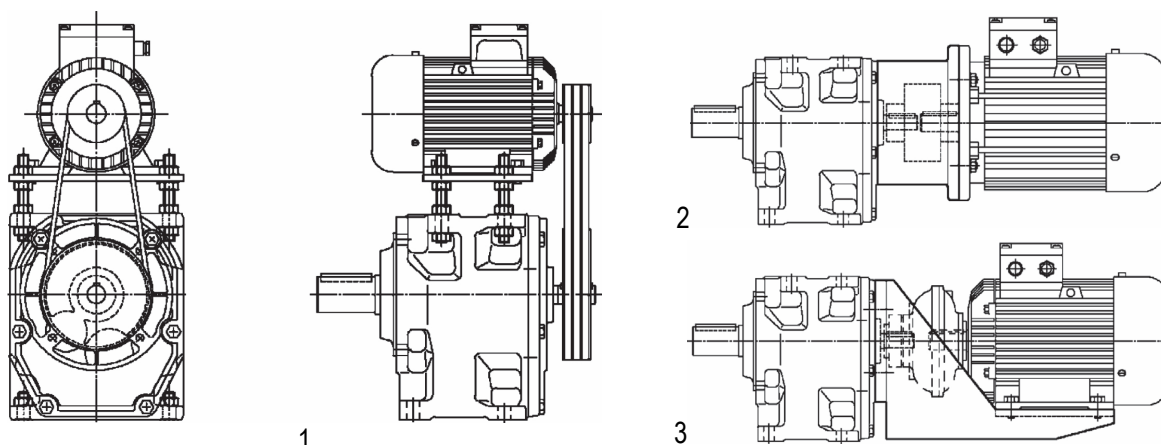
Модуларни принцип градње омогућава да се на исто кућиште редуктора, уместо адаптера, може поставити улазни подсклоп (сл. 2.11), што омогућава да редуктор, поред излазног, има и улазно вратило. Улазни подсклоп састоји се и од вратила са зупчаником, или зупчастог вратила, улежиштеног са два лежаја. На овај начин омогућује се постизање великих преносних односа као и код моторних редуктора, али је у овом случају веза мотора и редуктора одвојена. Код ове везе захтева се посебно темељење и центрирање електромотора, што је неповољнији случај, па се

данас обично користи само код великих мотора (обично изнад 50 kW), када редуктор није у могућности да носи тако велики електромотор, или у случајевима када се жели користити ремени преносник (сл. 2.12-1) због могућности проклизавања при преоптерећењу или нека специјална спојница због одређених специфичности погона (сл. 2.12-2,3).



Сл. 2.11.

Улазни подсклоп универзалног зупчастог редуктора (решење компаније Nord [11,12])



Сл. 2.12.

Одвојена веза редуктора и електромотора: посредством каишног преносника (1) и посредством механичке (2) и хидродинамичке спојнице (3) (решење фирме Rossi) [13]

2.3. Основне карактеристике универзалних зупчастих редуктора и захтеви који се пред њих постављају

Зупчasti редуктори су релативно једноставни производи, тако да на тржишту постоји велики број произвођача, па је и конкуренција изузетно велика. Данас се, пред савремене редукторе, постављају многи захтеви: кратак рок испоруке, ниска цена, велик степен искоришћења, висока поузданост, мала маса, мале димензије, лако сервисирање и одржавање, леп естетски изглед и др. Зато приликом пројектовања и конструисања таквих производа, конструктор мора водити рачуна о великом броју захтева, које редуктор треба да задовољи. Овде су првенствено у питању: врста погонске и радне машине и њихова веза са редуктором, радни услови: брзине, променљивост оптерећења, материјал, начин израде и обраде (зупчаника), начин подмазивања, утицај околине, атмосферилије, шум и вибрација и др. При свему томе се од редуктора захтева да има што већу носивост, преносни однос, степен искоришћења, што дужи радни век, да буде што тиши, да вибрације при раду буду у дозвољеним границама и сл. Компактност конструкције преносника захтева што краће растојање између лежајева, затим примену висококвалитетних

челика за израду зупчаника и зупчастих вратила (погодних за термичку обраду), квалитетних лежајева, заптивача и слично.

Основне техничке карактеристике редуктора дефинишу се у зависности од њихове врсте, димензија и величине серије. Техничке карактеристике редуктора, намењених за широко тржиште, дефинише стандард или неки други пропис, а ако оне нису на тај начин одређене, онда то чини произвођач, на основу потреба тржишта, техничких карактеристика конкурентских решења и сопствених технолошких могућности. Техничке карактеристике редуктора намењених за тзв. уско тржиште, по правилу, дефинише купац у зависности од својих потреба.

При дефинисању техничких карактеристика редуктора увек се мора водити рачуна о међународним и националним стандардима, потребама тржишта, као и технолошким могућностима произвођача. Веома је важно обезбедити узајамну заменљивост редуктора различитих произвођача и тако повећати њихову конкурентност. Наиме, купци, навикнути на одређене редукторе, купиће јефтиније, лепше или боље редукторе, само ако могу да их уграде у своје производе без икакве корекције постојеће конструкције.

Најважније карактеристике универзалних зупчастих редуктора (сл. 2.13) су: обртни момент на излазу T_2 (називни обртни момент T_N), преносни однос (i) или излазни број обртаја n_2 (код моторних редуктора), степен искоришћења (η), дозвољена вредност погонског фактора f_{BD} (код моторних редуктора), дозвољено радијално и аксијално оптерећење излазног вратила F_{R2doz} и F_{A2doz} (али и улазног вратила, ако се ради о редуктору са улазним подсклопом, F_{R1doz} и F_{A1doz}), топлотни капацитет (P_Q), облик уградње, положај уградње, осна висина (h), ниво шума, ниво вибрација и сл.

T_N – називни обртни момент,

u – преносни однос,

η – степен искоришћења,

h – осна висина,

F_{R1} и F_{A1} – дозвољено радијално и аксијално оптерећење улазног вратила,

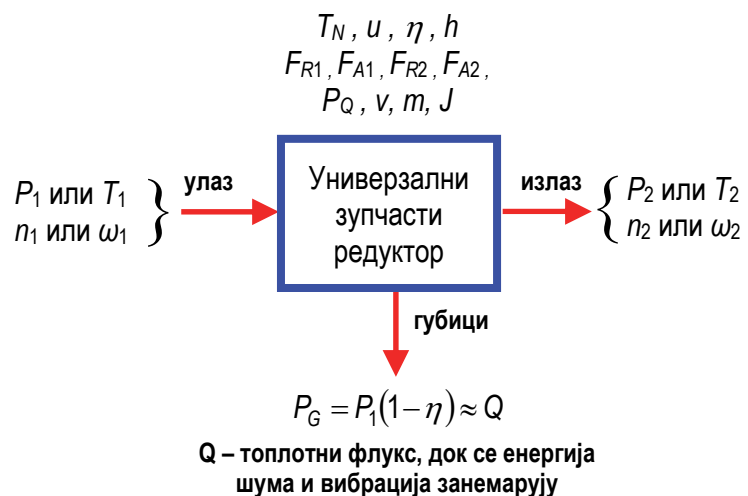
F_{R2} и F_{A2} – дозвољено радијално и аксијално оптерећење излазног вратила,

P_Q – топлотни капацитет,

v – дозвољене вибрације,

m – маса редуктора,

J – момент инерције обртних делова



Сл. 2.13.

Шематски приказ погонских карактеристика универзалних зупчастих редуктора [6]

Једна од главних техничких карактеристика редуктора је осна висина h , која је стандардизована, па се при конструисању редуктора треба придржавати тих мера, мада има произвођача који то не чине (Bonfiglioli, Pujol, KEB, Nord за неке типове својих редуктора).

2.3.1. Називни обртни момент и одређивање погонског фактора

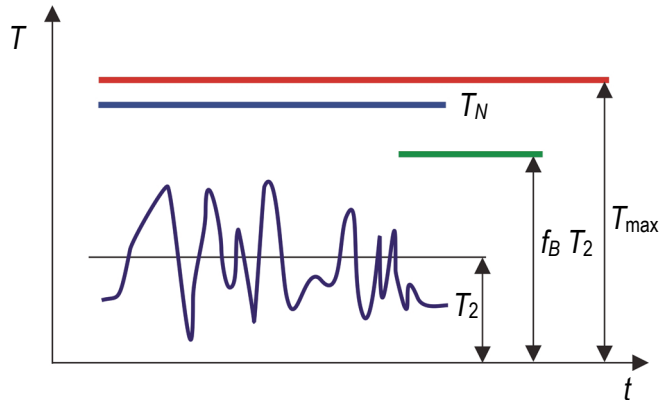
Називни обртни момент редуктора T_N представља највећи обртни момент на излазу са којим се трајно може оптеретити редуктор $T_N \geq f_B T_2$, где је T_2 – обртни момент на излазу редуктора (сл. 2.14):

$$T_2 = 9550 \cdot \frac{P_{em} \cdot \eta}{n_2} \quad (2.1)$$

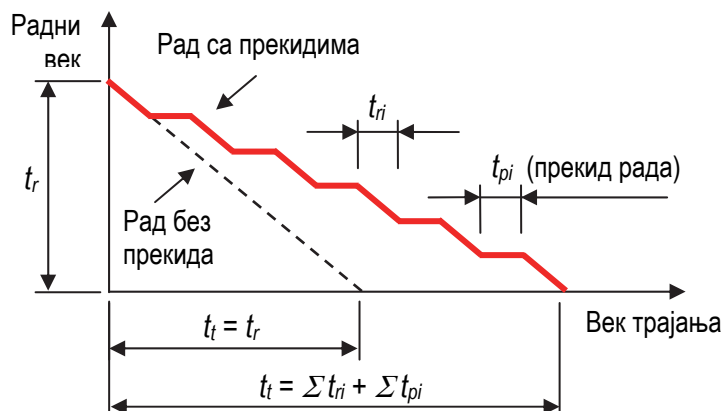
Његова вредност зависи од носивости најслабије компоненте у оквиру редуктора (зупчаници, лежајеви, вратила, клинови, ускочници, завртњеве, кућиште и поклопци). Зупчаници су најчешће критични елементи у редуктору, као најскупље компоненте, док остали елементи најчешће могу да пренесу и нешто веће оптерећење. Носивост редуктора несумњиво зависи од његових димензија, облика елемената, примењених материјала, лежајева, квалитета машинске и термичке обраде, као и од врсте мазива; наравно, при правилној уградњи (темељењу и центрању).

Сл. 2.14.

Приказ вредности називног обртног момента (T_N) у зависности од обртног момента на излазу (T_2) и погонског фактора (f_B)



Пошто се редуктори димензионишу за случај мирног оптерећења ($f_B = 1$), уводи се погонски фактор f_B , који узима у обзир све неравномерности које се могу јавити у току рада, као што су врста оптерећења и радне машине, убрзање маса, број укључења на сат, дневно трајање погона и сл. На тај начин се усклађује радни век са веком трајања редуктора (сл. 2.15), односно обезбеђује се да редуктор достигне пројектовани век трајања од обично 5 година, односно радни век од 10.000 радних сати (5 година x 50 недеља x 5 дана x 8 сати). Тако се при дужем времену коришћења редуктора у току дана, од пројектованог, усваја већи погонски фактор којим се обезбеђује предвиђени век трајања, и обрнуто. Погонским фактором се, уколико је потребно, може обезбедити дужи век трајања редуктора од пројектованог, тј. избором већег, а тиме, нажалост, и скупљег редуктора.

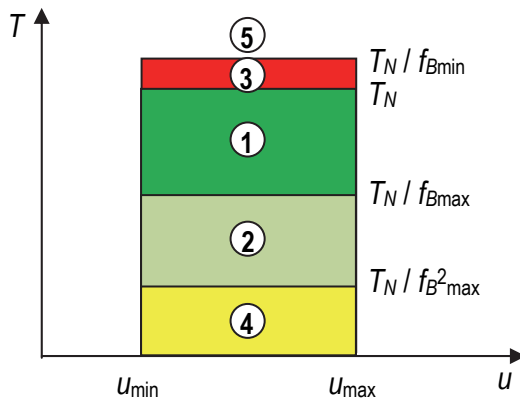


Сл. 2.15.

Графички приказ радног века (t_r) на век трајања редуктора (t_t) при непрекидној експлоатацији (1) и при раду са прекидима (2)

Дефинисањем називне вредности обртног момента дефинисана је и основна област примене редуктора (сл. 2.16), односно подручје у коме редуктор обично ради. Из услова:

$$T_N \geq T_2 \cdot f_B, \text{ следи } T_2 = \frac{T_N}{f_B} \quad (2.2)$$



- 1 – област основне примене,
- 2 – област допунске примене,
- 3 – област краткотрајне примене,
- 4 – област у којој је редуктор предимензионисан,
- 5 – критична област у којој долази до тренутне хаварије редуктора

Сл. 2.16.

Област примене универзалног зупчастог редуктора [6]

Дозвољена вредност погонског фактора f_{BD} дефинише колико се стварно може оптеретити редуктор и представља однос називног обртног момента и стварног момента на излазу, а добија се из услова (2.2):

$$f_{BD} = \frac{T_N}{T_2} \geq f_B, \quad (2.3)$$

тако да се при избору моторног редуктора мора испунити услов $f_{BD} \geq f_B$. Одређивање потребних вредности погонског фактора врши се у зависности од поменутих утицајних фактора и радних услова у којима редуктор ради. Водећи светски произвођач редуктора SEW [14], Lenze [15] и Nord [11] вредност погонског фактора f_B дефинишу у зависности од дневног трајања погона, учесталости укључења и разликују се три фактора удара у зависности од фактора убрзања маса, према дијаграму на сл. 2.17. На избор овог фактора утичу и ефективно оптерећење у току сата (тзв. ED фактор), температура амбијента и жељени век трајања преносника, али при нормалним радним условима они обично не утичу на његов избор, тако да их ови произвођачи и не наводе.

Основна област примене редуктора је од T_N до T_N / f_{Bmax} . У области испод T_N / f_{Bmax} редуктор је предимензионисан и треба користити прву мању величину редуктора, ако такво решење постоји. Међутим, редуктор се може користити и изван области његове основне примене и то за преношење мањих обртних момената, када први мањи редуктор не може да задовољи (област $T_N / f_{Bmax} \geq T_2 \geq T_N / f_{B^2max}$). У области испод T_N / f_{B^2max} посматрани редуктор је јако предимензионисан, па се користи само ако нема мањег редуктора, мада нерационално. У принципу, редуктор се не би смео оптеретити већим обртним моментом од T_N , међутим, за случај краткотрајних погона и мирног оптерећења, дозвољава се његово незнатно преоптерећење (област критичне примене $T_N / f_{Bmin} \geq T_2 \geq T_N$). Овакво преоптерећење је могуће и са становишта степена сигурности појединих елемената, јер је минимална вредност погонског фактора обично $f_{Bmin} = 0,8$ [6], па је највеће оптерећење:

$$T_{max} = T_N / f_{Bmin} = T_N / 0,8 = 1,25 T_N \quad (2.4)$$

У случају да се на излазу појави оптерећење $T_2 \geq T_{max} = T_N / f_{Bmin}$, дошло би до преоптерећења и тренутног отказа редуктора, јер он за тако велику носивост није пројектован. Вратила се као критичне компоненте прорачунавају са фактором сигурности 1,3, тако да она дозвољавају ова краткотрајна преоптерећења.

Фактор убрзања маса одређује се према обрасцу:

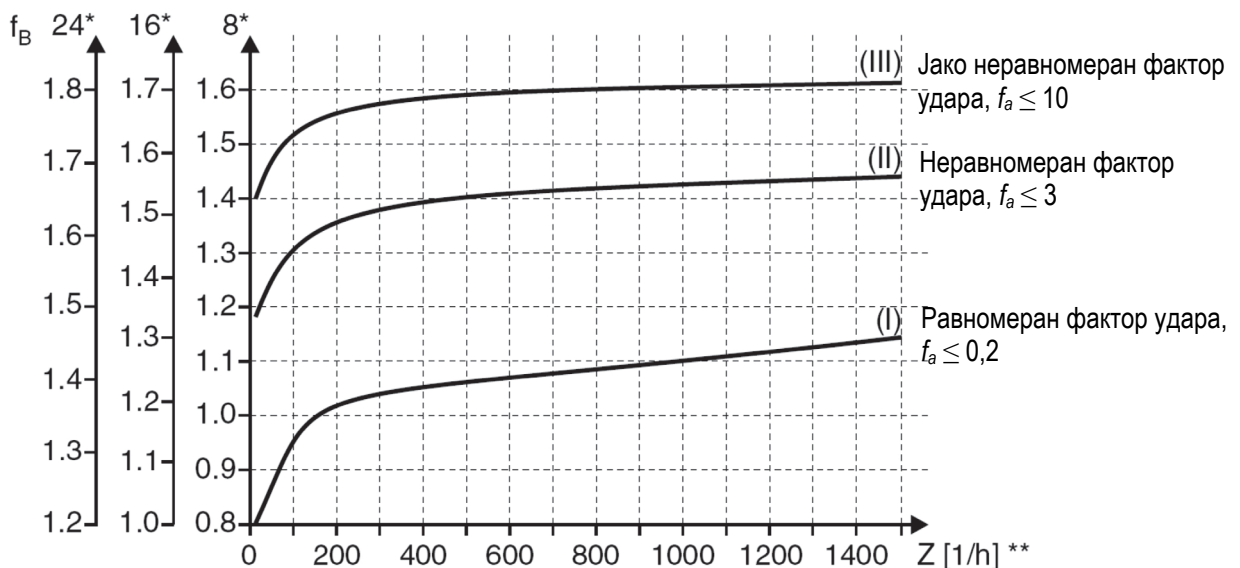
$$f_a = \frac{J_{rm}}{J_{em}} = \frac{J_{rm}}{J_M + J_K + J_V} \quad (2.5)$$

где је: J_{rm} – момент инерције радне машине сведен на вратило електромотора
 J_{em} – момент инерције електромотора (где је J_M – момент инерције мотора и ако постоје
 J_K – момент инерције кочнице и J_V – момент инерције тешког вентилатора)

$$J_{rm} = J \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2 \quad (2.6)$$

J – момент инерције с обзиром на излазни број обртаја редуктора
 n_2 – излазни број обртаја редуктора
 n_1 – број обртаја мотора

Детаљније о прорачуну момента инерције дато је у Прилогу 2.



* Дневно трајање погона у сатима на дан

** Учесталост укључења Z (укључење подразумева све поступке покретања и кочења, те пребацивања са ниских на високе бројеве обртаја и обрнуто)

Сл. 2.17.

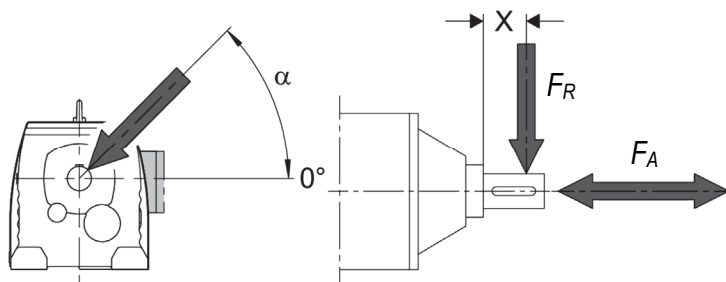
Одређивање погонског фактора f_B [11,14,15]

2.3.2. Дозвољене радијалне и аксијалне силе на улазном и излазном вратилу редуктора

Дозвољене радијалне и аксијалне силе на улазном (у случају да редуктор има инсталиран улазни подсклоп), односно излазном вратилу, представљају највеће радијалне и аксијалне силе са којима се, у најнеповољнијем случају, трајно могу оптеретити крајеви улазног, односно излазног вратила редуктора, при мирном оптерећењу, са становишта чврстоће и крутости вратила, кућишта и завртњева, као и са становишта носивости лежаја и ускочника, броја обртаја и обртног момента који се преноси вратилом, а такође и од смера дејства аксијалне силе и правца радијалне силе (сл. 2.18).

Сл. 2.18.

Радијално и аксијално
оптерећење улазног, односно
излазног вратила редуктора



Универзални зупчasti редуктор мора да задовољи са становишта оптеретивости слободног краја улазног и излазног вратила, тј. морају бити испуњени следећи захтеви:

$$F_{R1} \leq F_{R1doz}$$

$$F_{A1} \leq F_{A1doz}$$

$$F_{R2} \leq F_{R2doz}$$

$$F_{A2} \leq F_{A2doz}$$

при чему, произвођачи редуктора, у својим каталозима, прописују дозвољене вредности оптерећења док се стварне вредности прорачунавају на основу опште познатих образаца из механике и машинских елемената. У случају приближних прорачуна вредност радијалних сила може се одредити на основу обимне силе (F_t) по образцу:

$$F_R = F_t \cdot f_z \quad (2.7)$$

где је:

F_t – обимна сила на елементу који се поставља на слободном крају вратила

($F_t = 2 T / d$, где је T – обртни момент на дотичном вратилу, а d – кинематски пречник преносног елемента који је постављен на дотичном вратилу, услед којег настаје обимна сила),

f_z – фактор преносног елемента зависи од врсте елемената постављених на слободном крају излазног / улазног вратила, и за различите монтиране елементе износи [16]:

зупчаник са $z < 17$	$f_z = 1,15$ ($f_z = 1,1$ [11])
ланчаник са $z < 13$	$f_z = 1,4$
ланчаник са $z < 20$	$f_z = 1,25$ ($f_z = 1,2$ [11])
зупчasti каишник	$f_z = 1,5$
трапезни каишник	$f_z = 1,75$
пљоснати каишник	$f_z = 2,5$
мешачи, миксери	$f_z = 2,5$

У случају да неки од ових услова није испуњен, решење треба тражити у оквиру суседних преносних односа, ако је то могуће, а затим у оквиру прве веће величине редуктора која, обично, задовољава.

Дозвољена радијална и аксијална оптерећења која су дата у каталозима важе за погонски фактор $f_B = 1$. У случају да је фактор убрзања маса већи и да је дневни погон већи од 8 сати на дан, погонски фактор ће бити већи од један, што такође утиче и на смањење дозвољених вредности радијалних и аксијалних сила [11] (Прилог 3).

2.3.3. Топлотни капацитет редуктора

Топлотни капацитет универзалних зупчастих редуктора посебно је важан ако редуктори раде на повишеним температурама (изнад 40°C , в.стр. 19.) као и при преношењу веће снаге, па свака

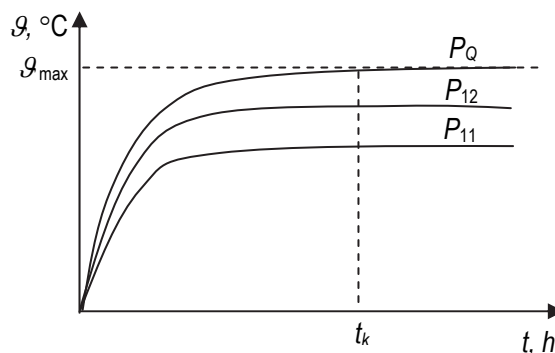
промена температуре може да узрокује непредвиђено загревање редуктора. Вредност топлотног капацитета се за безмоторне редукторе најчешће посебно не дефинише у каталозима редуктора, чиме се не омогућава њихов правилан избор, односно, не омогућава се благовремено сагледавање потребе предузимања одређених захвата у циљу превазилажења могућих проблема због евентуалног прекомерног загревања редуктора. Ипак, има произвођача који и о томе воде рачуна. Код моторних редуктора, произвођачи воде рачуна о топлотном капацитету при изради каталога, тј. при дефинисању асортимана редуктора, тако да тај проблем није уочљив за купца.

Поред тога, прекомерно загревање редуктора, са честим прекидима у току рада, условљава преко одушка честу измену ваздуха у кућишту редуктора. Честа измена ваздуха при промени температуре, условљава појаву кондензовања воде у редуктору која може да узрокује корозију виталних компонената (пре свега зупчаника и лежајева) и тиме непредвиђено скрати радни век редуктора. Ово је нарочито изражено код редуктора који раде на отвореном [17].

Сви губици енергије који настају у редуктору морају се предати околини, најчешће у виду топлотне енергије, док се остали видови одавања (звук и вибрацијама) занемарују:

$$P_G = P_1(1-\eta) = Q \leq Q_0 = \alpha A \Delta \vartheta \quad (2.8)$$

где је: P_G – губици у редуктору,
 P_1 – снага на улазу у редуктор,
 η – степен искоришћења редуктора,
 Q – топлотни флуks који настаје услед губитака,
 Q_0 – топлотни флуks који се може пренети околини,
 α – коефицијент преласка топлоте,
 A – површина кућишта редуктора која учествује у размени топлоте,
 $\Delta \vartheta$ – разлика температура
(при чему је $\Delta \vartheta = \vartheta - \vartheta_0$, где је ϑ – температура површине кућишта редуктора, а ϑ_0 – температура амбијента у којем редуктор ради, обично се рачуна да је $\vartheta = (70-80)^\circ\text{C}$ – за минерална уља и $\vartheta = (90-100)^\circ\text{C}$ – за синтетичка уља, а $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$) [18].



Сл. 2.19.

Графички приказ тока загревања редуктора у зависности од улазне снаге (где је t – време загревања, t_k – критично време након којег се достиже максимална дозвољена температура редуктора (ϑ_{\max}), ϑ – температура кућишта редуктора и P_1 – снага на улазу у редуктор)

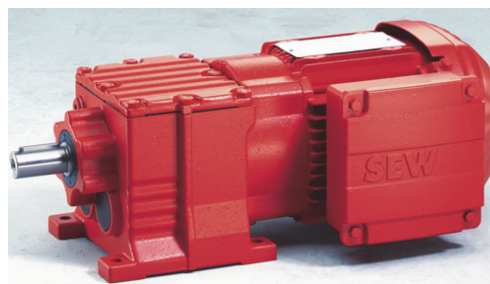
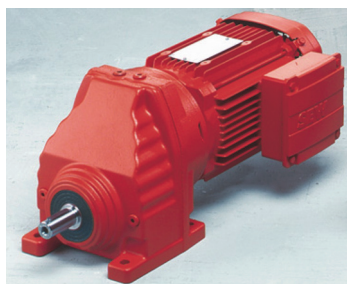
Из ове једначине произилази да је вредност топлотног капацитета

$$P_1 \leq P_Q = \frac{\alpha A \Delta \vartheta}{(1-\eta) \cdot K_{TP}} \quad (2.9)$$

то јест, да је топлотни капацитет (P_Q) највећа снага на улазу при којој се настали губици у редуктору могу предати околини без прекомерног загревања редуктора при трајном погону, $K_{TP} = 1$ (сл. 2.19),

где је K_{TP} – фактор трајности погона. При раду са прекидима ($K_{TP} < 1$), у појединим случајевима када редуктор са становишта чврстоће може да задовољи, дозвољава се краткотрајно преоптерећење редуктора ($P_1 > P_Q$), ако је после тога редуктор довољно дуго ван погона да може да се охлади на почетну температуру.

Брзина загревања редуктора искључиво зависи од степена искоришћења редуктора, режима рада, снаге на улазу, топлотне инертности (маса) редуктора и усвојеног начина хлађења. При томе треба имати у виду да вишестепени редуктори имају мањи степен искоришћења који се код тростепених универзалних зупчастих редуктора крећу око 94%, код двостепених око 96%, док код једностепених он износи 98% [11,16].

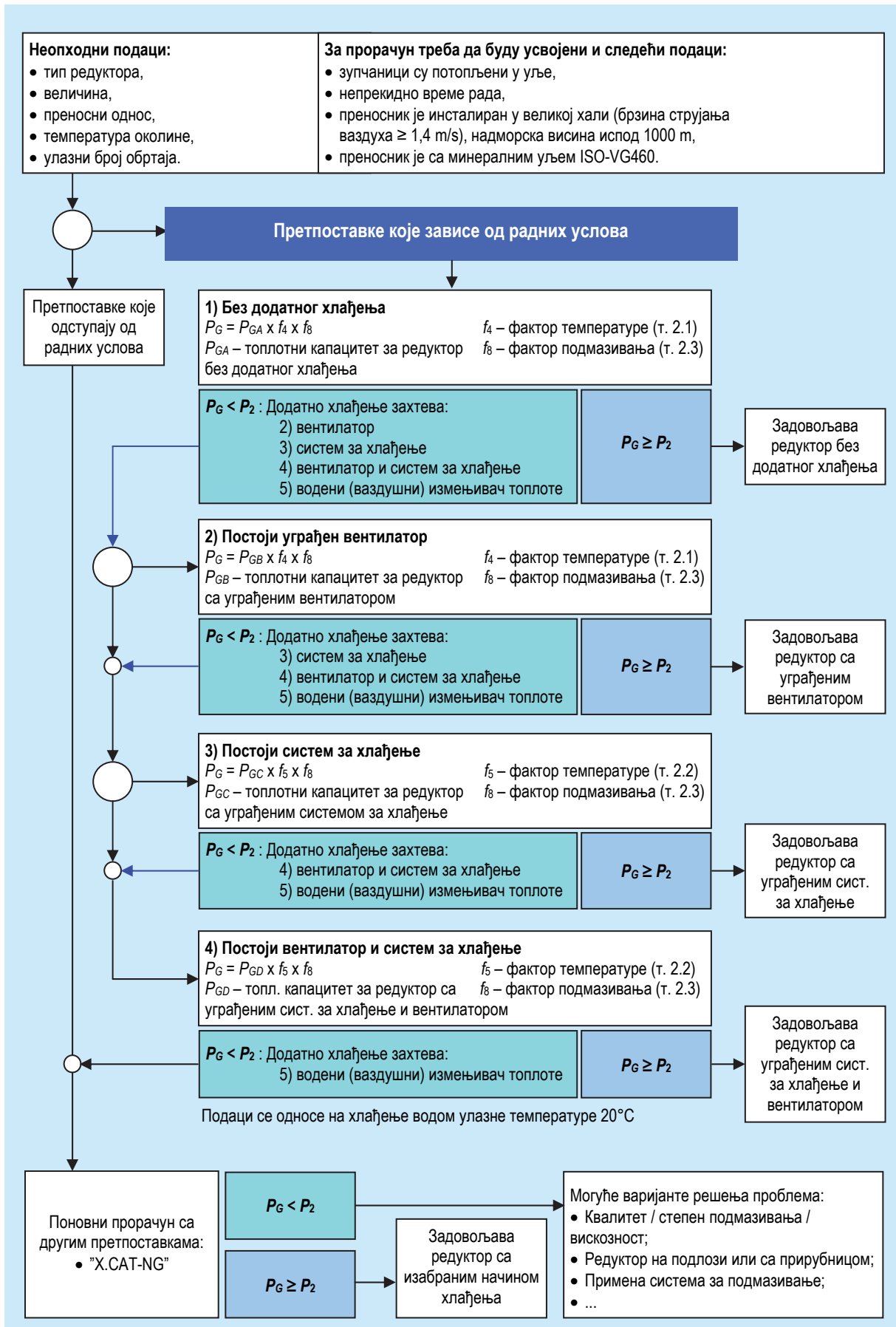


Сл. 2.20.

Карактеристичан детаљ зупчастог редуктора на којем је постављено оребрење у циљу ојачања кућишта и повећања површине кућишта које учествује у размени топлоте са околином (SEW) [14]

При избору величине редуктора обавезно мора бити испуњен и услов (2.9), који се, истина, доста ретко јавља, тако да је носивост редуктора најчешће ограничена само чврстоћом његових компонената. Међутим, уколико редуктор ради на повишеним температурама или се редуктором преноси већа снага од топлотног капацитета (P_Q), долази до његовог прегревања и тиме до промене карактеристика мазива, нежељеног пораста димензија компонената редуктора и његовог неправилног рада, као и до промене својстава материјала, од којег су израђене поједине компоненте редуктора. Уколико се, при пројектовању, установи тај проблем (тј. да је $Q > Q_0$) онда он настоји да се отклони повећањем површине кућишта редуктора (обично постављањем оребрења, сл. 2.20). Поступак дефинисања топлотног капацитета приказан је на сл. 2.21. Уколико ни то није довољно, уводи се додатно хлађење, уградњом вентилатора и принудним струјањем ваздуха око кућишта редуктора, што је ређи случај. При томе је потребно, дефинисањем одговарајућег облика кућишта омогућити боље опструјавање ваздуха. Интензивнији степен хлађења постиже се хлађењем уља у редуктору које се постиже уградњом уљне пумпе и измењивача топлоте (сл. 2.22). Систем се састоји од филтера, циркулационе пумпе, преливног и два запорна вентила, цевовода и измењивача топлоте са вентилатором и електромотором. Поједини произвођачи, у својим каталозима, нуде и ове компоненте као стандардну робу, која се може наручити упоредо са редуктором, тако да се проблем евентуалног загревања редуктора елиминише у старту. Најчешће се овај проблем јавља, као што је већ речено, при преношењу великих снага, или при високим температурама околног ваздуха, или при великим губицима у редуктору. На пример, произвођач Nord упућује кориснике да топлотни капацитет може бити ограничавајућа карактеристика при:

- вертикалном положају уградње (положаји M2 и M4, видети поглавље 2.3.5);
- спајању редуктора и мотора преко адаптера за IEC моторе или преко улазног подскопа са вратилом;
- погону са снагама већим од 100 kW;
- улазном броју обртаја већим од 1500 min⁻¹;
- температури околине већој од 40°C.



Сл. 2.21.

Алгоритам начина дефинисања топлотног капацитета [16]

Табела 2.1. Фактор температуре f_4 (према сл. 2.21) [16] (механички преносници без додатног хлађења или са вентилатором)

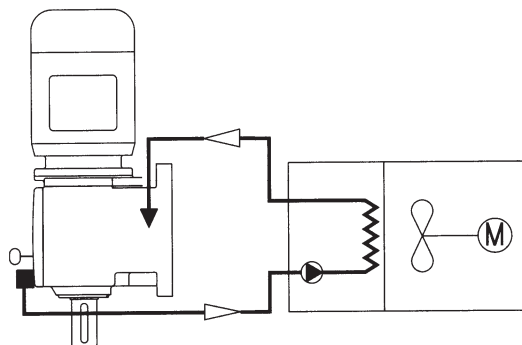
	Температура околине, °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
f_4	1,11	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,69	0,63

Табела 2.2. Фактор температуре f_5 (према сл. 2.21) [16] (механички преносници са системом за хлађење, или са вентилатором и системом за хлађење)

	Температура околине, °C								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
f_5	1,05	1,03	1,00	0,97	0,93	0,90	0,87	0,84	0,81

Табела 2.3. Фактор подмазивања f_8 (према сл. 2.21) [16]

Начин подмазивања	Без додатног хлађења	Са вентилатором	Са системом за хлађење	Са вентилатором и системом за хлађење
Потопљени у уљу	1	1	1	1

**Сл. 2.22.**

Уобичајено решење система за хлађење уља из редуктора [11]

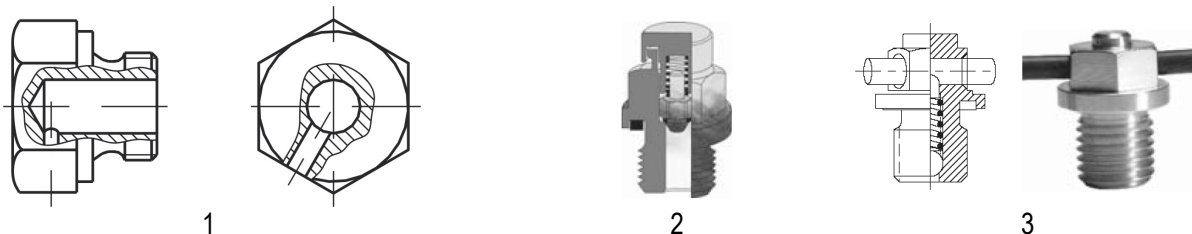
Произвођачи редуктора при изради каталога, тј. приликом компоновања погонских јединица (моторних редуктора), воде рачуна о овом параметру, при чему рачунају да је нормална температура радног амбијента ($\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$). При раду редуктора на вишим температурама амбијента, посредством посебног фактора коригује се (умањује) вредност топлотног капацитета.

При избору безмоторних редуктора, произвођачи редуктора (у својим каталозима), обично, детаљно упућују купце на поступак избора редуктора, тако да о том проблему морају да воде рачуна сами купци (пројектанти), који уграђују редукторе, како би избегли могуће нежељене догађаје који се могу јавити при прекомерном загревању редуктора.

Завртњиви за одзрачивање

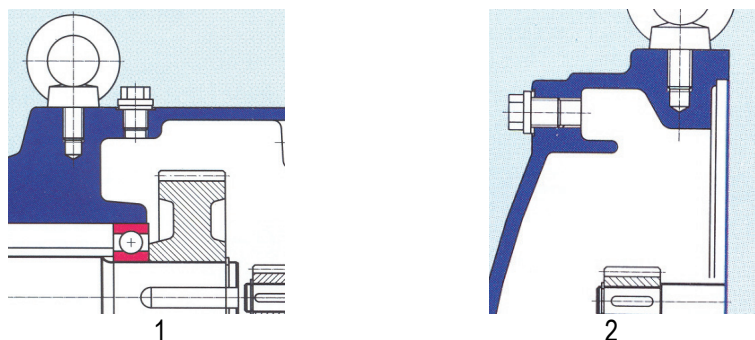
Приликом рада редуктора долази до његовог загревања, а тиме и до загревања ваздуха унутар редуктора. Да би се спречило истискивање уља из редуктора потребно је поставити завртњеве за одзрачивање којима се обезбеђује изједначавање притиска у редуктору са околним ваздухом. Као завртњиви за одзрачивање користе се обични завртњи са специјалним отвором за изједначавање притиска (сл. 2.23-1) или специјални завртњиви тзв. одзрачивачи (сл. 2.23-2). Специјални завртњиви су нарочито погодни када редуктор ради у влажним срединама или на отвореном простору, јер они не дозвољавају улазак нечистоћа у кућиште редуктора. Приликом

постављања завртњева мора се водити рачуна о њиховом положају на кућишту редуктора како не би дошло до цурења уља (сл. 2.24). Узрок цурења уља може бити и зачепљење отвора за одзрачивање. При томе долази до пораста притиска у редуктору, услед чега уље и ваздух проналазе други излаз, а то је најчешће између осовинског заптивача и вратила, или на местима где је оштећен заптивач испод поклопца. До зачепљења отвора за одзрачивање може доћи ако се нагомила нечистоћа у њему, или услед нестручне уградње, када се заборави да се извади сигурносна жица из завртња за одзрачивање (сл. 2.25).



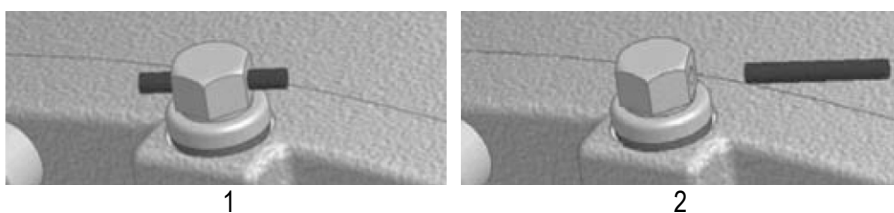
Сл. 2.23.

Завртњеви за одзрачивање: 1 – са специјалним отвором за изједначавање притиска, 2 – одзрачивач, 3 – одзрачивач са сигурносном жицом [28]



Сл. 2.24.

Карактеристични начини уградње завртњева за одзрачивање: 1 – када је завртањ изложен директном млазу уља са великом могућношћу цурења, 2 – када је спречен директан улаз уља [28]



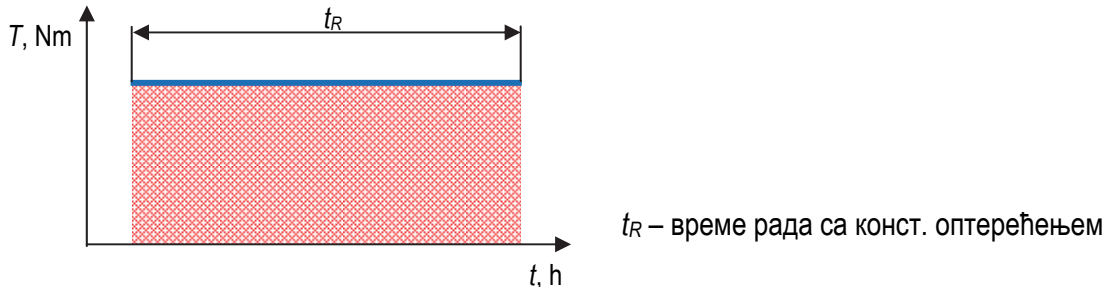
Сл. 2.25.

Одзрачивач са сигурносном жицом: 1 – зачепљени вентил, 2 – активирани вентил [28]

2.3.4. Избор потребне снаге мотора у зависности од режима оптерећења

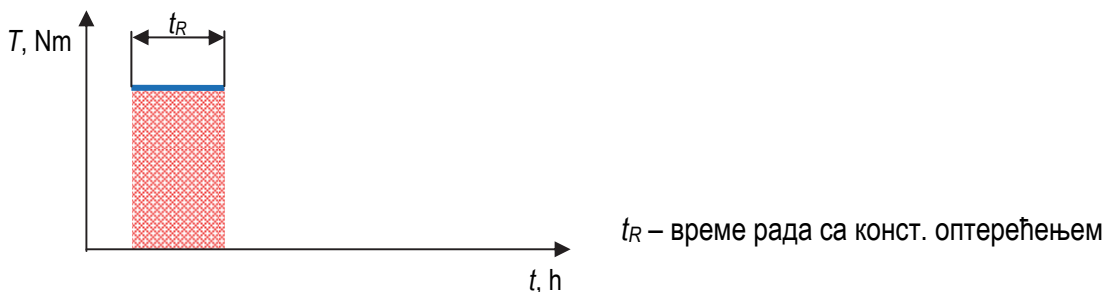
Постоје различити начини рада редуктора (моторног редуктора) у зависности од трајања и дужине трајања погона, као и дужине пауза и учесталости његових прекида. Подела је извршена према стандарду IEC 60034-1 [16], на следећи начин:

- режим рада S1 – непрекидан рад. Ако ништа није речено о условима рада, онда се снага дефинише за непрекидан рад са истим оптерећењем.

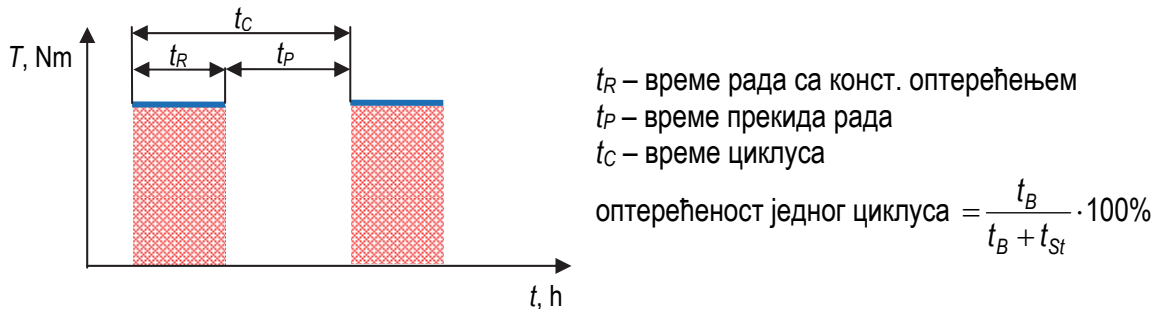


Режими рада код којих покретање и кочење мотора не утичу на прегревање статора:

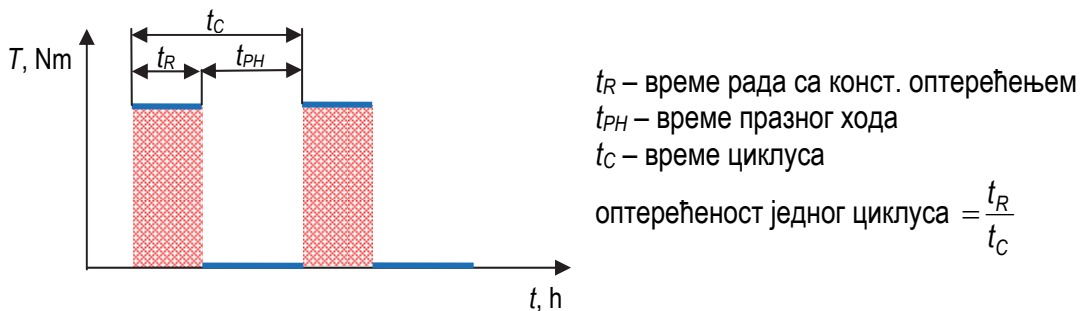
- режим рада S2 – краткотрајан рад. После кратког трајања погона, мотор се више не покреће све до потпуног хлађења намотаја. Препоручен период рада је 10, 30, 60 и 90 минута [16].



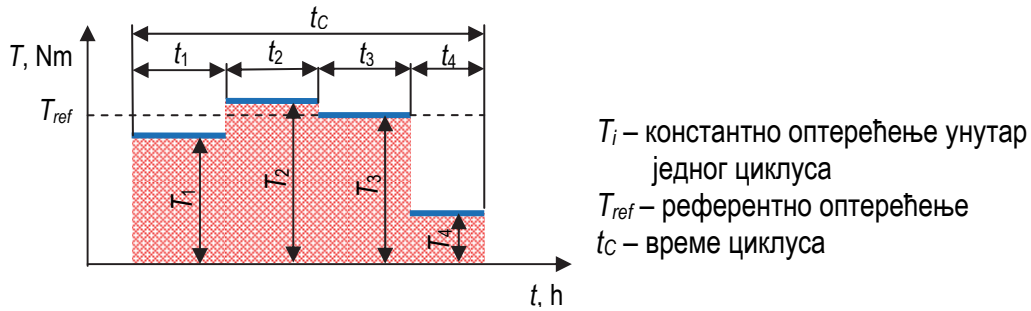
- режим рада S3 – наизменично периодичан рад. Трајање радног циклуса је око 10 минута. Препоручује се 15%, 25%, 40% и 60% оптерећености унутар једног радног циклуса [16].



- режим рада S6 – непрекидан рад са наизменичним оптерећењима. И овде трајање радног циклуса износи око 10 минута, а препоручује се 15%, 25%, 40% и 60% оптерећености унутар једног радног циклуса [16].

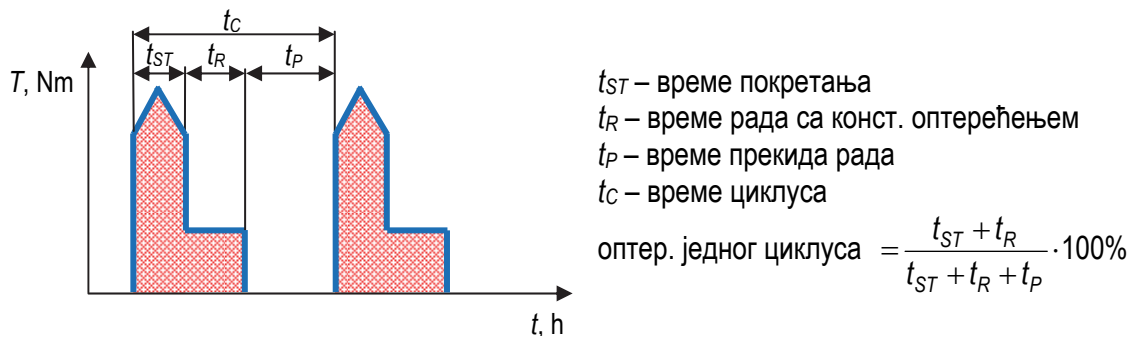


- режим рада S10 – рад са дискретно променљивим оптерећењима. У овом режиму рада могу се јавити највише четири оптерећења. За режим рада треба да буде изабран непрекидан рад са истим оптерећењем, као и у режиму рада S1.

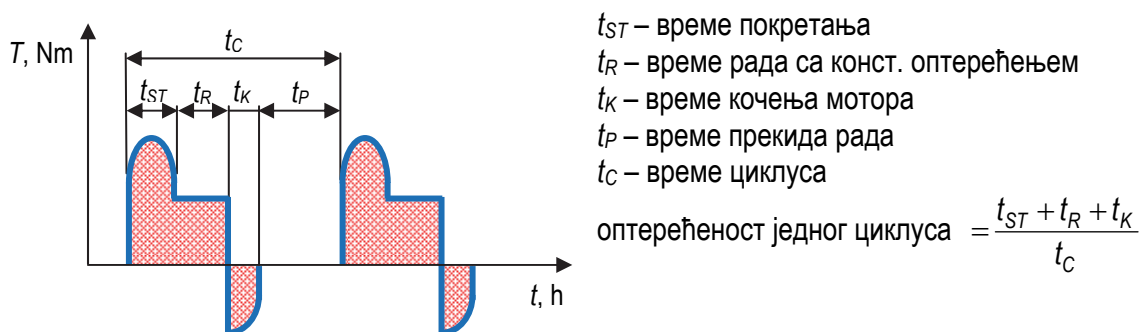


Режими рада код којих покретање и кочење мотора утичу на прегревање намотаја статора:

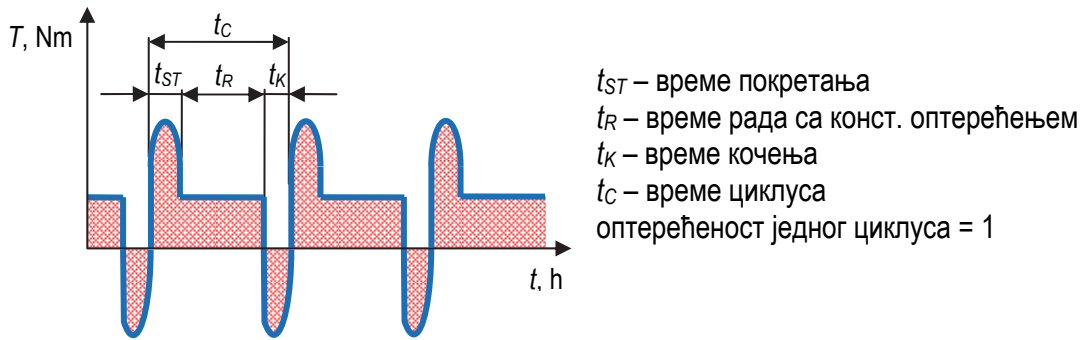
- режим рада S4 – наизменичан рад при чему укључивање утиче на пораст температуре. Трајање радног циклуса износи око 10 минута [16].



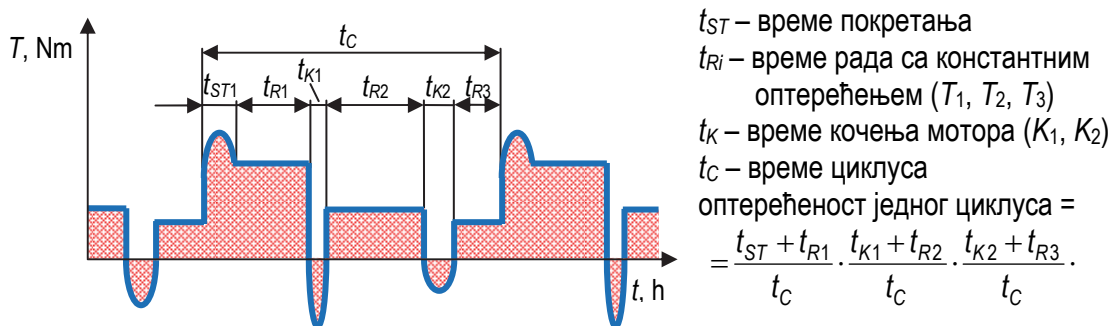
- режим рада S5 – наизменичан рад при чему укључивање и кочење утичу на пораст температуре. Трајање радног циклуса такође износи око 10 минута, а препоручује се 15%, 25%, 40% и 60% оптерећености унутар једног радног циклуса [16].



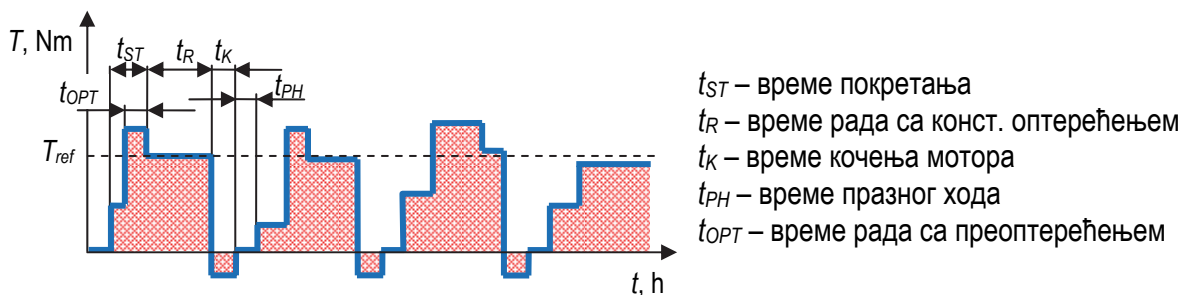
- режим рада S7 – непрекидан рад са периодичним укључивањем и искључивањем. Трајање радног циклуса такође износи око 10 минута, а препоручује се 15%, 25%, 40% и 60% оптерећености унутар једног радног циклуса [16].



- режим рада S8 – непрекидан рад са непериодичним трајањем рада и променом брзина. Режим рада представља комбинација свих раније набројаних радних услова [16]. Сви радни услови морају се тачно дефинисати како би се тачно дефинисао одговарајући мотор.



- режим рада S9 – непрекидан рад са непериодичним трајањем рада и промена брзина. Режим рада је комбинација свих до сада набројаних радних услова. Сви радни услови морају се тачно дефинисати како би се тачно дефинисао одговарајући мотор.



Ова подела извршена је са становишта загревања мотора. Међутим, у зависности од величине редуктора и величине мотора, као и од утицаја спољашње температуре, топлотни капацитет може бити одлучујући за избор редуктора и при режимима обраде који не могу прегрејати мотор (режими S1, S2, S3, S6 и S10).

У зависности од режима рада, електромотори се могу, у појединим случајевима, преоптеретити и тиме омогућити рационалнији избор мотора. Тако се, према препорукама произвођача мотора [16], уводи фактор повећања снаге k_{DC} којим се множи снага мотора при непрекидном раду S1, тако да се добија препоручена снага мотора за неки други режим рада. Тиме се дозвољава јаче оптерећење мотора од препоручене вредности за константан рад, што омогућава рационално искоришћење мотора:

$$P_{Si} = P_{S1} \cdot k_{DC} \quad (2.10)$$

где је: P_{Si} – препоручена снага мотора за неки други режим рада (S2, S3,...)

P_{S1} – препоручена снага мотора за непрекидан режим рада S1

k_{DC} – фактор повећања снаге (таб. 2.4)

Табела 2.4. Фактор повећања снаге k_{DC} за различите режиме рада (IEC 60034-1) [16]

Режим рада	Опис рада	Неопходан податак		k_{DC}
S1	Непрекидан рад са 100% оптерећености циклуса	-		1,0
S2	Константно оптерећење у краћем периоду	Трајање оптерећења	60 min	1,10
			30 min	1,20
			10 min	1,40
S3	Наизменичан рад	Оптерећеност циклуса (циклус се рачуна у трајању од 10 min)	60%	1,10
			40%	1,15
			25%	1,30
			15%	1,40
S4 ... S10	Наизменичан рад при чему стартовање утиче на загревање	Оптерећеност циклуса у %, број укључења на сат, величина оптерећења, момент инерције, начин кочења	Овај податак дефинишу произвођачи мотора на посебан захтев купаца	

Поред тога, снаге које су дате у табелама електромотора односе се за непрекидан рад при положају електромотора до 1000 m надморске висине и за температуру расхладног флуида до 40°C [16]. За ниске температуре би требало контактирати произвођача, док се при раду са расхладним флуидима на вишим температурама и већим надморским висинама уводи корекциони фактор k_{HT} којим се множи снага очитана у каталогу (табела 2.5):

$$P_{doz} = P_{kat} \cdot k_{HT} \quad (2.11)$$

где је: P_{doz} – дозвољена снага мотора

P_{kat} – снага мотора очитана у каталогу

k_{HT} – фактор утицаја температуре и надморске висине (табела 2.5)

Табела 2.5. Фактор утицаја температуре расхладног флуида и надморске висине k_{HT} (IEC 60034-1) [16]

Надморска висина, m	Температура расхладног флуида, °C					
	< 30	30...40	45	50	55	60
1000	1,07	1,00	0,96	0,92	0,87	0,82
1500	1,04	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79
2000	1,00	0,94	0,90	0,86	0,82	0,77
2500	0,96	0,90	0,86	0,83	0,78	0,74
3000	0,92	0,86	0,82	0,79	0,75	0,70
3500	0,88	0,82	0,79	0,75	0,71	0,67
4000	0,82	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63

2.3.5. Уобичајен поступак избора величине универзалних зупчастих редуктора

Када се говори о одабиру универзалних зупчастих редуктора треба разликовати три врсте избора:

1. избор који врше купци редуктора, из каталога произвођача, када је већ дефинисан произвођач. Сам поступак избора детаљно дефинишу произвођачи, у оквиру својих каталога, тако да се ту готово и не јављају никакви проблеми;
2. избор, који такође врше купци, из понуде редуктора која је у том тренутку присутна на тржишту, када још није дефинисан произвођач. Овај поступак је нешто сложенији и релативно се мало обрађује у литератури, а када се и обрађује обично се третира као економска категорија;
3. избор који спроводе пројектанти редуктора, у циљу избора најповољнијег конструкционог решења. О овом поступку избора такође се мало говори у литератури па ће се из тог разлога покушати на овом месту мало детаљније обрадити.

Избор редуктора из каталога произвођача редуктора

Произвођачи редуктора, у својим каталозима, дају детаљна упутства за избор и уградњу својих редуктора и њих се треба придржавати при избору. Углавном се тражи да се у оквиру потребног преносног односа одабере онај редуктор код којег је испуњен услов

$$T_N \geq f_B \cdot T_2 \quad (2.12)$$

тј. да је називни обртни момент, тј. носивост редуктора (T_N) већи од производа погонског фактора (f_B) и обртног момента на излазу (T_2) као што је то приказано на сл. 2.14.

Код зупчастих моторних редуктора, у оквиру потребне снаге мотора и жељеног броја обртаја, одабира се онај редуктор код којег је дозвољена вредност погонског фактора већа од потребне, тј. код којег је испуњен услов

$$f_{BD} \geq f_B \quad (2.13)$$

Затим се тражи да спољашња оптерећења слободног краја вратила буду мања од дозвољеног

$$F_R \leq F_{Rdoz}; \quad F_A \leq F_{Aadoz} \quad (2.14)$$

као и да снага која се преноси редуктором (P) буде мања од тзв. топлотног капацитета редуктора (P_Q), тј. да је

$$P \leq P_Q \quad (2.15)$$

О овом податку произвођачи моторних редуктора воде рачуна приликом формирања својих каталога па ако поменути услов није испуњен тај моторни редуктор не стављају у каталог.

Поједини произвођачи указују и на температуру којој смеју бити изложени моторни редуктори

$$\theta \leq \theta_{doz} \quad (2.16)$$

односно, вибрацијама којима смеју бити изложени њихови редуктори:

$$v \leq v_{doz} \quad (2.17)$$

или упућују купце на стандард који регулише ову област. Значи, при избору редуктора из каталога обично нема неких већих проблема.

Код безмоторних редуктора потребно је обезбедити услов:

$$F_{Ru} \leq F_{Rdoz}; \quad F_{Au} \leq F_{Aadoz} \quad (2.18)$$

Избор редуктора у оквиру понуде која је присутна на тржишту

Избор редуктора из понуде различитих произвођача представља веома интересантан проблем. Обично се купци везују за одређеног добављача, на основу дотадашњег позитивног искуства, добрих пословних односа, рабата који евентуално добијају и сл. Тако да се поступак избора произвођача доста упрошћава. Ретко се дешава да купац поједине врсте и величине редуктора купује од једног, а неке друге величине, од другог добављача. Обично је реч о везаној трговини и ту се слабо шта препорукама о избору редуктора може урадити, а могло би. При избору моторног редуктора, ако се ствар препусти економистима, цена редуктора представља пресудан моменат, ако технички параметри задовољавају. Међутим, не треба препустити да само цена буде пресудан фактор.

Ако се редуктор са истим техничким карактеристикама може наћи код више произвођача, а може, избор редуктора код којег је $T_N \geq f_B \cdot T_2$, гарантује да ће редуктор радити бар 10000 сати, односно трајати бар 5 година при предвиђеном режиму експлоатације. То значи да ће одабрани редуктор у сваком случају исправно функционисати, у оквиру предвиђеног века трајања, и купац ће начелно бити задовољан. Међутим, ако је код неког редуктора називни обртни момент – T_N , односно дозвољени погонски фактор f_{BD} већи, то значи да ће тај редуктор дуже трајати, тј. да је јачи и да због тога евентуално има већу цену. При истој цени увек треба дати предност јачем редуктору ако је у интересу да производ траје дуже. Међутим, ако је у интересу само цена, а то је најчешће случај, онда треба препустити економистима да они одраде посао. Наравно, цена је тржишна категорија и понекад не приказује стварну вредност редуктора. Цена може бити и знатно нижа од реалне, када се жели придобити нови купац или и знатно виша, кад је изграђен имиџ производа и када је купац убеђен у његов квалитет па и не пита за цену. Овај поступак избора је доста сложен и још увек недовољно дефинисан.

Избор редуктора који спроводе пројектанти редуктора

При дефинисању концепције моторног редуктора пројектанти спроводе избор редуктора тј. треба да се одреде за неко концепцијско решење које ће бити у предности у односу на друга конкурентска решења. Као основни параметри при тим размишљањима, у оквиру исте осне висине, су величина највећег називног обртног момента - T_{Nmax} , величина највећег преносног односа - i_{max} , маса редуктора, габаритне димензије, губици у редуктору, облици уградње, положаји уградње и сл.

Међутим, редуктор са највећом носивошћу не мора бити и најповољнији, већ се морају узети у обзир и преносни односи. Поједини произвођачи настоје да поред велике носивости имају и велике преносне односе, док други иду само на велику носивост у оквиру малих преносних односа, тако да је њихово решење, у оквиру малих преносних односа, добро за купца али је концепцијски лоше, јер нису решени велики преносни односи. Међутим, ти произвођачи су се оријентисали на купце који су заинтересовани за то подручје и са њима решавају свој технички проблем. Због тога поједини произвођачи у оквиру истог кућишта нуде два сета зупчаника: са малом носивошћу и великим преносним односом и други са великом носивошћу и малим преносним односом.

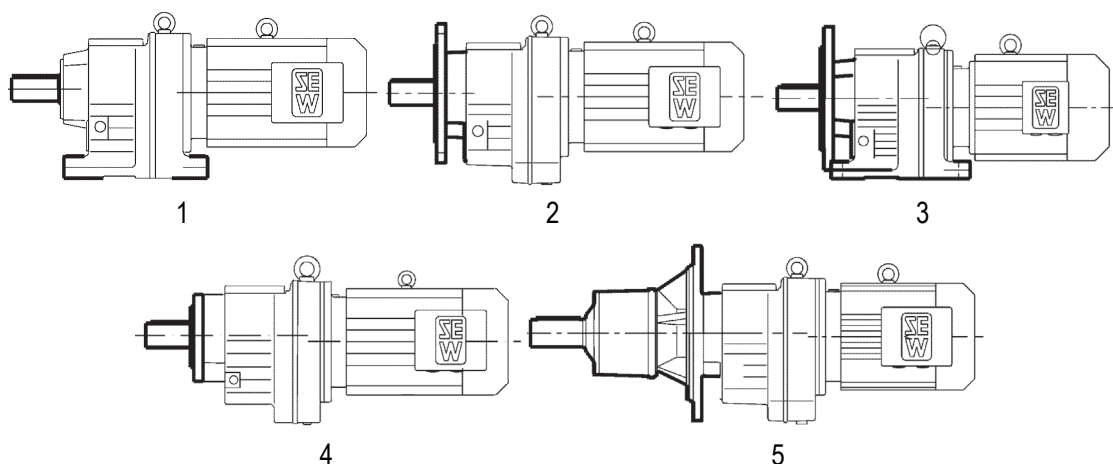
Маса, као показатељ, понекад није довољно објективан параметар јер се нека кућишта раде од сивог лива, а нека од легура алуминијума тако да се не могу упоређивати. Поред тога, нека кућишта су, због застареле технологије ливења, тежа и не приказују реално стање конструкције, мада се купци радије опредељују за таква (јача – робустнија) решења мада је очигледно реч о застарелој технологији.

Пошто водећи произвођачи редуктора ипак прате савремене трендове, може се са великом поузданошћу маса узети као показатељ, с тим што је за купца велика маса, углавном, знак доброг решења, а за произвођача је то сасвим супротно. Често произвођачи који немају сопствену ливницу имају лакше редукторе, пошто их не оптерећује шкарт који се јавља при ливењу.

На основу спроведене анализе произилази да је избор концепције редуктора веома комплексан задатак, посебно имајући у виду могућности патентне заштите појединих решења, што је, у суштини, и условило велик број различитих концепцијских решења универзалних зупчастих редуктора. Посебно је интересантан приступ мањих произвођача редуктора који настоје, специјалним конструкционим решењима својих редуктора, да се убаце у подручје које не покривају велики произвођачи редуктора и тиме постигну одређену предност на тржишту. На пример, са великим преносним односима двостепених редуктора они настоје да прекрију подручје које велики произвођачи редуктора покривају са скупљим тростепеним редукторима и сл.

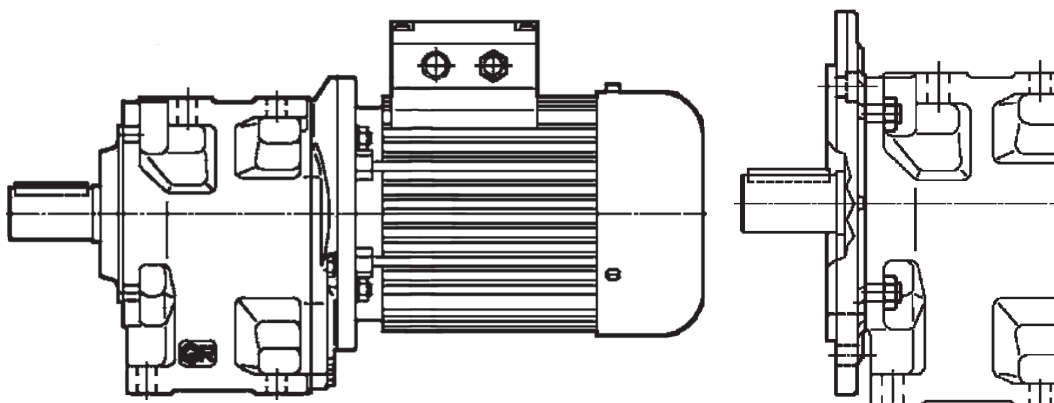
2.3.6. Облици и положаји уградње редуктора

Најчешћи облици уградње универзалних зупчастих редуктора су: са стопалима (сл. 2.26-1), затим са великом прирубницом (сл. 2.26-2), са великом прирубницом и стопалима (сл. 2.26-3), са малом прирубницом (сл. 2.26-4) и са прирубницом за мешалице (сл. 2.26-5), мада, постоје још неки други облици уградње као што су нпр. уградња редуктора са шупљим вратилом – насадни или насадни са прирубницом. У зависности од начина везе са радном машином и њене намене, усваја се одговарајући облик уградње редуктора.



Сл. 2.26.

Уобичајени облици уградње редуктора [14]

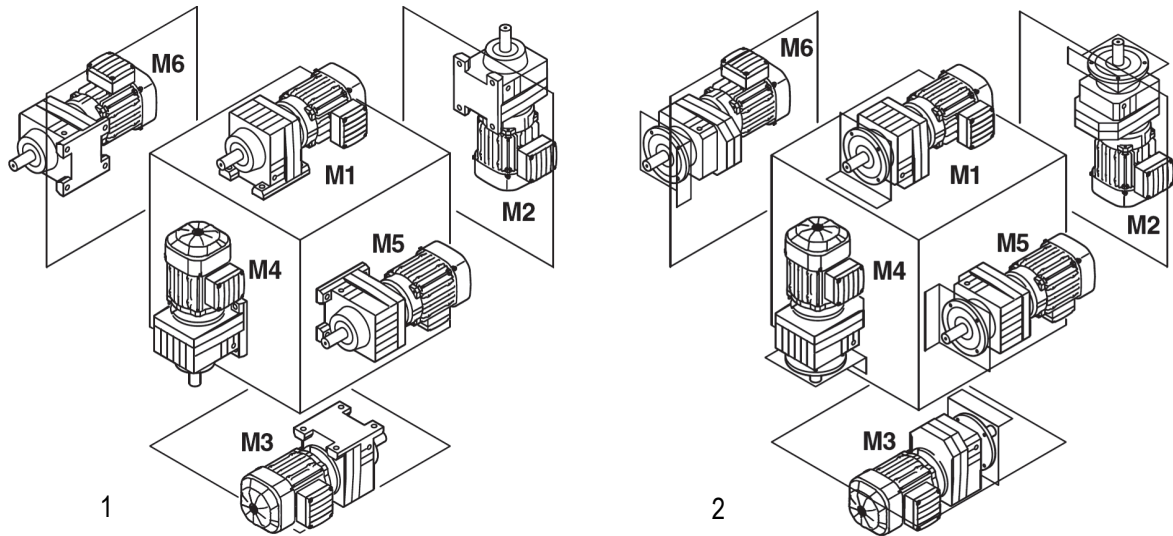


Сл. 2.27.

Карактеристично решење универзалног зупчастог редуктора са високо универзалним кућиштем, решење компаније Rossi [13]

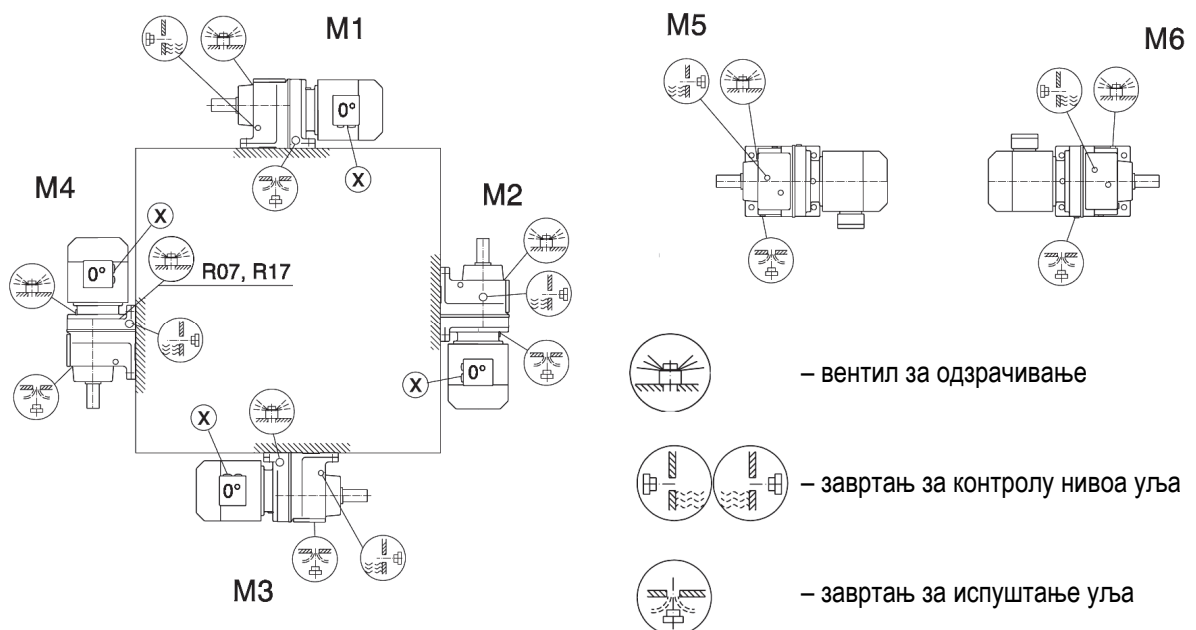
Редуктори са стопалима се завртњима причвршћују за постолје, док се редуктори са прирубницом углавном користе за директну везу са радном машином. Велика прирубница се најчешће користи код јаче динамички оптерећених погона јер она лакше може да прихвати реакције обртног момента. Мала прирубница се користи због компактније конструкције, али обично само код лакших погона. Прирубница за мешалице користи се у оним случајевима када је рукавац излазног вратила изложен већим радијалним силама.

Да би се поједноставила производња, многи произвођачи универзалних зупчастих редуктора израђују универзална кућишта (сл. 2.27) која су предвиђена за везу са стопалима и прирубницом или и стопалима и прирубницом. Остала решења (прирубница за мешалице) израђују се као специјална решења, јер је то по њима оправдано с обзиром на то да се таква решења ређе траже.



Сл. 2.28.

Уобичајени положаји уградње моторних редуктора: са стопалима (1) и са прирубницом (2) [16]



Сл. 2.29.

Положаји вентила за одзрачивање и завртњева за контролу нивоа угља и испуштање угља за различите положаје уградње моторних редуктора [16]

Сваки редуктор се може уградити у више различитих положаја (сл. 2.28). При избору редуктора потребно је познавати положај уградње како би се фабрички извршио правилан распоред завртњева за уливање, контролу нивоа и испуштање уља (сл. 2.29). То је веома важно и због транспорта, тј. постављања редуктора у одговарајући транспортни положај у амбалажу.

2.3.7. Могућа концепцијска решења универзалног зупчастог редуктора

Облик кућишта, положај и распоред зупчаника и лежајева унутар њега, начин склапања и монтаже, као и положај отвора на кућишту, зависе од усвојеног концепцијског решења универзалног зупчастог редуктора.

Може се уочити да скоро сваки произвођач има сопствено концепцијско решење редуктора. Различита концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора не представљају никакав проблем за купце јер је њима свеједно какво је концепцијско решење редуктора. Њима је једино важно да је редуктор квалитетан, пре свега јак, поуздан, дуготрајан, са ниским нивоом вибрација и буке, и да је јефтин, затим, да су рокови испоруке кратки, да су трошкови одржавања ниски и да је време ремонта кратко. Међутим, неоспорно је да сви произвођачи редуктора стално размишљају о томе како да побољшају техничке карактеристике својих редуктора, како би постигли одређене предности над конкуренцијом.

Универзални зупчasti редуктори израђују се као једноступени, двоступени, троступени и вишеступени редуктори, с тим што поједини произвођачи не израђују једноступене редукторе, јер се они релативно мало траже, као уосталом ни вишеступене. Вишеступени редуктори се углавном праве комбинацијом нижеступених, мада има произвођача, који су се оријентисали за производњу само вишеступених редуктора, па их израђују у посебном кућишту, али је то ређи случај (компанија Hansen).



Сл. 2.30.

Шематски приказ карактеристичних врста универзалних кућишта за двоступене и троступене универзалне зупчaste редукторе [19]

У зависности од начина монтаже зупчаника, вратила, лежајева и других елемената у унутрашњост редуктора, кућиште редуктора се може поделити на више различитих начина (сл. 2.30).

Основни део кућишта редуктора је део који прихвата лежајеве са вратилом и зупчаницима и који оптерећење преноси на подлогу. Због тога се кућишта најчешће израђују од сивог лива или легура алуминијума, мада у малосеријској производњи могу бити и заварена. У зависности од броја делова, кућишта редуктора могу бити:

- једноделна,
- дводелна,
- вишеделна.

Уколико кућиште има више делова, у зависности од положаја подеоне равни, кућишта редуктора се могу поделити на:

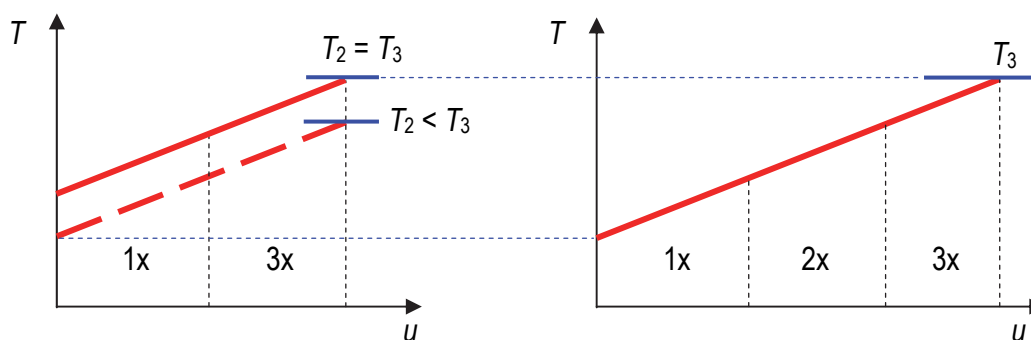
- кућишта са радијалном равни,
- кућишта са аксијалном равни растављања.

У зависности од начина монтаже делова редуктора у кућиште, постоје:

- редуктори са радијалном монтажом,
- редуктори са аксијалном монтажом,
- редуктори са радиаксијалном монтажом.

У зависности од начина монтаже јављају се одређене специфичности. Тако је проблем монтаже великих зупчаника најизраженији код једноделних кућишта са аксијалном монтажом, док је код осталих изражен у мањој мери, а код дводелних кућишта, са радијалном монтажом, проблем монтаже уопште није присутан, али се јављају неки други проблеми [19].

При дефинисању распореда и положаја зупчаника потребно је обезбедити једноставну монтажу и демонтажу уз што мање габаритне димензије редуктора, уз што мању примену специјалних алата, јер се данас захтева брза испорука (најчешће у року од 72 сата) и брз ремонт редуктора.



Сл. 2.31.

Графички приказ потребних носивости зупчастих редуктора при појединим степенима (преносним односима) редуктора [6]

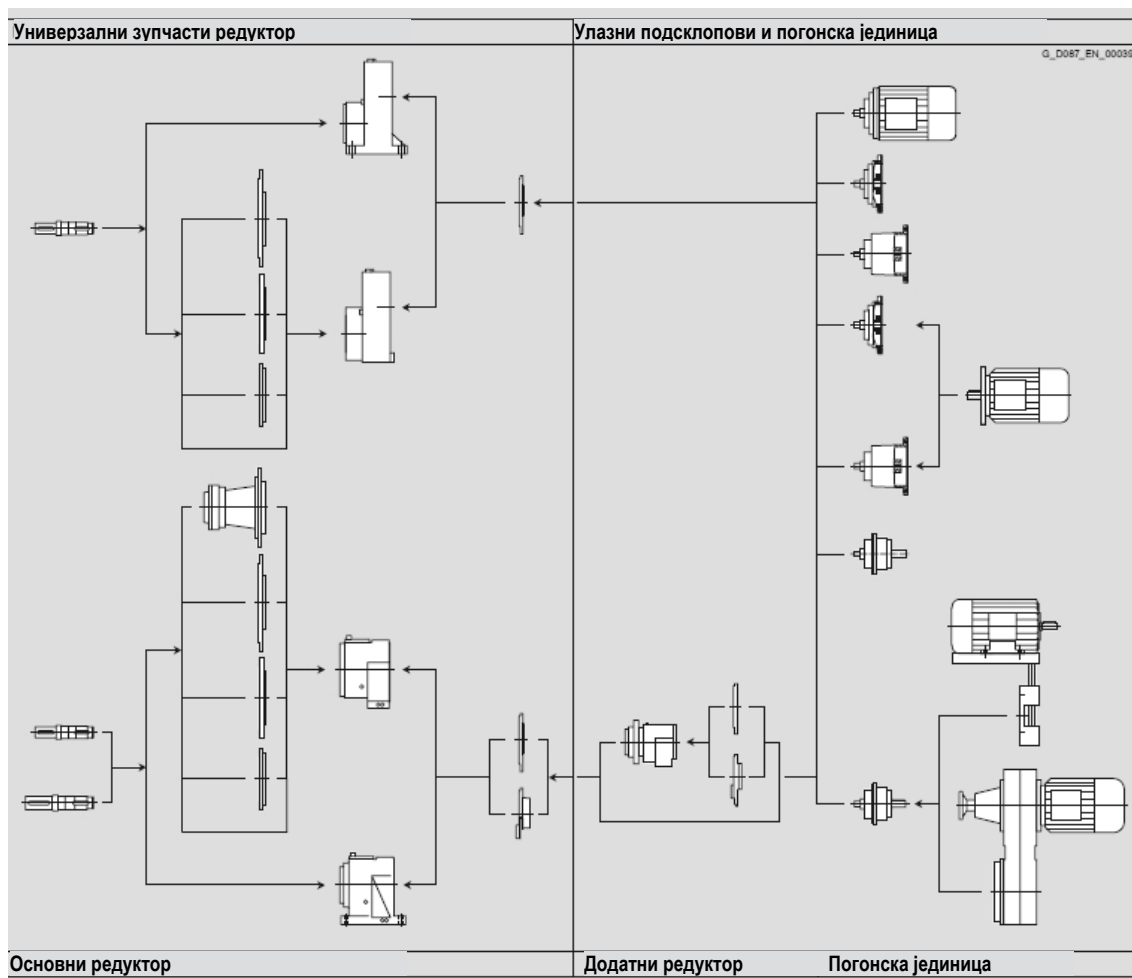
При усвајању концепције редуктора треба имати у виду потребу коришћења истих зупчаника у оквиру појединих величина редуктора да би се постигла што рационалнија конструкција. На пример, када се исто кућиште користи за израду двостепених и тростепених редуктора, тј. када се у оквиру двостепених и тростепених редуктора, у циљу рационализације конструкције, користе иста излазна вратила и исти излазни зупчasti парови. Да се не би излазни зупчasti парови користили нерационално у двостепеној варијанти, први пар из двостепене величине користи се као први пар у првој већој тростепеној величини (сл. 2.31). Исто тако, ово је потребно и при обезбеђењу међусобног повезивања два редуктора, у циљу формирања вишестепених редуктора. Наравно, при томе се мора водити рачуна о минималном утрошку материјала, што нижем обиму машинске обраде и довољној чврстоћи и крутости кућишта, уз што једноставнију монтажу и демонтажу редуктора.

Данас присутна тежња за постизањем великих преносних односа узроковала је примену што већих гоњених зупчаника, и тиме потребу бочног (по правилу горњег) отварања кућишта, јер се са чеоних страна не могу уграђивати тако велики зупчаници. Кућишта овакве концепције, тзв. моноблок конструкције, су нешто чвршћа и повољнија са становишта крутости, што им несумњиво даје велику предност.

Постављањем зупчаника између лежајева обезбеђује се већа крутост вратила, односно, омогућава се примена тањег вратила. При томе је пожељно да је зупчаник постављен на средини између лежајева, како би налегање бокова зубаца спрегнутих зупчаника било што равномерније. Уколико то није могуће извести потребно их је тако поставити да бокови зубаца што правилније належу.

При дефинисању распореда и положаја зупчаника потребно је обезбедити једноставну монтажу и демонтажу уз што мање габаритне димензије редуктора, уз што мању примену специјалних алата, јер се данас захтева брза испорука и брз ремонт редуктора, обично у сервисним центрима који се, по правилу, налазе у близини великих тржишта, јер су брза испорука, брз сервис, одржавање и ремонт често пресудан фактор на основу којег купац доноси одлуку о куповини редуктора. Наиме, опште је познато да брз и квалитетан сервис представља основну подршку продаји редуктора, а да би се ово обезбедило редуктор конструкционо мора бити припремљен за то.

2.3.8. Могућни принцип грађе зупчастих редуктора



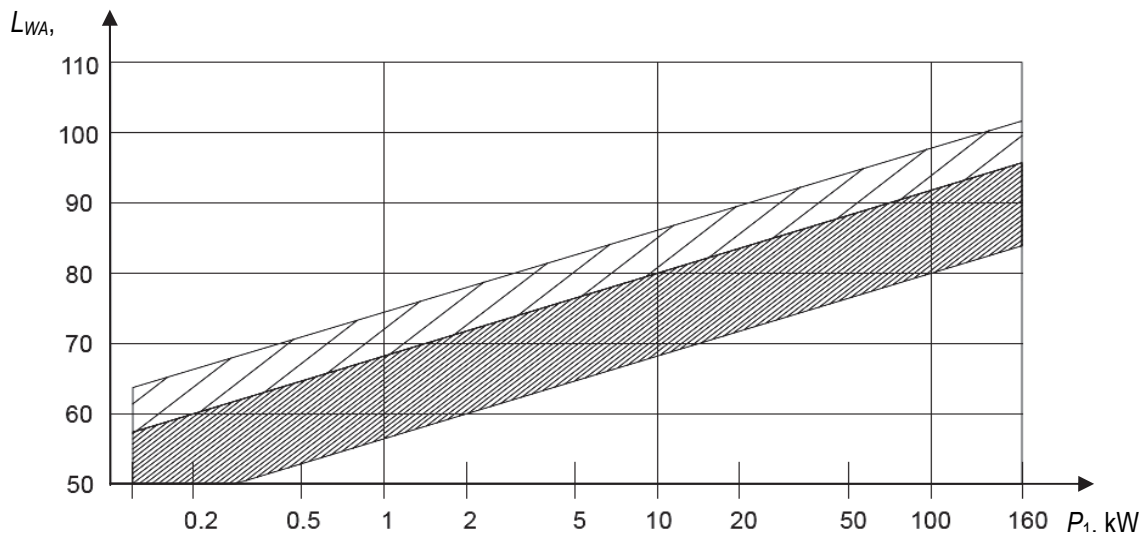
Сл. 2.32.

Шематски приказ могућности међусобног повезивања основног редуктора, додатног редуктора, електромотора и њихових компонента (решење компаније Siemens Flender) [16]

Да би се обезбедила висока универзалност редуктора и њихових компонената, неопходно их је пројектовати по модулном систему. Таквим начином пројектовања омогућава се прикључење више врста и величина мотора, или специјалних улазних подсклопова, или више врста и величина мањих редуктора, или више величина варијатора, на један редуктор, што чини основну предност таквог пројектовања. Код високоуниверзалних кућишта редуктора могуће је остварити повезивање више величина излазних прирубница, па чак и постављање стопала. Поред тога, води се рачуна да редуктор има такве прикључне мере да се и он може прикључивати на више врста и величина основних редуктора (сл. 2.32).

2.3.9. Шум и вибрације универзалних зупчастих редуктора

Ниво шума редуктора постао је важна карактеристика редуктора у складу са стандардима SRPS IEC 34-9, ISO 3741, 3742, 3743 и 3745). Редуктори са повишеним шумом, тј. шумом вишег нивоа од дозвољеног, данас се практично и не могу продати без обзира што остале техничке карактеристике у потпуности задовољавају. Шум се може смањити квалитетнијом обрадом зупчаника, упаривањем, скраћењем профила, корекцијом облика профила, корекцијом облика бока и сл. Шум код универзалних зупчастих редуктора, углавном, није проблематичан. Шум пре свега зависи од брзине обртања, снаге коју преноси, преносног односа, квалитета израде зупчаника и начина монтаже. Шум већине универзалних зупчастих преносника задовољава захтеве постављене поменутиим стандардима (затамњено подручје на сл. 2.33 [22]). Зупчasti преносници који преносе велику снагу, имају велики број обртаја на улазу и мали преносни однос, обично имају нешто виши шум и налазе се у светлије осенченом подручју (сл. 2.33).



Сл. 2.33.

Зависност шума универзалних зупчастих редуктора од снаге електромотора (подаци компаније Siemens Flender [22])

Произвођач редуктора Rossi даје преглед шума својих универзалних зупчастих редуктора у зависности од снаге мотора и величине редуктора (таб. 2.6), на основу чега се може видети да је шум редуктора већи код већих редуктора и са уграђеним моторима веће снаге.

Ниво вибрација редуктора, као и ниво шума, подлеже посебним прописима, као што су нпр. ISO 85792-2 или ANSI/AGMA 6000-B96, које редуктори морају да задовоље. Познато је да су вибрације стални пратилац рада машина и постројења и да свака машина или постројење својим карактеристикама битно одређује вибрациони процес, који настаје као одговор система на несавршеност обраде и монтаже делова и склопова, односно на промене радног оптерећења.

Вибрације су посебно штетне јер могу да побуђују радну машину и темељ, тј. подлогу за коју је редуктор везан, што може да утиче на повећање шума или, што је још опасније, на повећање вибрација па чак и до појаве резонанце која узрокује превремено пропадање редуктора и свих машина и уређаја који се налазе у његовој околини.

Табела 2.6. Ниво шума моторних зупчастих редуктора у зависности од снаге електромотора, величине и броја степена преноса (подаци компаније Rossi [13])

Осна висина, mm	Ст. ред.	0,18 0,25	0,37 0,55	0,75 1,1	1,5-3,0	3,0-4,0	5,5 7,5	11,0- 22,0	22,0- 37,0	37,0-
75 - 90	2x	63	65	68						
	3x	62	64							
106	2x		66	69	71					
	3x	62	65	68						
132	2x			69	73	75				
	3x		66	68	71					
160	2x				73	77	78			
	3x			69	72	75				
195	2x					77	80	81		
	3x				73	76	78			
236 - 250	2x						81	83	85	87
	3x					77	80	81		
295 - 315	2x							83	86	88
	3x						81	82	84	86

Вибрације редуктора су параметар који се најчешће користи приликом утврђивања његовог стања и радне способности. Због великог значаја вредности дозвољених вибрација треба их приказивати у каталогу редуктора, а такође би, уз сваки испоручени редуктор, требало доставити и податке о вредностима измерених вибрација на испитном столу. Тако би се те величине, ако је потребно, могле контролисати на месту уградње (од стране корисника редуктора) и посредством њих би се могао оценити квалитет уградње.

3. ПРЕГЛЕД КАРАКТЕРИСТИЧНИХ РЕШЕЊА УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА

Данас постоји изузетно велики број произвођача универзалних редуктора [24]. Само један мањи број представљају велике произвођаче, десетак њих су компаније средње величине, док је знатно више мањих предузећа за производњу редуктора. У оквиру овог рада посматраће се само карактеристична решења универзалних зупчастих редуктора неколико водећих светских произвођача редуктора, као што су: SEW, Siemens-Flender, Nord, Rossi, Lenze, Pujol, Bonfiglioli, KEB и Leroy Somer. Указаће се на њихове основне техничке карактеристике, концепцијска решења, предности и недостатке којима се они одликују и сл. Да би се за све редукторе очитале основне карактеристике једнако, посматрани су зупчасти моторни редуктори са стопалима, при вредношћу погонског фактора $f_B = 1$, са четворополним мотором, с обзиром на то да они имају најповољније полазне карактеристике (релативно велики обртни момент и не сувише брз полаз који не изазива велике ударе), а посебну предност представља то што се они најједноставније и најбрже набављају. Основне техничке карактеристике које су битне за проучавање изведених решења и избор најповољније варијанте су највећи називни обртни момент на излазу (T_N , Nm), највећи преносни однос (i_{max}), маса редуктора (m , kg) и запремина редуктора испуњеног уљем (V , dm³). При томе највећи обртни момент на излазу се не може постићи истовремено при највећим преносним односима, и обратно. Маса редуктора је рачуната без масе мотора. Тачну запремину редуктора је тешко израчунати, па је установљено да се као запремина уведе количина уља коју је потребно сипати у редуктор да би он у положају уградње M1 (в. сл. 2.23) успешно функционисао, а што је дефинисано у каталозима свих произвођача редуктора. Подаци о техничким карактеристикама и дизајну редуктора усаглашени су са каталозима посматраних произвођача до маја 2012. године.

3.1. Универзални зупчасти редуктори произвођача SEW

Компанија SEW (SEW-Eurodrive GmbH & Co KG, D-76642 Bruchsal, Germany) једна је од водећих компанија за производњу механичких преносника која се састоји од 13 производних погона, 67 монтажних погона у 47 држава са сопственим сервисом као интегративном услугом којом потврђују свој високи квалитет [14]. Поред бројних врста преносника, SEW производи и

универзалне зупчaste преноснике са и без електромотора. За једноstepене редукторе SEW израђује посебно кућиште, док за двостепенe и тростепенe редукторе користи исто кућиште.

Компанија SEW означава своје моторне редукторе на следећи начин [14]:

тип редуктора / величина редуктора / врста мотора / величина мотора и број полова

док безмоторне варијанте означава на следећи начин [14]:

тип редуктора / величина редуктора / тип погонске компоненте / величина погонске компоненте

где је: **тип редуктора** – RX - за једноstepене редукторе са стопалима; RXF - за једноstepене редукторе са В5 прирубницом; R - за двостепенe и тростепенe редукторе са стопалима; R...F - за двостепенe и тростепенe редукторе са стопалима и В5 прирубницом; RF - за двостепенe и тростепенe редукторе са В5 прирубницом; RZ - за двостепенe и тростепенe редукторе са В14 прирубницом; RM - за двостепенe и тростепенe редукторе за мешалице

величина редуктора – зависи од осне висине и дефинисана је на следећи начин:

Табела 3.1. Ознаке величина једноstepених редуктора произвођача SEW

Осна висина <i>h</i> , mm	63	80	90	100	112	140
Ознаке једноstepених редуктора	57	67	77	87	97	107

Табела 3.2. Ознаке величина двостепених и тростепених редуктора произвођача SEW

Осна висина <i>h</i> , mm	65	75	90	115	130	140	180	225	250	315	355	425
Ознаке двостеп. и тростепених редуктора	07	17	27 37	47 57	67	77	87	97	107	137	147	167

врста мотора – DR, DT, DV - за електромоторе са стопалима; DFR, DFT, DFV - за електромоторе са прирубницом; DT..F, DV..F - за електромоторе са стопалима и прирубницом;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача SEW [14], у зависности од снаге и броја обртаја;

тип погонске компоненте – AM - за адаптер за спајање са IEC електромотором; AD - за подсклоп са улазним вратилом (поред наведених погонских компонената, постоје још и друге, али се оне неће наводити јер се у овом раду не проучавају);

величина погонске компоненте - дефинисане су у каталогу произвођача SEW [14], у зависности од димензија прирубнице.

Може се приметити да за осне висине 90 и 115 mm, SEW у оквиру једног кућишта нуди два сета зупчаника (велика носивост – мали преносни односи и мала носивост – велики преносни односи) да би доскочио малим произвођачима, тако да у великој мери успева да елиминишу конкуренцију у оквиру најтраженијих подручја.

Техничке карактеристике једноstepених универзалних зупчастих редуктора дате су у табели 3.3, а техничке карактеристике двостепених универзалних зупчастих редуктора дате су у табели 3.4.

Табела 3.3. Техничке карактеристике универзалних зупчастих једноступених редуктора произвођача SEW [14]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
63	RX 57	71	5,5	8,4	0,6
80	RX 67	120	6,07	10,2	0,8
90	RX 77	177	5,63	17,8	1,1
100	RX 87	395	6,45	31,4	1,7
112	RX 97	570	5,79	56	2,1
140	RX 107	900	6,63	86,1	3,9

Табела 3.4. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двоступених редуктора произвођача SEW [14]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
65	R 07	47	18,31	3,2	0,12
75	R 17	82	25,23	3,9	0,25
90	R 27	136	28,37	5,5	0,3
90	R 37	230	28,32	8,4	0,3
115	R 47	240	33,79	12,1	0,7
115	R 57	450	26,31	17,3	0,8
130	R 67	580	28,13	24	1,1
140	R 77	705	23,37	29,5	1,2
180	R 87	1570	34,4	56	2,3
225	R 97	2620	32,05	93	4,6
250	R 107	4580	30,77	143	6,0
315	R 137	7050	29,57	224	10,0
355	R 147	9890	20,44	344	15,4
425	R 167	16200	30,71	604	27,0

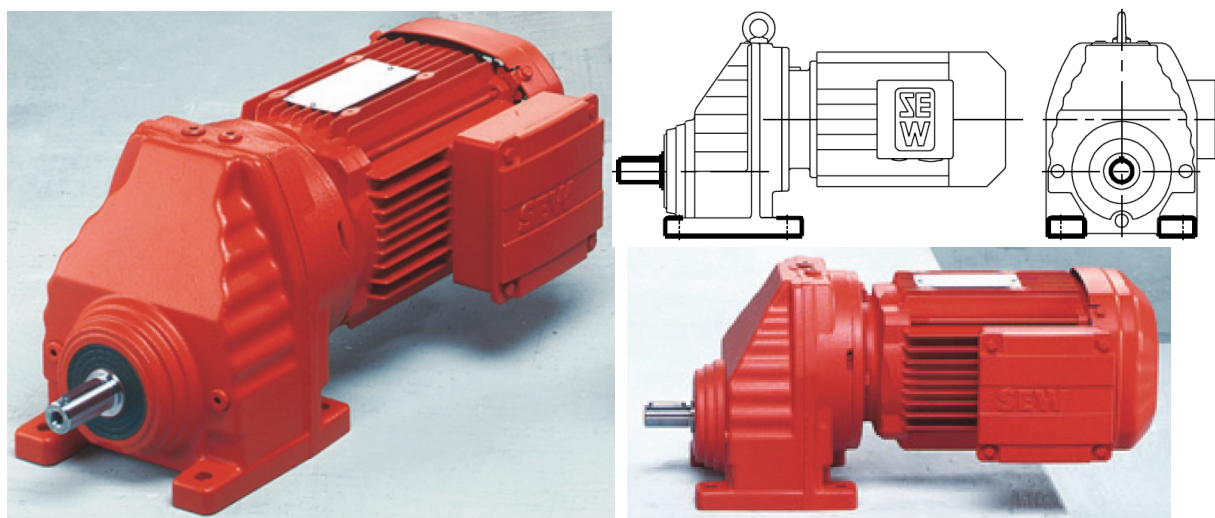
Убацивањем трећег зупчастог пара, добија се троступени редуктор чије су техничке карактеристике за исте осне висине и исте ознаке дате у табели 3.5.

Произвођач SEW производи једноступене редукторе у посебној врсти кућишта, а двоступене и троступене редукторе производи у другој врсти кућишта са две коморе – брзоходном и спороходном. Кућишта су направљена од сивог лива, а са спољашње стране имају и оребрења која омогућавају бржу размену топлоте са околином и самим тим брже хлађење, а при томе повећавају и крутост кућишта редуктора.

Анализирајући концепцијско решење једноступених зупчастих редуктора компаније SEW може се закључити да она спадају у једноделна кућишта са аксијалном монтажом (в. сл. 2.26) код којих се зупчаници убацују кроз отвор са стране мотора. Изглед једноступеног редуктора приказан је на сл. 3.1. Кућиште је прилично компактно. Косина на врху прати положај зупчаника и лежајева, тако да у кућишту редуктора нема много слободног простора, чиме је потребна количина уља сведена на минимум.

Табела 3.5. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених редуктора произвођача SEW [14]

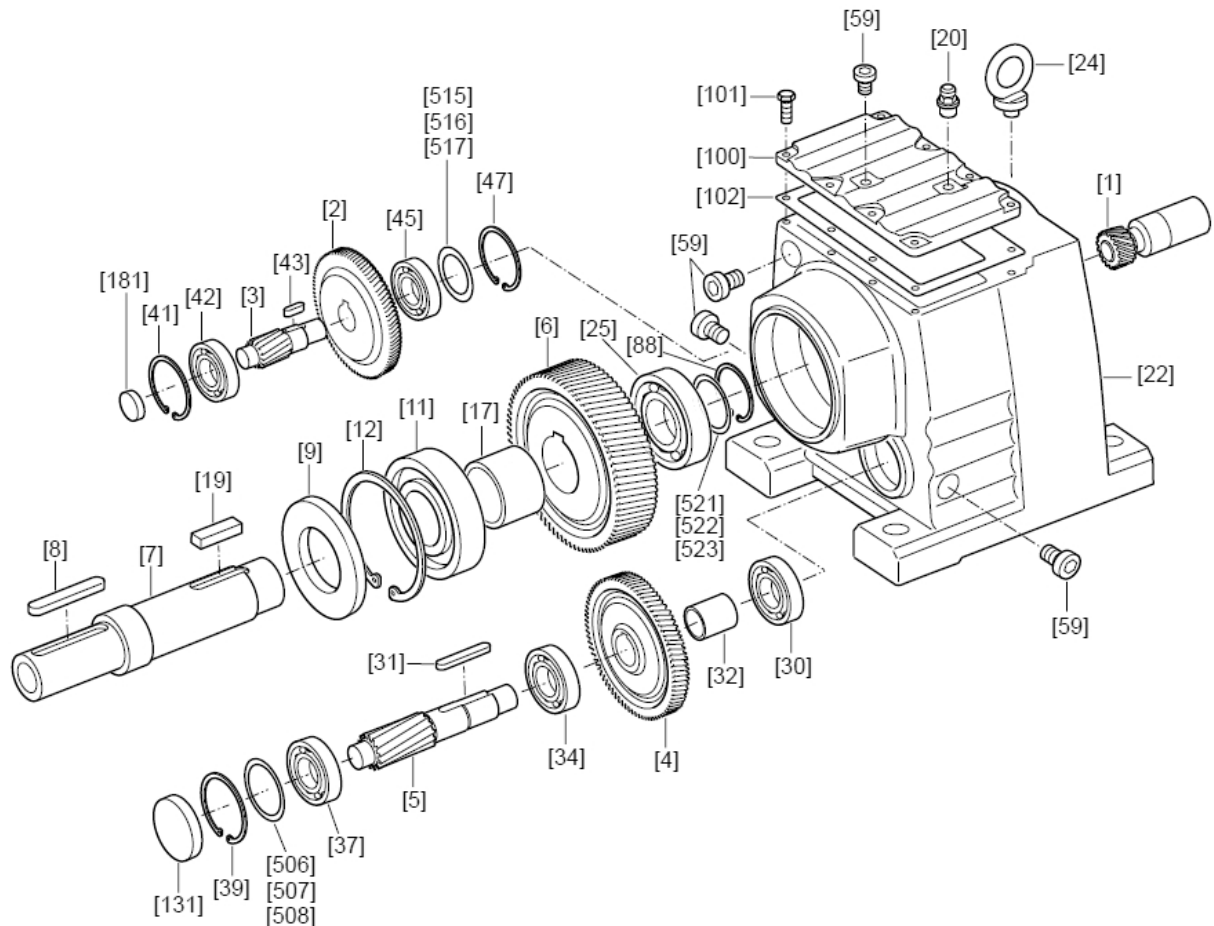
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
65	R 07	50	78,24	3,4	0,12
75	R 17	87	81,64	4	0,25
90	R 27	128	135,09	5,8	0,3
90	R 37	215	134,82	8,7	0,3
115	R 47	320	176,88	13,1	0,7
115	R 57	450	186,89	18,3	0,8
130	R 67	595	199,81	24	1,1
140	R 77	890	195,24	31	1,2
180	R 87	1620	246,54	57	2,3
225	R 97	3120	289,74	98	4,6
250	R 107	4330	251,15	153	6,0
315	R 137	8480	222,6	234	10,0
355	R 147	13600	163,31	354	15,4
425	R 167	16800	229,71	614	27,0

**Сл. 3.1.**

Изглед једноступеног универзалног зупчастог моторног редуктора произвођача SEW [14]

Кућиште за двостепене и тростепене редукторе је свакако веће јер треба сместити три пара зупчаника у две коморе. У брзоходној комори смештају се зупчаници z_1 / z_2 и z_3 / z_4 (у тростепеној варијанти), док су у спороходној комори смештени зупчаници z_5 / z_6 (сл. 3.2). Средњи зид који одваја две коморе носи два лежаја (у двостепеној варијанти), односно три лежаја (у тростепеној варијанти). Зупчasto вратило петог зупчаника улежиштено је са три лежаја ради повећања крутости и равномерности налегања на трећем и четвртом зупчанику. Ово кућиште је концепцијски решено као једноделно кућиште са радијаксијалном монтажом, при чему се зупчаник

z_6 убацује кроз горњи отвор на спороходној комори. Из тог разлога ширина кућишта са горње стране зависи од највећег пречника зупчаника z_6 . Вратило шестог зупчаника аксијално се убацује у спороходну комору са стране излазног лежаја. Зупчато вратило петог зупчаника такође се убацује са исте стране у спороходну комору, али оно треба да налегне на лежај и у брзоходној комори. Остали зупчаници се аксијално монтирају у брзоходну комору са стране мотора што ограничава њихову величину.

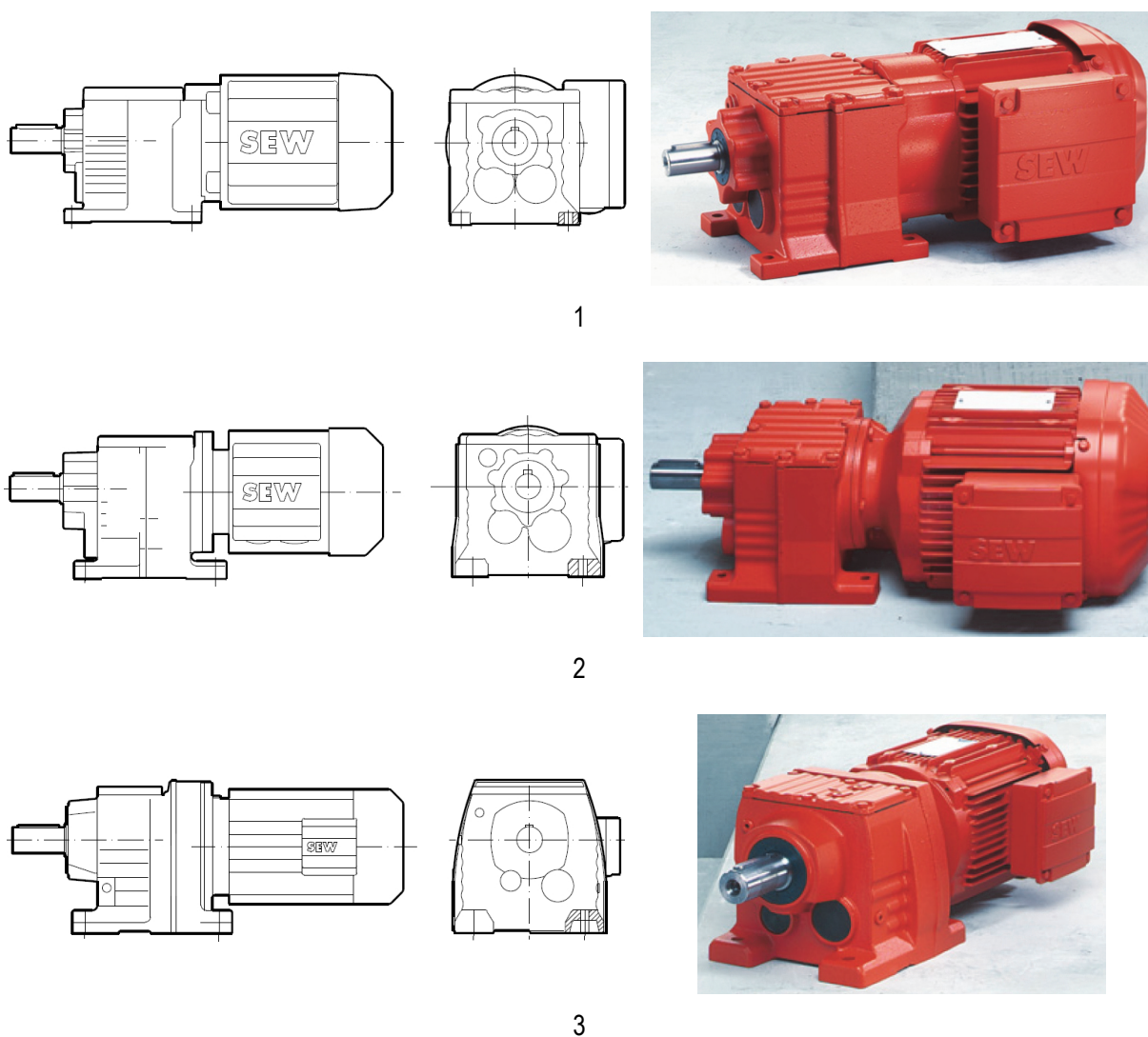


- | | | |
|-----------------------------|--|--------------------------------------|
| 1 - погонски зупчаник | 25 - котрљајни лежај | 101 - завртањ са шестостраном главом |
| 2 - гоњени зупчаник | 30 - котрљајни лежај | 102 - заптивка |
| 3 - зупчато вратило | 31 - клин | 131 - поклопац за затварање |
| 4 - гоњени зупчаник | 32 - дистантна чаура | 181 - поклопац за затварање |
| 5 - зупчато вратило | 34 - котрљајни лежај | 506 - ослони прстен |
| 6 - гоњени зупчаник | 37 - котрљајни лежај | 507 - ослони прстен |
| 7 - излазно вратило | 39 - унутрашњи ускач | 508 - ослони прстен |
| 8 - клин | 41 - унутрашњи ускач | 515 - ослони прстен |
| 9 - осовински заптивач | 42 - котрљајни лежај | 516 - ослони прстен |
| 11 - котрљајни лежај | 43 - клин | 517 - ослони прстен |
| 12 - унутрашњи ускач | 45 - котрљајни лежај | 521 - ослони прстен |
| 17 - дистантна чаура | 47 - унутрашњи ускач | 522 - ослони прстен |
| 19 - клин | 59 - завртањ за контролу нивоа уља и испуштање уља | 523 - ослони прстен |
| 20 - завртањ за одзрачивање | 88 - унутрашњи ускач | |
| 22 - кућиште редуктора | 100 - поклопац редуктора | |
| 24 - прстенасти завртањ | | |

Сл. 3.2.

Експанзиони цртеж двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора произвођача SEW [24]

У зависности од осне висине, постоји неколико решења облика кућишта двостепеног и тростепеног редуктора. За две најмање осне висине 65 и 75 mm, редуктори R07 и R17 не праве се у верзији са адаптером, већ само као моторни редуктори, тако да је мотор за њих компактно причвршћен, па визуелно такав редуктор делује као јединствена целина (сл. 3.3-1). Следећи редуктор R27 се исто тако прави за осну висину 90 mm као и R17, али је кућиште веће и производи се са могућношћу уградње адаптера за IEC мотор, те се ту истиче прирубница на коју је могуће монтирати мотор, адаптер, улазни подсклоп са вратилом и сл. (сл. 3.3-2). Пошто је, за исту осну висину, кућиште веће, постиже се чак 70% већа носивост, за скоро исти преносни однос. Концепцијско решење кућишта за ове три осне висине R07, R17 и R27 изведено је као једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом (са поклопцем на обе коморе кроз које се постављају зупчаници). Четврта величина R37 двостепеног и тростепеног редуктора произвођача SEW такође је направљена за осну висину 90 mm, али су сам облик и концепција кућишта другачији све до највеће осне висине 425 mm (сл. 3.2). Кућиште редуктора је и сада изведено као једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом (са поклопцем само на спороходној комори кроз коју се убацује зупчаник z_6), а његов облик више није четвртаст, већ је добио благо елипсасту форму при врху (сл. 3.3-3).

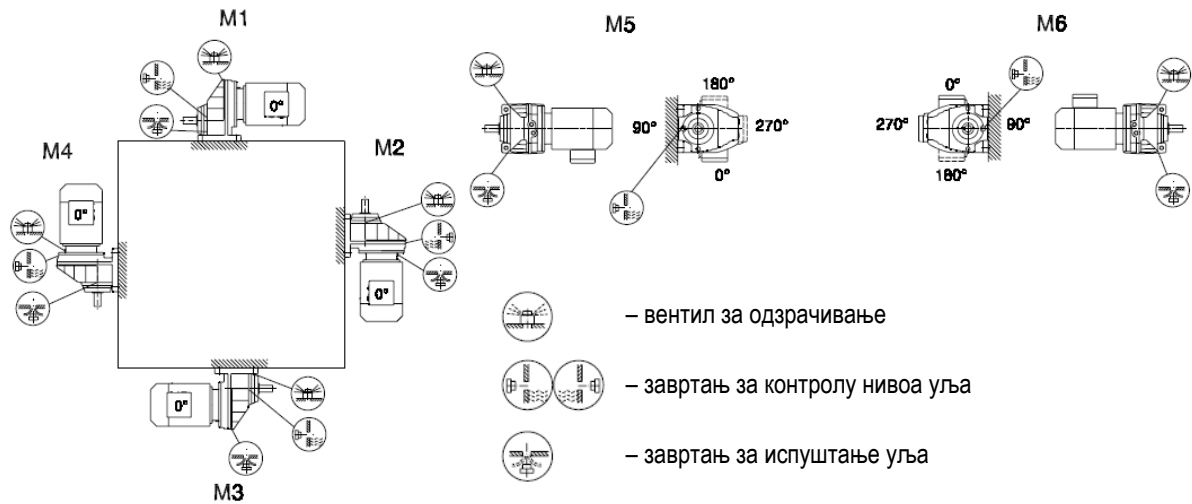


Сл. 3.3.

Облици кућишта двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог моторног редуктора произвођача SEW (1 – редуктори R07 и R17, 2 – редуктор R27, 3 – редуктори R37-R167) [14]

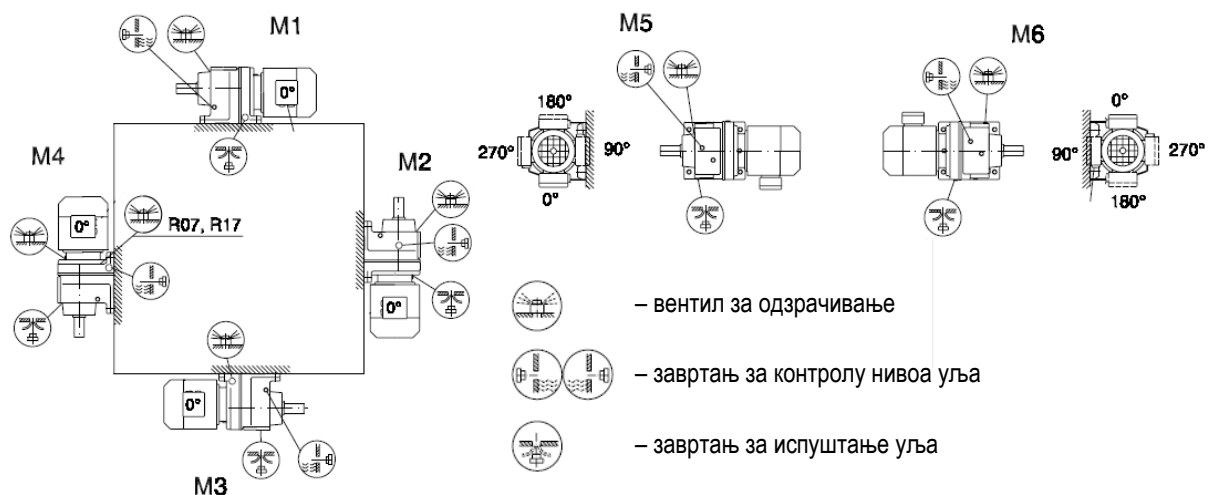
Да би се додатно побољшале техничке карактеристике редуктора, осна висина улазног вратила нешто је мања од осне висине редуктора, а такође направљени су и „стомачићи” на брзоходним коморама како би се повећала међуосна растојања. Ти „стомачићи” су за прве три величине четвртастог, а за остале величине елипсастиг облика. Такође, може се приметити да је стопало код верзија веће висине (R37- R167) изведено са шупљином ради смањења масе, док је код мањих величина стопало пуног пресека.

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту универзалног зупчастог редуктора произвођача SEW у зависности од положаја уградње приказан је на сл. 3.4. и 3.5.



Сл. 3.4.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту једностепеног универзалног зупчастог редуктора произвођача SEW, у зависности од положаја уградње



Сл. 3.5.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора произвођача SEW, у зависности од положаја уградње

3.2. Универзални зупчасти редуктори произвођача Siemens-Flender

Siemens-Flender (Siemens AG, Industry Sector, Drive Technology Division, Mechanical Drives, 72007 Tübingen, Germany) је такође једна од водећих компанија за производњу механичких преносника. Она такође има и сопствену производњу електромотора чиме је у могућности да израђује квалитетне моторне редукторе. Компанија Flender је раније била самосталан произвођач, али је груписањем капитала компанија Siemens купила Flender, чиме је омогућен њен даљи успешан развој. Поред бројних врста преносника, Siemens-Flender производи и универзалне зупчасте преноснике у моторној и безмоторној варијанти, као једноступене, двоступене и троступене редукторе.

Компанија Siemens-Flender означава своје моторне редукторе на следећи начин [16]:

тип редуктора / начин монтаже / величина редуктора / тип додатог редуктора код вишеступених редуктора / величина додатог редуктора / ознака мотора, величина и број полова

док је код безмоторних варијанти редуктора означавање следеће:

тип редуктора / начин монтаже / величина редуктора / тип додатог редуктора код вишеступених редуктора / величина додатог редуктора / ознака улазног подсклопа

где је: **тип редуктора** – E - једноступени редуктор; Z - двоступени редуктор; D - троступени редуктор;

облик уградње – без ознаке важи за редукторе са стопалима; F - за монтажу помоћу прирубнице; Z - редуктор који се монтира на неку прирубницу; комбиновани начин уградње са стопалима и прирубницом доступан је на захтев код произвођача; R - за редуктор за мешалице;

величина редуктора - зависи од осне висине и дефинисана је на следећи начин:

Табела 3.6. Ознаке величина једноступених редуктора произвођача Siemens-Flender

Осна висина <i>h</i> , mm	56	80	90	100	112	140	160
Ознаке једноступених редуктора	E38	E48	E68	E88	E108	E128	E148

Табела 3.7. Ознаке величина двоступених и троступених редуктора произвођача Siemens-Flender

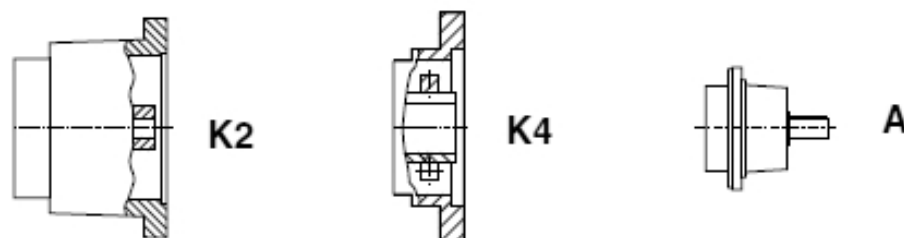
Осна висина <i>h</i> , mm	75	90	115	140	180	225	250	315	355	425
Ознаке дво и троступених редуктора	Z..D 18	Z..D 28 Z..D 38	Z..D 48	Z..D 68	Z..D 88	Z..D 108	Z..D 128	Z..D 148	Z..D 168	Z..D 188

тип додатог редуктора код вишеступених редуктора – Z - двоступени редуктор; D - троступени редуктор

величина додатог редуктора – зависи од величине редуктора (осне висине)

ознака мотора, величина и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Siemens-Flender [16], у зависности од снаге и броја обртаја;

ознака улазног подсклопа – K2 - за адаптер за спајање са IEC електромотором; K4 - за кратки адаптер за спајање са IEC електромотором; A - за подсклоп са улазним вратилом, сл. 3.6 (поред наведених погонских компонената, постоји још низ других, али се оне неће наводити јер се у овом раду не проучавају).



Сл. 3.6.

Улазни подсклопови произвођача Siemens-Flender

Компанија Siemens-Flender производи адаптере за IEC електромоторе уобичајене дужине и скраћене адаптере. Код адаптера уобичајене дужине постоји еластична спојница која може да компензује померања која се јављају. Скраћени адаптери се користе када је простор ограничен и када се жели постићи мања дужина моторног редуктора. Међутим, веза између вратила је крута и не постоји могућност компензовања аксијалних померања.

Електромотори већих снага 75, 90, 110, 132, 160 и 200 kW не могу се директно монтирати на редуктор, већ преко нормалних и кратких адаптера за IEC мотор, што се у овом случају неће разматрати.

Слично као и произвођач SEW, компанија Siemens-Flender само за једну осну висину ($h = 90$ mm) нуди два сета зупчаника у оквиру једног кућишта, при чему постиже велику носивост и мали преносни однос, односно малу носивост и велики преносни однос и тиме успешно успева да конкурише, у оквиру ове осне висине, другим произвођачима.

Техничке карактеристике једноступених, двоступених и троступених универзалних зупчастих редуктора дате су у табелама 3.8, 3.9 и 3.10.

Табела 3.8. Техничке карактеристике универзалних зупчастих једноступених редуктора произвођача Siemens-Flender [16]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
56	E38	80	9,33	5,8	
80	E48	164	11,3	9,1	
90	E68	248	12,4	18,8	
100	E88	472	10,33	34,6	
112	E108	764	5,46	52	
140	E128	1022	10,14	92	
160	E148	1434	13,67	109	

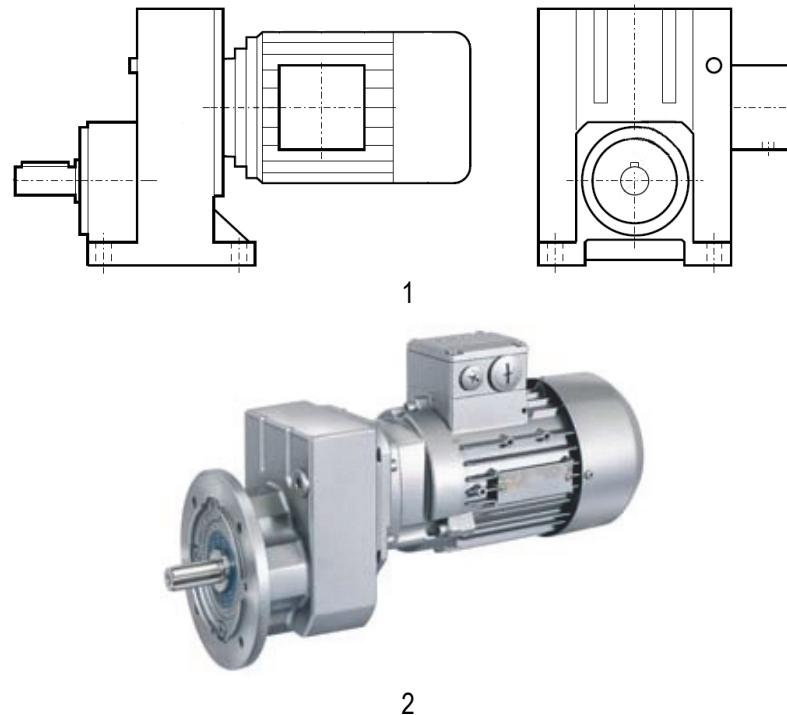
Произвођач Siemens-Flender производи једноступене редукторе у једној врсти кућишта, а двоступене и троступене редукторе производи у другој врсти кућишта са две коморе – брзоходном и спороходном. Сва кућишта једноступених редуктора направљена су од сивог лива. Прве две најниже висине кућишта двоступених и троступених редуктора од 75 и 90 mm (Z/D18 и Z/D28) направљене су од алуминијумских легура, док су све остале величине направљене од сивог лива. Карактеристичан дизајн кућишта овог произвођача је што су она направљена изразито четвртаста, без много заобљења и кривина.

Табела 3.9. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двоступених редуктора произвођача Siemens-Flender [16]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
75	Z18	90	43,15	3,1	/
90	Z28	145	51,35	4,1	/
90	Z38	210	44,12	9,7	0,5
115	Z48	466	51,28	19,5	1,1
140	Z68	812	48,09	36,2	1,8
180	Z88	1694	50,73	65,5	4,2
225	Z108	2997	59,05	108	6,7
250	Z128	4882	44,19	178	9,0
315	Z148	8100	57,5	264	12,2
355	Z168	13954	46,61	396	18,8
425	Z188	15201	52,35	520	/

Табела 3.10. Техничке карактеристике универзалних зупчастих троступених редуктора произвођача Siemens-Flender [16]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
75	D18	90	136,71	3,5	/
90	D28	142	207,96	4,4	/
90	D38	224	191,75	11,3	0,5
115	D48	454	208,77	19,8	1,1
140	D68	809	281,01	38,5	1,7
180	D88	1686	300,41	69,5	4,2
225	D108	2998	359,3	118	6,5
250	D128	5110	268,16	193	8,7
315	D148	8023	336,11	280	11,7
355	D168	14298	341,61	441	18,1
425	D188	20245	243,82	580	/

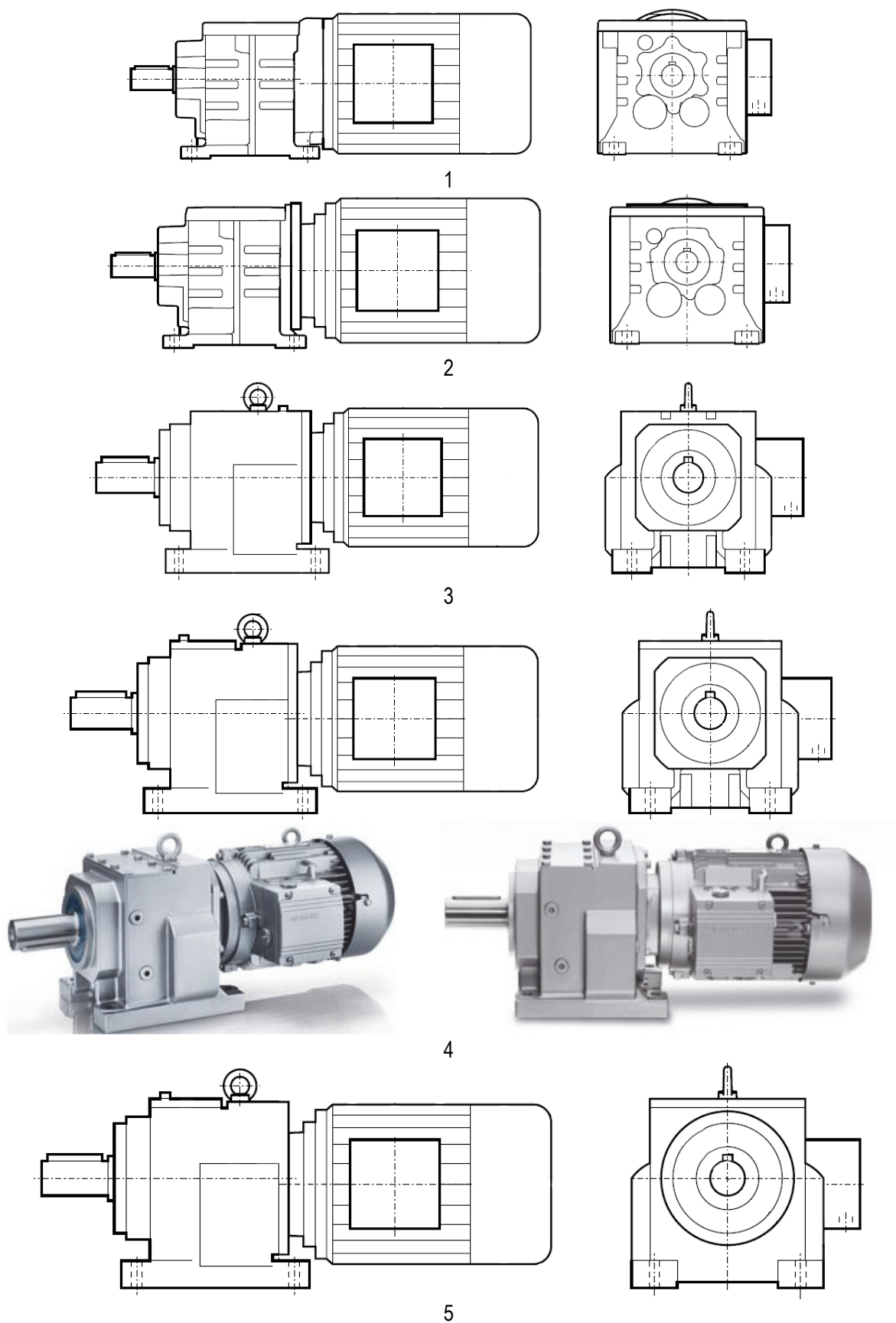
**Сл. 3.7.**

Изглед једноступеног универзалног зупчастог редуктора произвођача Siemens-Flender (1 - са стопалима, 2 - са прирубницом) [16]

Ако се погледа концепцијско решење једноступених зупчастих редуктора компаније Siemens-Flender, види се да је кућиште једноделно са аксијалном монтажом код којег се зупчаници убацују кроз чеони отвор са стране мотора (сл. 3.7). Кућиште је четвртасто, чак и на горњем делу на којем се не налази никакав поклопац.

У зависности од осне висине, постоје различити облици кућишта двоступених и троступених редуктора, као и различити начини убацавања зупчаника у редуктор (сл. 3.8).

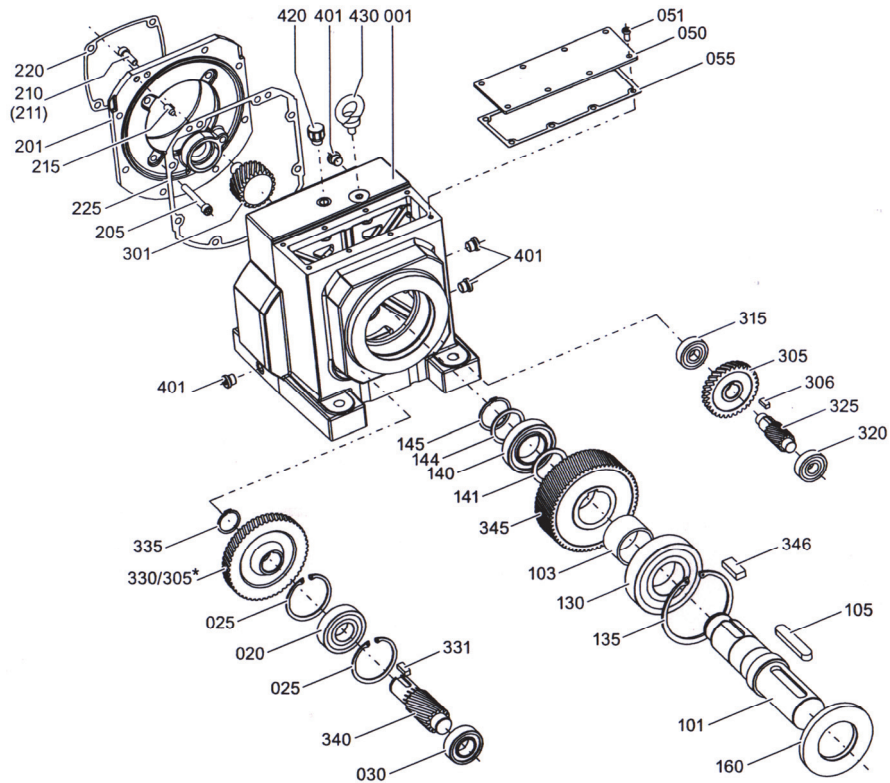
Два најмања редуктора са кућиштем од алуминијумских легура Z/D18 и Z/D28 осне висине 75 и 90 mm праве се само као моторни редуктори (сл. 3.8-1,2). Ова кућишта су лакша у односу на кућишта од сивог лива, на себи имају оребрења како би им се повећала чврстоћа и крутост, четвртаста су и без „стомачића”. Концепцијско решење кућишта за ове две величине изведено је као једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом (са поклопцем на обе коморе кроз које се постављају зупчаници). Следећа величина редуктора Z/D38 (сл. 3.8-3) исто тако се прави за осну висину 90 mm као и Z/D28, али је кућиште израђено од сивог лива, веће је и има „стомачиће”. Код овог редуктора се, на тај начин, постиже 50-60% већа носивост, при нешто мањем преносном односу. Концепцијско решење овог, па све до кућишта осне висине 180 mm (Z/D88), изведено је као једноделно кућиште са спуштеним средњим зидом и са аксијалном монтажом, код којег се зупчаници убацују кроз отвор са стране мотора, без поклопца горе. Од осне висине 225 mm (Z/D108-Z/D188, сл. 3.8-4,5) кућиште редуктора изведено је као једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом (са поклопцем само на спороходној комори кроз коју се убацује зупчаник z_6). Кућиште највећег редуктора Z/D188 разликује се од претходних само по облику држача лежача излазног вратила који је изведен цилиндричан, док је код мањих величина он био четвртаст са засеченим угловима. Карактеристика свих кућишта израђених од сивог лива је да су и она четвртаста, са „стомачићима”, али равна и без додатних оребрења. Произвођач Siemens-Flender, да би додатно повећао техничке карактеристике редуктора, користи мању осну висину мотора од излазне осне висине редуктора.



Сл. 3.8.

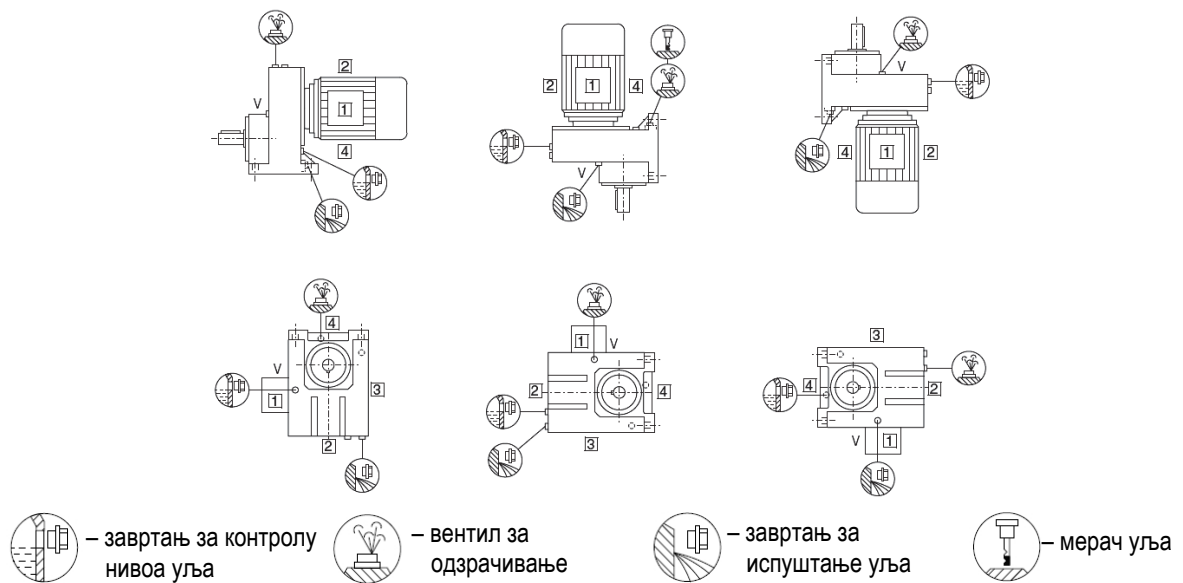
Изглед двостепених и тростепених универзалних зупчастих редуктора произвођача Siemens-Flender (1 – редуктор Z/D18, 2 - редуктор Z/D28, 3 - редуктор Z/D38-88, 4 - редуктор Z/D108-168, 5 - редуктор Z/D188) [16]

На сл. 3.9 приказан је експанзиони цртеж зупчастог редуктора произвођача Siemens-Flender са приказаним начином монтаже делова редуктора, где се види да је један лежај трећег зупчастог вратила ослоњен у међуплочи кућишта редуктора. Код двостепеног редуктора, треће зупчasto вратило има три лежаја, један је у међуплочи кућишта, један у средњем зиду, а један је са излазне стране редуктора.



Сл. 3.9.

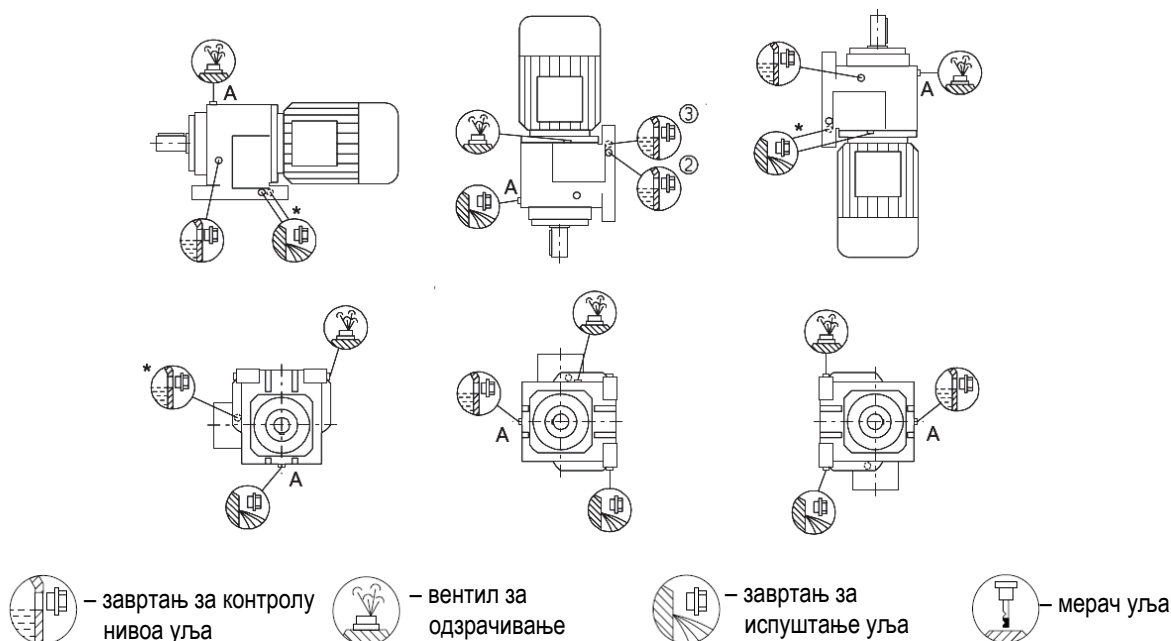
Експанзиони цртеж двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора произвођача Siemens-Flender [16]



Сл. 3.10.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту једноступених универзалних зупчастих редуктора произвођача Siemens-Flender, у зависности од положаја уградње [16]

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту универзалног зупчастог редуктора произвођача Siemens-Flender у зависности од положаја уградње приказан је на сл. 3.10. и 3.11. При томе двостепени и тростепени редуктор величине Z/D18 и Z/D28 који су израђени од алуминијума подмазују се машћу и не постоје никакви завртњеве и вентили за уље на кућишту. Код величине редуктора Z/D38 постоји само један завртањ на месту А према сл. 3.11, док је за остале веће редукторе положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту приказан на истој слици. [16]



Сл. 3.11.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту двостепених и тростепених универзалних зупчастих редуктора произвођача Siemens-Flender, у зависности од положаја уградње [16]

3.3. Универзални зупчасти редуктори произвођача Nord

Компанија Nord (Getriebebau NORD GmbH & Co. KG, Rudolf-Diesel Str. 1, D-22941 Bargteheide, Germany) основана је 1965. године као произвођач моторних редуктора, али су тада могли самостално да производе само кућишта, вратила и спојнице. Од 1977. године компанија се шири, осваја производњу осталих делова, па и мотора, и осамдесетих година постаје комплетан произвођач механичких преносника [25]. Данас је компанија Nord Drivesystems један од водећих самосталних произвођача механичких погонских система.

Компанија Nord је позната по томе што је осамдесетих година прва увела концепт јединственог једноделног кућишта, па су касније и сви остали водећи произвођачи преносника преузели тај концепт [25]. Карактеристика овог кућишта је што све делове кућишта спаја у јединствени облик са већ обрађеним површинама за монтажу лежаја, ускочника и заптивача. Код овог кућишта обезбеђена је већа сигурност, боље је заптивање, већи су излазни обртни momenti, већа су дозвољена радијална и аксијална оптерећења вратила, шум и вибрације су мањи, лакше је одржавање и дужи им је радни век.

Да би што потпуније задовољила различите захтеве купаца, а тиме обезбедила велики пласман зупчастих редуктора, овај произвођач зупчасте редукторе производи у чак три различите фамилије [25]:

- UNICASE зупчasti редуктори (сл. 3.12-1)
($T_2 = 10 \dots 26000 \text{ Nm}$, $P_1 = 0,12 \dots 160 \text{ kW}$, $i = 1,35 \dots 14340,31$),
- NORDBLOC зупчasti редуктори (сл. 3.12-2)
($T_2 = 90 \dots 3200 \text{ Nm}$, $P_1 = 0,12 \dots 37 \text{ kW}$, $i = 1,88 \dots 330,9$),
- STANDARD зупчasti редуктори (сл. 3.12-3)
($T_2 = 50 \dots 700 \text{ Nm}$, $P_1 = 0,12 \dots 7,5 \text{ kW}$, $i = 1,92 \dots 488,07$).

**Сл. 3.12.**

Различите фамилије зупчastих редуктора компаније Nord (1 - UNICASE зупчasti редуктори, 2 - NORDBLOC зупчasti редуктори, 3 - STANDARD зупчasti редуктори) [11,12,26]

3.3.1. Фамилија UNICASE универзалних зупчastих редуктора

Означавање фамилије UNICASE моторних редуктора извршено је на следећи начин [11]:

Ознака SK / величина редуктора и број степени спрезања / облик уградње / величина мотора и број полова

док је код безмоторних варијанти означавање следеће:

Ознака SK / величина редуктора и број степени спрезања / облик уградње / врста улазног подскопа

где је: **величина редуктора и број степени** – ознака чији први број означава величину редуктора (за једноступене од 1 до 5, а за двоступене и троступене редукторе од 0 до 10), а други број означава број парова зупчаника (1 - за једноступене, 2 - за двоступене и 3 - за троступене редукторе).

Табела 3.11. Ознаке величина и броја степени једноступених UNICASE редуктора произвођача Nord

Осна висина h , mm	56	71	85	100	112
Ознаке једноступених редуктора	SK 11	SK 21	SK 31	SK 41	SK 51

облик уградње – без ознаке - редуктор са стопалима, Е - једноступени редуктор, ЕФ - једноступени редуктор са прирубницом В5, F - редуктор са прирубницом В5;

врста улазног подскопа – IEC – редуктор са адаптером за монтажу IEC мотора, W - подскоп са улазним вратилом;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Nord [27], у зависности од снаге и броја обртаја.

Табела 3.12. Ознаке величина и броја степени двостепених и тростепених UNICASE редуктора произвођача Nord

Осна висина h , mm	86	102	125	155	175	212	250	280	315	390	450
Ознаке двостепених редуктора	SK 02	SK 12	SK 22	SK 32	SK 42	SK 52	SK 62	SK 72	SK 82	SK 92	SK 102
Ознаке тростепених редуктора	SK 03	SK 13	SK 23	SK 33	SK 43	SK 53	SK 63	SK 73	SK 83	SK 93	SK 103

Може се закључити да, за разлику од претходна два произвођача редуктора, компанија Nord производи фамилију UNICASE редуктора са нешто другачијим осним висинама. Ово је због тога што је ово стари ред редуктора произвођача Nord, када осне висине нису биле стандардизоване. Тако на пример, код једностепених редуктора постоји осна висина 71 mm коју претходни произвођачи немају, постоји 85 mm, иако други произвођачи имају 80 mm и највећа осна висина је 112 mm, иако други произвођачи имају и веће осне висине једностепених редуктора. Код двостепених и тростепених редуктора постоји разлика у осним висинама за мање редукторе код којих се разликује кућиште двостепених и тростепених редуктора. Тако постоји осна висина 86 mm, иако други произвођачи имају 90 mm, осна висина 125 mm, иако други произвођачи имају 130 mm, осна висина 175 mm, иако други произвођачи имају 180 mm, али постоје и осне висине које други произвођачи немају, као што су 102, 155 и 212 mm. Овим захватом, а уз помоћ више фамилија зупчастих редуктора, компанија Nord осваја за себе широко тржиште редуктора са различитим осним висинама, чак и које други произвођачи редуктора немају.

Техничке карактеристике једностепених универзалних зупчастих редуктора дате су у табели 3.13.

Табела 3.13. Техничке карактеристике универзалних зупчастих једностепених UNICASE редуктора произвођача Nord [11]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
56	SK 11 E	54	2,83	6	0,25
71	SK 21 E	72	2,71	12	0,6
85	SK 31 E	156	2,58	17	1,1
100	SK 41 E	245	2,5	26	1,7
112	SK 51 E	362	2,86	35	2,2

Техничке карактеристике двостепених универзалних зупчастих редуктора дате су у табели 3.14.

Табела 3.14. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двостепених UNICASE редуктора произвођача Nord [11]

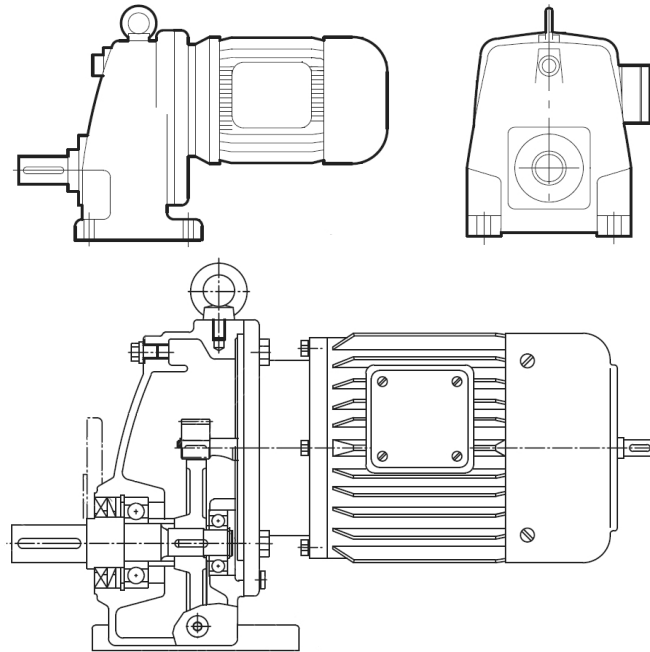
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
86	SK 02	92	73,06	8	0,15
102	SK 12	181	72,63	10	0,25
125	SK 22	341	86,3	19	0,5
155	SK 32	678	81,27	30	0,9
175	SK 42	1281	105,08	45	1,3
212	SK 52	1990	86,92	74	2,5
250	SK 62	2800	48,73	131	6,5
280	SK 72	4172	43,71	214	9,0
315	SK 82	6887	48,82	324	14,0
390	SK 92	10505	35,47	507	25,0
450	SK 102	17169	19,37	727	36,0

Табела 3.15. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених UNICASE редуктора произвођача Nord [11]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
86	SK 03	114	313,11	12	0,3
102	SK 13	184	420,83	14,8	0,6
125	SK 23	341	516,65	26,9	1,3
155	SK 33N	688	740,37	38,9	1,6
175	SK 43	1302	764,03	60	3,0
212	SK 53	2230	607,3	93	4,5
250	SK 63	3859	372,21	134	13,0
280	SK 73	5521	205,61	218	20,5
315	SK 83	9299	216,61	325	30,0
390	SK 93	13468	187,89	507	53,0
450	SK 103	21010	207,47	727	74,0

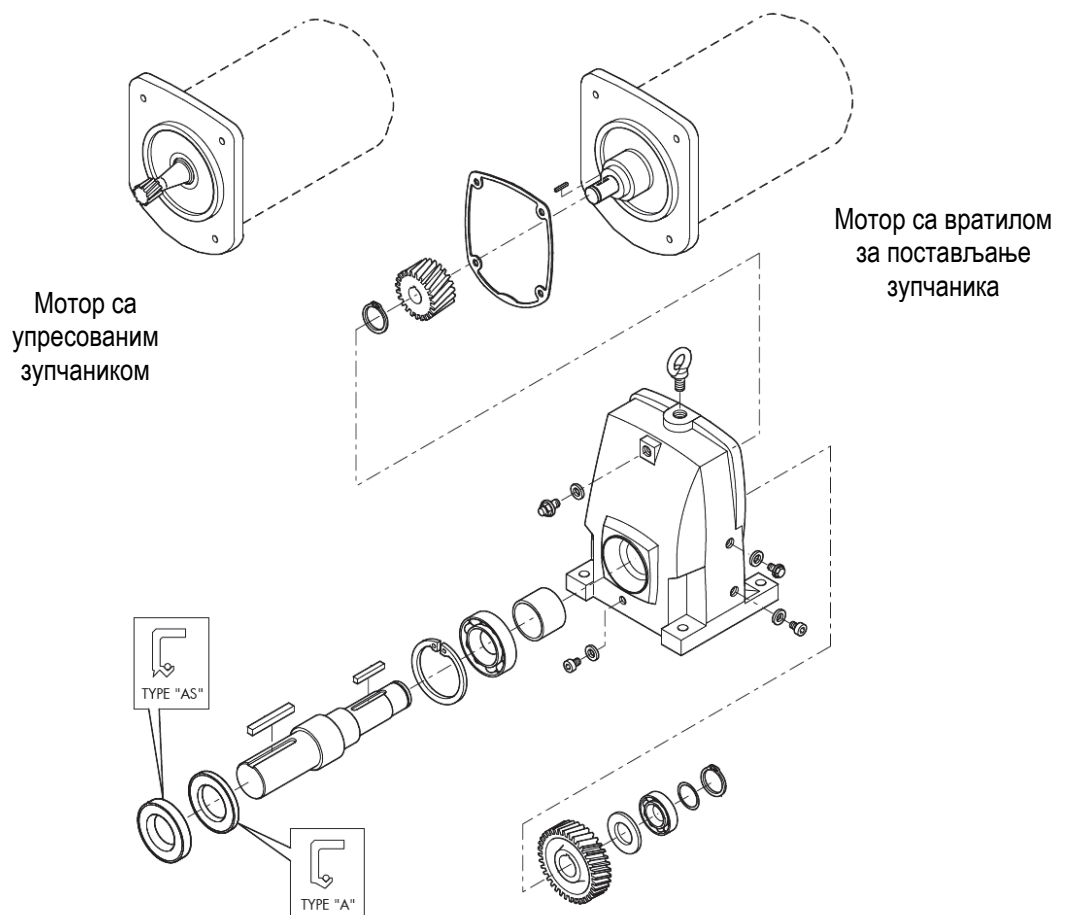
Произвођач Nord производи кућишта за UNICASE редукторе у више различитих облика зависно од броја степени преноса и величине кућишта. Кућишта су направљена од сивог лива, а карактеристично за њих је да су равна без додатних оребрења, обојена плавом бојом.

Сва кућишта једноступених зупчастих редуктора обликом су иста, једино на мањим кућиштима осне висине 56 и 71 mm не постоји прстенасти завртањ намењен за преношење, док на осталим постоји. Кућиште је концепцијски решено као једноделно са аксијалном монтажом код којег се зупчаници убацују кроз отвор са стране мотора. Изглед једноступеног UNICASE редуктора са стопалима приказан је на сл. 3.13. Кућиште је углавном четвртасто са благим косинама и заобљењима без додатних оребрења. Експанзиони цртеж једноступеног моторног UNICASE редуктора дат је на сл. 3.14.



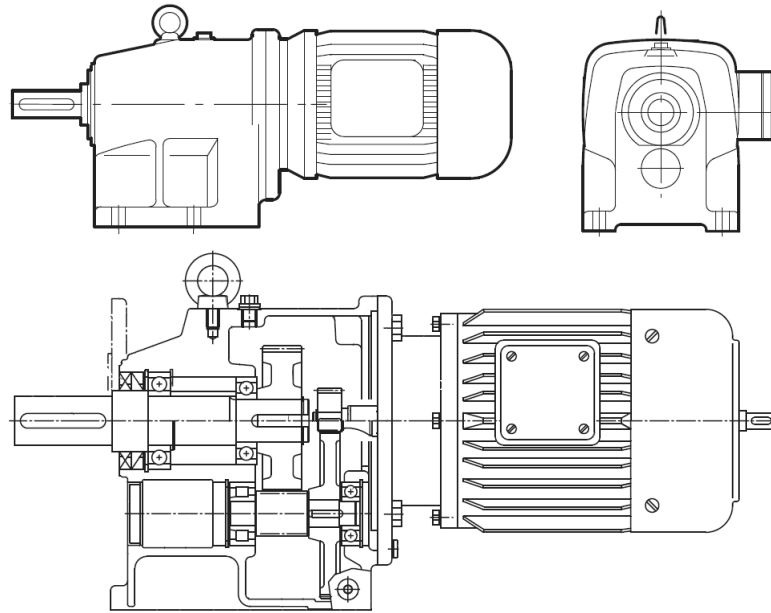
Сл. 3.13.

Изглед и попречни пресек једноступеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord [11,28]



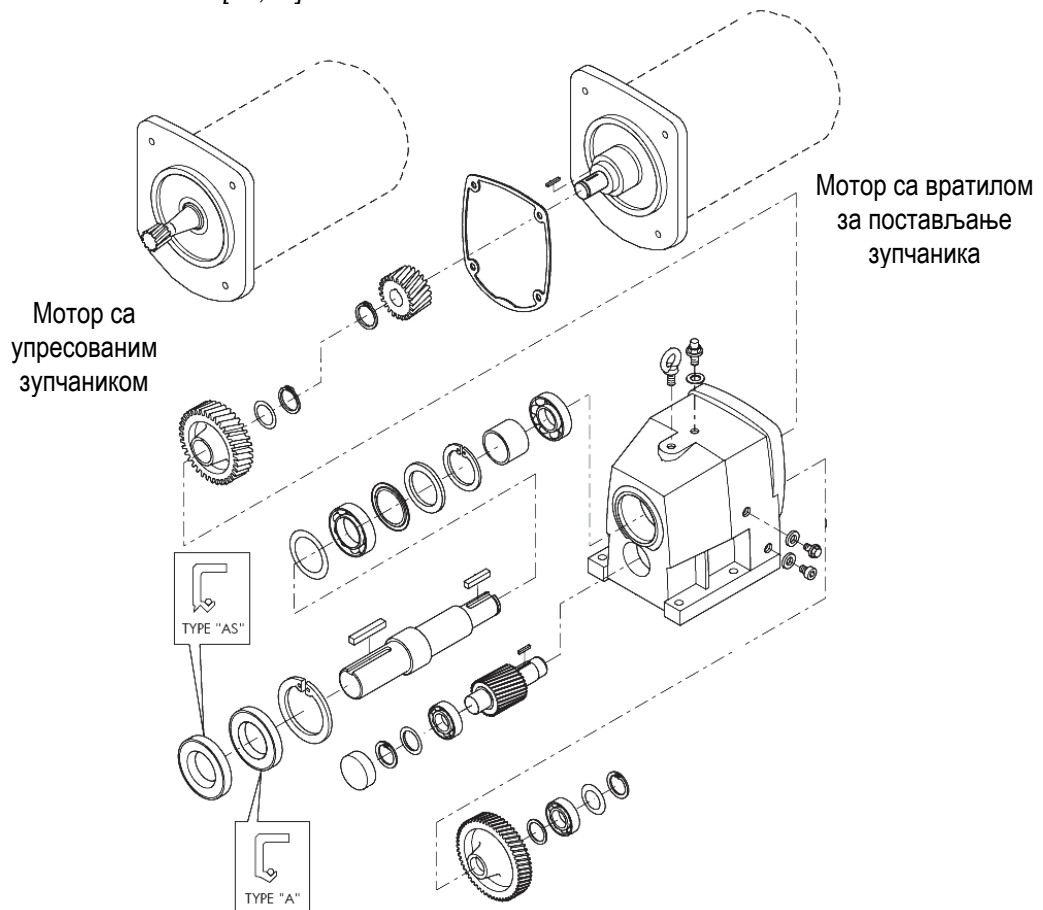
Сл. 3.14.

Експанзиони цртеж једноступеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord [28]



Сл. 3.15.

Изглед и пресек двостепеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине $h = 86-212$ mm [11,28]

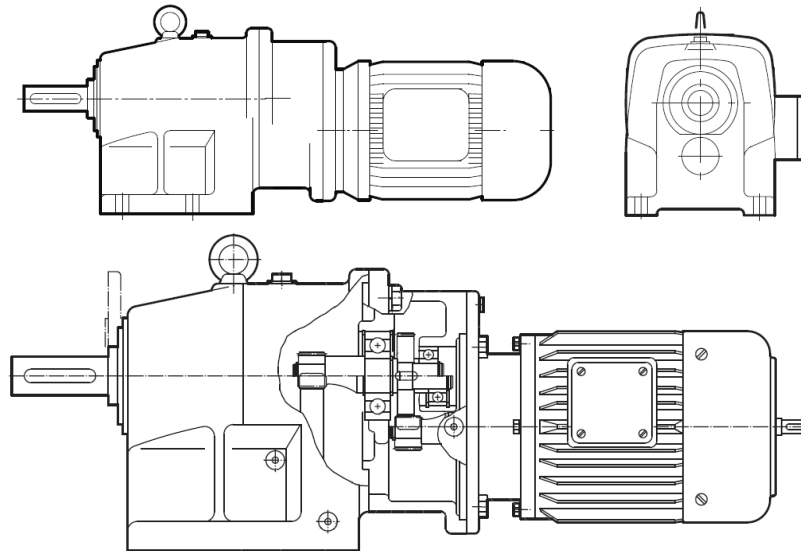


Сл. 3.16.

Експанзиони цртеж двостепеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине $h = 86-212$ mm [28]

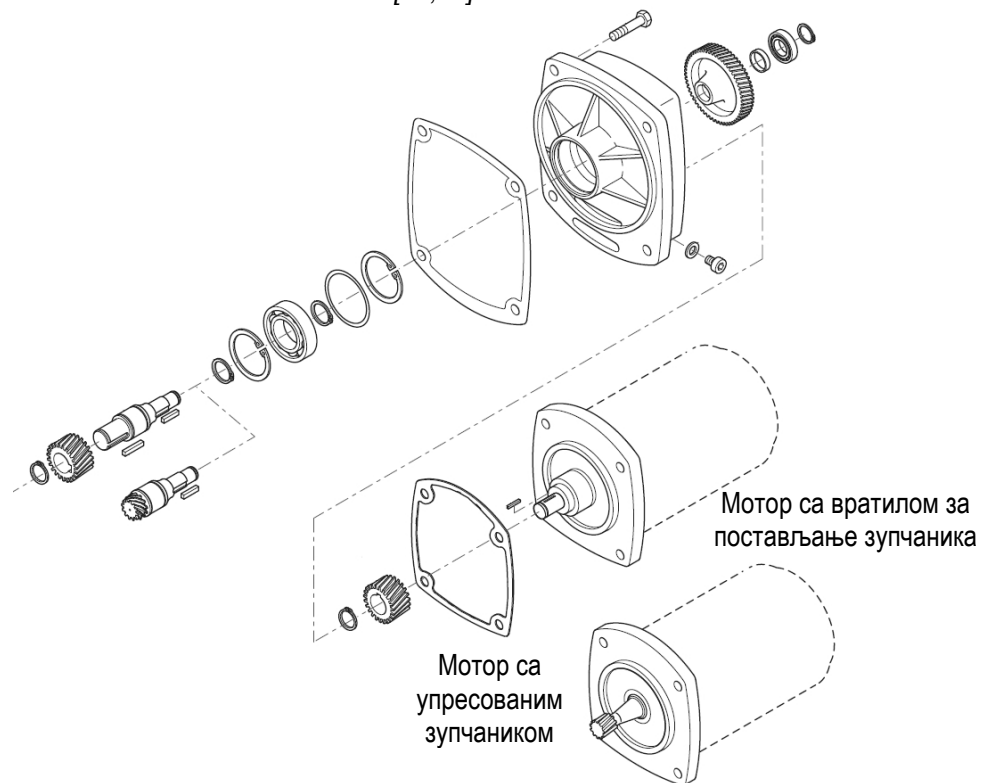
Кућишта двостепених UNICASE редуктора (SK 02, SK 12, SK 22, SK 32, SK 42, SK 52) се до осне висине 212 mm разликују од кућишта тростепених редуктора (SK 03, SK 13, SK 23, SK 33N, SK 43,

SK 53) на тај начин што је кућиште двостепеног редуктора (сл. 3.15 и 3.16) решено као једноделно са аксијалном монтажом, док се код тростепеног редуктора, између мотора и овог кућишта, монтира једноступени редуктор са улазним паром зупчаника, тако да је оно решено као дводелно кућиште са аксијалном монтажом (сл. 3.17). На тај начин се смањују маса и габарити двостепеног редуктора у односу на редукторе осталих произвођача са универзалним кућиштем. Карактеристика ових двостепених редуктора је да је електромотор постављен на истој осној висини као и излазно вратило, а код тростепених је мотор постављен ниско јер изазива мање вибрације.



Сл. 3.17.

Изглед и попречни пресек тростепеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине $h = 86-212$ mm [11,28]

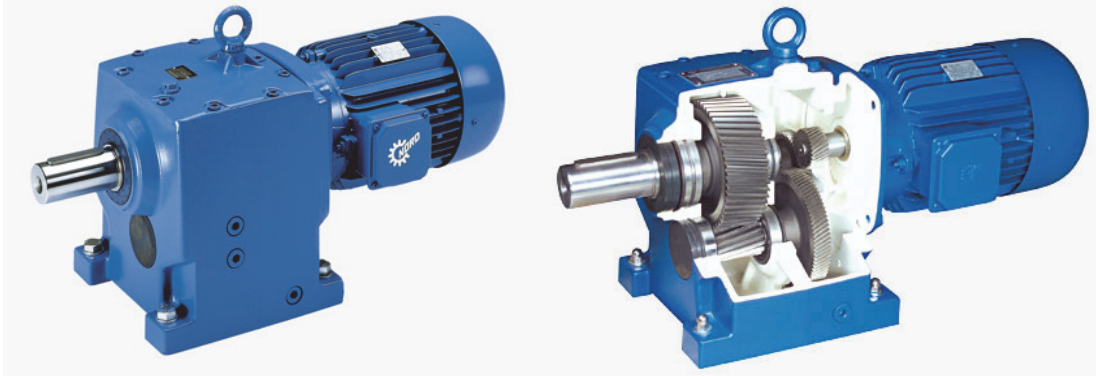


Сл. 3.18.

Експанзиони цртеж једноступеног редуктора за тростепени универзални зупчasti UNICASE редуктор произвођача Nord [28]

Експанзион цртеж додатог једноступеног редуктора за тростепени моторни UNICASE редуктор дат је на сл. 3.18.

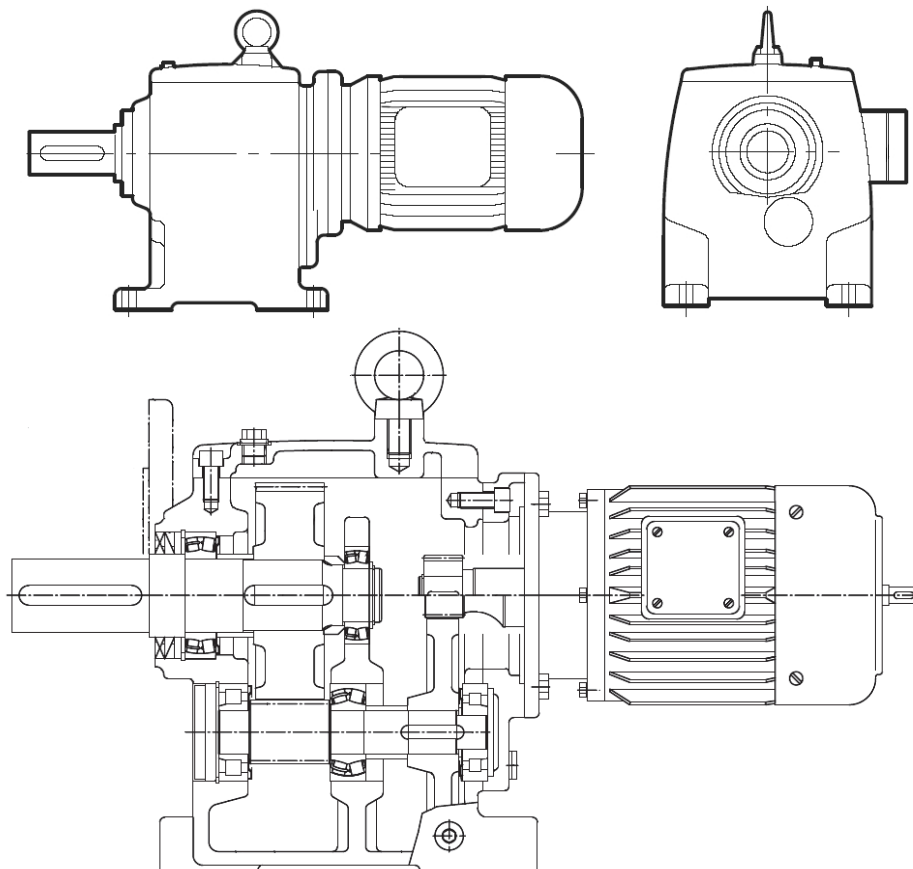
Већи редуктори, са осном висином од 250 до 450 mm, и двостепени (SK 62, SK 72, SK 82, SK 92, SK 102) и тростепени (SK 63, SK 73, SK 83, SK 93, SK 103) имају исто кућиште у које се монтирају два, односно три пара зупчаника (сл. 3.19).



Сл. 3.19.

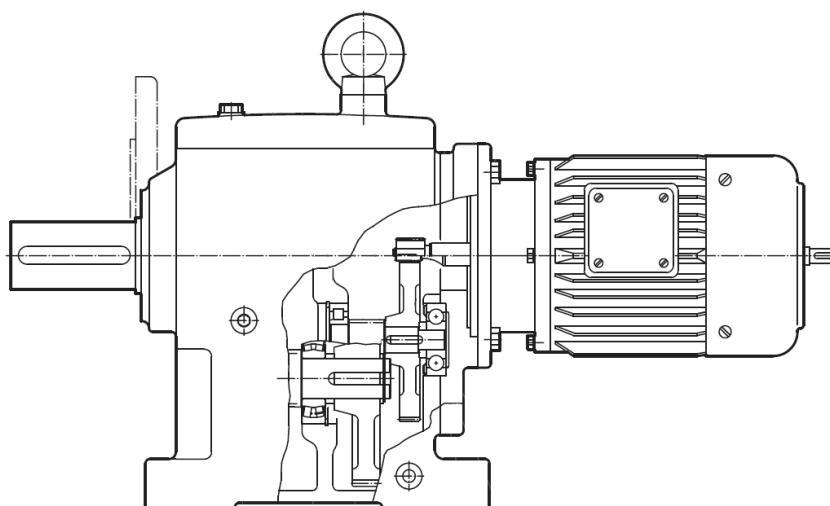
Изглед двоступеног и троступеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине 250-450 mm [11]

На основу шематског приказа и пресека редуктора (сл. 3.20 и 3.21) види се да је и код ових редуктора осна висина улазног једнака осној висини излазног вратила. Кућиште се састоји из брзоходне и спороходне коморе са заједничким поклопцем на врху.



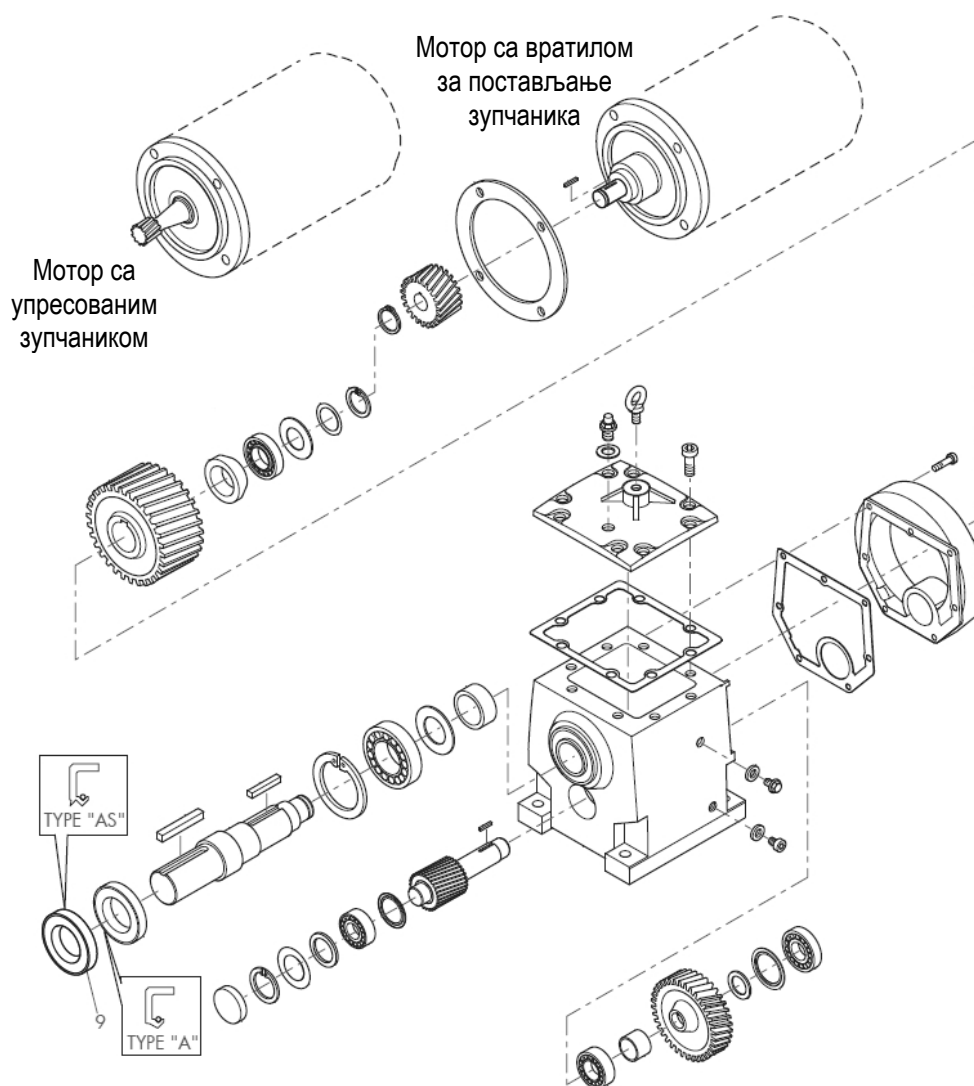
Сл. 3.20.

Изглед и попречни пресек двоступеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине 250-450 mm [11,28]



Сл. 3.21.

Попречни пресек тростепеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине 250-450 mm [27]

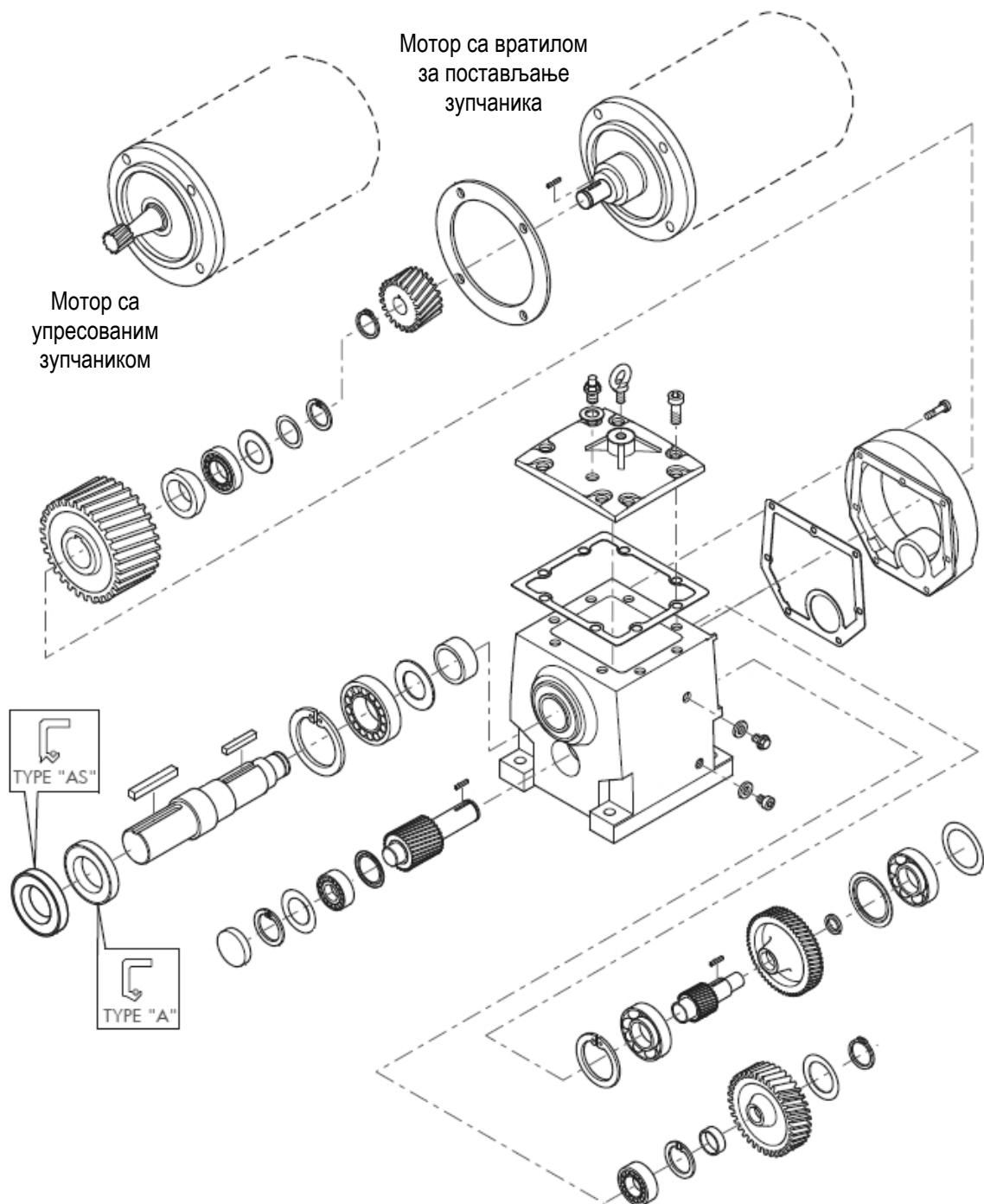


Сл. 3.22.

Експанзиони цртеж двостепеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине 250-450 mm [28]

У двостепеној варијанти, пето зупчато вратило улежиштено је са три лежаја, с тим да се десни лежај налази на међуплочи која спаја електромотор са редуктором. Код тростепених редуктора пето зупчато вратило ослоњено је у два лежаја, тако да је четврти зупчаник на препусту. Следи да је концепцијско решење кућишта двостепеног и тростепеног редуктора осне висине 250-450 mm изведено као једноделно са радиаксијалном монтажом зупчаника и са заједничким поклопцем на врху за обе коморе и међуплочом према мотору (сл. 3.22 и 3.23).

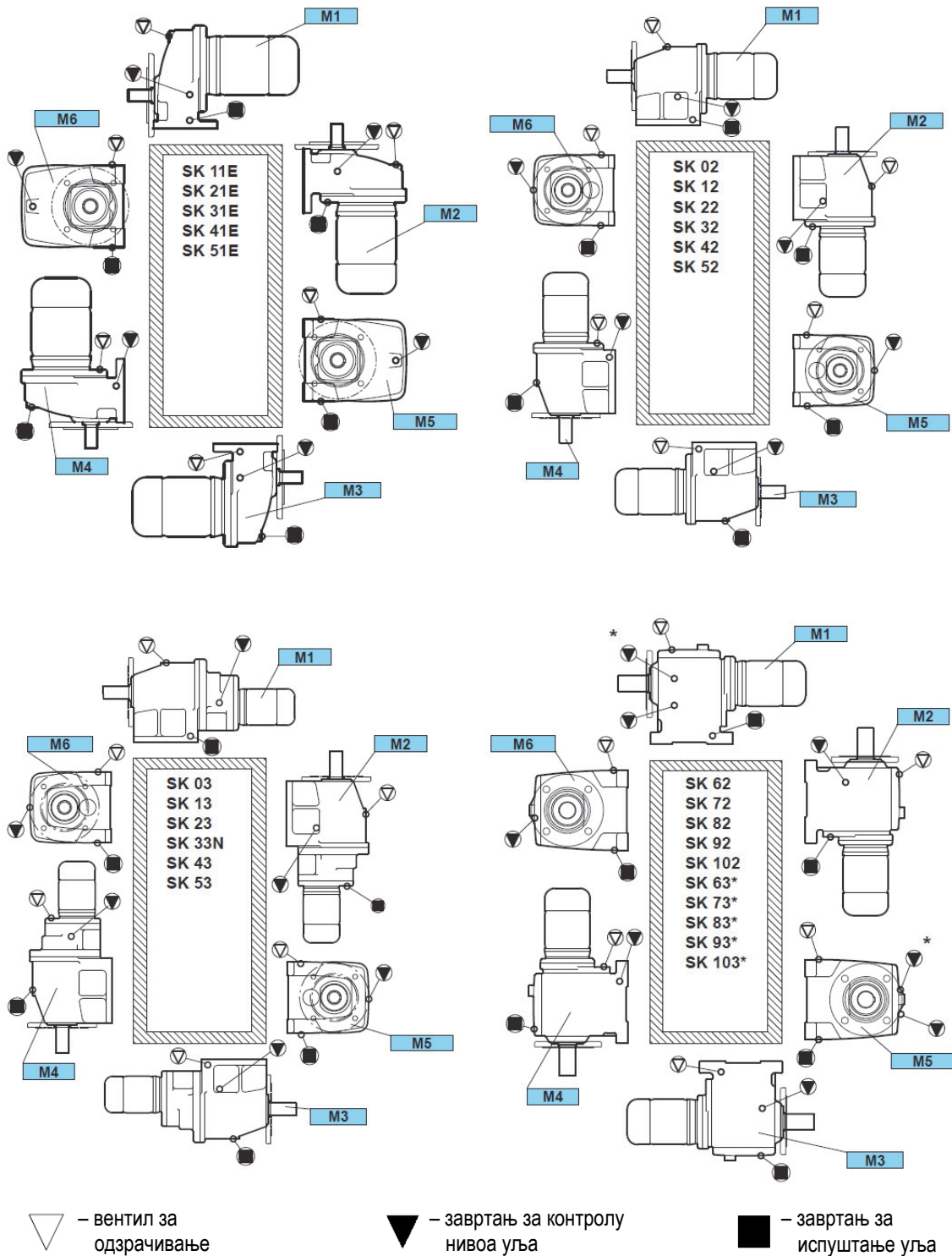
Типично за UNICASE редукторе произвођача Nord је да ниједан од ових редуктора нема „стомачиће”, као покушај повећања пречника гоњених зупчаника.



Сл. 3.23.

Монтажни цртеж тростепеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord осне висине 250-450 mm [28]

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord у зависности од положаја уградње приказан је на сл. 3.24. Без обзира на величину редуктора, у сваком положају уградње присутна су сва три завртња – за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља [11].



Сл. 3.24.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту једноступеног, двоступеног и троступеног универзалног зупчастог UNICASE редуктора произвођача Nord, у зависности од положаја уградње [11]

3.3.2. фамилија NORDBLOC универзалних зупчастих редуктора

Савременија фамилија универзалних зупчастих редуктора под називом NORDBLOC развијена је након UNICASE фамилије редуктора и представља његово усавршено решење. Повећавањем обртног момента на излазу и преносног односа, ови редуктори задржавају моноблок конструкцију једноделног кућишта. Током усавршавања ових редуктора, развиле су се две подфамилије NORDBLOC редуктора и обе се једнако примењују:

- класични NORDBLOC зупчасти редуктори;
- усавршени NORDBLOC.1 зупчасти редуктори.

Подфамилија класичних NORDBLOC универзалних зупчастих редуктора

Класични NORDBLOC моторни редуктори означени су на следећи начин:

Ознака SK / величина редуктора и број степени / облик уградње / величина мотора и број полова

док је код безмоторних варијанти означавање следеће:

Ознака SK / величина редуктора и број степени / облик уградње / врста улазног подскопа

где је: **величина редуктора и број степени** – ознака чији први број означава величину редуктора (за двостепене редукторе то су бројеви од 1 до 9, за тростепене редукторе бројеви од 2 до 9), други број је увек 7, а трећи број означава број парова зупчаника (2 - за двостепене и 3 - за тростепене редукторе).

Табела 3.16. Ознаке величина и броја степени двостепених и тростепених NORDBLOC редуктора произвођача Nord [12]

Осна висина <i>h</i> , mm	75	90	90	115	115	130	140	180	225
Двостепени редуктор	SK 172	SK 272	SK 372	SK 472	SK 572	SK 672	SK 772	SK 872	SK 972
Тростепени редуктор	-	SK 273	SK 373	SK 473	SK 573	SK 673	SK 773	SK 873	SK 973

облик уградње – без ознаке - редуктор са стопалима, F - редуктор са прирубницом B5, Z - редуктор са прирубницом B14, XF - редуктор са стопалима и прирубницом B5, XZ - редуктор са стопалима и прирубницом B14;

врста улазног подскопа – IEC – редуктор са адаптером за монтажу IEC мотора, W - подскоп са улазним вратилом;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Nord [28], у зависности од снаге и броја обртаја.

Може се закључити да NORDBLOC фамилија редуктора, за разлику од UNICASE редуктора, има осне висине излазног вратила као и претходне две велике компаније SEW и Siemens-Flender, међутим, највећа осна висина је 225 mm, што значи да NORDBLOC фамилија нуди мање и средње двостепене и тростепене редукторе. На овај начин компанија Nord са више фамилија редуктора задовољава различите осне висине, што им даје већу могућност задовољења захтева купаца.

Техничке карактеристике двостепених зупчастих редуктора дате су у табели 3.17, а тростепених у табели 3.18.

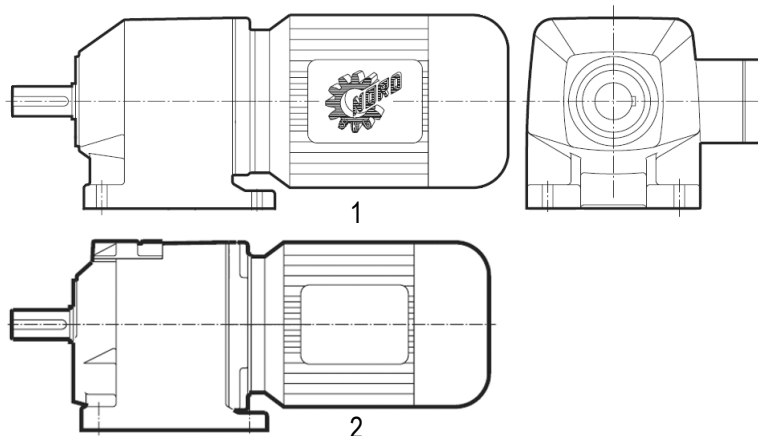
Табела 3.17. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двостепених NORDBLOC редуктора произвођача Nord [12]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
75	SK 172	89	79,56	6	0,37
90	SK 272	145	64,75	10,3	0,63
90	SK 372	181	51,23	10,3	0,63
115	SK 472	334	65,56	20	1,06
115	SK 572	431	51,7	20	1,06
130	SK 672	534	64,18	29	1,48
140	SK 772	858	62,32	35	2,11
180	SK 872	1527	52,79	68,5	3,91
225	SK 972	2262	67,05	116	6,87

Табела 3.18. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених NORDBLOC редуктора произвођача Nord [12]

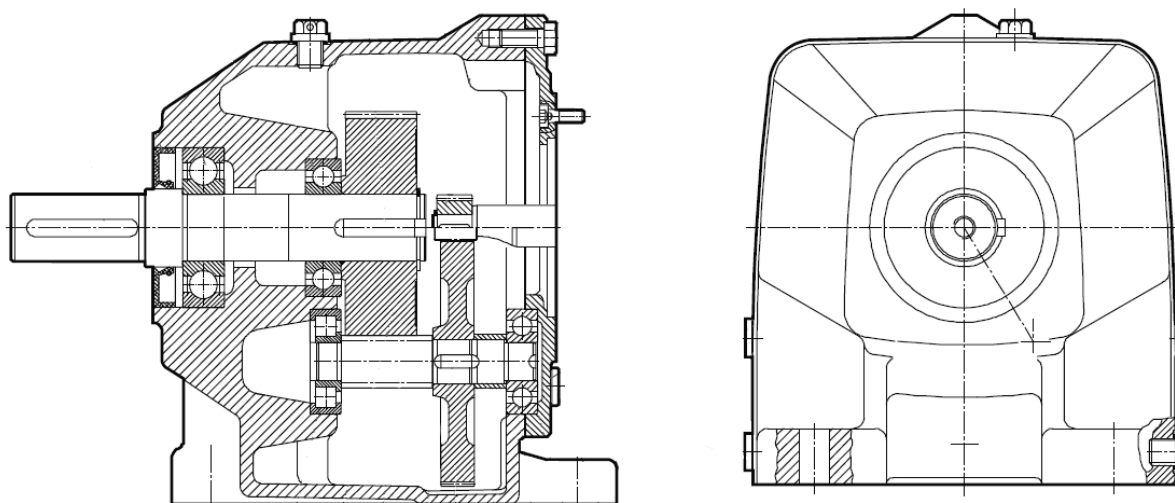
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
90	SK 273	137	330,9	10,8	0,66
90	SK 373	214	238,68	10,8	0,58
115	SK 473	336	309,58	20,5	1,37
115	SK 573	465	309,58	20,5	1,37
130	SK 673	648	340,54	29	1,9
140	SK 773	876	343,08	36	2,64
180	SK 873	1724	208,67	69,8	4,76
225	SK 973	3340	370,96	115,5	8,46

Компанија Nord не производи једностепене NORDBLOC редукторе. Најмањи NORDBLOC редуктор за осну висину 75 mm производи се искључиво као двостепени редуктор, док се редуктори осне висине 90 mm и већи производе и као двостепени и као тростепени у кућиштима истих димензија. За најчешће тражене осне висине 90 и 115 mm, Nord нуди по два сета зупчаника, тако да осна висина 90 mm има две величине SK 273 и SK 373 и осна висина 115 mm друге две величине редуктора SK 473 и SK 573. Сва кућишта редуктора направљена су од сивог лива. Кућиште редуктора карактеристично је по равним површинама, без изражених „стомачића” са стране (сл. 3.25). Осна висина улазног вратила поклапа се са осном висином излазног вратила редуктора.

**Сл. 3.25.**

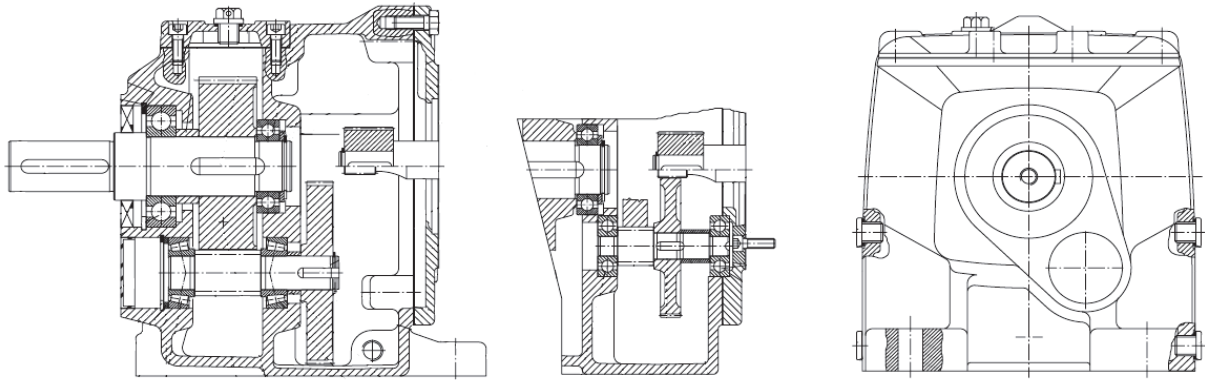
Изглед двостепеног (1) и тростепеног (2) универзалног зупчастог NORDBLOC редуктора произвођача Nord [12]

Без обзира на исте димензије кућишта двостепених и тростепених NORDBLOC редуктора, разлике између њих постоје, пре свега што код двостепених редуктора не постоји средњи зид, тако да су оба пара зупчаника у истој комори, а шести зупчаник се налази на препусту (сл.3.26). Ово кућиште је концепцијски решено као једноделно кућиште са аксијалном монтажом и међуплочом, при чему се сви зупчаници убацују аксијално у кућиште са стране мотора што ограничава њихову величину.

**Сл. 3.26.**

Пресек двостепеног универзалног зупчастог NORDBLOC редуктора произвођача Nord [12]

Кућишта тростепених редуктора имају средњи зид са три лежаја, а постоји и горњи отвор на спороходној комори (сл. 3.27). Код овог редуктора четврти зупчаник се налази на препусту, а шести је улежиштен између два лежаја на излазном вратилу. Ово кућиште је такође концепцијски решено као једноделно кућиште, али са радиаксијалном монтажом и међуплочом, при чему се зупчаник z_6 убацује кроз горњи отвор на спороходној комори. Из тог разлога ширина кућишта са горње стране зависи од највећег пречника зупчаника z_6 . Вратило шестог зупчаника аксијално се убацује у спороходну комору са стране излазног лежаја. Зупчато вратило петог зупчаника такође се убацује са исте стране у спороходну комору и оно треба и да налегне у лежај у средњем зиду. Остали зупчаници се аксијално монтирају у брзоходну комору са стране мотора што ограничава њихову величину.

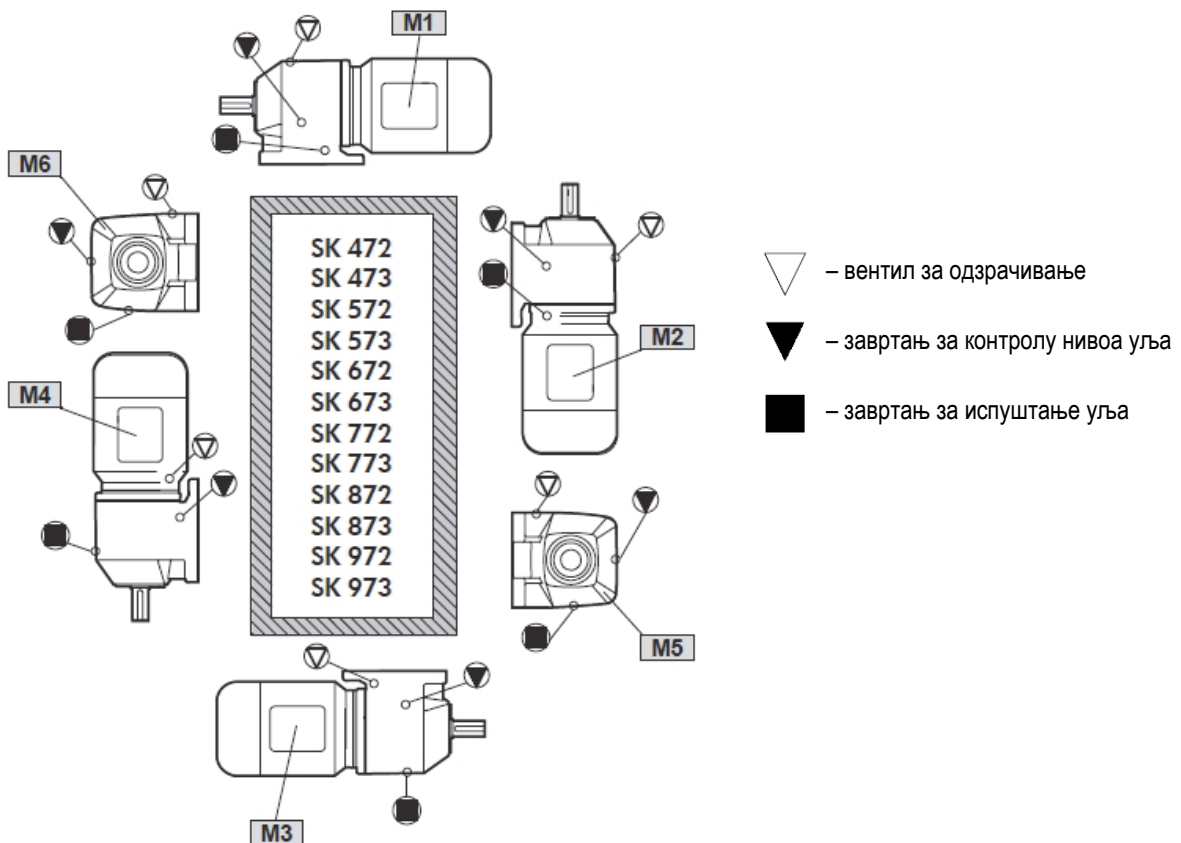


Сл. 3.27.

Приказ тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC редуктора произвођача Nord [12]

Како наводи произвођач ових редуктора, зазор између зубаца NORDBLOC редуктора је нешто мањи од уобичајених вредности захваљујући уским толеранцијама, повећаним квалитетом израде зупчаника, великом крутошћу вратила и зупчаних парова, као и великом крутошћу једноделног кућишта.

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту универзалног зупчастог NORDBLOC редуктора произвођача Nord, у зависности од положаја уградње, приказан је на сл. 3.28.



Сл. 3.28.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC редуктора произвођача Nord, у зависности од положаја уградње [28]

Подфамилија NORDBLOC.1 универзалних зупчастих редуктора

NORDBLOC.1 моторни редуктори означавају се на следећи начин:

Ознака SK / величина редуктора и број степени / облик уградње / величина мотора и број полова

док је код безмоторних варијанти означавање следеће:

Ознака SK / величина редуктора и број степени / облик уградње / врста улазног подскопа

где је: **величина редуктора и број степени** – ознака чији први број означава величину редуктора (за двостепене редукторе то су бројеви 0, 1, 3, 5, 6, 7, 8 и 9, за тростепене редукторе бројеви 3, 5, 6, 7, 8 и 9), други број је увек 7, а трећи број означава број парова зупчаника (2 - за двостепене и 3 - за тростепене редукторе), следи тачка и број 1 (таб. 3.19).

Табела 3.19. Ознаке величина и броја степени двостепених и тростепених NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord [29]

Осна висина h , mm	65	75	90	115	130	140	180	225
Двостепени редуктор	SK 072.1	SK 172.1	SK 372.1	SK 572.1	SK 672.1	SK 772.1	SK 872.1	SK 972.1
Тростепени редуктор	-	-	SK 373.1	SK 573.1	SK 673.1	SK 773.1	SK 873.1	SK 973.1

облик уградње – без ознаке - редуктор са стопалима, F - редуктор са прирубницом B5, Z - редуктор са прирубницом B14, XF - редуктор са стопалима и прирубницом B5, XZ - редуктор са стопалима и прирубницом B14;

врста улазног подскопа – IEC – редуктор са адаптером за монтажу IEC мотора, W - подскоп са улазним вратилом;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Nord [27], у зависности од снаге и броја обртаја.

Табела 3.20. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двостепених NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord [29]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
65	SK 072.1	57	63,56	2,3	0,16
75	SK 172.1	95	81,45	4	0,27
90	SK 372.1	195	72,38	7	0,45
115	SK 572.1	407	54,41	15	0,75
130	SK 672.1	558	56,65	20	1,1
140	SK 772.1	738	26,86	32	1,15
180	SK 872.1	1586	42,67	67	2,6
225	SK 972.1	2838	42,76	116	4,5

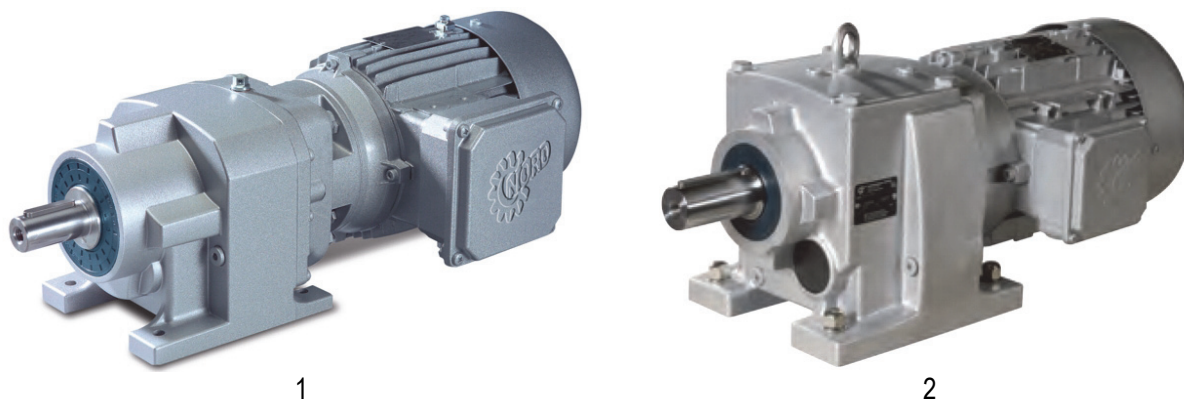
Види се да NORDBLOC.1 подфамилија редуктора има исте осне висине излазног вратила као и претходна класична верзија NORDBLOC редуктора. Постоји осам величина двостепених и шест величина једноступених редуктора. Додата је још једна мања величина двостепеног редуктора осне висине 65 mm. Свака величина редуктора има једну осну висину, тј. не нуди се по два сета зупчаника као код NORDBLOC редуктора за 90 и 115 mm.

Техничке карактеристике двостепених универзалних зупчастих NORDBLOC.1 редуктора дате су у табели 3.20, а карактеристике тростепених универзалних зупчастих NORDBLOC.1 редуктора дате су у табели 3.21.

Табела 3.21. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord [29]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
90	SK 373.1	231	343,92	7,8	0,45
115	SK 573.1	459	402,8	15	0,75
130	SK 673.1	654	362,43	21	1,1
140	SK 773.1	879	395,46	34	1,95
180	SK 873.1	1784	284,73	69	4,05
225	SK 973.1	3452	456,77	111	7,4

Као и код NORDBLOC редуктора, не постоје једноступени NORDBLOC.1 редуктори. Најмањи NORDBLOC.1 редуктори осних висина 65 и 75 mm искључиво се производе као двостепени, док се редуктори осне висине од 90 до 225 mm производе и као двостепени и као тростепени у истим универзалним кућиштима. Кућишта редуктора до осне висине 130 mm направљена су од алуминијумских легура, док су већа кућишта направљена од сивог лива (сл. 3.29).



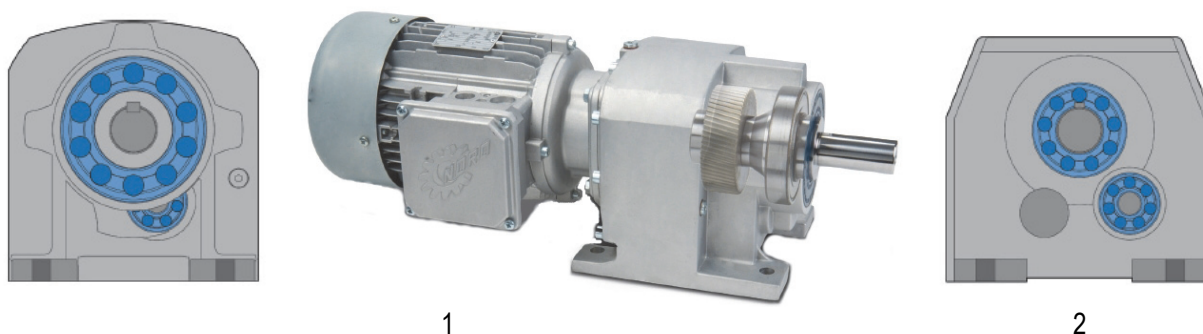
Сл. 3.29.

Изглед двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord израђеног од алуминијумских легура (1) и од сивог лива (2) [29]

Кућишта од ливених алуминијумских легура, иако мање масе, имају релативно велику чврстоћу. Овај материјал је такође отпоран на корозију, те га због тога није потребно фарбати. Такође, алуминијумска легура је много бољи проводник топлоте од сивог лива, те због мање радне температуре, компоненте унутар редуктора имају дужи радни век, а спољашњи облик кућишта редуктора је раван без оребрења. Раван облик кућишта је лак за чишћење и одржавање, па је због тога zgodно ове редукторе користити у прехранбеној индустрији, нарочито из разлога што има мало отвора и мали број завртњева, те је цурење уља сведено на минимум.

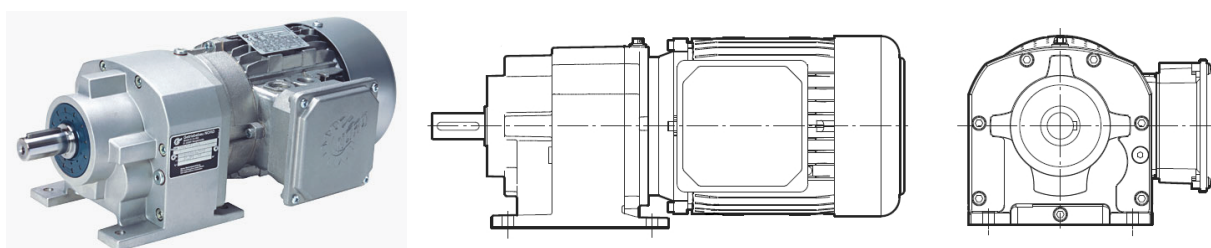
NORDBLOC.1 редуктори представљају најновију серију редуктора компаније Nord која је добијена усавршавањем и развојем класичних NORDBLOC редуктора. Овим су добијене веће носивости, повећане су дозвољене радијалне и аксијалне силе на излазном вратилу, а редукторима са мањим осним висинама смањена је маса јер се кућишта израђују од алуминијумских легура.

Код класичног дизајна кућишта NORDBLOC редуктора лежај излазног вратила налази се у истој аксијалној равни као и лежај петог зупчастог вратила, што значајно ограничава величину излазног лежаја. Иновација коју је Nord увео у NORDBLOC.1 фамилију зупчастих редуктора је постављање ових лежаја у две равни (сл. 3.30) и омогућавање излазном лежају да буде већи, односно јачи, што омогућава преношење већих радијалних и аксијалних сила на излазном вратилу и дужи радни век лежаја [29].



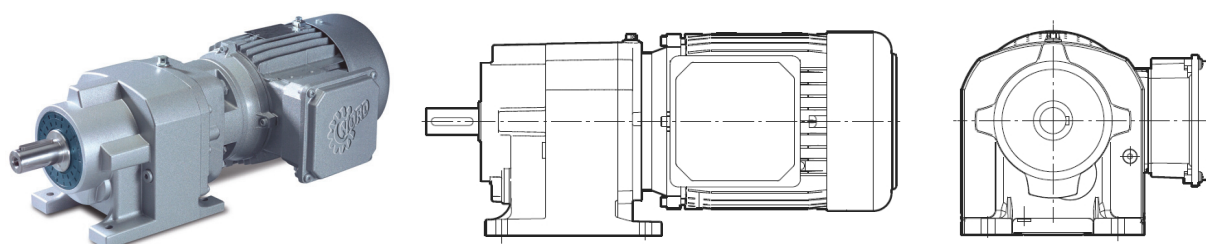
Сл. 3.30.

Величина и положај лежајева код универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord (1) и уобичајени положај лежајева (2) [29]



Сл. 3.31.

Изглед двостепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора SK 072.1 и SK 172.1 произвођача Nord [29]

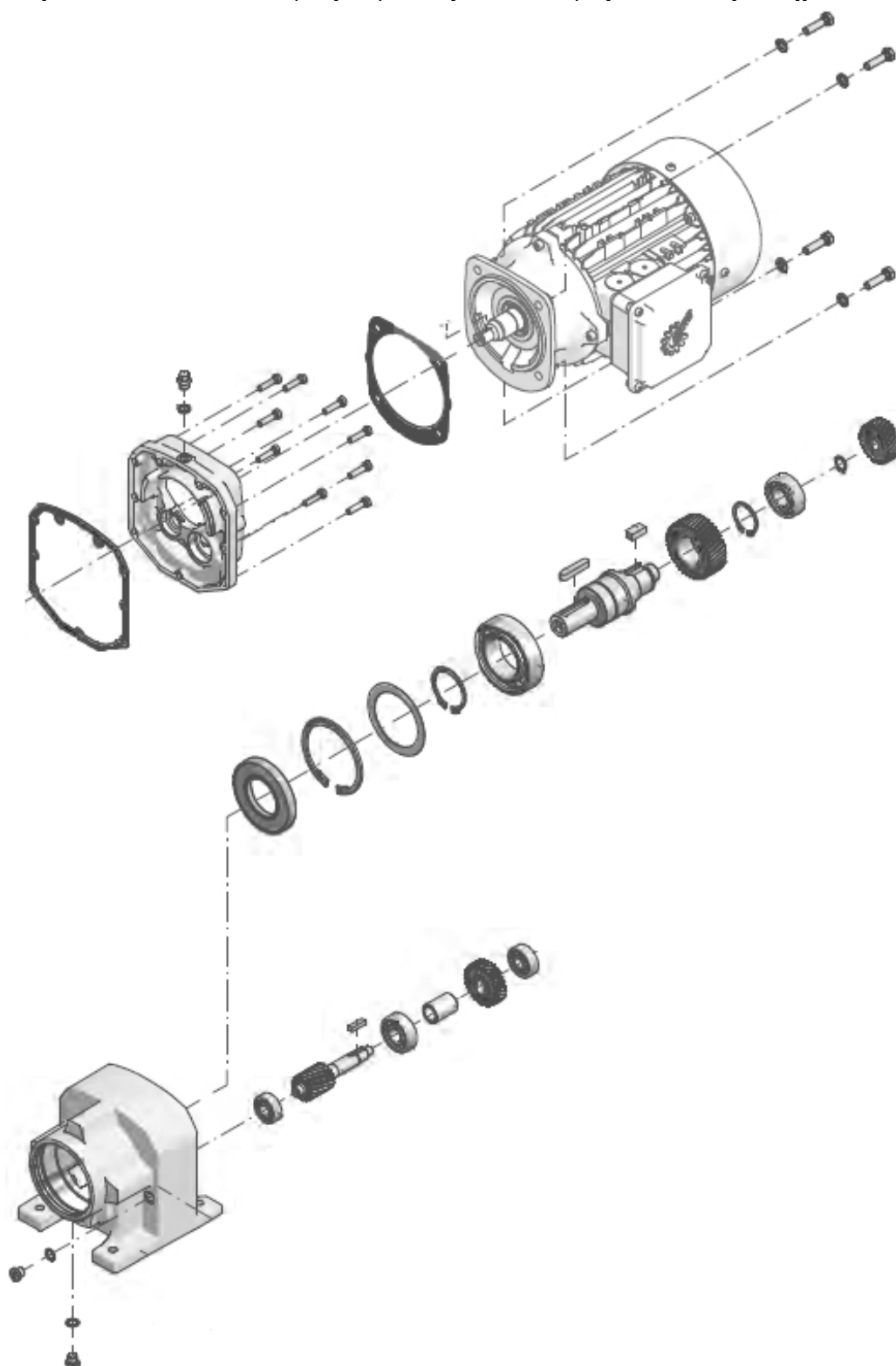


Сл. 3.32.

Изглед двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора SK 372.1 / 373.1 до SK 672.1 / 673.1 произвођача Nord израђен од алуминијумских легура [29]

Пошто не постоји потреба за другим паром зупчаника у брзоходној комори, јер се ови редуктори израђују само као двостепени SK 072.1 и SK 172.1, кућишта ових редуктора краћа су, па су завртњеве за причвршћивање међуплоче постављени на излазној страни редуктора (сл. 3.31), што додатно ограничава пречнике зупчаника унутар кућишта. Завртњеве за причвршћивање

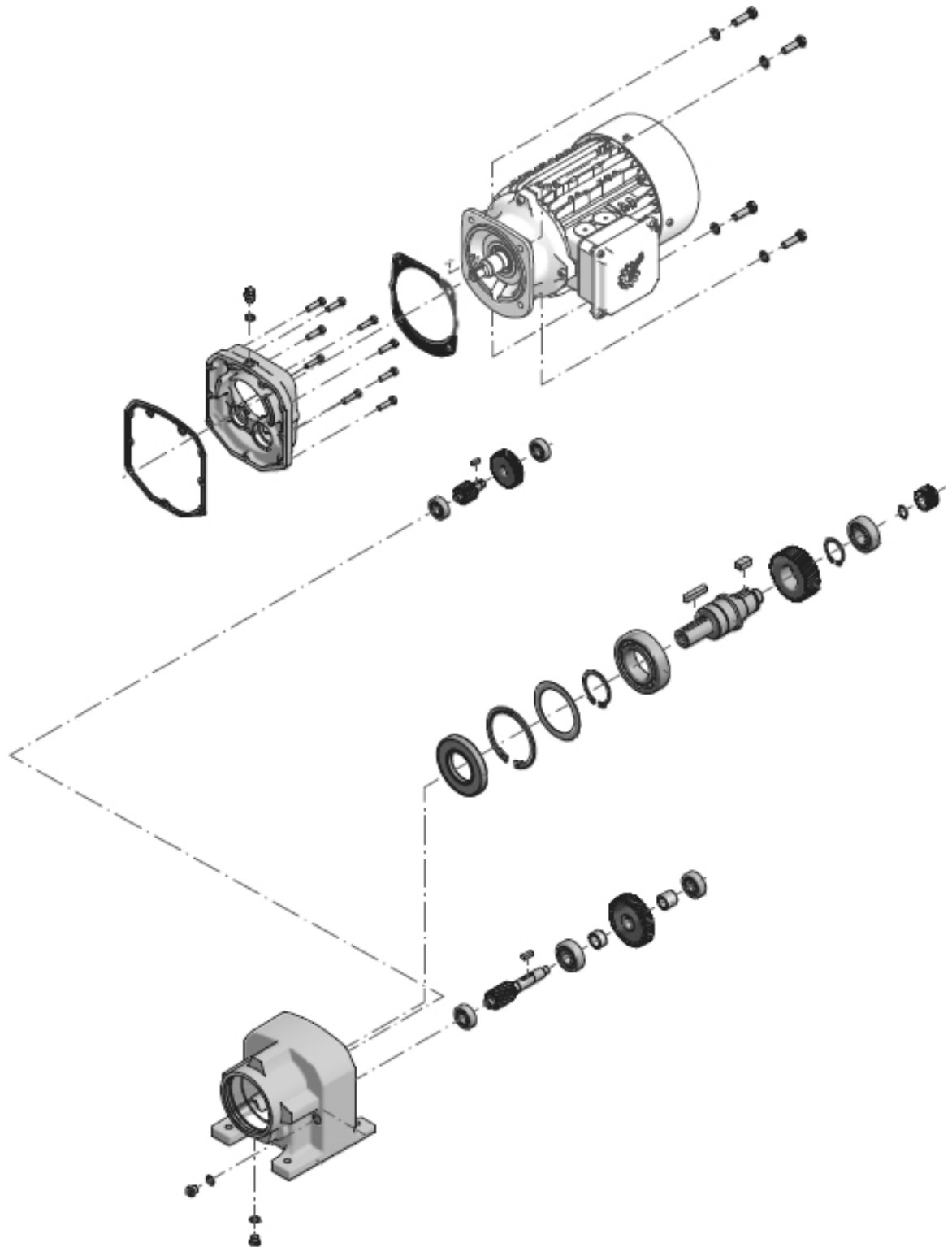
међуплоча код двостепених и тростепених редуктора смештени су са стране мотора (сл. 3.32). Обе ове врсте алуминијумских кућишта доста су широке, тако да немају изражене „стомачиће”, а осна висина на којој је постављен мотор једнака је осној висини излазног вратила. На слици 3.33 приказан је експанзиони цртеж двостепеног, а на сл. 3.34 експанзиони цртеж тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора са кућиштем израђеним од алуминијумских легура.



Сл. 3.33.

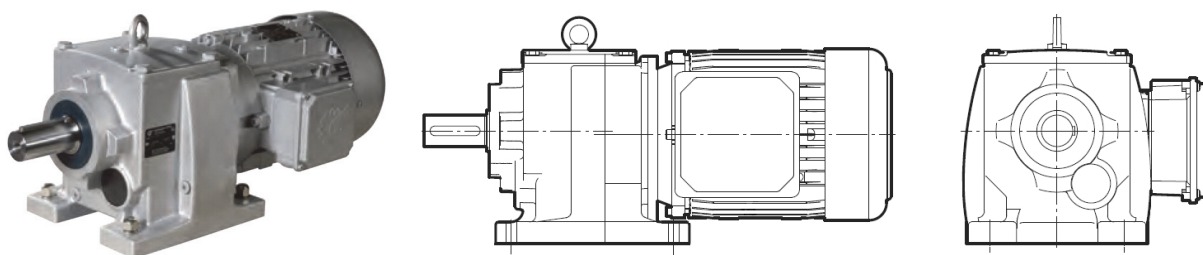
Експанзиони цртеж већег двостепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора SK 072.1 – 672.1 произвођача Nord са кућиштем израђеним од алуминијумских легура [30]

Кућишта двостепених и тростепених редуктора, направљена од алуминијумских легура, немају поклопац са горње стране и концепцијски су дефинисана тако да су то једноделна кућишта са аксијалном монтажом зупчаника, са стране мотора, и међуплочом. Између кућишта и мотора постоји међуплоча која служи као ослонац за десни лежај петог зупчастог вратила, јер је оно и у овој врсти редуктора ослоњено у три лежаја да би се повећала његова крутост.

**Сл. 3.34.**

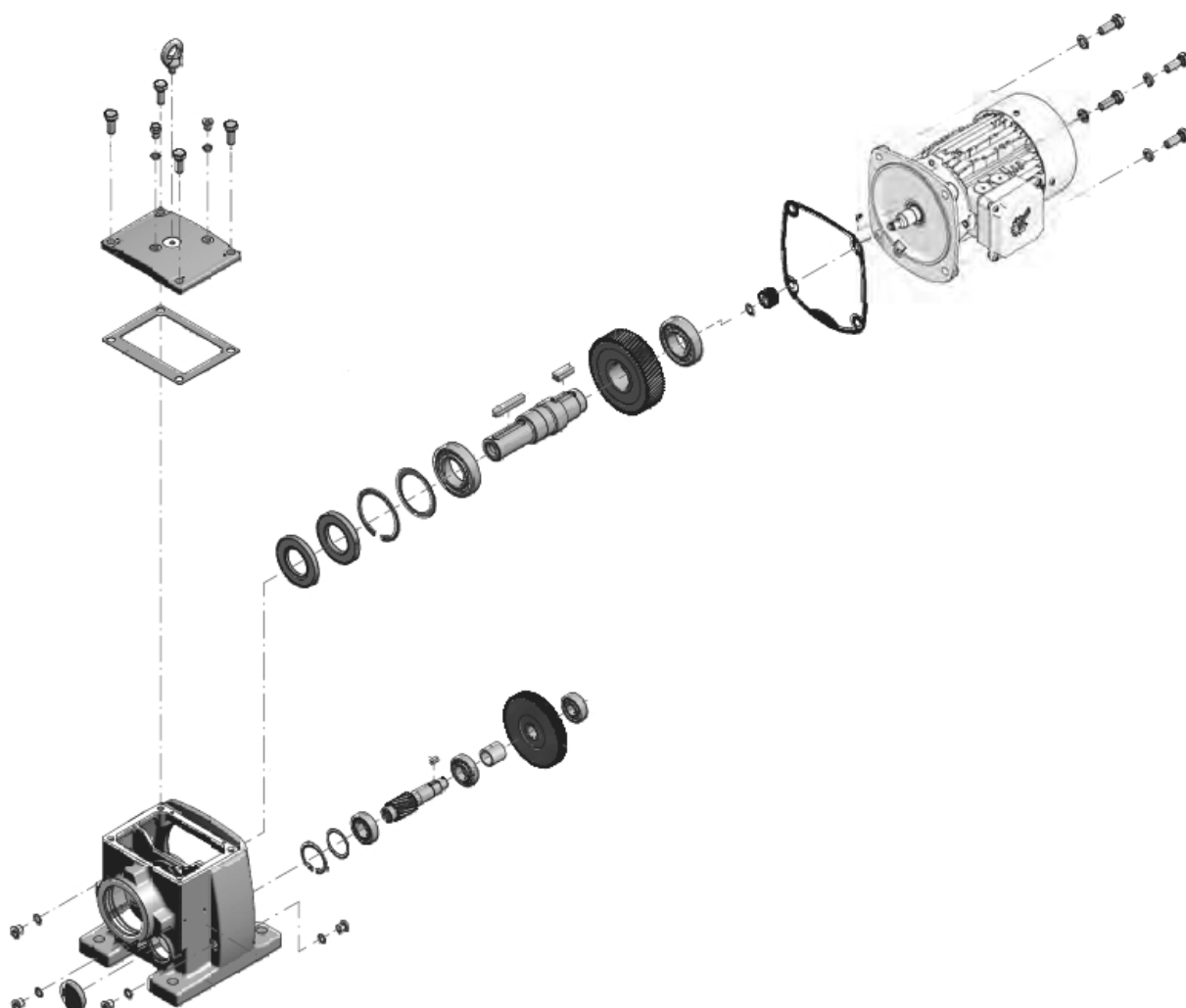
Експанзиони цртеж тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора SK 373.1 – 673.1 произвођача Nord са кућиштем израђеним од алуминијумских легура [30]

Кућишта од сивог лива имају изражен „стомачић” на брзоходној комори, а такође је и осна висина улазног вратила нешто мања од висине излазног вратила (сл. 3.35), што све обезбеђује повећање преносних односа.



Сл. 3.35.

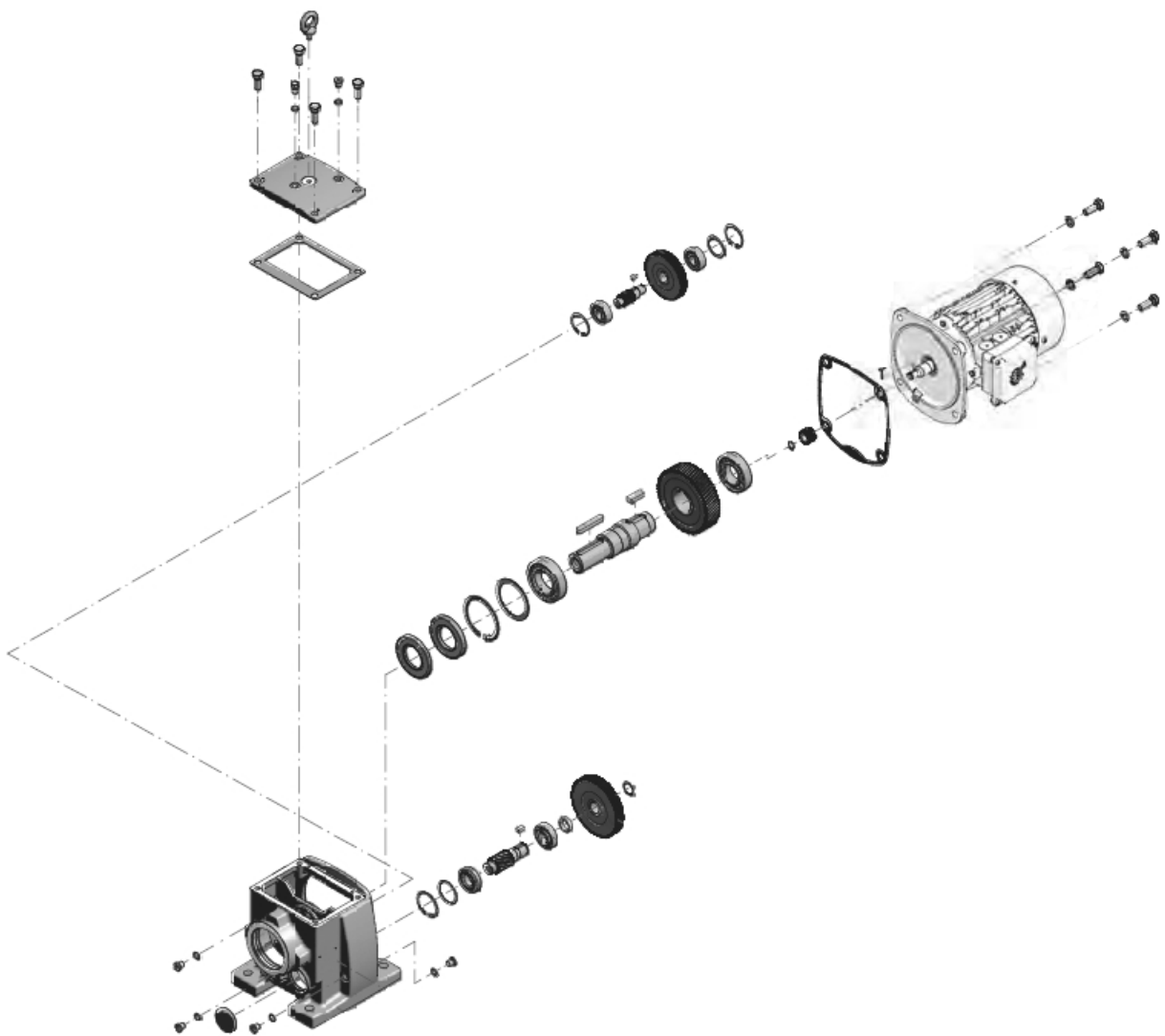
Изглед двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord са кућиштем израђеним од сивог лива [29]



Сл. 3.36.

Експанзиони цртеж двостепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора SK 772.1 – 972.1 произвођача Nord са кућиштем израђеним од сивог лива [30]

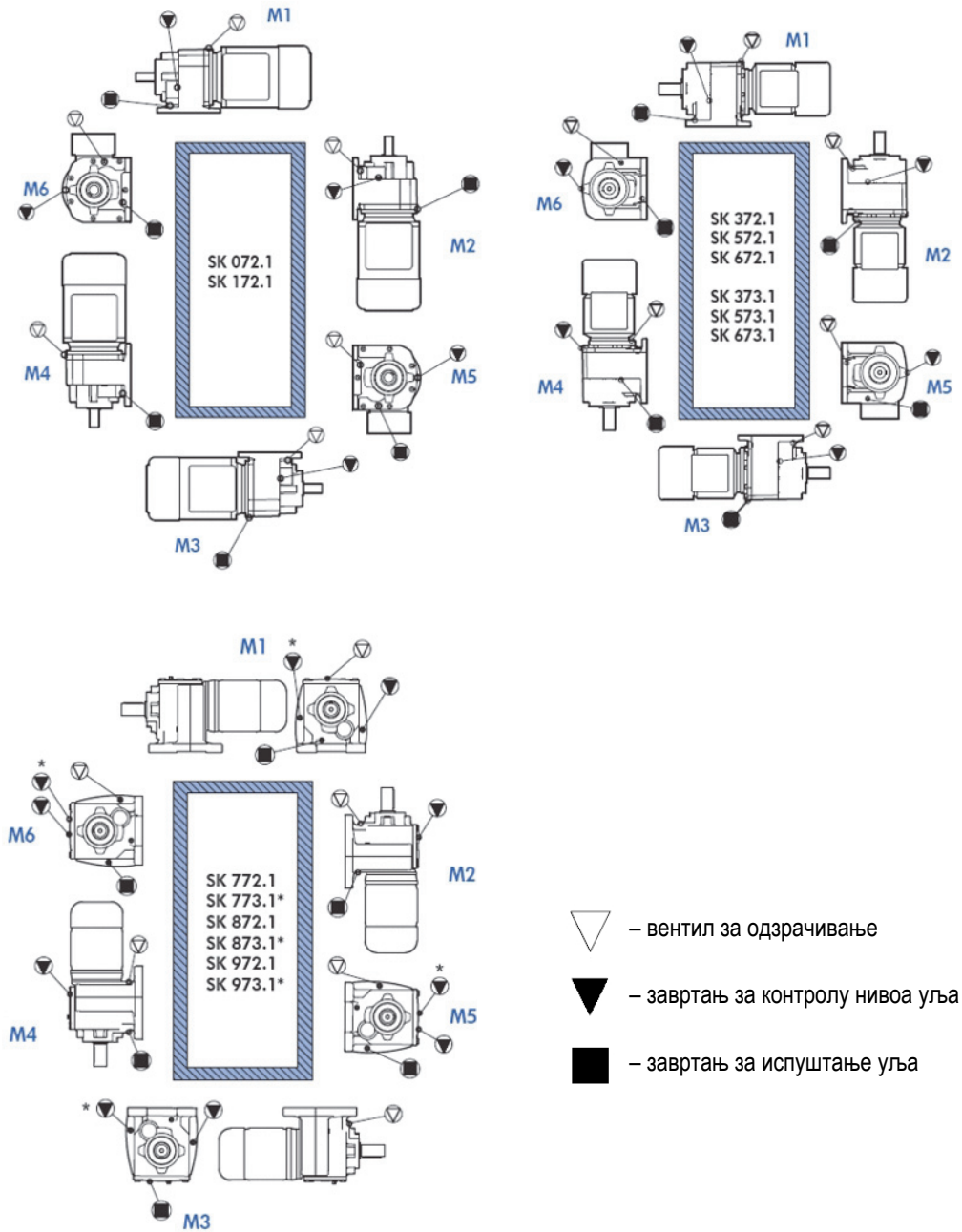
Експанзиони цртежи двостепеног и тростепеног редуктора израђених од сивог лива приказани су на сл. 3.36 и 3.37. Види се да код овог решења нема међуплоче и да је десни лежај зупчастог вратила двостепеног редуктора смештен унутар дела кућишта са стране мотора, што донекле отежава уградњу великих зупчаника. Код тростепеног редуктора ово вратило има само два лежаја. Постоји један заједнички поклопац за брзоходну и спороходну комору, тако да је NORDBLOC.1 кућиште од сивог лива концепцијски изведено као једноделно са радијаксијалном монтажом зупчаника.



Сл. 3.37.

Експанзиони цртеж тростепеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора SK 773.1 – 973.1 произвођача Nord са кућиштем израђеним од сивог лива [30]

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља из кућишта универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord, у зависности од величине и положаја уградње, приказан је на сл. 3.38. Произвођач Nord је и за најмање редукторе обезбедио уградњу ових завртњева за све положаје уградње, чиме је спречио могућност цурења уља.



Сл. 3.38.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту једноступеног, двоступеног и троступеног универзалног зупчастог NORDBLOC.1 редуктора произвођача Nord, у зависности од положаја уградње [28]

3.3.3. фамилија STANDARD универзалних зупчастих редуктора

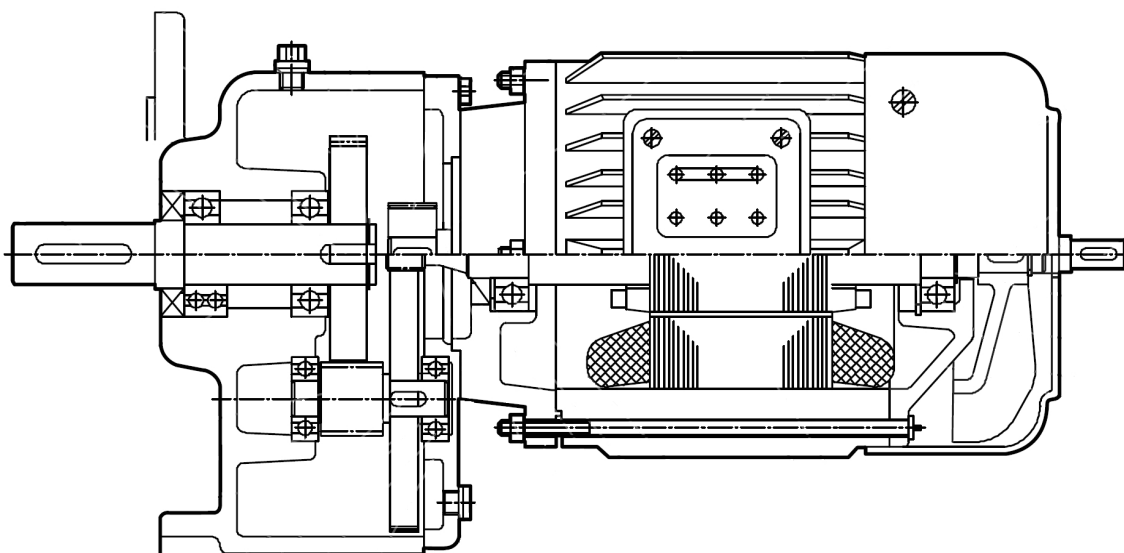
Компанија Nord производи и мање редукторе који немају тако велику носивост као претходне две фамилије редуктора. Ова трећа тзв. STANDARD фамилија редуктора произвођача Nord производи се у шест величина двоступених и пет величина троступених редуктора. Моторни редуктори STANDARD фамилије (сл. 3.39) означавају се на следећи начин:

Ознака SK / величина редуктора и број степени / облик уградње / величина мотора и број полова

док је код безмоторних варијанти (сл. 3.40) означавање следеће:

Ознака SK / величина редуктора и број степени / облик уградње / врста улазног подскопа

где је: **величина редуктора и број степени** – једноцифрена или двоцифрена ознака за двостепени редуктор, или троцифрена ознака за тростепени редуктор (таб. 3.22);
облик уградње – без ознаке - редуктор са стопалима, F - редуктор за монтажу са прирубницом;
врста улазног подскопа – IEC – редуктор са адаптером за монтажу IEC мотора, W - подскоп са улазним вратилом;
величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Nord [27], у зависности од снаге и броја обртаја.



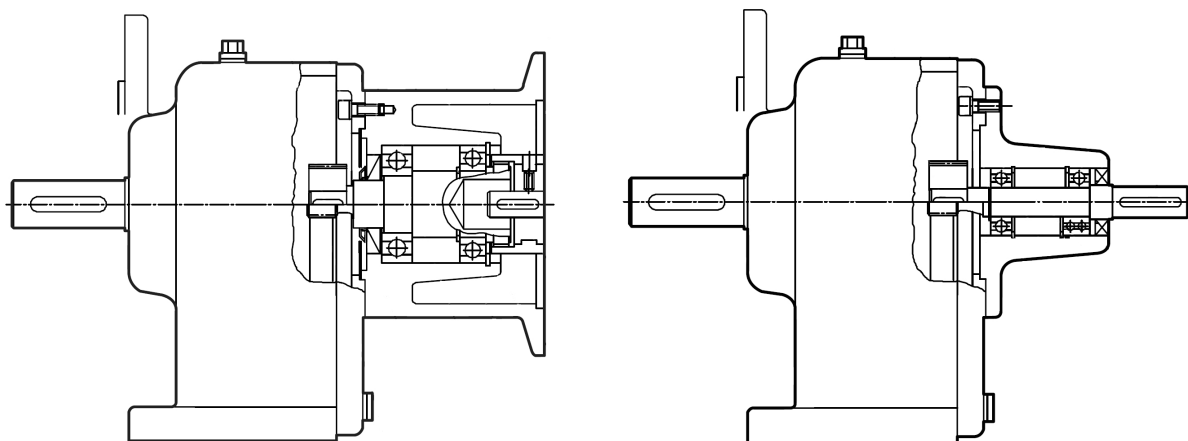
Сл. 3.39.

Попречни пресек двостепеног моторног универзалног зупчастог STANDARD редуктора произвођача Nord [28]

Табела 3.22. Ознаке величина и броја степени двостепених и тростепених STANDARD редуктора произвођача Nord

Осна висина h , mm	86	102	125	130	155	175
Двостепени редуктор	SK 0	SK 01	SK 20	SK 25	SK 30	SK 33
Тростепени редуктор	/	SK 010	SK 200	SK 250	SK 300	SK 330

Поређењем вредности осних висина са вредностима UNICASE фамилије редуктора, може се закључити да су оне исте и да су STANDARD редуктори један од старијих редова редуктора компаније Nord. Ипак, они се и даље налазе у асортиману овог произвођача јер налазе кориснике који су заинтересовани за ове редукторе.

**Сл. 3.40.**

Попречни пресек двостепеног универзалног зупчастог STANDARD редуктора произвођача Nord [28] са адаптером за монтажу IEC мотора (1) и са подскопом са улазним вратилом (2)

Техничке карактеристике двостепених универзалних зупчастих STANDARD редуктора дате су у табели 3.23, а карактеристике тростепених универзалних зупчастих STANDARD редуктора дате су у табели 3.24.

Табела 3.23. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двостепених STANDARD редуктора произвођача Nord [31]

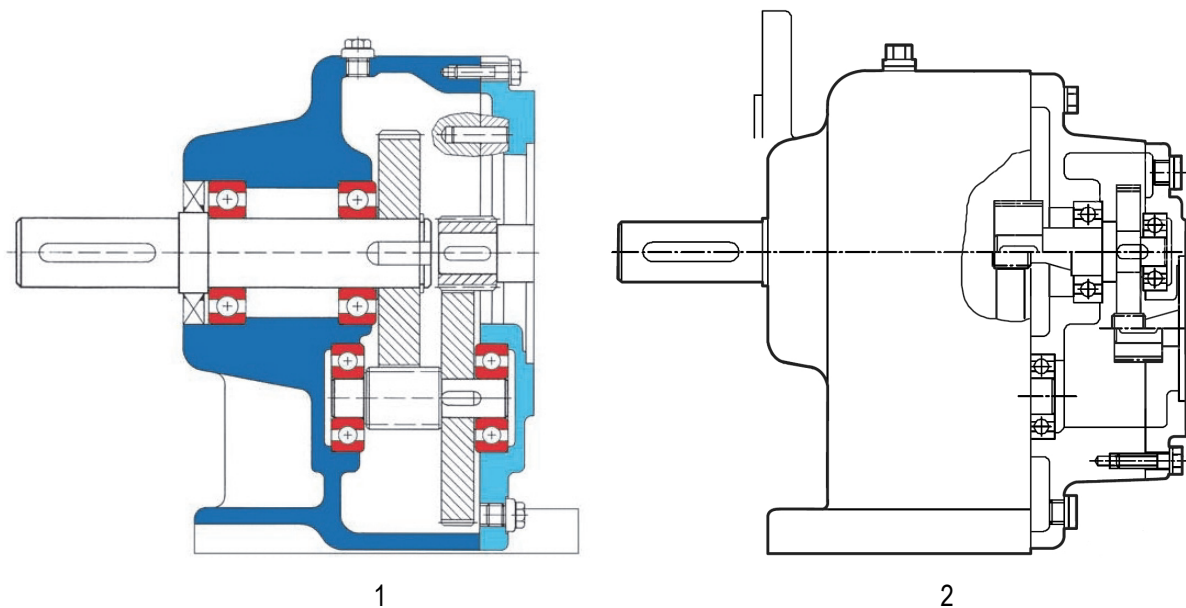
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
86	SK 0	52	70,98	6	0,13
102	SK 01	104	111,61	9,1	0,22
125	SK 20	202	76,5	12,3	0,55
130	SK 25	315	54,23	18	0,5
155	SK 30	382	72,1	20,3	0,7
175	SK33	724	55,78	27,5	0,8

Табела 3.24. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених STANDARD редуктора произвођача Nord [31]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
102	SK 010	101	145,23	12,4	0,38
125	SK 200	198	304,8	19	0,8
130	SK 250	315	425,34	21	1,4
155	SK 300	419	484,62	28	1,4
175	SK330	731	89,63	40	1,5

Једноступени STANDARD редуктори се не производе. Двоступени и троступени STANDARD редуктори производе се у кућишту од сивог лива. Осна висина 86 mm намењена је само за двоступене редукторе (SK 0), док се остале осне висине јављају и код двоступених и код троступених редуктора.

Двоступени редуктори производе се у једнокоморном кућишту са међуплочом у које се монтира лежај за ослањање петог зупчастог вратила (сл. 3.41-1). У оваквом кућишту, други зупчаник се не налази на препусту, док је на препусту постављен излазни, шести зупчаник. Кућиште је, према томе, направљено као једноделно са аксијалном монтажом зупчаника са стране мотора и са међуплочом, док су осна висина улазног и осна висина излазног вратила једнаке.

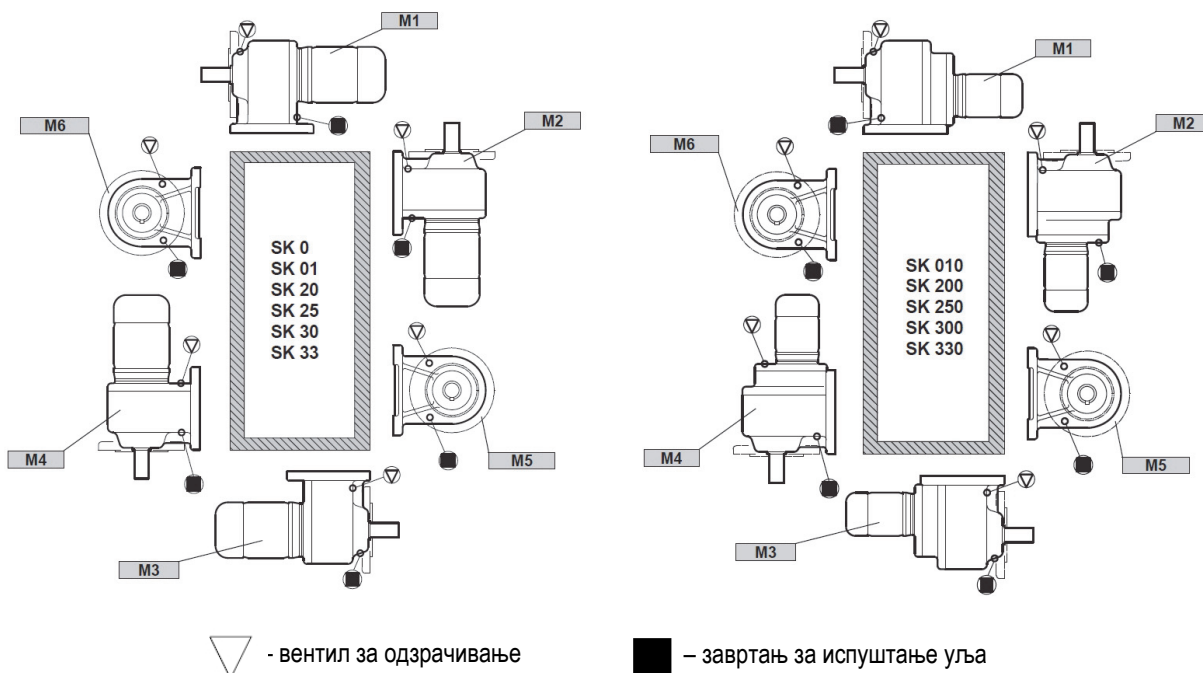


Сл. 3.41.

Попречни пресек двоступеног (1) и троступеног (2) универзалног зупчастог STANDARD редуктора произвођача Nord [28]

Троступени редуктор се добија када се уместо међуплоче на редуктор монтира једноступени редуктор на чијој се улазној страни поставља међуплоча за ослањање вратила са другим и трећим зупчаником (сл. 3.41-2). Трећи зупчаник може бити израђен изједна са вратилом, или као посебан елемент и он се налази на препусту. Троступени редуктори имају две коморе, са првим зупчастим паром у брзоходној комори, а другим и трећим паром у спороходној комори. Кућиште је изведено као дводелно, са аксијалном монтажом зупчаника са стране мотора и међуплочом. Вратило са другим и трећим зупчаником налази се на истој осној висини као и излазно вратило редуктора, тако да је осна висина улазног вратила троступеног моторног STANDARD редуктора много нижа од ове осне висине, и то је један од разлога што се на троступени мотор не могу монтирати већи мотори. Оваква концепција је усвојена јер ниско постављен мотор изазива мање вибрације.

Положај завртњева за одзрачивање и испуштање уља на кућишту универзалног зупчастог редуктора произвођача Nord приказан је на сл. 3.42, у зависности од величине и положаја уградње. Види се да завртњеви за контролу нивоа уља нису постављени на STANDARD редукторима, док се завртњеви за одзрачивање и испуштање уља налазе на редукторима свих величина.

**Сл. 3.42.**

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и испуштање уља на кућишту двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог STANDARD редуктора произвођача Nord, у зависности од положаја уградње [28]

3.4. Универзални зупчасти редуктори произвођача Rossi

Компанија Rossi (Rossi S.p.A., Via Emilia Ovest 915/A, Modena, Italy) једна је од водећих италијанских компанија за производњу механичких преносника. Истичу се две фамилије цилиндричних зупчастих редуктора овог произвођача:

- фамилија редуктора E04;
- фамилија редуктора ES 07.

3.4.1. Фамилија редуктора Rossi E04

Карактеристика редуктора E04 је примена високо универзалних кућишта која су предвиђена за везу са стопалима, или прирубницом или и стопалима и прирубницом (сл. 2.22 и 3.43-3). Изузетак су две најмање осне висине редуктора од 75 и 90 mm са кућиштима која нису универзална, већ се производе искључиво као кућишта са стопалима (сл. 3.43-1) или са прирубницом (сл. 3.43-2). Од осне висине 106 mm компанија Rossi користи високо универзална кућишта на које се лако може монтирати прирубница и тако везати за радну машину, на улазном делу може монтирати међуплоча са мотором, или улазним вратилом, или адаптер са неком спојницом, или се погонска машина веома лако преко завртњева може везати на горњи део кућишта (сл. 2.12 и 3.43-3).

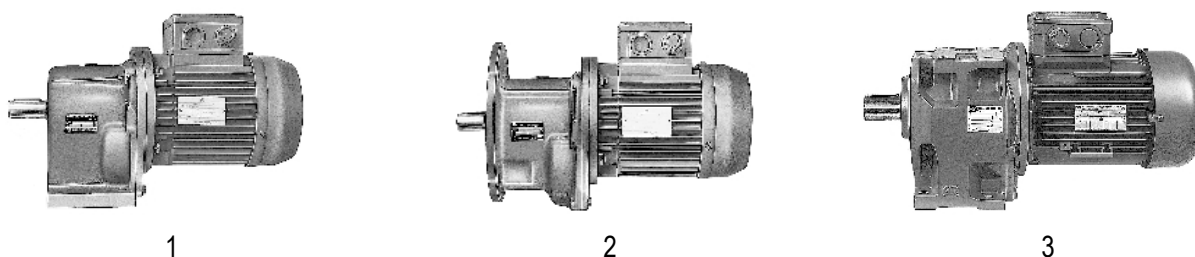
Компанија Rossi означава своје моторне редукторе на следећи начин [13]:

Ознака „MR” / број степени / величина редуктора / облик уградње / величина мотора и број полова

док је код безмоторних варијанти означавање следеће [13]:

Ознака „R” / број степени / величина редуктора / облик уградње / преносни однос

где је: **број степени** – 2l - за двостепени редуктор, 3l - за тростепени редуктор;
величина редуктора – број који дефинише осну висину редуктора;



Сл. 3.43.

Двостепени и тростепени редуктор осне висине 75 и 90 mm са стопалима (1), двостепени и тростепени редуктор осне висине 75 и 90 mm са прирубницом (2) и двостепени и тростепени редуктор са високо универзалним кућиштем (3) (решење компаније Rossi) [13]

Табела 3.25. Ознаке величина које дефинишу висину двостепених и тростепених редуктора фамилије E04, произвођача Rossi [13]

Осна висина h , mm	75	90	106	132	160	195	236	250	295	315
Ознаке двостепених и тростепених редуктора	32	40 41	50 51	63 64	80 81	100 101	125 126	140	160	180

облик уградње – U – универзални редуктор (величине 50 до 180), P – редуктор са стопалима (величине 32 до 41), F - редуктор са прирубницом (величине 32 до 41);

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу редуктора произвођача Rossi [13], у зависности од снаге и броја обртаја;

преносни однос – величина преносног односа одговарајућег безмоторног зупчастог редуктора.

Компанија Rossi не производи једноступене редукторе, па за мале преносне односе нуди двоступене редукторе. За двоступене и троступене редукторе користе се иста кућишта. Без обзира што претходно наведени произвођачи иду на неке уобичајене осне висине које, међутим, нису званично стандардизоване, компанија Rossi производи редукторе осних висина између оних које се уобичајено појављују код осталих произвођача. Тако на пример, постоји осна висина 106 mm, између уобичајених 90 и 115 mm, 132 mm, између 130 и 140 mm, 160 mm, између 140 и 180 mm, 195 mm, између 180 и 225 mm, 236 mm, између 225 и 250 mm. За све ове осне висине произвођач Rossi нуди по два сета зупчаника и тако за исту осну висину постиже и велику носивост и велики преносни однос.

Техничке карактеристике двоступеног зупчастог редуктора дате су у табели 3.26, а троступеног у табели 3.27.

Компанија Rossi не користи специјалне електромоторе већ, што је посебно интересантно, уграђује стандардне IEC електромоторе на универзалне зупчасте редукторе. Између кућишта и електромотора овај произвођач поставља међуплочу на коју се монтира електромотор.

Табела 3.26. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двостепених E04 редуктора произвођача Rossi [13]

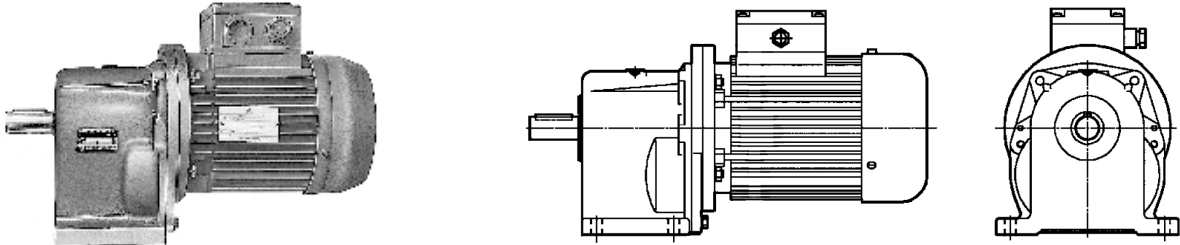
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
75	MR 2I 32	33,3	13,5	3,7	0,14
90	MR 2I 40	75	22,1	7	0,26
90	MR 2I 41	74	13,3	7	0,26
106	MR 2I 50	143	22,3	12,5	0,8
106	MR 2I 51	200	18,3	12,5	0,8
132	MR 2I 63	302	24,3	20	1,6
132	MR 2I 64	401	19	20	1,6
160	MR 2I 80	650	24,5	34,6	3,1
160	MR 2I 81	730	20,1	34,6	3,1
195	MR 2I 100	1100	23,4	61,5	5,6
195	MR 2I 101	1230	19,3	61,5	5,6
236	MR 2I 125	2280	24,3	109	10,2
236	MR 2I 126	2560	19	109	10,2
250	MR 2I 140	3010	19	120	11,6
295	MR 2I 160	4690	19	180	19,6
315	MR 2I 180	5160	19,5	200	23

Табела 3.27. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених E04 редуктора произвођача Rossi [13]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
75	MR 3I 32	37,3	47,5	3,7	0,14
90	MR 3I 40	88	92,8	7	0,26
90	MR 3I 41	98	74,4	7	0,26
106	MR 3I 50	160	130	12,5	0,8
106	MR 3I 51	224	107	12,5	0,8
132	MR 3I 63	335	142	20	1,6
132	MR 3I 64	450	111	20	1,6
160	MR 3I 80	670	154	34,6	3,1
160	MR 3I 81	900	126	34,6	3,1
195	MR 3I 100	1320	144	61,5	5,6
195	MR 3I 101	1800	118	61,5	5,6
236	MR 3I 125	2650	150	109	10,2
236	MR 3I 126	3550	117	109	10,2
250	MR 3I 140	5000	117	120	11,6
295	MR 3I 160	7100	119	180	19,6
315	MR 3I 180	10000	123	200	23

Сва кућишта редуктора направљена су од сивог лива. Кућишта малих редуктора, осне висине 75 и 90 mm, нису сасвим (или у потпуности) универзална и карактеристична су по облим

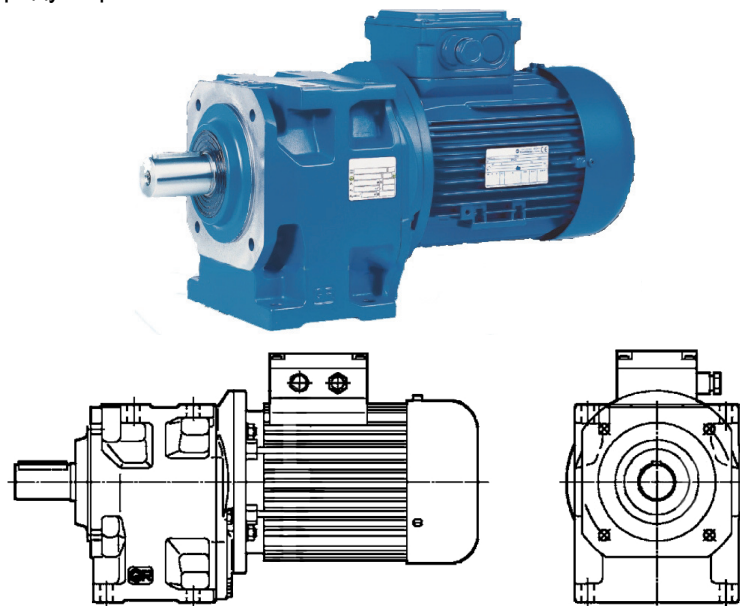
површинама (сл. 3.44). Пето зупчasto вратило ових редуктора улежиштено је са два лежаја, и са четвртим зупчаником на препусту. На кућишту овог редуктора истичу се „стомачићи” на брзоходној комори како би могли да се ставе већи зупчаници и тако повећа преносни однос. Концептуално решење овог кућишта је да је оно направљено као једноделно са међуплочом и аксијалном монтажом зупчаника са стране мотора.



Сл. 3.44.

Изглед двостепеног и тростепеног редуктора са делимично универзалним кућиштем, осне висине 75 и 90 mm (решење компаније Rossi) [13]

Кућишта осталих редуктора високо су универзална, са могућношћу уградње прирубница, мањих редуктора и других улазних подсклопова, па је због тога облик редуктора четвртаст са отворима и шупљинама за завртње (сл. 3.45). Осна висина улазног вратила поклапа се са осном висином излазног вратила редуктора.

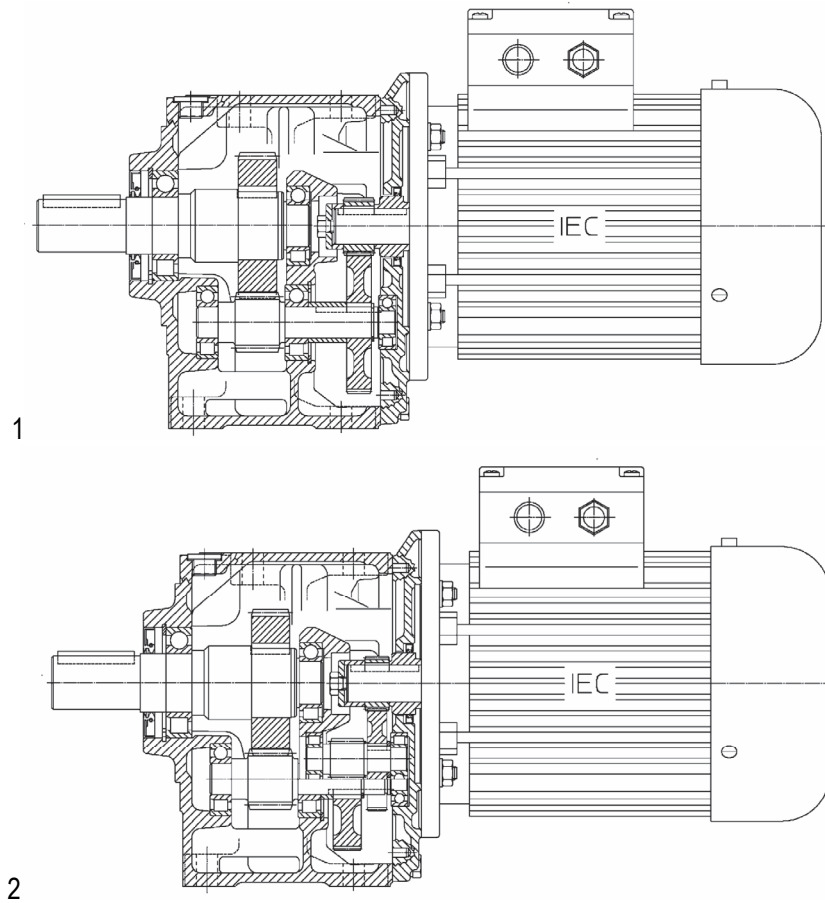


Сл. 3.45.

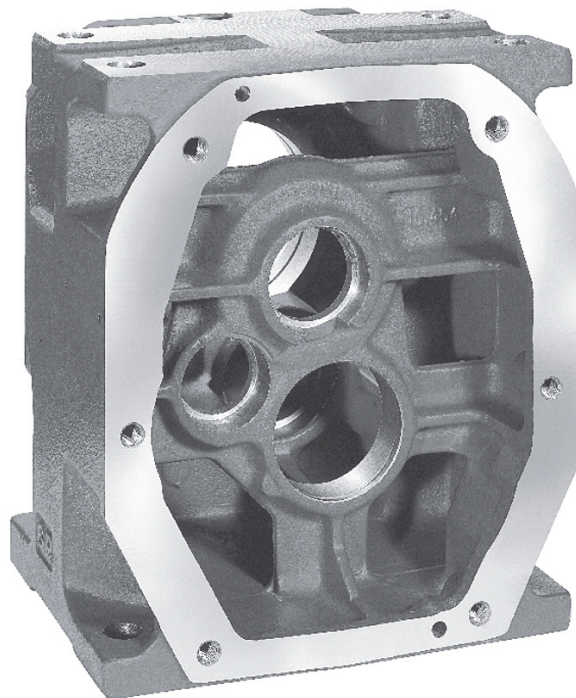
Изглед двостепеног и тростепеног редуктора са високо универзалним кућиштем, осне висине од 106 до 315 mm (решење компаније Rossi) [13]

Ово високо универзално кућиште патентирано је од стране произвођача Rossi [13]. Кућиште је четвртасто са равним странама, шупљинама и отворима за постављање завртњева. Иако она споља изгледају исто, постоји разлика између кућишта осне висине 195 mm и кућишта са осном висином 236 mm и више.

Кућиште редуктора до 195 mm осне висине концептуално је решено као једноделно са нижим средњим зидом и међуплочом и са аксијалном монтажом зупчаника са стране мотора. Ово ограничава преносни однос, односно пречник зупчаника који се уграђују, јер се зупчаник мора провући кроз отвор на кућишту са стране мотора и кроз отвор на средњем зиду (сл. 3.46 и 3.47). Пето зупчasto вратило улежиштено је са три лежаја, од којих се један налази у међуплочу.

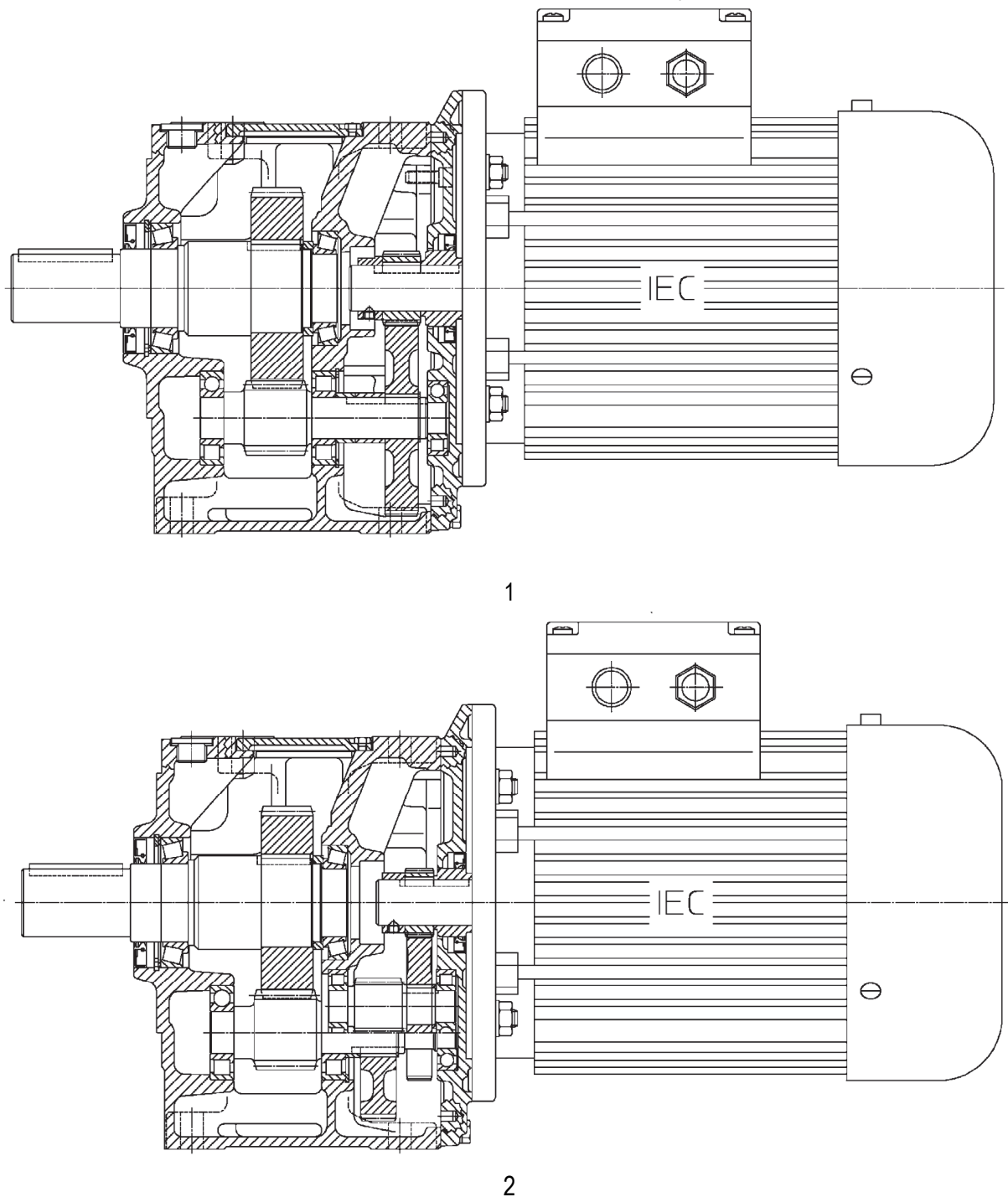
**Сл. 3.46.**

Попречни пресек двостепеног (1) и тростепеног редуктора (2) са високо универзалним кућиштем, осне висине од 106 до 195 mm (решење компаније Rossi) [13]

**Сл. 3.47.**

Изглед високо универзалног кућишта, осне висине од 106 до 195 mm (решење компаније Rossi) [13]

Кућиште редуктора, осне висине 236 mm и већих, концептуално је решено као једноделно са међуплочом и поклопцем на спороходној комори, тако да је монтажа зупчаника радиаксијална са стране мотора и кроз поклопац на спороходној комори (сл. 3.48).

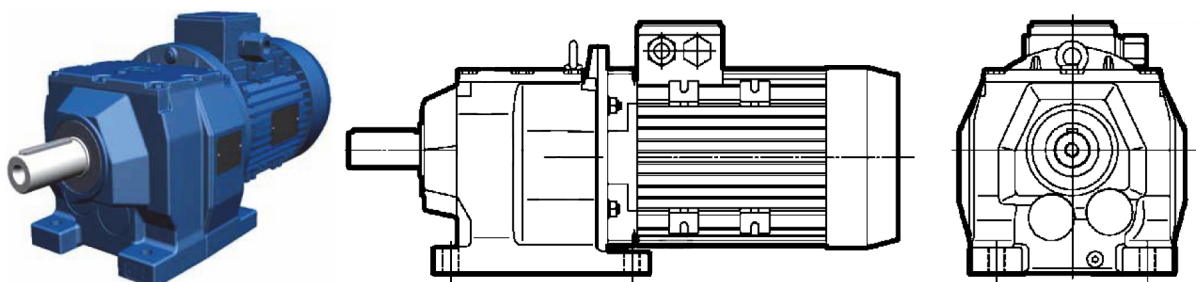


Сл. 3.48.

Попречни пресек двостепеног (1) и тростепеног (2) редуктора са високо универзалним кућиштем, осне висине 236 mm и више (решење компаније Rossi) [13]

3.4.2. фамилија редуктора Rossi ES07 (STANDARDFIT)

Ова фамилија моторних редуктора (сл. 3.49) израђује се искључиво са стопалима, углавном мањих осних висина које и остали произвођачи редуктора најчешће производе [32]. Карактеристика ових редуктора су велики излазни обртни моменти са којим могу да конкуришу осталим произвођачима редуктора, затим једноделно, чврсто и прецизно обрађено кућиште које није високо универзално као код фамилије E04, а користи се исто кућиште и за двостепене и за тростепене редукторе. Произвођач још истиче велику поузданост, квалитет, мали шум и могућност излазног вратила да се оптерети великим радијалним и аксијалним силама.



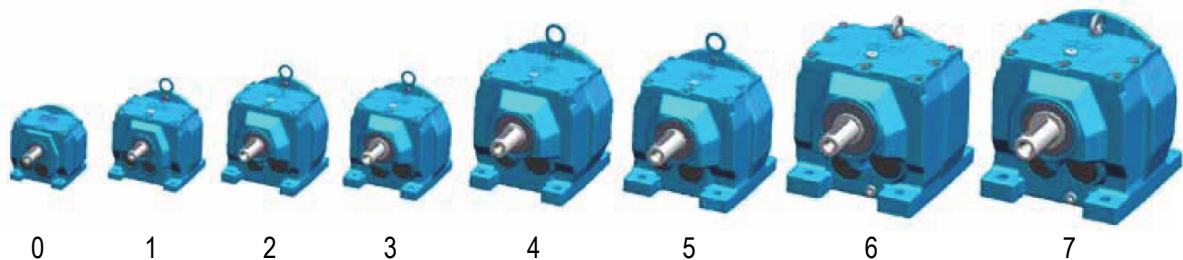
Сл. 3.49.

Изглед двостепеног и тростепеног редуктора ES07 (решење компаније Rossi) [32]

Компанија Rossi ове моторне редукторе ознаке ES07 означава на следећи начин [32]:

Ознака „MR” / број степени / величина редуктора / врста мотора / величина мотора и број полова / излазна брзина

где је: **број степени** – 2I - за двостепени редуктор, 3I - за тростепени редуктор;
величина редуктора – број од 0 до 7 који дефинише осну висину редуктора (сл. 3.50, таб. 3.28);



Сл. 3.50.

Величине редуктора фамилије ES07 (решење компаније Rossi) [32]

Табела 3.28. Ознаке величина која дефинишу висину двостепених и тростепених редуктора фамилије ES07, произвођача Rossi [32]

Осна висина <i>h</i> , mm	65	75	90	90	115	115	130	140
Ознаке двостепених и тростепених редуктора	0	1	2	3	4	5	6	7

врста мотора – HF - обичан асинхрони трофазни мотор, F0 - мотор са кочницом;
величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу редуктора произвођача Rossi [13], у зависности од снаге и броја обртаја;
излазни број обртаја – број обртаја излазног вратила редуктора у min^{-1} .

Компанија Rossi не производи једностепене STANDARDFIT редукторе. Најмања осна висина двостепених и тростепених редуктора је 65 mm, а највећа је 140 mm. У овом интервалу осних висина компанија Rossi обезбеђује најчешће тражене осне висине које имају и велики произвођачи SEW и Siemens-Flender, при чему за осне висине 90 и 115 mm нуде два сета зупчаника. Кућишта су израђена од сивог лива, једноделна су, без одвојиве међуплоче, са горњим заједничким поклопцем и за брзоходну и за спороходну комору, а стандардни IEC мотор се директно везује за кућиште.

Техничке карактеристике двостепених зупчастих редуктора дате су у табели 3.29, а тростепених у табели 3.30.

Табела 3.29. Техничке карактеристике универзалних зупчастих двостепених ES07 редуктора произвођача Rossi [32]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{\max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
65	MR 2I 0	39,8	15,5	5,2	0,2
75	MR 2I 1	71	22,3	5,7	0,4
90	MR 2I 2	156	28,9	8,7	0,6
90	MR 2I 3	195	31,1	9,1	0,6
115	MR 2I 4	286	31,4	18	1,2
115	MR 2I 5	398	23,4	19	1,2
130	MR 2I 6	574	25,3	31,6	1,9
140	MR 2I 7	756	22,5	37,5	2,3

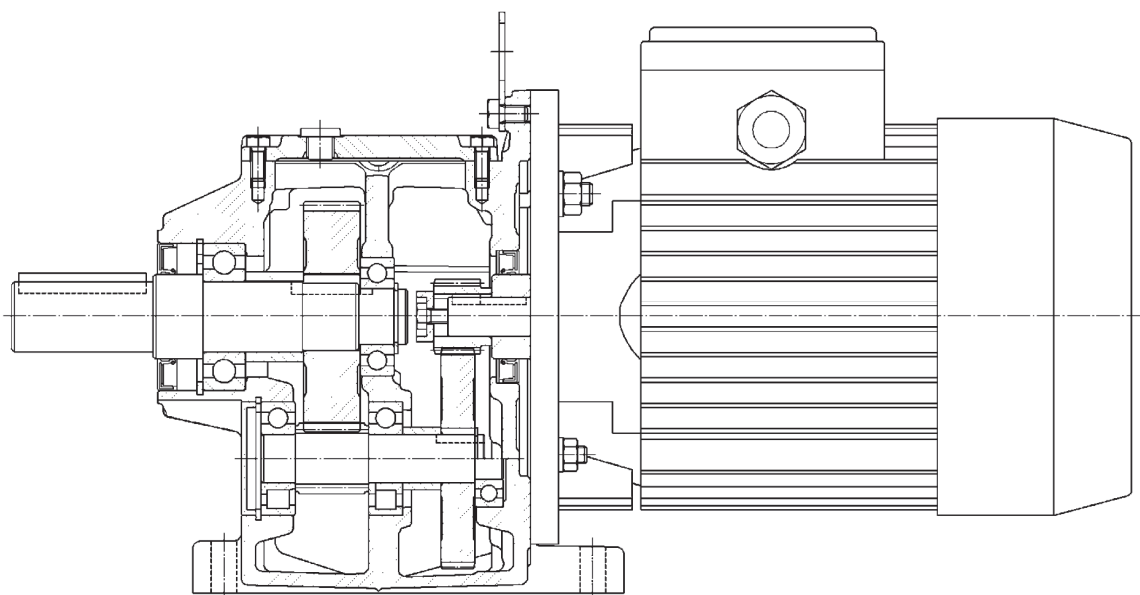
Табела 3.30. Техничке карактеристике универзалних зупчастих тростепених ES07 редуктора произвођача Rossi [32]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{\max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
65	MR 3I 0	56	58,3	5,3	0,2
75	MR 3I 1	95	84,1	6,1	0,4
90	MR 3I 2	155	126	9,1	0,6
90	MR 3I 3	230	136	9,5	0,6
115	MR 3I 4	350	181	19	1,2
115	MR 3I 5	500	178	20	1,2
130	MR 3I 6	700	201	33	1,9
140	MR 3I 7	920	194	37,5	2,3

За STANDARDFIT редукторе се везују стандардни IEC мотори мањих снага. Највећа снага електромотора за двостепене редукторе је 11 kW, а за тростепене редукторе 5,5 kW.

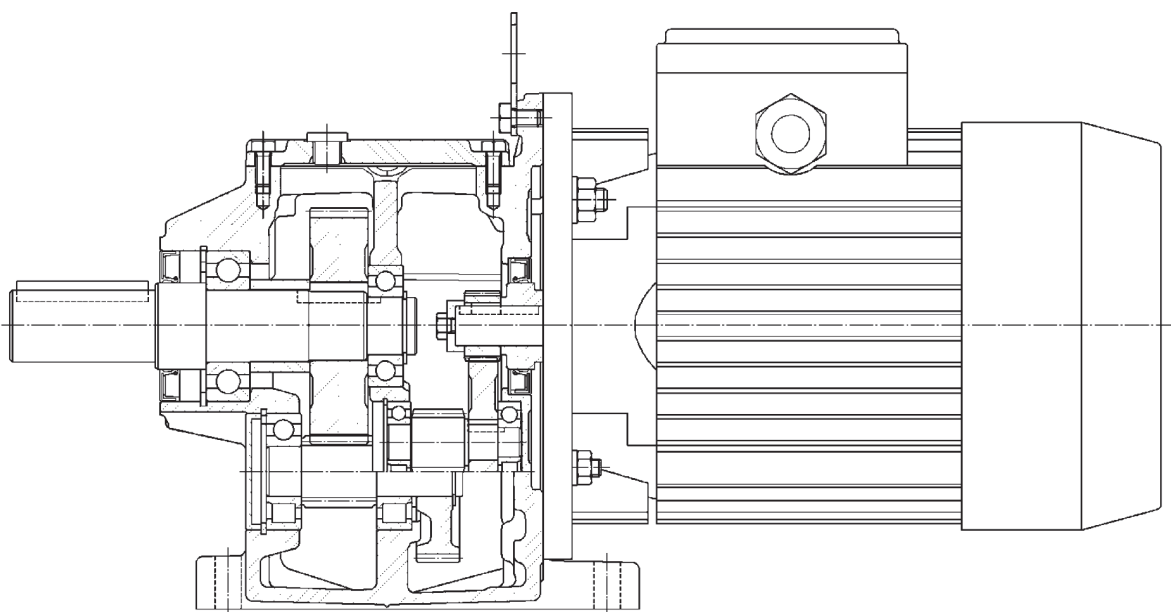
Кућишта свих STANDARDFIT редуктора споља су једнака. Једина разлика је што је пето зупчasto вратило код двостепеног редуктора величине 5, 6, и 7 ослоњено на три лежаја (сл. 3.51), што

обезбеђује боље услове за спрезање зубаца, јер нема зупчаника на препусту, а утиче и на повећање крутости и носивости вратила, као и на смањење шума редуктора. Код осталих двостепених и свих тростепених редуктора пето зупчasto вратило има четврти зупчаник на препусту (сл. 3.52).



Сл. 3.51.

Попречни пресек двостепеног моторног STANDARDFIT редуктора (решење компаније Rossi) [13]



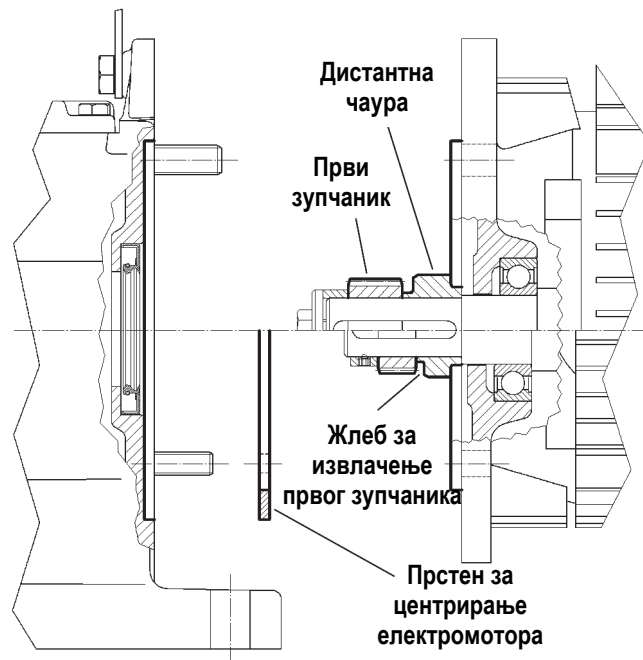
Сл. 3.52.

Попречни пресек тростепеног моторног STANDARDFIT редуктора (решење компаније Rossi) [13]

Пошто су кућишта једноделна, без међуплоче према електромотору, монтажа зупчаника и вратила у кућиште је радиаксијална кроз горњи поклопац брзоходне и спороходне коморе и са

стране излазног вратила. Концепција и облик кућишта донекле подсећају на решење кућишта редуктора које производи компанија SEW.

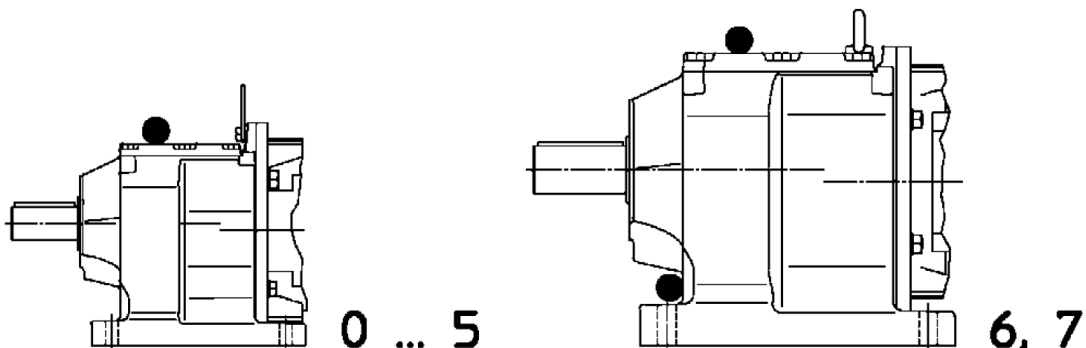
Пошто на кућишту не постоји међуплоча за монтажу стандардних IEC мотора, положај првог зупчаника у редуктору дефинисан је дистантном чауром (сл. 3.53).



Сл. 3.53.

Монтажа првог зупчаника на вратило електромотора двостепеног односно тростепеног зупчастог STANDARDFIT редуктора произвођача Rossi [32]

Подмазивање зупчаника врши се синтетичким уљем које произвођач, у зависности од положаја уградње, улива у кућиште редуктора. Замена уља код мањих редуктора није предвиђена јер произвођач сматра да она могу да врше неограничено подмазивање, па се на кућиштима универзалног зупчастог редуктора величине од 0 до 5 налази само завртањ за одзрачивање, а код кућишта редуктора величине 6 и 7 налази се завртањ за одзрачивање (који се користи и за уливање уља) и испуштање уља (сл. 3.54).



Сл. 3.54.

Положаји завртњева за одзрачивање и испуштање уља на кућишту двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог STANDARDFIT редуктора произвођача Rossi у зависности од осне висине [32]

3.5. Универзални зупчасти редуктори произвођача Lenze

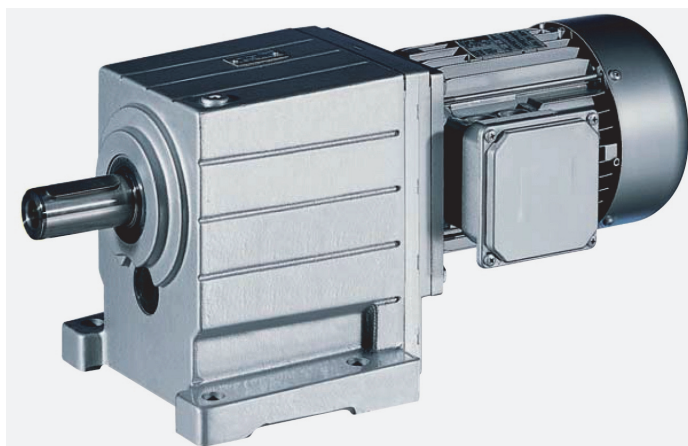
Компанија Lenze (Lenze Vertrieb GmbH, Ludwig-Erhard-Straße 52-56, Reutlingen, Germany) је једна од водећих немачких компанија за производњу механичких преносника. Она производи две фамилије цилиндричних зупчастих редуктора:

- фамилија моторних GST редуктора из групе G-motion редуктора ($P_{1\max} = 45 \text{ kW}$, $T_{2\max} = 7100 \text{ Nm}$) и
- фамилија зупчастих редуктора MultiMount ($P_{1\max} = 2,2 \text{ kW}$, $T_{2\max} = 460 \text{ Nm}$).

3.5.1. Фамилија Lenze GST редуктора

Моторни Lenze GST редуктори су редуктори са цилиндричним зупчаницима и они, заједно са осталим врстама редуктора (редукторима са паралелним вратилима, конусним и пужним), припадају великој G-motion групи Lenze преносника. Карактеристика ове G-motion групе редуктора је да су то редуктори са усавршеним модуларним принципом склапања, високим степеном искоришћења, са великом компактностју и великим искоришћењем простора у кућишту.

Моторни GST редуктори са цилиндричним зупчаницима израђују се као једностепени, двостепени и тростепени редуктори. Препознатљиви су по својим равним површинама и подсећају на неки квадар или блок на који је монтиран мотор (сл. 3.55).



Сл. 3.55.

Изглед моторног GST редуктора (решење компаније Lenze) [33]

Компанија Lenze означава своје моторне редукторе на следећи начин (сл. 3.56) [33]:

Ознака „GST” / величина редуктора / број степени / врста мотора / начин уградње / величина мотора и број полова

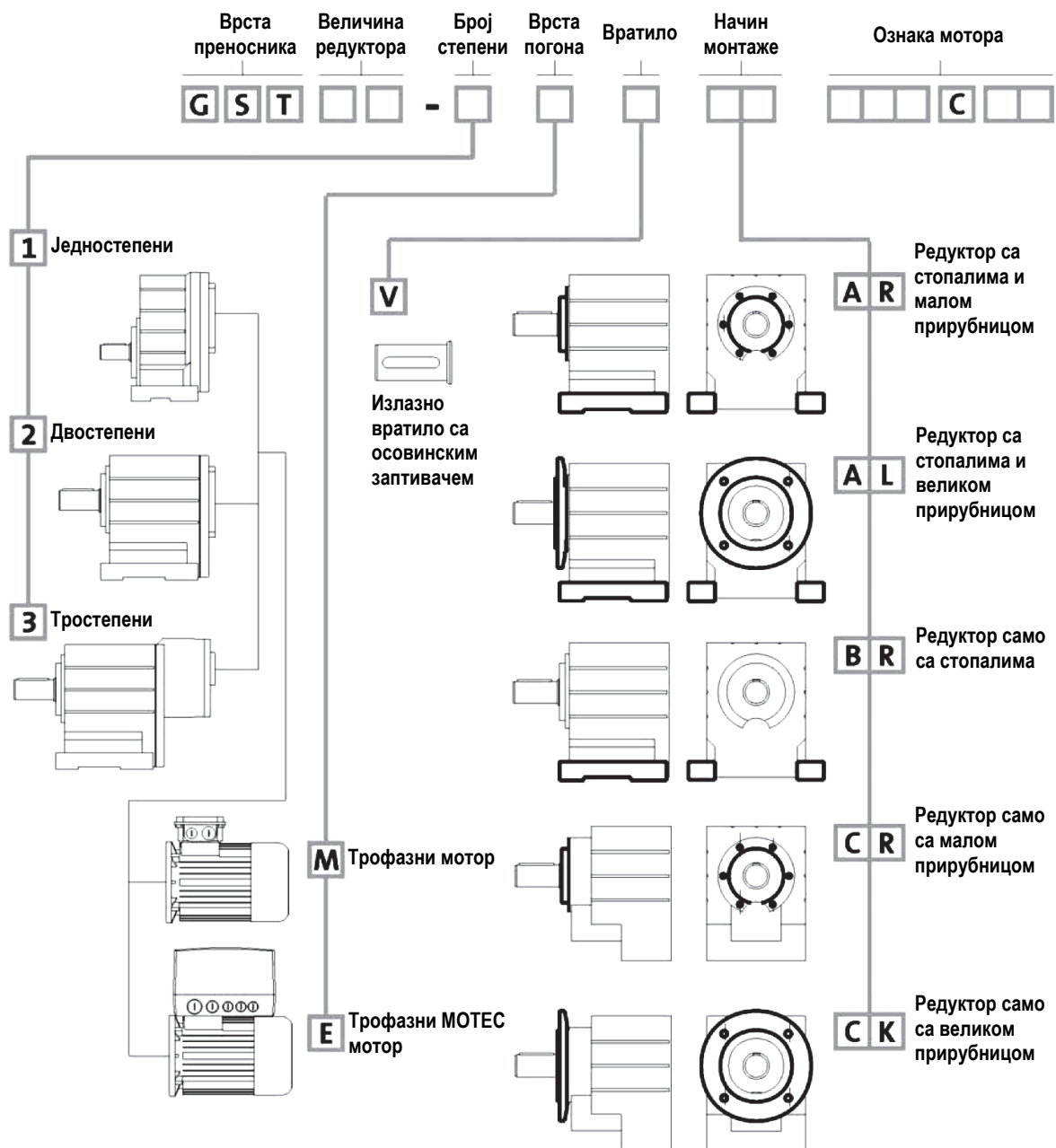
где је: **величина редуктора** – број који дефинише осну висину редуктора (таб. 3.31 и 3.32);

Табела 3.31. Ознаке величина које дефинишу висину једностепених редуктора фамилије GST редуктора, произвођача Lenze [33]

Осна висина h , mm	50	63	80	100	125
Ознаке једностепених редуктора	GST04	GST05	GST06	GST07	GST09

Табела 3.32. Ознаке величина двостепених и тростепених редуктора фамилије GST редуктора, произвођача Lenze [33]

Осна висина <i>h</i> , mm	65	80	100	125	160	200	250	315
Двостепени редуктор	GST03	GST04	GST05	GST06	GST07	GST09	GST11	GST14
Тростепени редуктор	-	-	GST05	GST06	GST07	GST09	GST11	GST14



Сл. 3.56.

Означавање моторног GST редуктора произвођача Lenze [33]

број степени – 1 - за једноstepени редуктор, 2 - за двоstepени редуктор, 3 - за тростепени редуктор;

врста мотора – М - уобичајени трофазни мотор, Е - трофазни MOTEC мотор;

начин уградње – сви GST редуктори имају ознаку V, што значи да имају излазно вратило, и у зависности од начина монтаже имају следеће ознаке: AR - редуктор са стопалима и малом прирубницом, AL - редуктор са стопалима и великом прирубницом, BR - редуктор само са стопалима, CR - редуктор само са малом прирубницом, СК - редуктор само са великом прирубницом;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу редуктора произвођача Lenze [34], у зависности од снаге и броја обртаја.

Може се закључити да GST редуктори произвођача Lenze имају углавном исте оне висине као и редуктори произвођача SEW или Siemens-Flender, једино се уводи још и осна висина 200 mm. Такође, компанија Lenze прави и најмањи једноstepени редуктор осне висине 50 mm, за разлику од компанија Siemens-Flender и NORD чији је најмањи редуктор осне висине 56 mm.

Техничке карактеристике једноstepених, двоstepених и тростепених универзалних зупчастих редуктора дате су у табелама 3.33, 3.34 и 3.35.

Табела 3.33. Техничке карактеристике једноstepених моторних GST редуктора произвођача Lenze [33]

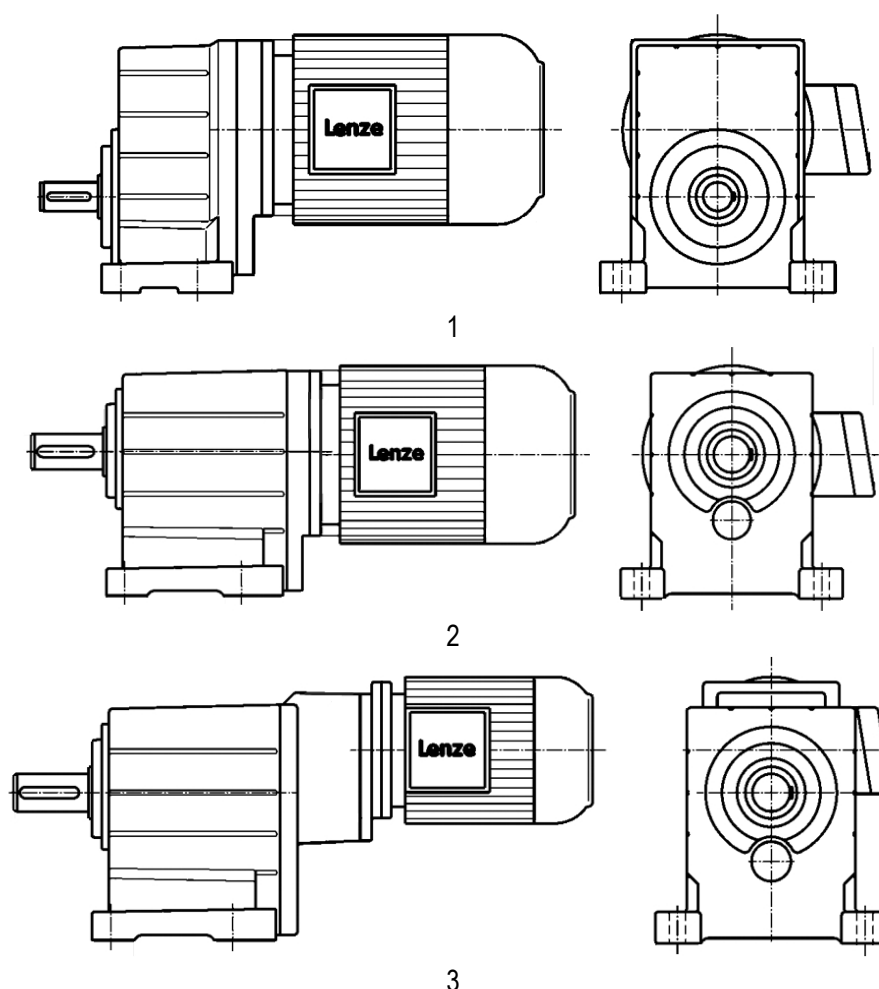
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
50	GST04	26	11,857	4,4	-
63	GST05	54	11,375	8,3	-
80	GST06	105	11,25	12,5	-
100	GST07	200	11,25	23	-
125	GST09	408	11,25	39,5	-

Табела 3.34. Техничке карактеристике двоstepених моторних GST редуктора произвођача Lenze [33]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
65	GST03	47	59,413	2,1	-
80	GST04	70	59,286	6,3	-
100	GST05	159	56,875	11,5	-
125	GST06	353	56,25	19,3	-
160	GST07	865	56,25	36	-
200	GST09	1569	56,25	63,9	-
250	GST11	2907	56,25	110	-
315	GST14	5448	56,25	200	-

Табела 3.35. Техничке карактеристике тростепених моторних GST редуктора произвођача Lenze [33]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
100	GST05	175	224,4	12	-
125	GST06	392	434,762	22,4	-
160	GST07	731	417,083	42,1	-
200	GST09	1584	412,5	74,5	-
250	GST11	2979	412,5	129,8	-
315	GST14	6255	412,5	237,3	-

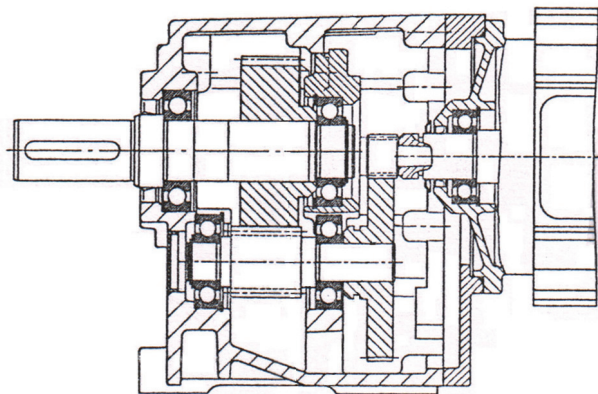
**Сл. 3.57.**

Изглед једноступеног (1), двоступеног (2) и троступеног (3) моторног GST редуктора произвођача Lenze [33]

GST редуктори произвођача Lenze производе се искључиво као моторни редуктори, без могућности монтаже подскопа са улазним вратилом или адаптера за електромотор. Кућиште једноступених GST редуктора разликује се од кућишта двоступених, док се троступени редуктори добијају монтажом једноступеног на двоступени редуктор (сл. 3.57).

Сва кућишта редуктора направљена су од сивог лива, осим најмањег двоступеног редуктора осне висине 65 mm који је направљен од алуминијумских легура. Ниједно кућиште GST редуктора

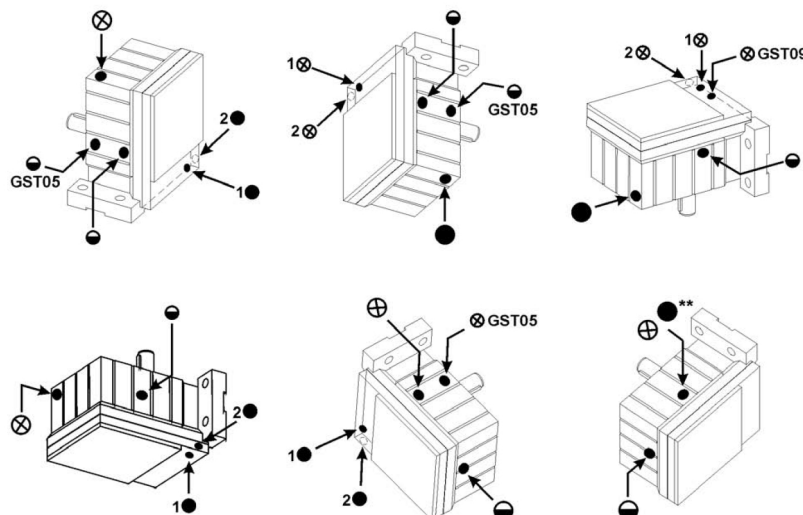
нема поклопац са горње стране. Кућишта једноступених и двоступених редуктора концепцијски су израђена као једноделна са одвојивом међуплочом, при чему двоступени редуктор има одвојив и средњи зид (сл. 3.58). Међуплоча служи као ослонац за лежајеве и за монтажу електромотора на кућиште. Овде се користи специјални редукторски електромотор са четвртастом прирубницом, како би облик кућишта задржао четвртасту форму (сл. 2.6-4). Код троступеног редуктора, уместо електромотора, на међуплочу се монтира једноступени редуктор, у исто тако четвртастом кућишту, на чијем се улазу налази електромотор, тако да је кућиште овог редуктора практично дводелно. Додато кућиште једноступеног редуктора је много мање и нема исту висину као кућиште двоступеног редуктора (сл. 3.57-3). Кућиште једноступеног редуктора има једну комору, двоступени редуктор има две коморе, док кућиште троступеног редуктора има додату малу брзоходну комору и још две коморе у великом кућишту са другим и трећим зупчастим паром. Монтажа зупчаника и вратила у ова кућишта врши се аксијално са стране електромотора.



Сл. 3.58.

Карактеристичан начин отварања спороходне коморе из унутрашњости (Lenze) [33]

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту моторног GST редуктора произвођача Lenze у зависности од величине и положаја уградње приказан је на сликама 3.59, 3.60 и 3.61.



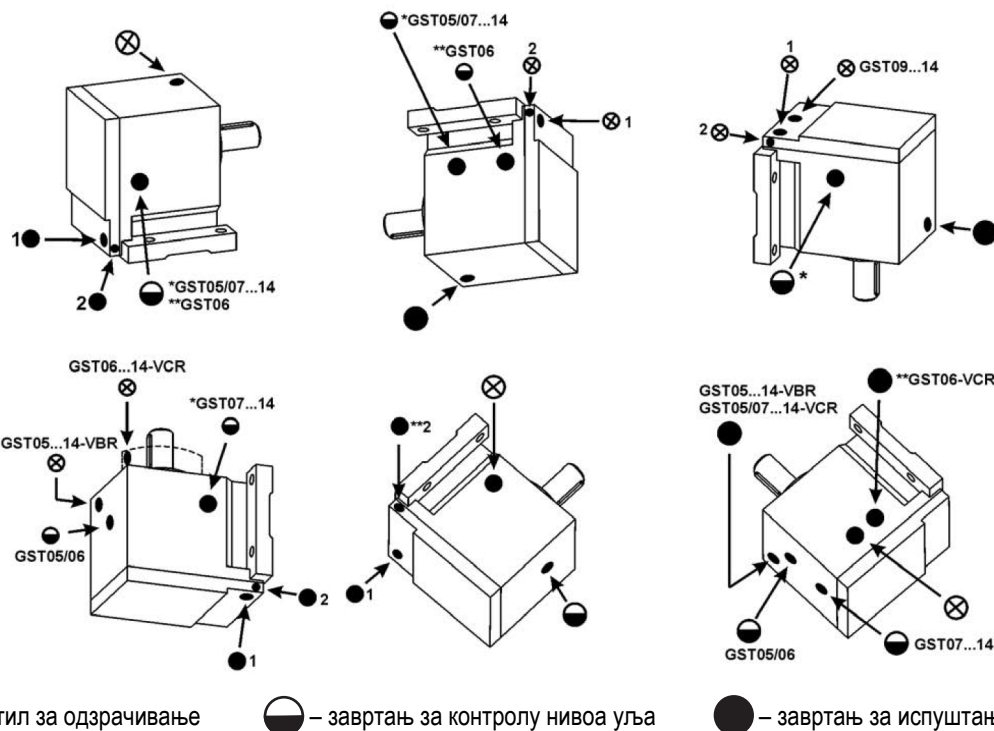
⊗ – вентил за одзрачивање

◐ – завртањ за контролу нивоа уља

● – завртањ за испуштање уља

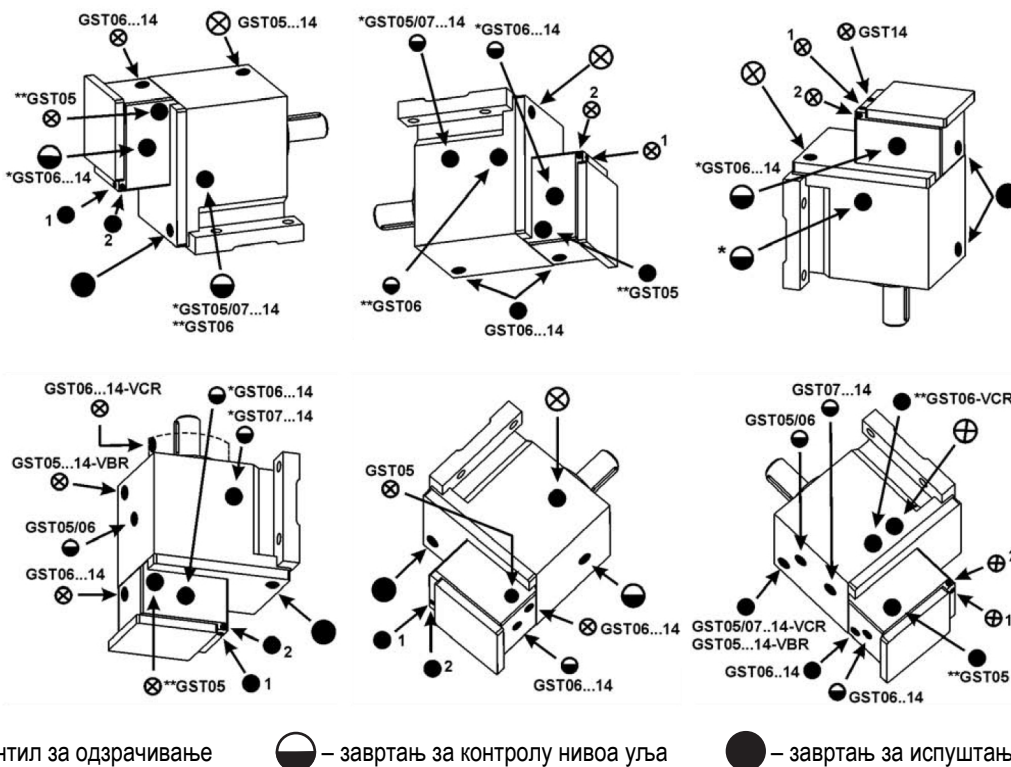
Сл. 3.59.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и уливање уља, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту једноступеног моторног GST редуктора произвођача Lenze, у зависности од положаја уградње [33]



Сл. 3.60.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и уливање уља, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту двостепеног моторног GST редуктора произвођача Lenze, у зависности од положаја уградње [33]

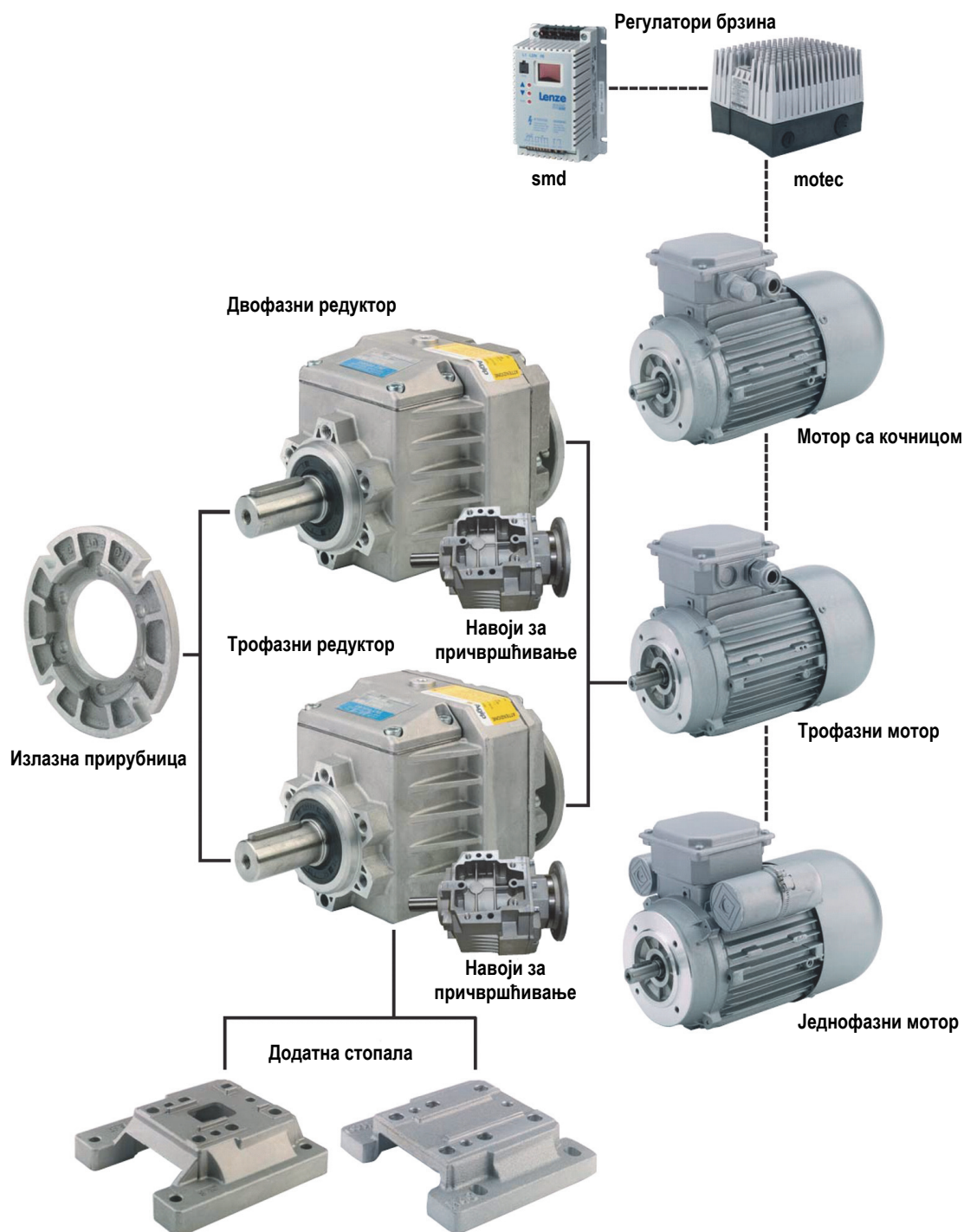


Сл. 3.61.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и уливање уља, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту тростепеног моторног GST редуктора произвођача Lenze, у зависности од положаја уградње [33]

3.5.2. фамилија Lenze MultiMount редуктора

Универзални зупчасти MultiMount редуктори представљају другу фамилију редуктора са цилиндричним зупчаницима које производи компанија Lenze. Карактеристика ових MultiMount редуктора је да су то редуктори са малим снагама електромотора (max до 2,2 kW) и малом носивошћу. Оно што их истиче у односу на остале редукторе је да се користи високо универзално кућиште, израђено од алуминијумских легура, које може бити монтирано на подлогу без стопала, а посебно се могу причврстити и стопала или прирубница. Монтажом стопала на ово кућиште добијају се осне висине редуктора као и код осталих произвођача.



Сл. 3.62.

Модулни принцип монтаже MultiMount редуктора произвођача Lenze [35]

Lenze MultiMount редуктори израђују се као двостепени и тростепени редуктори. MultiMount редуктори се производе само као моторни редуктори, без могућности уградње подскопа са улазним вратилом или адаптера за мотор. Пошто је компанија Lenze велики произвођач мотора, па жели да обезбеди пласман својим моторима, за погон се користе стандардни IEC мотори, једнофазни, двофазни или са кочницом (сл. 3.62).

Компанија Lenze означава моторне MultiMount редукторе на следећи начин [35]:

Величина редуктора и број степени / величина мотора, број полова и тип прирубнице

где је: **величина редуктора и број степени** – двоцифрени број који дефинише величину редуктора (30, 40, 50 и 60) и број степени (2 или 3) (таб. 3.36);

величина мотора, број полова и тип прирубнице – дефинисани су у каталогу редуктора произвођача Lenze [34], у зависности од снаге и броја обртаја, а као тип прирубнице користе се и В5 и В14.

Табела 3.36. Ознаке величина двостепених и тростепених редуктора фамилије MultiMount редуктора, произвођача Lenze [35]

Осна висина редуктора без стопала n , mm	41	45,5	69,5	69,5
Осна висина редуктора са стопалима h , mm	75 85	80 100	110 115 130	120 130 135
Двостепени редуктор	302A	402A	502A	602A
Тростепени редуктор	-	403A	503A	603A

Може се закључити да су MultiMount редуктори мањих димензија и да се у комбинацији са различитим димензијама стопала могу постићи различите осне висине са истим кућиштем и истим карактеристикама редуктора. Са овако додатим стопалима, MultiMount редуктори се могу лако уклопити у димензије дате у инчима које захтева америчко тржиште.

Техничке карактеристике двостепених и тростепених универзалних зупчастих редуктора дате су у табелама 3.37 и 3.38.

Табела 3.37. Техничке карактеристике двостепених моторних MultiMount редуктора произвођача Lenze [35]

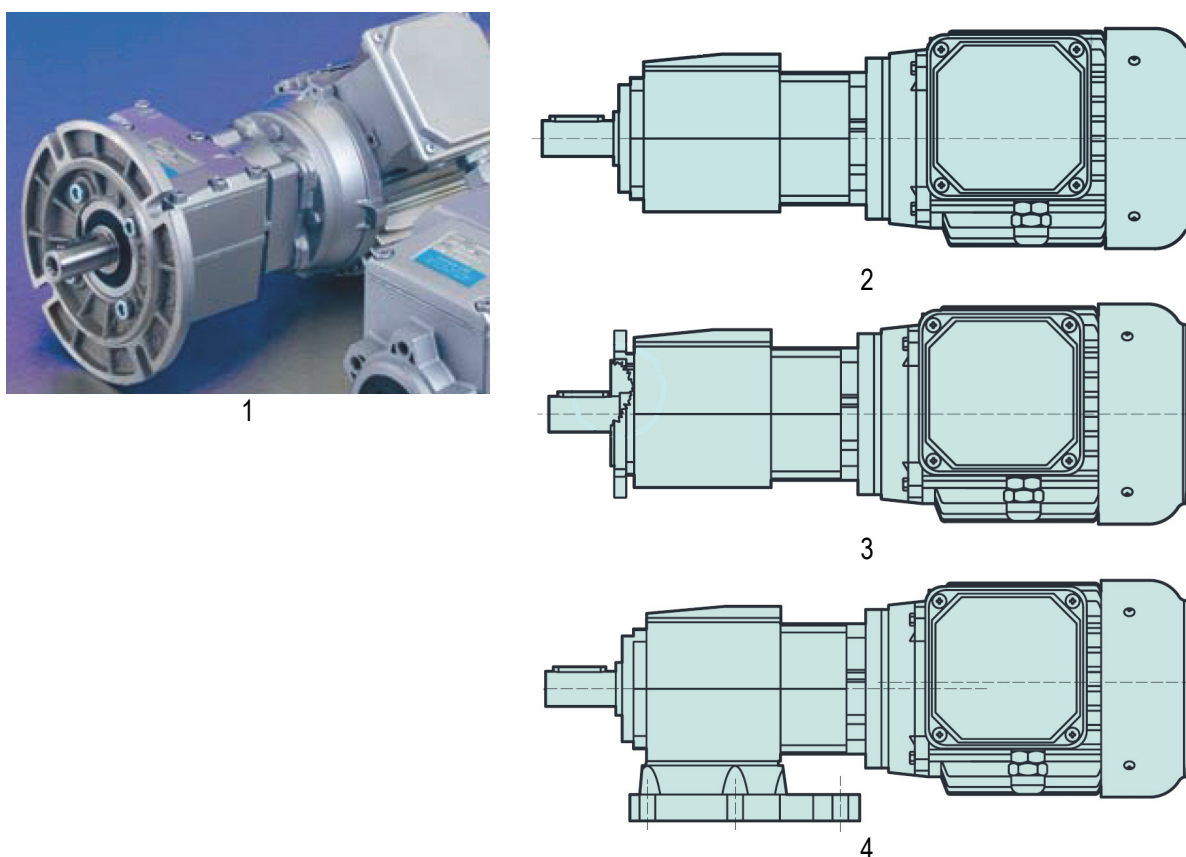
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
75, 85	302A	80	49,76	4	-
80, 100	402A	155	29,4	6,6	-
110, 115, 130	502A	292	60,9	12,3	-
120, 130, 135	602A	438	60,9	14,7	-

Табела 3.38. Техничке карактеристике тростепених моторних MultiMount редуктора произвођача Lenze [35]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
80, 100	403A	155	135,69	7	-
110, 115, 130	503A	321	180,4	12,5	-
120, 130, 135	603A	486	126,65	15	-

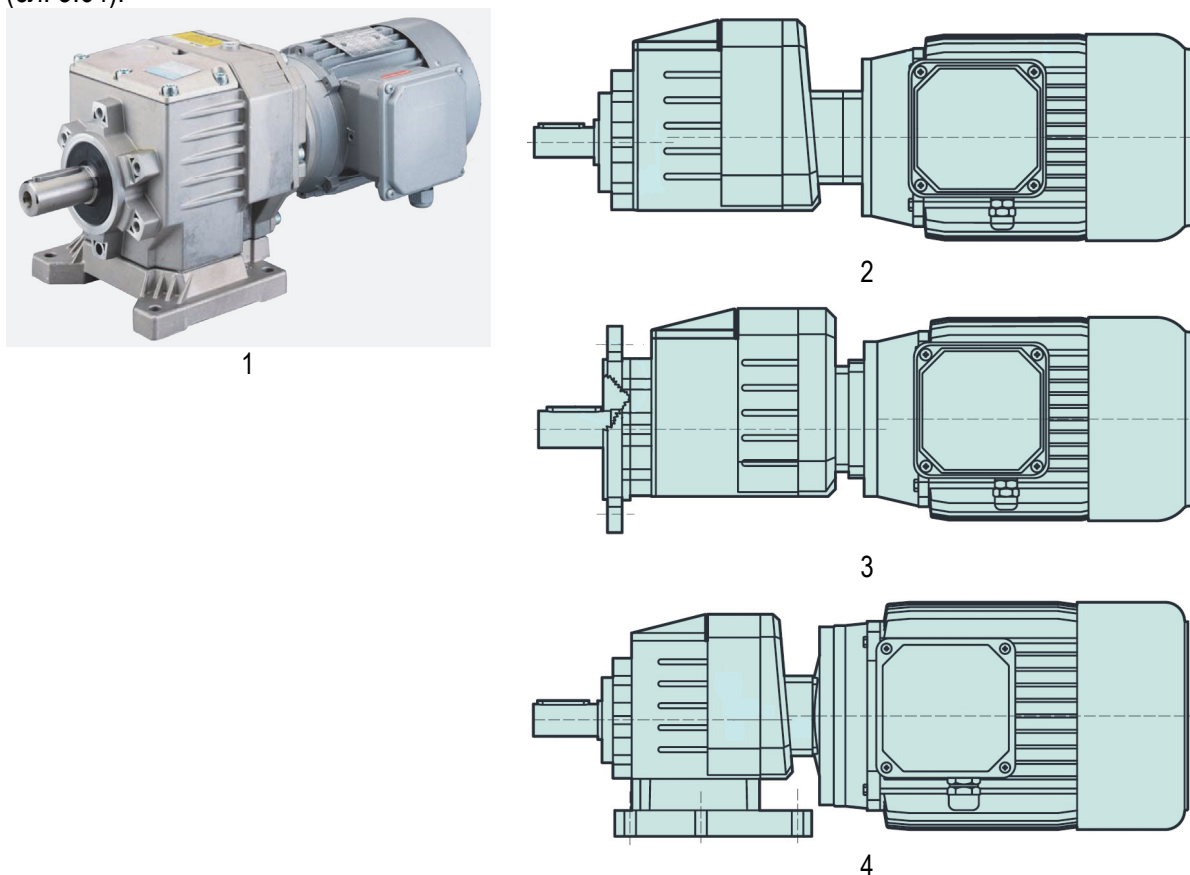
Сва кућишта MultiMount редуктора концепцијски су израђена као једноделна, а састоје се из тела кућишта са горњим поклопцем и одвојиве међуплочче на коју се причвршћује стандардни IEC мотор. Према томе, монтажа вратила и зупчаника је радиаксијална, где се излазни зупчаник радијално убацује кроз горњи поклопац, излазно вратило се аксијално убацује кроз отвор са излазне стране, а сви остали зупчаници и вратила кроз улазни отвор где се и поставља међуплочча.

Кућиште најмањег двостепеног редуктора 302 разликује се од кућишта већих MultiMount редуктора, јер оно има горњи поклопац преко целог кућишта и не производи се као тростепени редуктор (сл. 3.63).

**Сл. 3.63.**

Изглед двостепеног MultiMount редуктора 302 са постављеном прирубницом (1) и шематски приказ редуктора 302 без монтираних прикључака (2), са монтираном прирубницом (3) и са монтираним стопалима (4) (решење компаније Lenze) [35]

Кућишта редуктора величине 40, 50 и 60 имају одвојену брзоходну и спороходну комору са горњим поклопцем само на спороходној комори у којој се налази трећи (излазни) зупчасти пар (сл. 3.64).



Сл. 3.64.

Изглед двостепеног и тростепеног MultiMount редуктора са постављеним стопалима (1) и шематски приказ редуктора без монтираних прикључака (2), са монтираном прирубницом (3) и са монтираним стопалима (4) (решење компаније Lenze) [35]

Зупчаници и лежајеви подмазују се синтетичким уљем и није предвиђена замена уља. Редуктори могу бити монтирани у било ком положају.

3.6. Универзални зупчасти редуктори произвођача Pujol

Компанија Pujol (Pujol Muntalà, Polígono Industrial La Sarreta, Sant Fruitos de Bages, Spain) је позната шпанска компанија за производњу механичких преносника. Основана је још 1918. године као радионица за оправку машина у текстилној индустрији, а до данас се развила у великог произвођача преносника која има фабрике на свим континентима. И овај произвођач има две фамилије цилиндричних зупчастих редуктора, већу и мању:

- фамилија универзалних зупчастих редуктора серије S;
- фамилија универзалних зупчастих редуктора серије I.

3.6.1. Фамилија Pujol редуктора серије S

Серија S представља универзалне зупчасте редукторе компаније Pujol већих димензија (осне висине од 160 до 360 mm) и са моторима снаге од 0,25 до 55 kW. Производе се као двостепени и тростепени редуктори у истом универзалном кућишту израђеном од сивог лива. Производе се у

три варијанте: као моторни редуктори, као безмоторни редуктори на које се директно може прикључити стандардни IEC електромотор према стандарду ISO DIN 42677 и као редуктори са улазним вратилом, и све ове варијанте могу бити са стопалима или са прирубницом (таб. 3.39).

Компанија Pujol означава своје моторне редукторе серије S на следећи начин [36]:

Ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона / осна висина / величина мотора и број полова / излазни број обртаја

Код варијанте на коју треба да се прикључи електромотор, означавање је следеће:

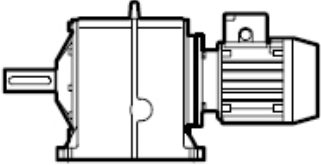
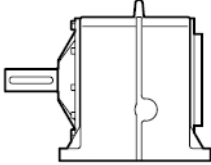
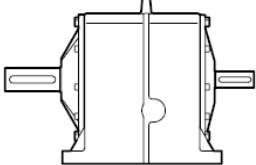
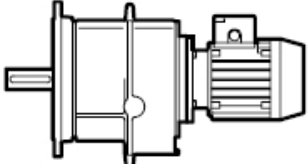
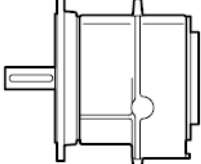
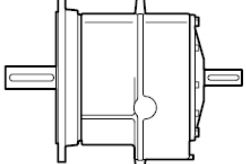
Ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона / осна висина / преносни однос редуктора / пречник прирубнице и вратила потребног мотора

док је код варијанте са улазним вратилом означавање следеће:

Ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона / осна висина / преносни однос редуктора

где је: **ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона** – таб. 3.39;

Табела 3.39. Начин означавања двостепених и тростепених редуктора серије S компаније Pujol у зависности од начина монтаже и везе електромотора са редуктором [36]

Моторни редуктори	Редуктори на које се директно може прикључити стандардни IEC електромотор према ISO DIN 42677	Редуктори са улазним вратилом
 SPCM	 SPC	 SP
 SBCM	 SBC	 SB

осна висина – постоји девет осних висина од којих се неке поклапају са осним висинама осталих великих произвођача, али су неке и потпуно нове и типичне само за овог произвођача редуктора, нпр. 218, 238, 268, 302, 330 и 360 mm (таб. 3.40 и 3.41);

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу редуктора произвођача Pujol [36], у зависности од снаге и броја обртаја;

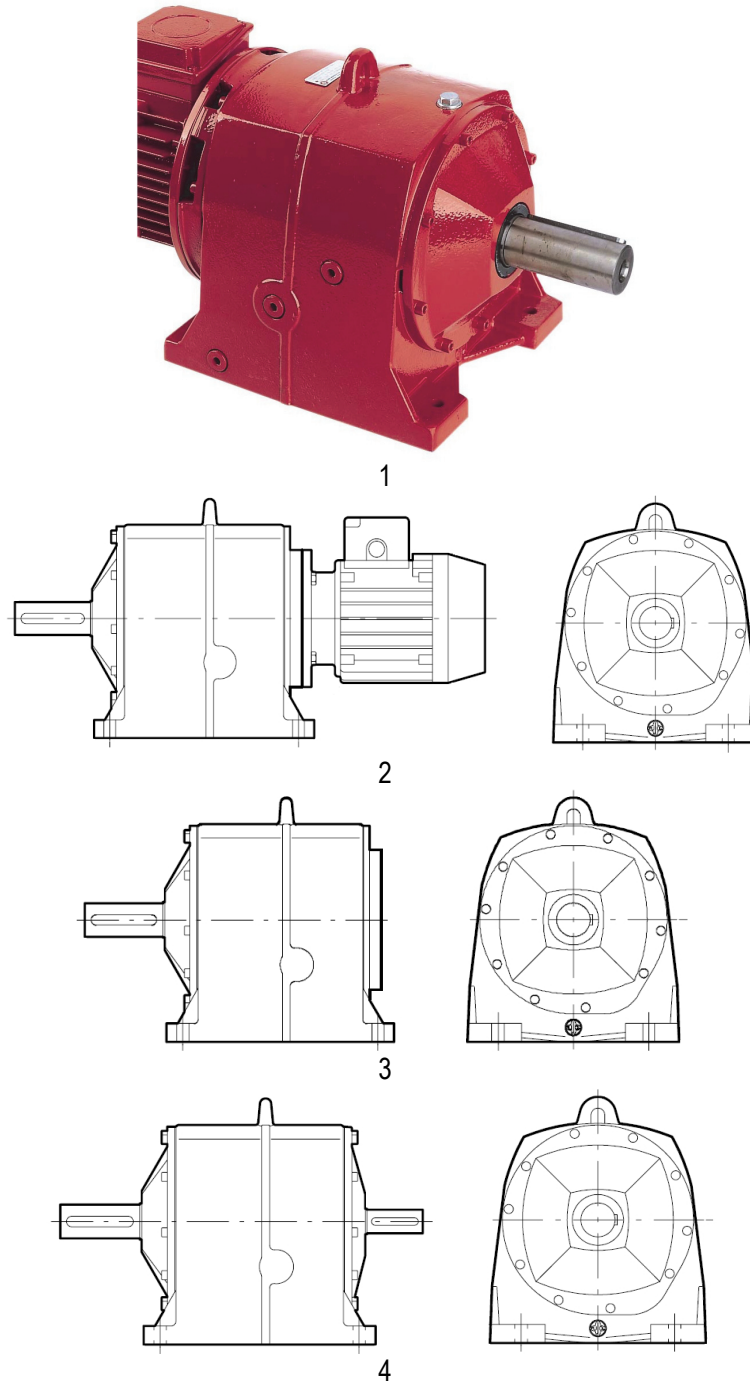
излазни број обртаја – број обртаја излазног вратила редуктора у min^{-1} ;

преносни однос редуктора – укупни преносни однос редуктора;

пречник прирубнице и вратила потребног мотора – дефинисани су за стандардне IEC електромоторе према стандарду ISO DIN 42677.

Техничке карактеристике двостепених зупчастих редуктора дате су у табели 3.40, а тростепених у табели 3.41.

Основна карактеристика серије S је да је универзално кућиште за двостепене и тростепене редукторе израђено са кружним профилем без горњих отвора, али зато постоји отвор на улазном делу и отвор на излазном делу (сл. 3.65). Кроз ове отворе монтирају се зупчаници, вратила и лежајеви, тако да је монтажа редуктора потпуно аксијална. Кућиште се састоји из једног дела (одливка кућишта) и два поклопца. Целом дужином, кућиште је исте ширине, без изражених тзв. „стомачића”.



Сл. 3.65.

Изглед двостепеног и тростепеног редуктора серије S (1), шематски приказ моторног редуктора (2), редуктора на који се директно може прикључити електромотор (3) и редуктора са улазним вратилом (4) (решење компаније Pujol) [36]

Табела 3.40. Техничке карактеристике моторних двостепених SPCM редуктора произвођача Pujol [36]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
160	SPCM 160	956	48,1	49,5	2,8
180	SPCM 180	1214	44,4	65,2	5
195	SPCM 195	1657	46,6	85,6	7
218	SPCM 218	2497	46,3	117	8
238	SPCM 238	3317	44,5	180	10,5
268	SPCM 268	3893	45	208	14
302	SPCM 302	5113	44	295	19
330	SPCM 330	6603	51,3	365	26
360	SPCM 360	8535	51,6	443	35

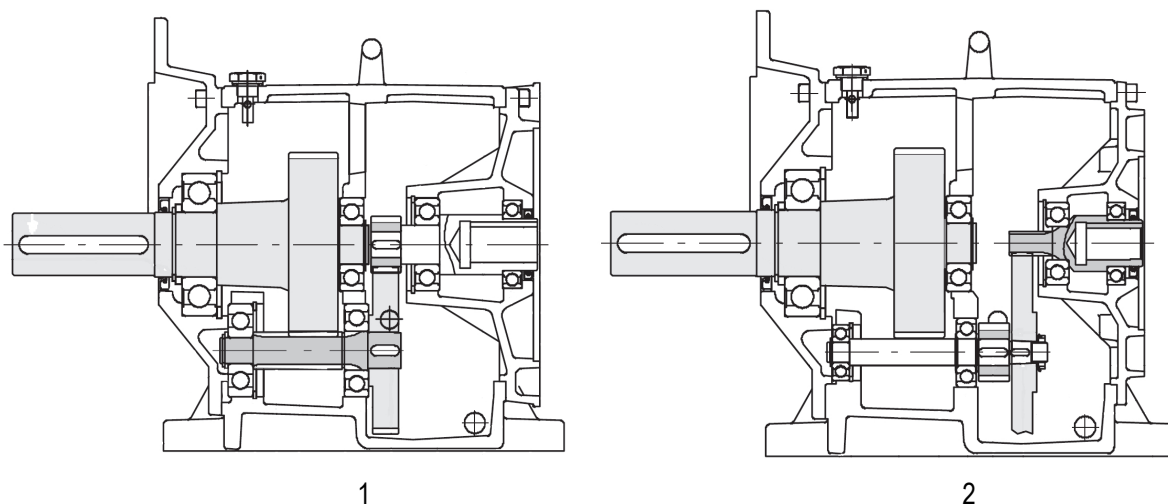
Табела 3.41. Техничке карактеристике моторних тростепених SPCM редуктора произвођача Pujol [36]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
160	SPCM 160	932	467,4	49,5	2,8
180	SPCM 180	1231	443,8	65,2	5
195	SPCM 195	1896	455,5	85,6	7
218	SPCM 218	2457	445,5	117	8
238	SPCM 238	2704	450,3	180	10,5
268	SPCM 268	3753	455,3	208	14
302	SPCM 302	5199	452	295	19
330	SPCM 330	6955	512,8	365	26
360	SPCM 360	9608	527,1	443	35

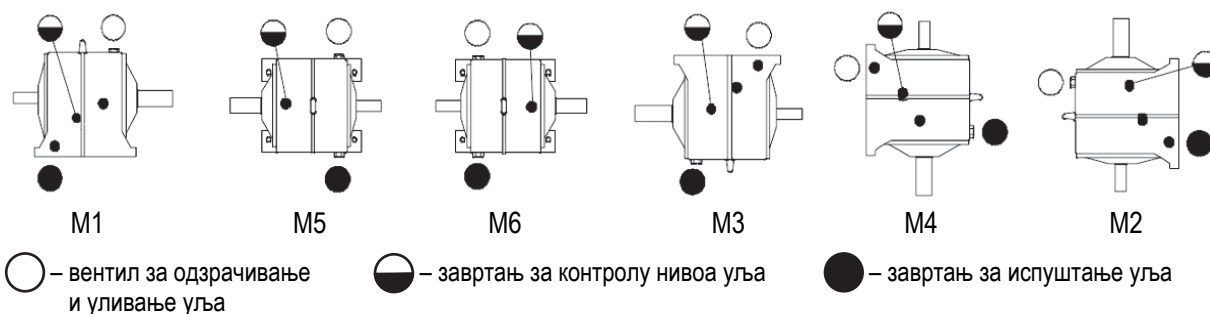
Специфичне осне висине ових редуктора различите су од осних висина осталих произвођача редуктора, што обезбеђује компанији Pujol да сачува потрошаче који су и до сада користили редукторе овог произвођача, али оне истовремено и онемогућују да се редуктори компаније Pujol убаце на местима где би то могли и тако преузети нове кориснике.

У брзоходној комори смештени су први и други зупчасти пар, а излазни пар се налази у спороходној комори. На сл. 3.66 види се да поклопац са улазне стране истовремено представља и адаптер за повезивање електромотора у коме се налази вратило са зупчаником ослоњено у два лежаја. Пето зупчато вратило ослоњено је само на два лежаја и има препуст на коме се налази четврти зупчаник. За разлику од претходних случајева када је пето зупчато вратило било ослоњено на три лежаја у двостепеној варијанти, ово је непогоднији случај, што сигурно смањује носивост редуктора.

Положај завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља на кућишту универзалног зупчастог редуктора серије S произвођача Pujol у зависности од положаја уградње приказан је на сл. 3.67.

**Сл. 3.66.**

Попречни пресек двостепеног (1) и тростепеног редуктора (2) серије S (решење компаније Pujol) [36]

**Сл. 3.67.**

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и уливање уља, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора серије S произвођача Pujol, у зависности од положаја уградње [36]

Оваквим присуством поједностављује се израда јер се један те исти редуктор испоручује као моторни, ако се угради мотор, или као безмоторни са адаптером за IEC моторе.

3.6.2. фамилија Pujol редуктора серије I

Редуктори серије I компаније Pujol представљају мале универзалне зупчате редукторе (осне висине од 84 до 162 mm) и представљају допуну свега оног што се није могло постићи серијом S за мање осне висине. Производе се као двостепени и тростепени редуктори, с тим што се код тростепеног додаје улазни редуктор између мотора и кућишта. Кућишта у свим осним висинама израђена су од сивог лива, као и кућиште улазног редуктора које се прирубницом спаја за кућиште двостепеног редуктора. Као и редуктори серије S, двостепени и тростепени редуктори производе се у две варијанте: као моторни редуктори и као безмоторни редуктори на које се директно може прикључити стандардни IEC електромотор према стандарду ISO DIN 42677, и обе ове варијанте могу бити са стопалима или са прирубницом, док се само двостепени редуктори израђују и као редуктори са улазним вратилом (таб. 3.42).

Компанија Pujol означава ове моторне редукторе на следећи начин [36]:

Ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона / осна висина / величина мотора и број полова / излазни број обртаја

Код варијанте на коју треба да се прикључи електромотор, означавање следеће:

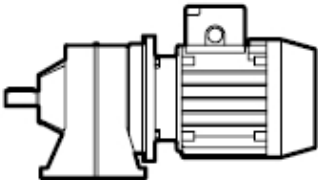
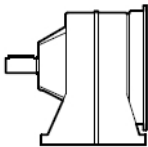
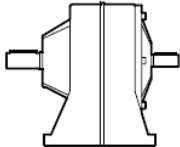
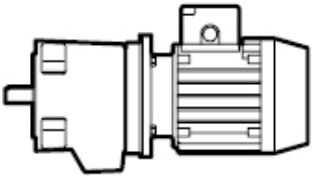
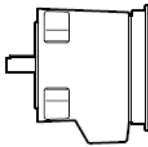
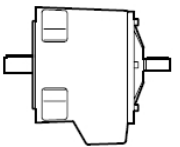
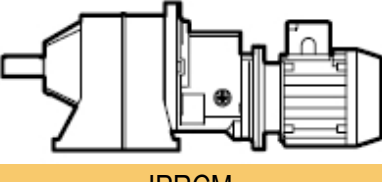
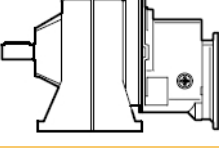
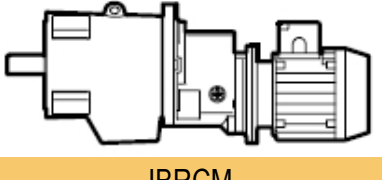

Ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона / осна висина / преносни однос редуктора / пречник прирубнице и вратила уграђеног мотора

док је код варијанте са улазним вратилом означавање следеће:

Ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона / осна висина / преносни однос редуктора

где је: **ознака која дефинише начин монтаже и врсту погона** – таб. 3.42;

Табела 3.42. Начин означавања двостепених и тростепених редуктора серије I компаније Pijol у зависности од начина монтаже и везе електромотора са редуктором [36]

	Моторни редуктори	Редуктори на које се директно може прикључити стандардни IEC електромотор према ISO DIN 42677	Редуктори са улазним вратилом
Двостепени редуктори	 IPCM	 IPC	 IP
	 IBCM	 IBC	 IB
Тростепени редуктори	 IPRCM	 IPRC	/
	 IBRCM	 IBRC	/

осна висина – постоји пет осних висина типичних само за овог произвођача редуктора које су прилично блиске осним висинама осталих великих произвођача, нпр. за уобичајених 80 mm, Pijol производи 84 mm; 100 и 102 mm; 128 и 130 mm; 140 и 142 mm; 160 и 162 mm (таб. 3.43 и 3.44);

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу редуктора произвођача Pijol [36], у зависности од снаге и броја обртаја;

излазни број обртаја – број обртаја излазног вратила редуктора у min^{-1} ;
преносни однос редуктора – укупни преносни однос редуктора;
пречник прирубнице и вратила потребног мотора – дефинисани су за стандардне IEC електромоторе према стандарду ISO DIN 42677.

Техничке карактеристике двостепеног зупчастог редуктора дате су у табели 3.43, а тростепеног у табели 3.44.

Табела 3.43. Техничке карактеристике моторних двостепених IPCM редуктора произвођача Pujol [36]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{\max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
84	IPCM 84	43	45,9	5	0,35
102	IPCM 102	116	47	8,8	0,5
128	IPCM 128	187	100,1	14,7	1
142	IPCM 142	277	45,2	21,3	1,25
162	IPCM 162	464	45,6	34,2	2

Табела 3.44. Техничке карактеристике моторних тростепених IPCM редуктора произвођача Pujol [36]

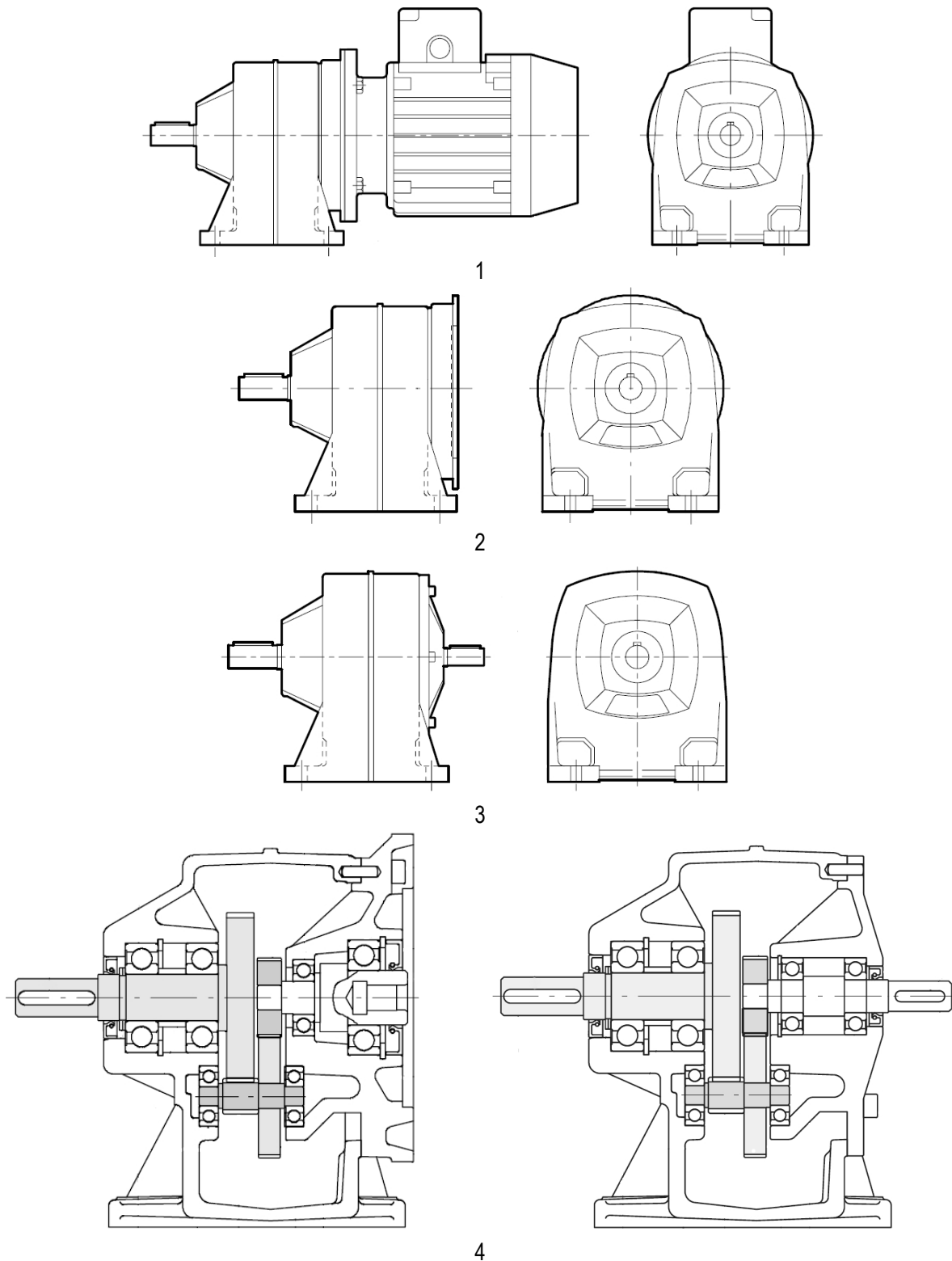
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{\max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
84	IPRCM 84	(fs<1)	(386,5)	9,2	
102	IPRCM 102	88	(395,7)	12,3	
128	IPRCM 128	177	400	24,2	
142	IPRCM 142	307	414	35,3	
162	IPRCM 162	613	418,6	46,3	

Будући да су у питању мали редуктори, снаге прикључених мотора иду до 9,2 kW за двостепене и до само 0,37 kW за тростепене редукторе.

Кућишта су израђена од сивог лива, и целом дужином кућиште је исте ширине, без изражених „стомачића”. Основна карактеристика редуктора серије I је да се користи кућиште са отвором само са улазне стране. Кућиште двостепеног редуктора (сл. 3.68) има једну комору и једноделно је са поклопцем-адаптером са улазне стране. Пето зупчasto вратило ослоњено је на два лежаја са другим зупчаником на препусту, што је, такође, случај и са излазним вратилом и зупчаником z_6 . Међутим, због већег пречника излазног вратила, носивост овде није ограничена због деформација. На попречном пресеку овог редуктора (сл. 3.68-4) види се да једини отвор са улазне стране има вишеструку улогу. Он истовремено представља и адаптер за повезивање са вратилом електромотора, тако да се у њему налази вратило са зупчаником ослоњено на два лежаја, али он има и улогу ослонца, јер се у њему налази и лежај за ослањање петог зупчастог вратила.

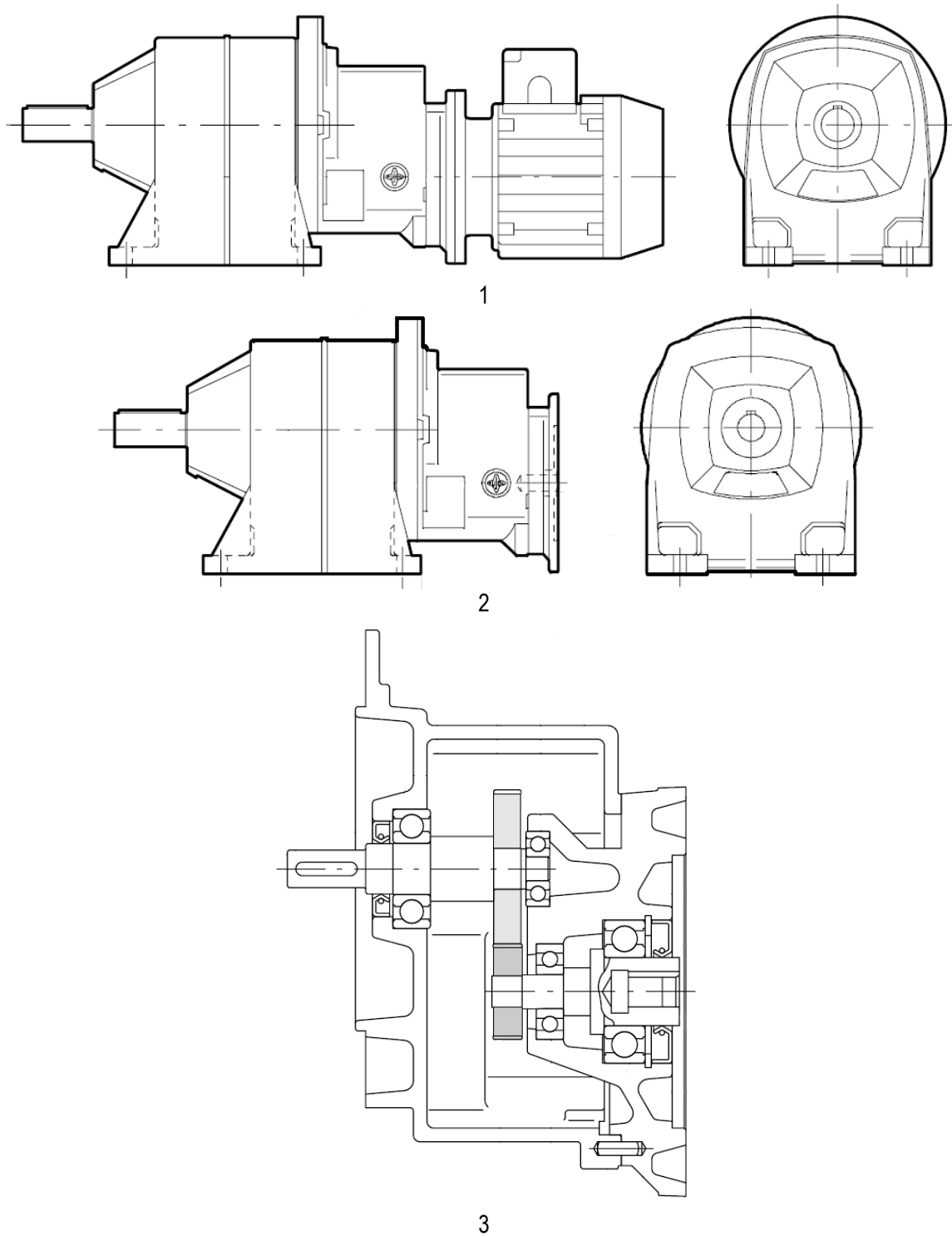
Кућиште тростепеног редуктора састоји се из два дела (кућишта и додатог редуктора са улазним зупчастим паром) и поклопца-адаптера и не израђује се у варијанти са улазним вратилом (сл. 3.69). Принцип добијања тростепеног редуктора, убацивањем додатог редуктора на кућиште двостепеног, значајно смањује масу двостепених редуктора и омогућава његову бољу

искоришћеност. На сл. 3.69-3 приказано је да додати редуктор такође садржи адаптер са вратилом и лежајевима, при чему истовремено остаје и онај адаптер у двостепеном кућишту, што сигурно значајно утиче на смањење трошкова производње, али и на повећање масе тростепеног редуктора серије I.



Сл. 3.68.

Изглед моторног двостепеног редуктора серије I (1), редуктора на који се директно може прикључити електромотор (2), редуктора са улазним вратилом (3) и попречни пресек двостепеног редуктора серије I (4) (решење компаније Pujol) [36]

**Сл. 3.69.**

Изглед моторног тростепеног редуктора серије I (1), тростепеног редуктора на који се директно може прикључити електромотор (2) и попречни пресек додатог редуктора са улазним зупчастим паром (3) (решење компаније Pujol) [36]

Редуктори серије I немају на кућишту инсталиране завртњеве за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља. Зупчаници и лежајеви су подмазани синтетичким уљем, тако да им није потребно проверити ниво уља, нити вршити замену његову, а кућиште се, са истом количином уља за подмазивање, може монтирати у било ком положају.

3.7. Универзални зупчасти редуктори произвођача Bonfiglioli

Компанија Bonfiglioli (Bonfiglioli Riduttori S.p.A., Via Giovanni XXIII, 7/a, Lippo di Calderara di Reno, Bologna, Italy) позната је италијанска фабрика редуктора основана 1956. год. Поред бројних врста преносника, Bonfiglioli производи и универзалне зупчасте редукторе са специјалним редукторским мотором, са стандардним IEC мотором и са улазним вратилом. Bonfiglioli има развијену сопствену производњу специјалних и редукторских електромотора. Редуктори се могу монтирати преко стопала или прирубнице, а производе се као једноstepени, двоstepени и троstepени, уз могућност да се убаци подсклоп са још једним stepеном преноса да би био четворостепени.

Компанија Bonfiglioli производи зупчасте редукторе у две верзије:

- зупчасти редуктори верзије S (једноstepени редуктори),
- зупчасти редуктори верзије C (двоstepени, троstepени и четворостепени редуктори).

3.7.1. Једноstepени зупчасти редуктори компаније Bonfiglioli (верзија S)

Основна карактеристика једноstepених редуктора компаније Bonfiglioli је да су то редуктори са усавршеним модуларним принципом градње, високим stepеном искоришћења, са великом компактношћу и великим искоришћењем простора у кућишту. Прве три величине кућишта једноstepених редуктора (50, 55 и 60 mm) производе се од алуминијумских легура, док се кућишта редуктора осних висина 70 и 82 mm производе од сивог лива.

Компанија Bonfiglioli означава своје једноstepене редукторе на следећи начин [37]:

Ознака верзије „S” / величина редуктора / број stepени / начин монтаже / преносни однос / величина међуплоче са улазне стране / тип мотора / величина мотора и број полова

где је: **величина редуктора** – зависна од осне висине и дефинисана је на следећи начин:

Табела 3.45. Ознаке величина једноstepених редуктора произвођача Bonfiglioli

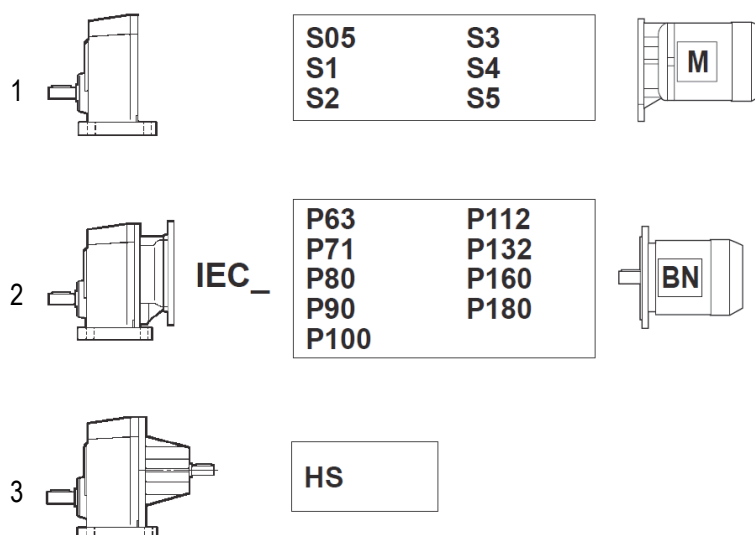
Осна висина <i>h</i> , mm	50	55	60	70	82
Ознаке једноstepених редуктора	S 10	S 20	S 30	S 40	S 50

број stepени спрезања – код једноstepених редуктора, то је увек број 1;

начин монтаже – P - за једноstepени редуктор са стопалима; F - за једноstepени редуктор са прирубницом;

преносни однос – величина преносног односа редуктора;

величина међуплоче са улазне стране – ознака и величина међуплоче са улазне стране редуктора којом се електромотор повезује на кућиште или ознака за подсклоп са улазним вратилом (сл. 3.70);

**Сл. 3.70.**

Ознака редуктора и величине међуплоча са улазне стране редуктора серије S којом се редукторски електромотор повезује на кућиште (1), којом се стандардни IEC електромотор повезује на кућиште (2) или ознака за подсклоп са улазним вратилом (3)

тип мотора – M - за специјални редукторски електромотор; BN - за стандардни IEC електромотор;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Bonfiglioli [37], у зависности од снаге и броја обртаја.

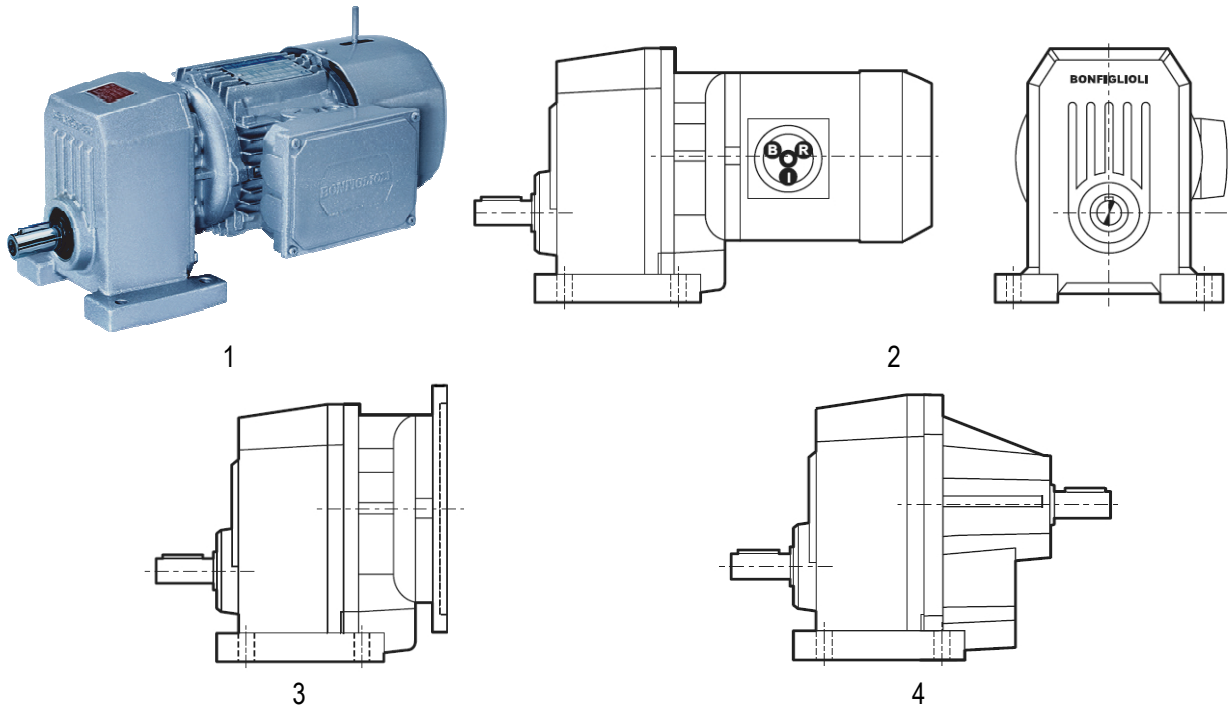
Може се приметити да произвођач Bonfiglioli производи једноступене редукторе са малим осним висинама од 50 до 82 mm, при чему на овако малом интервалу нуди пет осних висина, уводећи при томе висине које други произвођачи немају.

Техничке карактеристике једноступених универзалних моторних зупчастих редуктора серије S дате су у табели 3.46.

Табела 3.46. Техничке карактеристике једноступених универзалних моторних зупчастих редуктора серије S произвођача Bonfiglioli [37]

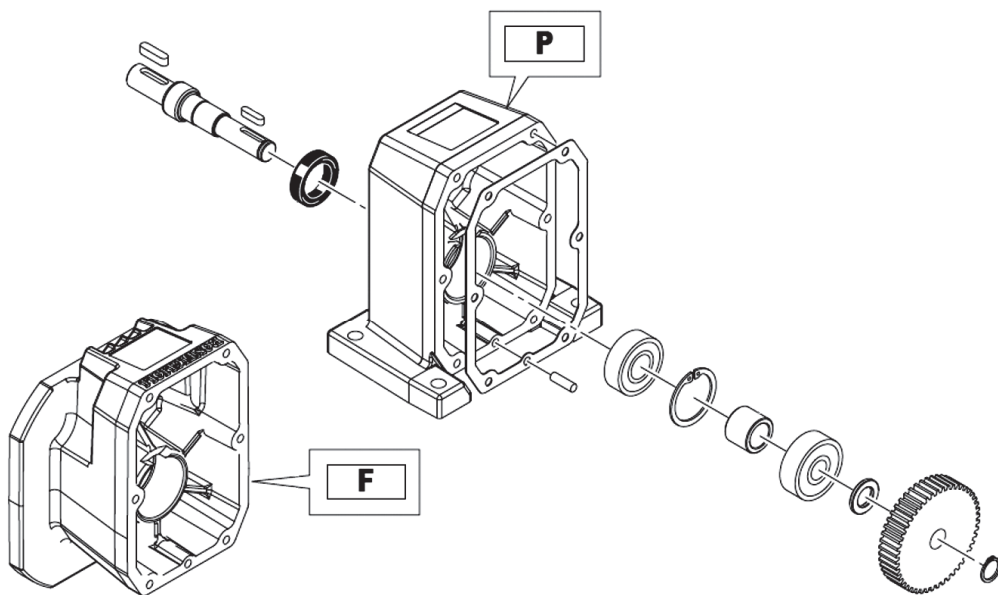
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
50	S 10	15,4	12,3	4,4	0,3
55	S 20	26,9	12,4	6	0,45
60	S 30	52,1	10,3	9	0,7
70	S 40	88,6	12,4	25	1,6
82	S 50	137,3	12,9	35	1,7

Без обзира на то што се прве три величине редуктора производе од алуминијумских легура, а редуктори висине 70 и 82 mm од сивог лива, изглед свих кућишта редуктора серије S потпуно је исти (сл. 3.71-1,2). Поред моторног редуктора са специјалним мотором, производи се и моторни редуктор са међуплочом за повезивање са стандардним IEC електромоторима (сл. 3.71-3), као и редуктор са улазним вратилом (сл. 3.71-4). Све ове варијанте производе се и са прирубницом.

**Сл. 3.71.**

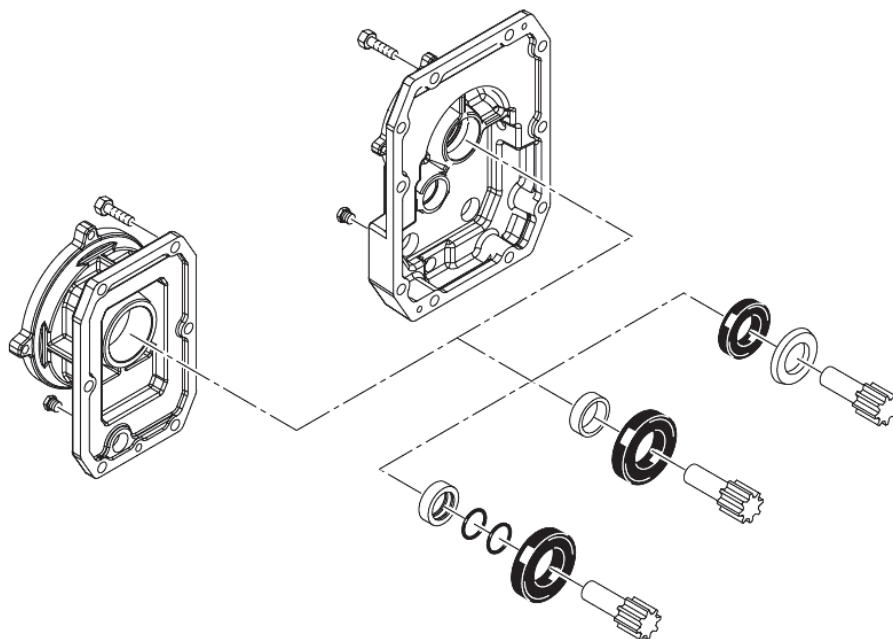
Изглед једноступеног моторног редуктора серије S (1), шематски приказ једноступеног моторног редуктора серије S (2), шематски приказ једноступеног редуктора серије S за спајање са IEC мотором (3) и шематски приказ једноступеног редуктора серије S са улазним вратилом (4) произвођача Bonfiglioli [37]

Анализирајући концепцијско решење кућишта једноступених зупчастих редуктора компаније Bonfiglioli, може се закључити да она спадају у једноделна кућишта са аксијалном монтажом (сл. 3.72 и 3.73) код којег се зупчаници убацују кроз отвор са стране мотора, а једино се излазно вратило убацује са стране излазног вратила. Експанзиони цртеж кућишта једноступеног редуктора приказан је на сл. 3.67 са начином монтаже зупчаника, вратила и осталих делова.

**Сл. 3.72.**

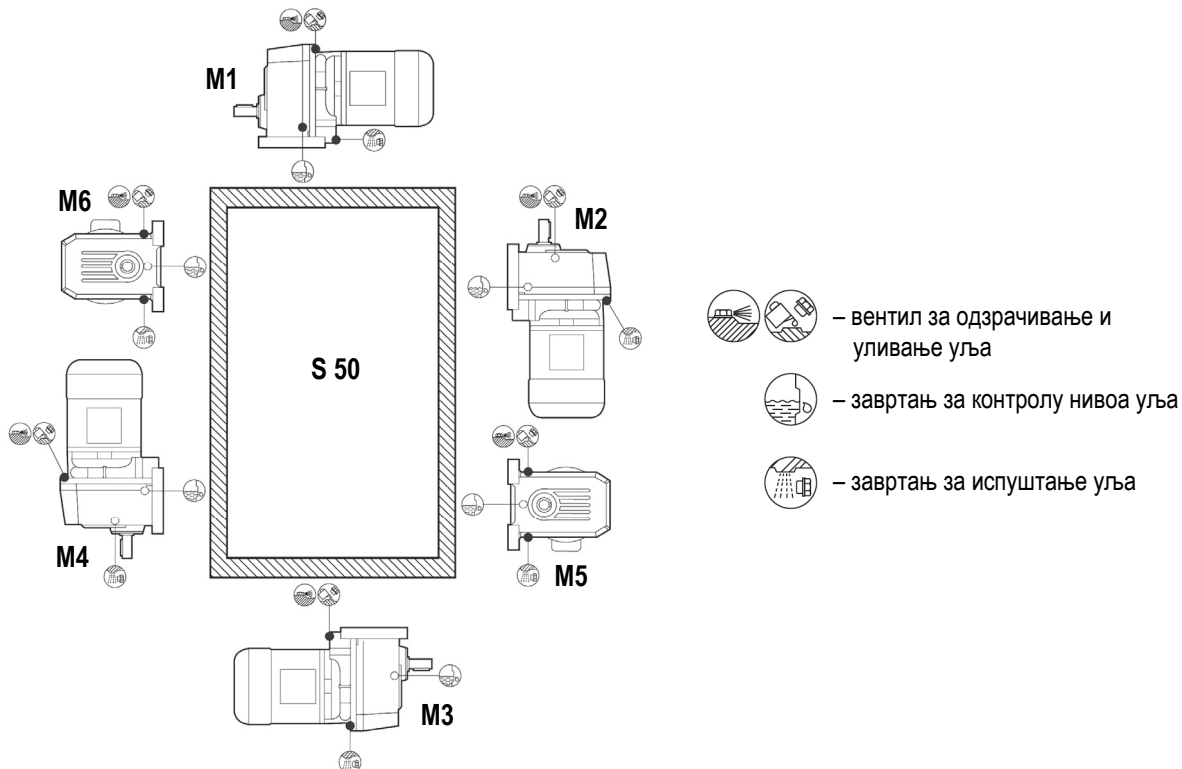
Експанзиони цртеж једноступеног универзалног зупчастог редуктора произвођача Bonfiglioli (верзија S) [38]

Међуплоча за повезивање редукторског електромотора за кућиште, заједно са погонским зупчаником и лежајем, приказана је на сл. 3.73. Међуплоча је једнаке ширине као и кућиште редуктора, што омогућава убацивање излазног зупчаника великог пречника чиме се обезбеђује постизање великих преносних односа.



Сл. 3.73.

Експанзиони цртеж склопа међуплоче једноступеног моторног редуктора за монтажу редукторског мотора (решење компаније Bonfiglioli) [38]



Сл. 3.74.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и уливање уља, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту једноступеног моторног редуктора произвођача Bonfiglioli, у зависности од положаја уградње [37]

Прве четири величине једноступених редуктора произвођач пуни синтетичким уљем, тако да није потребно проверавати, нити мењати уље, осим у случају када би дошло до његовог загађења. Једино је највећем једноступеном редуктору, осне висине 82 mm, потребно доливати и контролисати ниво уља, водећи рачуна при томе о положају завртњева за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља (сл. 3.74).

3.7.2. Универзални зупчасти редуктори компаније Bonfiglioli (верзија С)

Карактеристика верзије С произвођача Bonfiglioli је да су то двоступени и троступени редуктори, са могућношћу додавања још једног зупчастог пара, да би био четвороступени. Верзија С је, такође, верзија са усавршеним модуларним принципом градње, високим степеном искоришћења, са великом компактношћу и великим искоришћењем простора у кућишту. Производе се као моторни редуктори са специјалним мотором или са стандардним IEC мотором, као и са улазним вратилом.

Компанија Bonfiglioli означава своје редукторе серије С на следећи начин [39]:

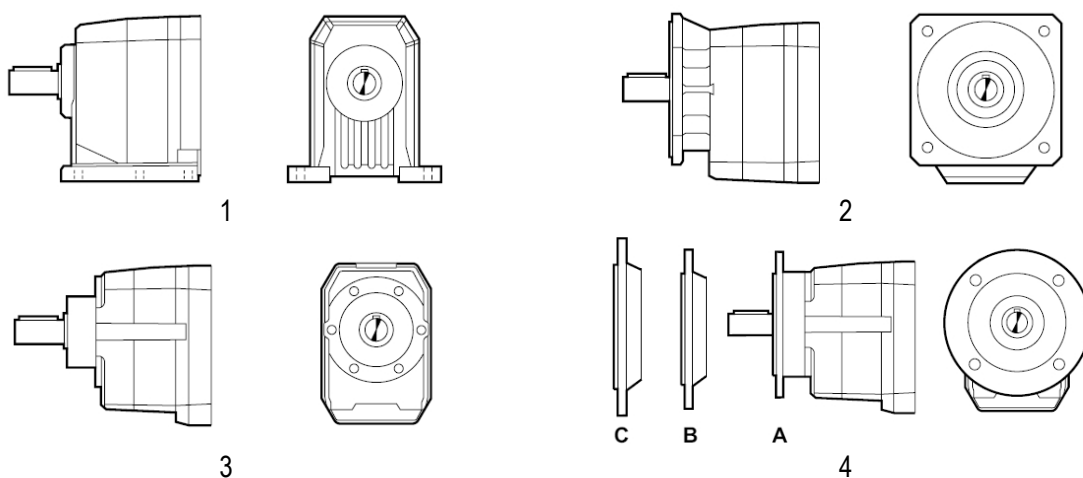
Ознака верзије „С” / величина редуктора / број степени / начин монтаже / преносни однос / величина међуплоче са улазне стране / тип мотора / величина мотора и број полова

где је: **величина редуктора** – зависна од осне висине и дефинисана је на следећи начин:

Табела 3.47. Ознаке величина редуктора верзије С произвођача Bonfiglioli

Осна висина <i>h</i> , mm	85	85	100	110	115	130	155	195	210	250	300	345
Ознаке величина редуктора	С 05	С 11	С 21	С 31	С 35	С 41	С 51	С 61	С 70	С 80	С 90	С 100

број степени – 2 - двоступени редуктор, 3 - троступени редуктор, 4 - четвороступени редуктор;



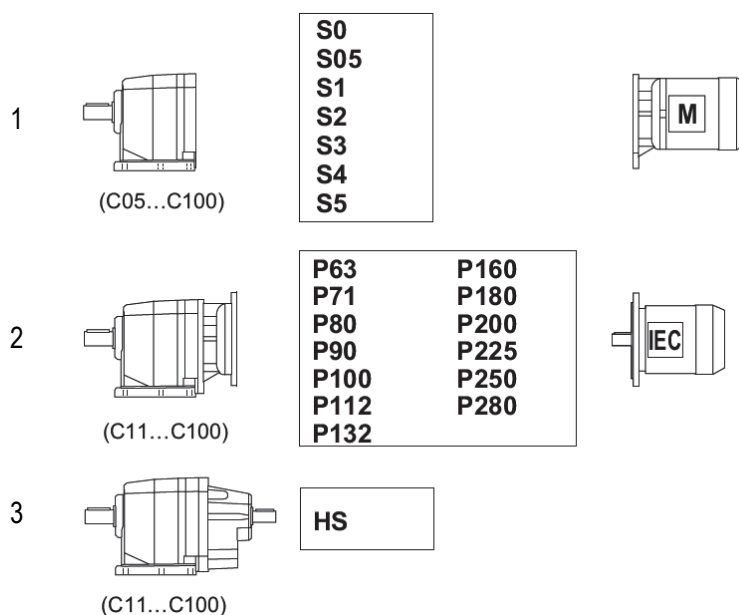
Сл. 3.75.

Различити начини монтаже редуктора верзије С компаније Bonfiglioli: редуктор са стопалима (1), редуктор са прирубницом (2), редуктор са универзалним кућиштем UNIBOX (3) и редуктор са универзалним кућиштем UNIBOX и раздвојивом прирубницом (4) [39]

начин монтаже – Р - за редуктор са стопалима; F - за редуктор са прирубницом, U - за редуктор са универзалним кућиштем UNIBOX, UF - за редуктор са универзалним кућиштем UNIBOX и раздвојивом прирубницом (сл. 3.75). Редуктори са стопалима се израђују у свим величинама, док се редуктори са прирубницом не израђују у величинама С35 до С61. Редуктори са UNIBOX кућиштем израђују се у величинама С11 до С61;

преносни однос – величина укупног преносног односа редуктора;

величина међуплоче са улазне стране – ознака и величина међуплоче са улазне стране редуктора којом се електромотор повезује на кућиште или ознака за подсклоп са улазним вратилом (сл. 3.76);



Сл. 3.76.

Ознака и величина међуплоче са улазне стране редуктора верзије С којом се редукторски електромотор повезује на кућиште (1), којом се стандардни IEC електромотор повезује на кућиште (2) или ознака за подсклоп са улазним вратилом (3) [39]

тип мотора – М - за специјални редукторски електромотор; ВN - за стандардни IEC електромотор;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Bonfiglioli [39], у зависности од снаге и броја обртаја.

Може се приметити да произвођач Bonfiglioli користи неке од осних висина које имају и остали велики произвођачи редуктора, али производи и редукторе са специфичним осним висинама које нема ни један други произвођач, као што су осне висине од 110, 210 и 345 mm. Такође, види се да не постоји ниједна осна висина са два сета зупчаника, али је веома интересантно да произвођач Bonfiglioli, на веома малој разлици осних висина од 100 до 115 mm, нуди три величине редуктора са осним висинама 100, 110 и 115 mm.

Техничке карактеристике двостепеног, тростепеног и четворостепеног универзалног моторног зупчастог редуктора серије С дате су у табели 3.48, 3.49 и 3.50. У табелама су првенствено праћени редуктори са специјалним редукторским моторима. Пошто се редукторски мотори користе до 18,5 kW снаге, а изнад тога се користе искључиво стандардни IEC мотори, две највеће величине двостепених редуктора постижу највећи обртни момент са стандардним IEC моторима, па су због тога у табели 3.48 наведене две масе, са редукторским и са стандардним мотором.

Табела 3.48. Техничке карактеристике двостепених универзалних моторних зупчастих редуктора серије С произвођача Bonfiglioli [39]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
85	C05 2	47	44,7	4,4	0,35
85	C11 2	92	66,2	6,1	0,45
100	C21 2	193	63,3	6,6	0,8
110	C31 2	314	52,4	9,5	1,4
115	C35 2	385	19	14,5	1,6
130	C41 2	525	44,8	21	2,2
155	C51 2	809	57	43	3,1
195	C61 2	1390	38	58	4,2
210	C70 2	2014	34,7	80	6,5
250	C80 2	2983	39,1	126	11
300	C90 2	6322*	35,1	214 / 273**	19
345	C100 2	11119*	29,6	338 / 426**	27

* - највећи обртни момент постигнут је коришћењем стандардног IEC мотора

** - маса кућишта и међуплоча при спајању редукторским и стандардним IEC мотором

Табела 3.49. Техничке карактеристике тростепених универзалних моторних зупчастих редуктора серије С произвођача Bonfiglioli [39]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
100	C21 3	206	225,8	7	1,2
110	C31 3	293	274,7	9,5	1,6
115	C35 3	455	162	14,5	1,5
130	C41 3	607	209,1	21	2,1
155	C51 3	1031	216,7	43	3
195	C61 3	1616	195,8	58	4,2
210	C70 3	2420	239,3	80	6,5
250	C80 3	4129	215,8	126	11
300	C90 3	7411	172,1	214	19
345	C100 3	12594	150,4	338	27

Компанија Bonfiglioli једна је од ретких која производи универзалне четворостепене редукторе у једном кућишту. Кућишта редуктора веома су слична, без обзира на то од које врсте материјала су произведена. Једино је најмање кућиште двостепеног редуктора осне висине 85 mm заобљено (сл. 3.77-1), док су све остале величине изведене у прилично четвртастој форми (сл. 3.77-2). На истој осној висини производи се и двостепени редуктор са кућиштем четвртастог облика. Тростепени редуктор на овој осној висини не постоји. Редуктори до осне висине 110 mm производе се од алуминијумских легура, а редуктори осне висине 115 mm и већи производе се од сивог лива. Поред моторног редуктора са специјалним и стандардним мотором, овај произвођач израђује и редуктор са улазним вратилом за све величине.

Табела 3.50. Техничке карактеристике четворостепених универзалних моторних зупчастих редуктора серије С произвођача Bonfiglioli [39]

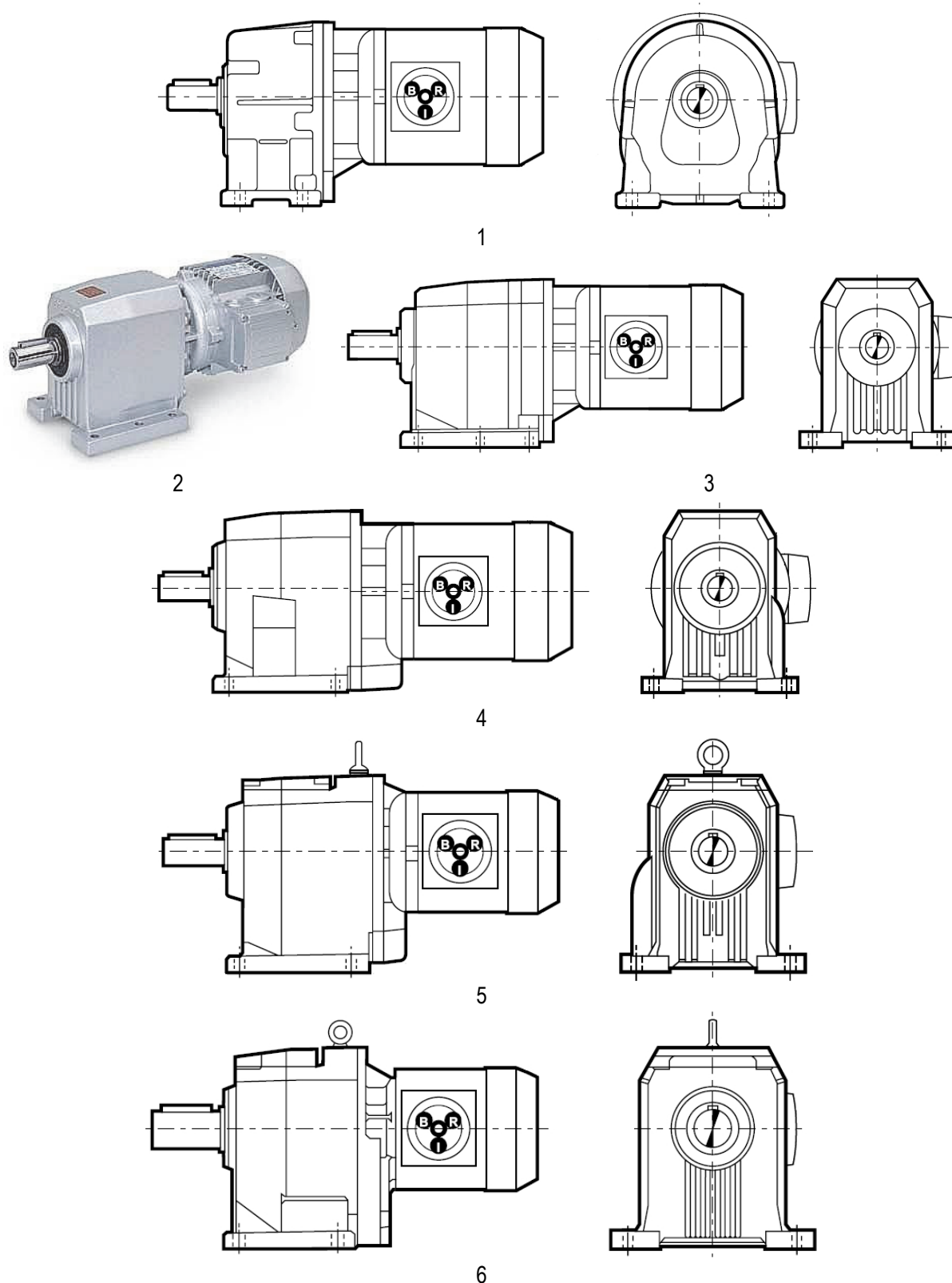
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
115	С35 4	457	665,9	15,5	2,3
130	С41 4	628	855,5	24	2,8
155	С51 4	1031	549,7	46	4,3
195	С61 4	1600	796,1	65	6,1
210	С70 4	2351	736	84	6,5
250	С80 4	4210	1274	130	11
300	С90 4	7325	1240	225	19
345	С100 4	12630	1081	346	27

Без обзира на сличну четвртасту форму, постоји неколико подгрупа кућишта са истим карактеристикама. Кућишта редуктора С 11, С 21 и С 31 су најмања кућишта четвртaste форме и симетрична су. Кућиште је са стране равно, без икаквих „стомачића” (сл. 3.77-2,3). Најмања кућишта редуктора од сивог лива С 35 и С 41 (сл. 3.77-4) праве се као несиметрична, тако да имају „стомачић” само са једне стране. Ово је још једна одлика редуктора компаније Bonfiglioli, јер су кућишта редуктора осталих произвођача углавном симетрична. Код већих кућишта редуктора С 51 и С 61 постоји „стомачић” само са једне стране, али је он сада већи, израженији и налази се на супротној страни у односу на претходне мање редукторе (сл. 3.77-5). Кућишта највећих редуктора С 70 до С 100 најшира су и симетрична (сл. 3.77-6).

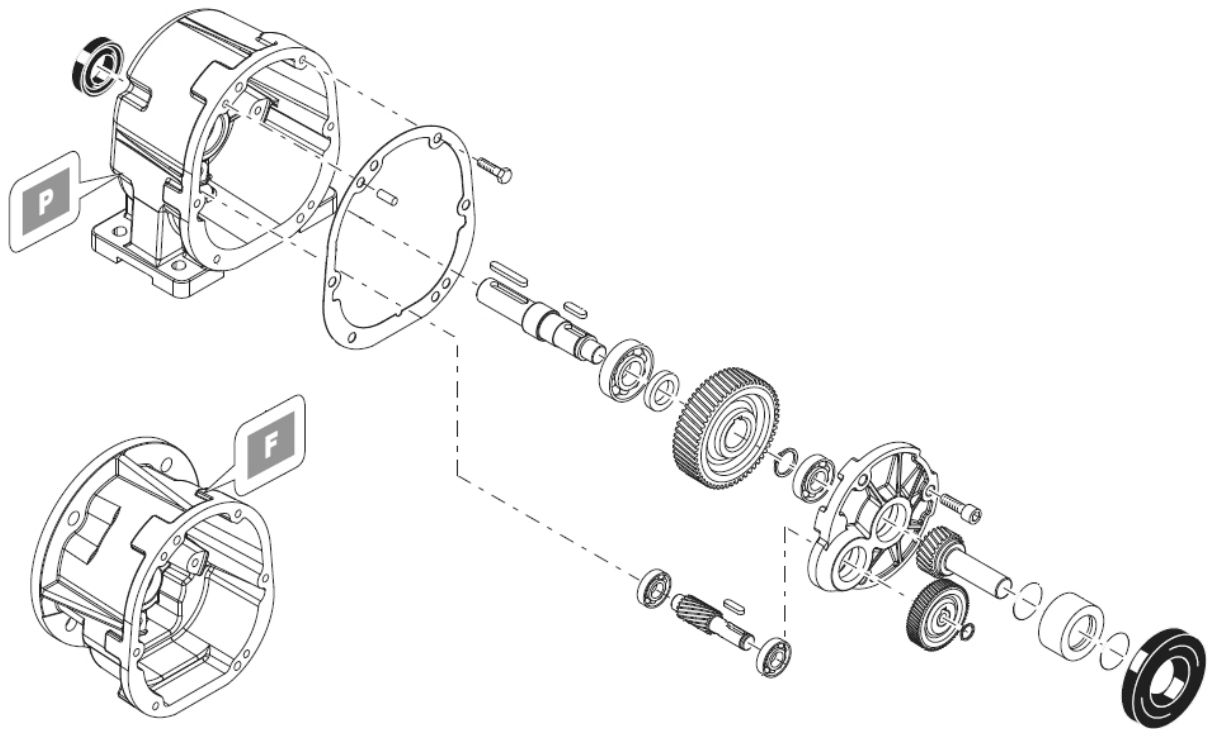
Поред разлика у облику кућишта, значајних разлика има и у концепцијском решењу кућишта различитих величина и начину формирања вишестепених преноса. Тако на пример, кућиште редуктора С 05 спада у једноделно кућиште (тело кућишта) са одвојивом међуплочом и одвојивим средњим зидом и са аксијалном монтажом зупчаника и вратила са стране мотора (сл. 3.78). Средњи зид се завртњима причвршћује и дели кућиште на брзоходну комору, са улазним зупчастим паром и другим зупчаником на препусту зупчастог вратила, и на спороходну комору са излазним паром. Све ово се на крају затвара међуплочом за повезивање са специјалним мотором (сл. 3.79).

Такође, кућиште двостепеног редуктора С 11, С 21 и С 31 концепцијски је изведено као једноделно. Постоји неодвојиви спуштени средњи зид који дели кућиште на брзоходну и спороходну комору. Врши се аксијална монтажа зупчаника и вратила са стране мотора, а само се излазно вратило монтира са излазне стране (сл. 3.80). Кроз нижи средњи зид излазни зупчаник се са стране мотора убацује у спороходну комору. Тростепени редуктори С 21 3 и С 31 3 добијају се проширивањем брзоходне коморе и додавањем улазног зупчастог пара (сл. 3.81). Ови тростепени редуктори изведени су као дводелни, јер се између међуплоче за мотор и тела кућишта налази међуредуктор.

Двостепени и тростепени редуктори С 35 и С 41 израђују се у оквиру истог једноделног кућишта са спуштеним средњим зидом које се састоји из одливка кућишта и међуплоче за повезивање са мотором. Монтажа зупчаника и вратила је аксијална кроз отвор са стране мотора, једино се излазно вратило монтира са излазне стране (сл. 3.82). Додавањем међуредуктора са улазне стране, добија се универзални четворостепени редуктор. Овај међуредуктор (сл. 3.81) исти је као и код претходних величина да би се добио тростепени редуктор. Четворостепени редуктор се састоји из два дела, са исто тако аксијалном монтажом.

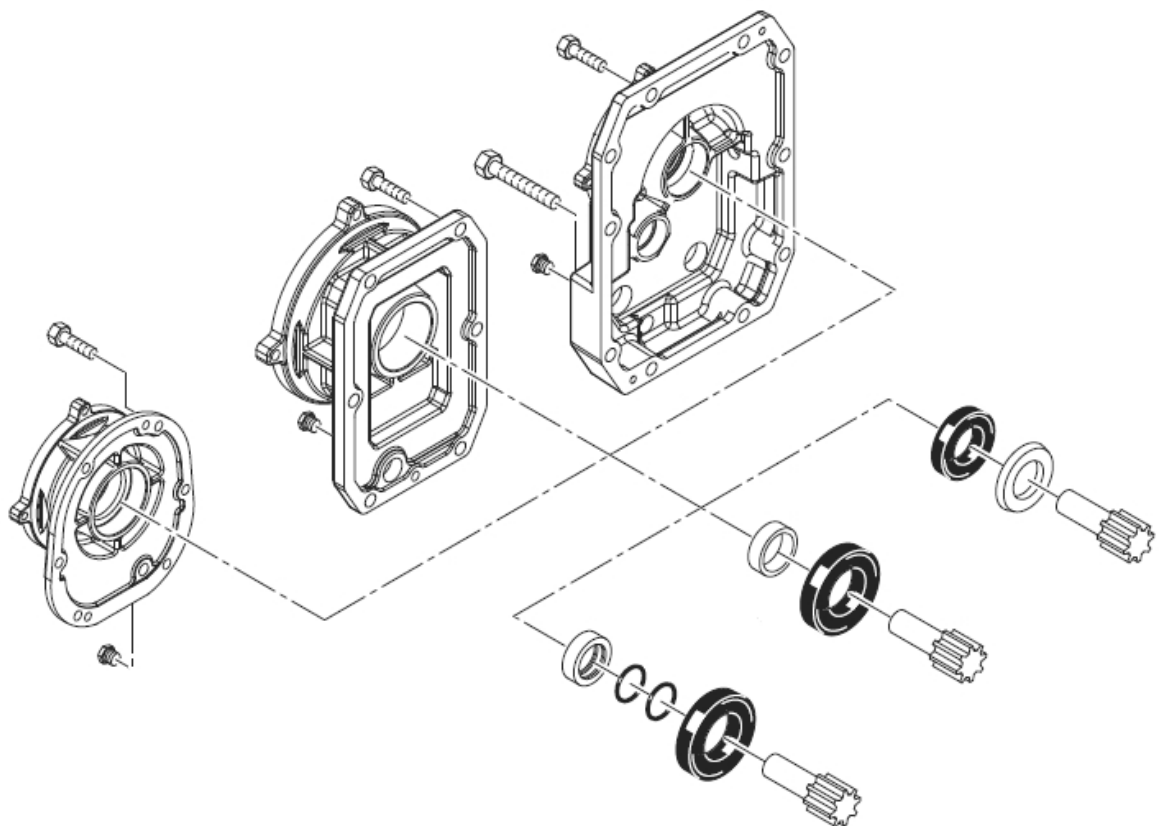
**Сл. 3.77.**

Изглед двостепеног моторног редуктора С 05 (1), изглед двостепеног и тростепеног моторног редуктора С 11, С 21 и С 31 (2,3), моторног редуктора С 35 и С 41 (4), моторног редуктора С 51 и С 61 (5) и моторног редуктора С 70, С 80, С 90 и С 100 (6) (решење компаније Bonfiglioli) [39]



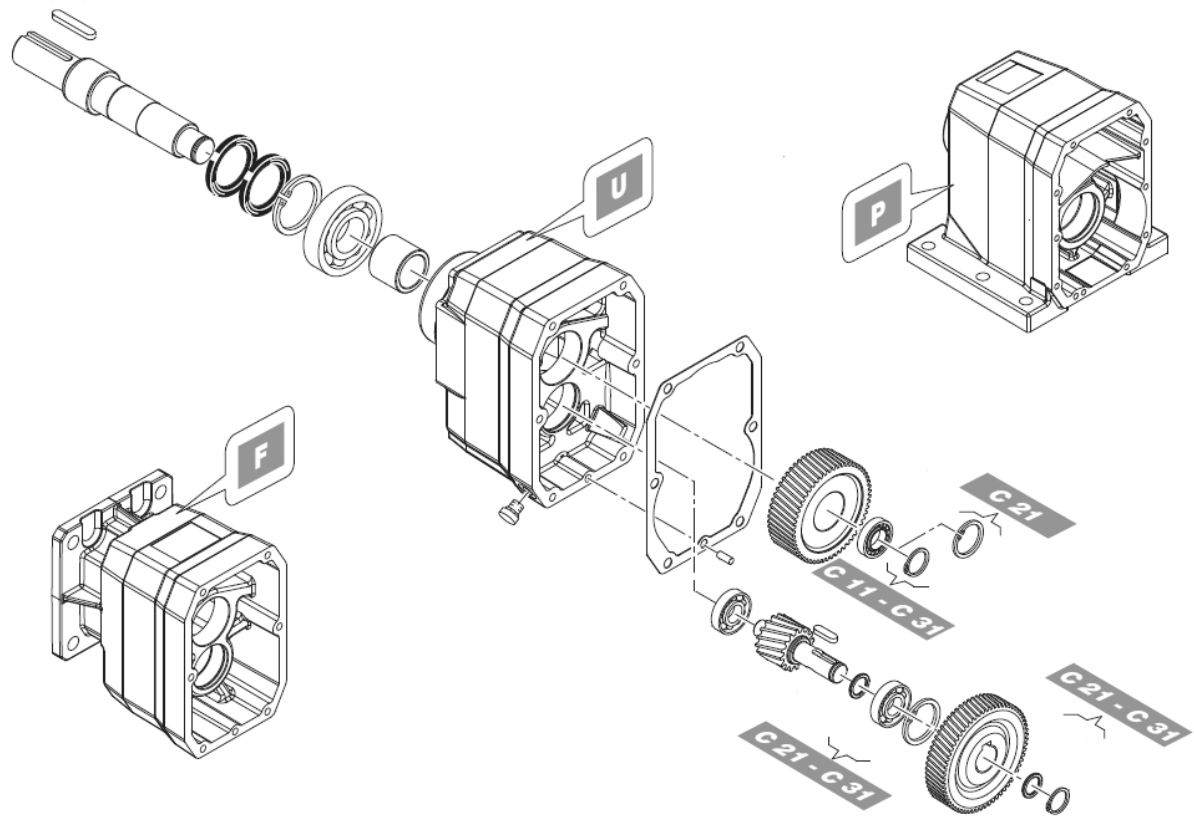
Сл. 3.78.

Експанзиони цртеж двостепеног универзалног зупчастог редуктора С 05 произвођача Vonfiglioli [40]



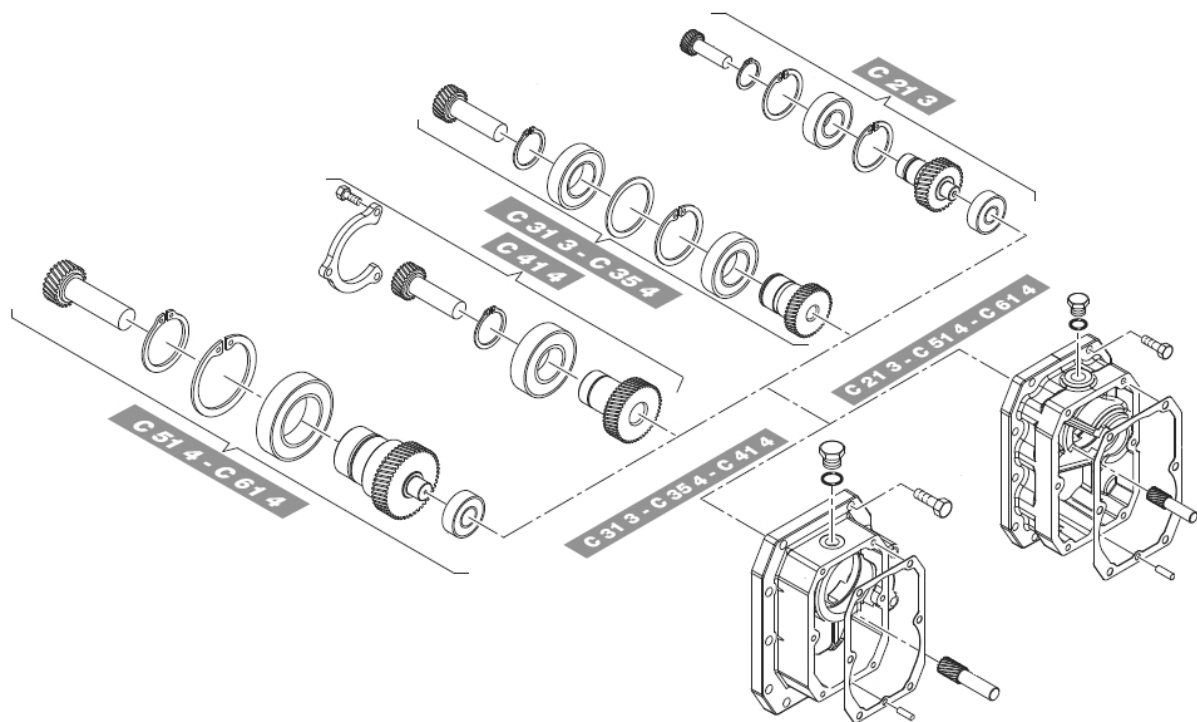
Сл. 3.79.

Експанзиони цртеж међуплоче за повезивање електромотора (решење компаније Vonfiglioli) [40]



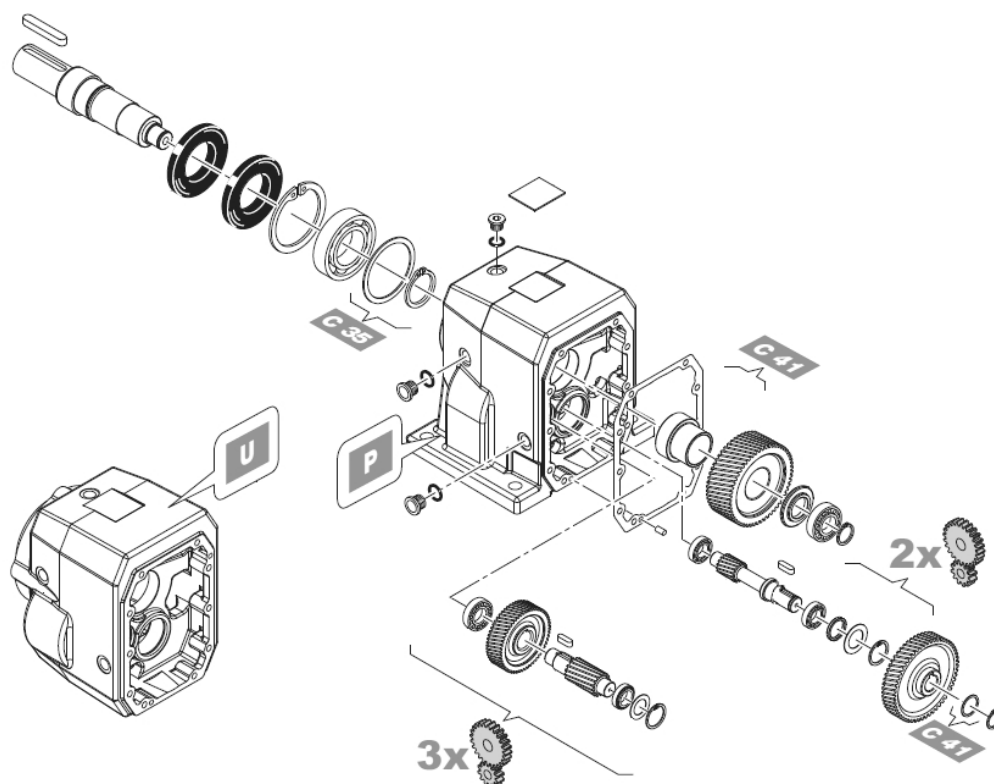
Сл. 3.80.

Експанзиони цртеж двостепеног универзалног зупчастог редуктора C 11, C 21 и C 31 произвођача Bonfiglioli [40]



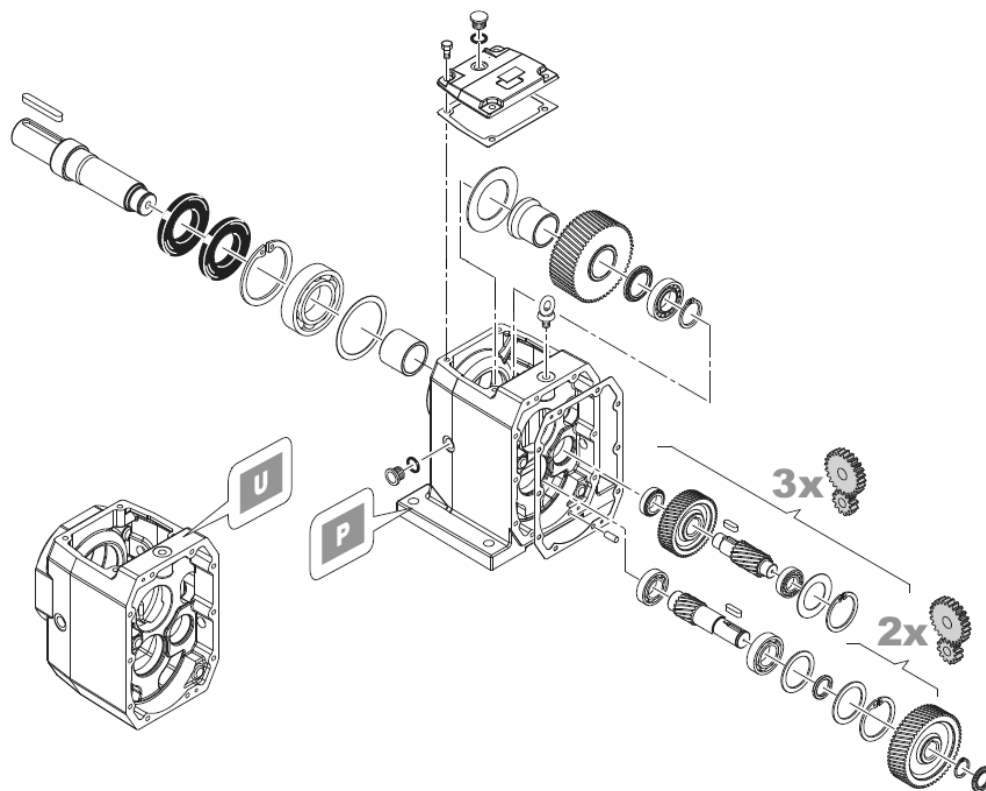
Сл. 3.81.

Експанзиони цртеж додатог међуредуктора за формирање тростепеног односно четворостепеног зупчастог редуктора (решење компаније Bonfiglioli) [40]



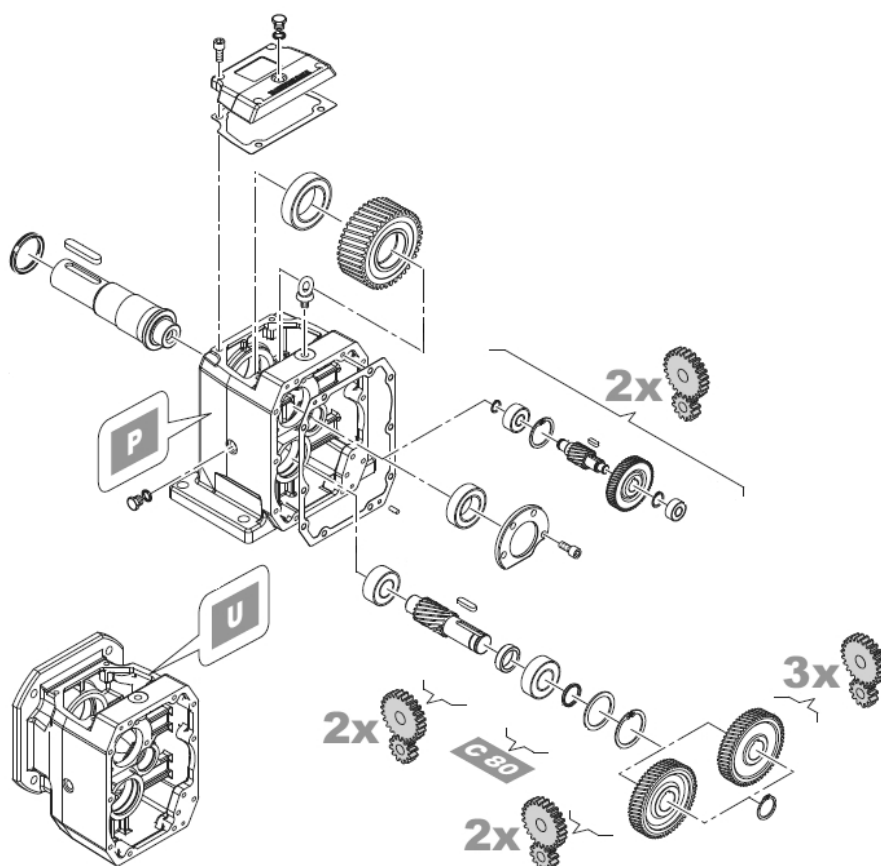
Сл. 3.82.

Експанзиони цртеж двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора С 35 и С 41 произвођача Vonfiglioli [40]

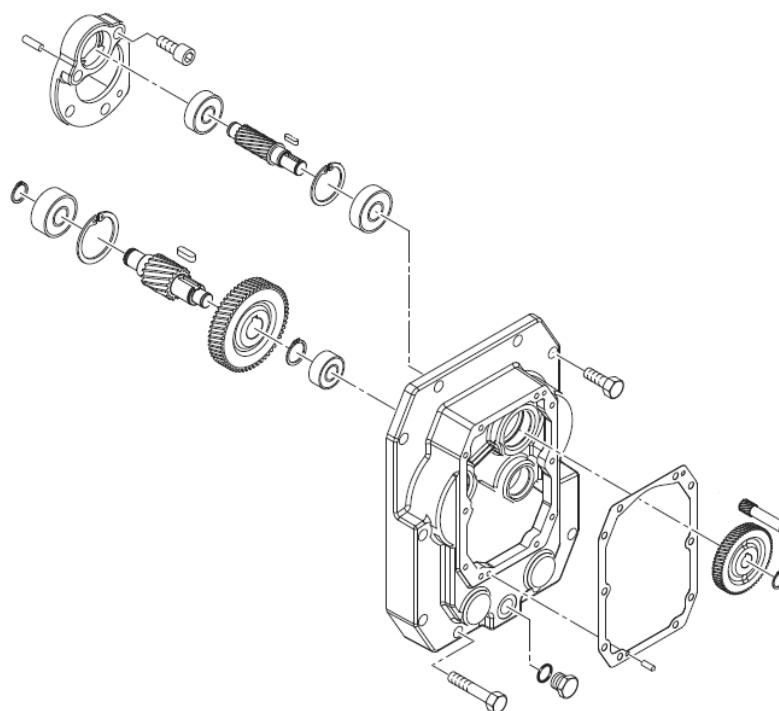


Сл. 3.83.

Експанзиони цртеж двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора С 51 и С 61 произвођача Vonfiglioli [40]

**Сл. 3.84.**

Експанzioni цртеж двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора С 70 и С 80 произвођача Bonfiglioli [40]

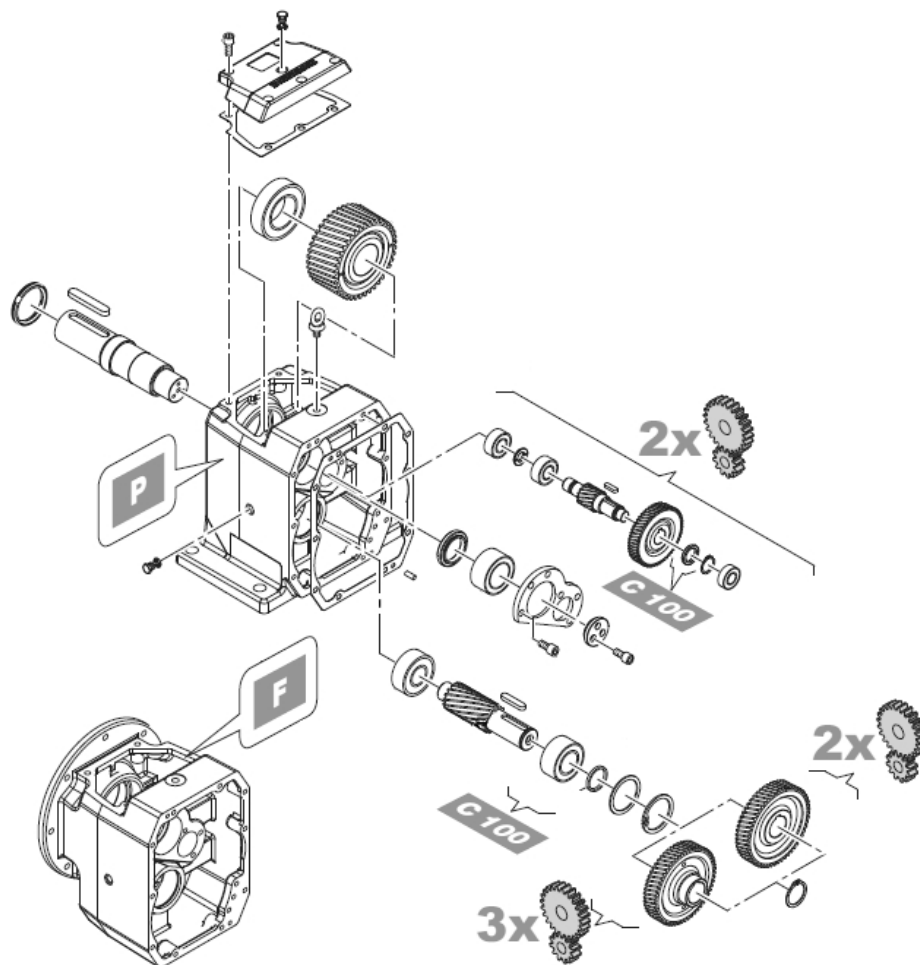
**Сл. 3.85.**

Експанzioni цртеж додатог међуредуктора за формирање четворостепеног зупчастог редуктора С 70 4, С 80 4, С 90 4 и С 100 4 (решење компаније Bonfiglioli) [40]

Двостепени и тростепени редуктори С 51 и С 61 израђују се у оквиру истог једноделног кућишта које сада, за разлику од претходних решења, има и поклопац на спороходној комори што омогућава уградњу зупчаника већих пречника чиме се омогућава постизање већих преносних односа (сл. 3.83). Монтажа зупчаника и вратила је радиаксијална јер се излазни зупчаник поставља радијално кроз отвор на спороходној комори, излазно вратило аксијално са излазне стране, а сви остали делови аксијално са стране мотора. Додавањем истих међуредуктора (сл. 3.81) са улазне стране, добија се универзални четворостепени редуктор. Четворостепени редуктор састоји се из два дела, са исто тако радиаксијалном монтажом.

У оквиру истог једноделног кућишта, редуктори С 70 и С 80 формирају двостепену и тростепену варијанту. Кућиште, такође, има и поклопац на спороходној комори (сл. 3.84), а монтажа зупчаника и вратила је радиаксијална. За ове веће редукторе користи се и већи међуредуктор (сл. 3.85) за добијање четворостепеног редуктора. Четворостепени редуктор састоји се из два дела, са исто тако радиаксијалном монтажом. Четворостепени редуктор има три коморе. Прву комору чине међуплоча и кућиште међуредуктора са првим зупчастим паром. Другу комору чине међуредуктор и раније брзоходна комора двостепеног и тростепеног редуктора у којој се налазе други и трећи зупчasti пар. У трећој комори налази се излазни зупчasti пар.

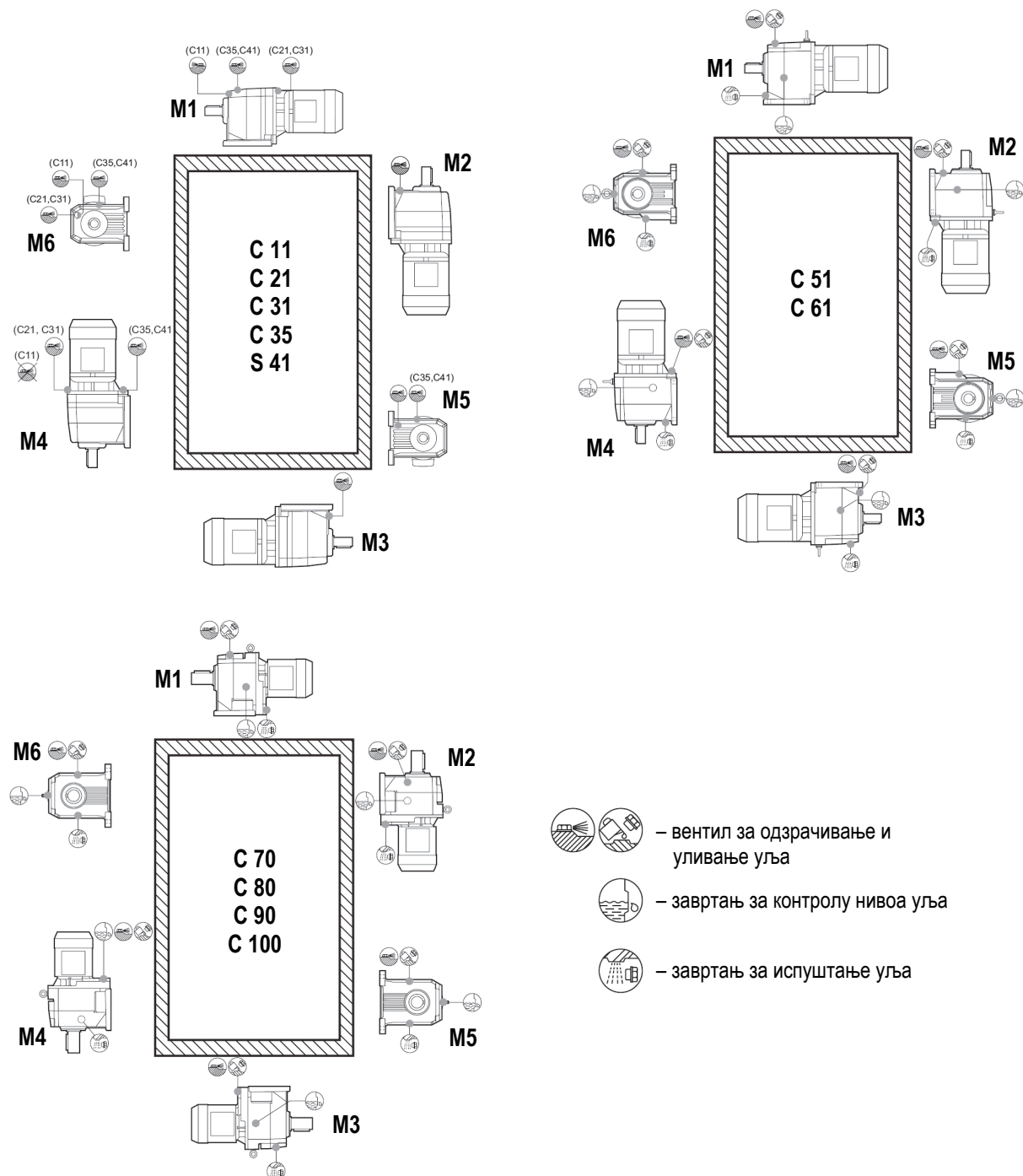
На сл. 3.86 приказан је експанзиони цртеж двостепеног и тростепеног редуктора величине С 90 и С 100. Начин извођења и формирања четворостепеног редуктора исти је као код величина С 70 и С 80.



Сл. 3.86.

Експанзиони цртеж двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора С 90 и С 100 произвођача Bonfiglioli [40]

Може се закључити да је компанија Bonfiglioli развила усавршен модуларни принцип склапања редуктора, али исто тако и да је тај принцип склапања много сложенији у односу на остале начине склапања редуктора ове врсте.



Сл. 3.87.

Положаји уградње завртњева за одзрачивање и уливање уља, контролу нивоа и испуштање уља на кућишту универзалног моторног зупчастог редуктора серије С произвођача Bonfiglioli, у зависности од положаја уградње [39]

С обзиром да постоје различита концептуална решења кућишта, различити су и положаји уградње завртњева за одзрачивање, контролу нивоа уља и испуштање уља. Њихов положај у зависности од положаја уградње приказан је на сл. 3.87.

Редукторе величине С 05, С 11, С 21, С 35 и С 41 произвођач пуни уљем и тако их испоручује, док је купац према препоруци дужан да у веће величине редуктора долије и контролише уље, водећи рачуна при томе о положају завртњева за одзрачивање, контролу нивоа и испуштање уља.

3.8. Универзални зупчасти редуктори произвођача КЕВ

Компанија КЕВ (Karl E. Brinkmann GmbH, Försterweg 36 – 38, D - 32683 Barntrop, Germany) спада у мање произвођаче редуктора. Основана је 1972. год, а назив је добила по иницијалима њеног оснивача Karl-Ernst Brinkmann-а. Основана је као фабрика са шест радника, а данас запошљава око 1200 радника са много већим производним програмом. Поред различитих врста преносника, КЕВ производи и универзалне зупчасте моторне редукторе и са улазним вратилом. Ови редуктори се могу монтирати преко стопала, или прирубнице, или и преко стопала и прирубнице, а производе се као двостепени и тростепени, уз могућност склапања ових подсклопова у вишестепене преноснике.

Компанија КЕВ означава своје моторне редукторе на следећи начин [41]:

Ознака серије „G” / величина редуктора / број степени / начин монтаже / величина мотора и број полова

где је: **величина редуктора** – зависна од осне висине и дефинисана је према таб. 3.51.

Табела 3.51. Ознаке величина двостепених и тростепених редуктора произвођача КЕВ

Осна висина h , mm	70	85	100	120	145	180	220	250	290	340
Ознаке дво и тростепених редуктора	G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9

број степени – 2 - двостепени редуктор и 3 - тростепени редуктор;

начин монтаже – С - за редуктор са стопалима; А - за редуктор са прирубницом, Е - за редуктор и са стопалима и са прирубницом;

величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача КЕВ [41], у зависности од снаге и броја обртаја.

Може се видети да компанија КЕВ нуди десет величина двостепених и тростепених редуктора, са осним висинама које нуде и остали велики произвођачи редуктора.

Техничке карактеристике двостепеног моторног редуктора дате су у табели 3.52, а техничке карактеристике тростепеног редуктора дате су у табели 3.53.

Према анализираном каталогу компаније КЕВ [41], користе се само електромотори до снаге 37 kW, тако да због тога двостепени моторни редуктори не достижу своју максималну носивост, као што је то случај са тростепеним редукторима. На кућиште се директно везује специјални редукторски електромотор, а постоји могућност повезивања адаптера за стандардни IEC мотор, NEMA мотор или серво мотор, а може се извести и са улазним вратилом.

Табела 3.52. Техничке карактеристике универзалних моторних двостепених редуктора произвођача КЕВ [41]

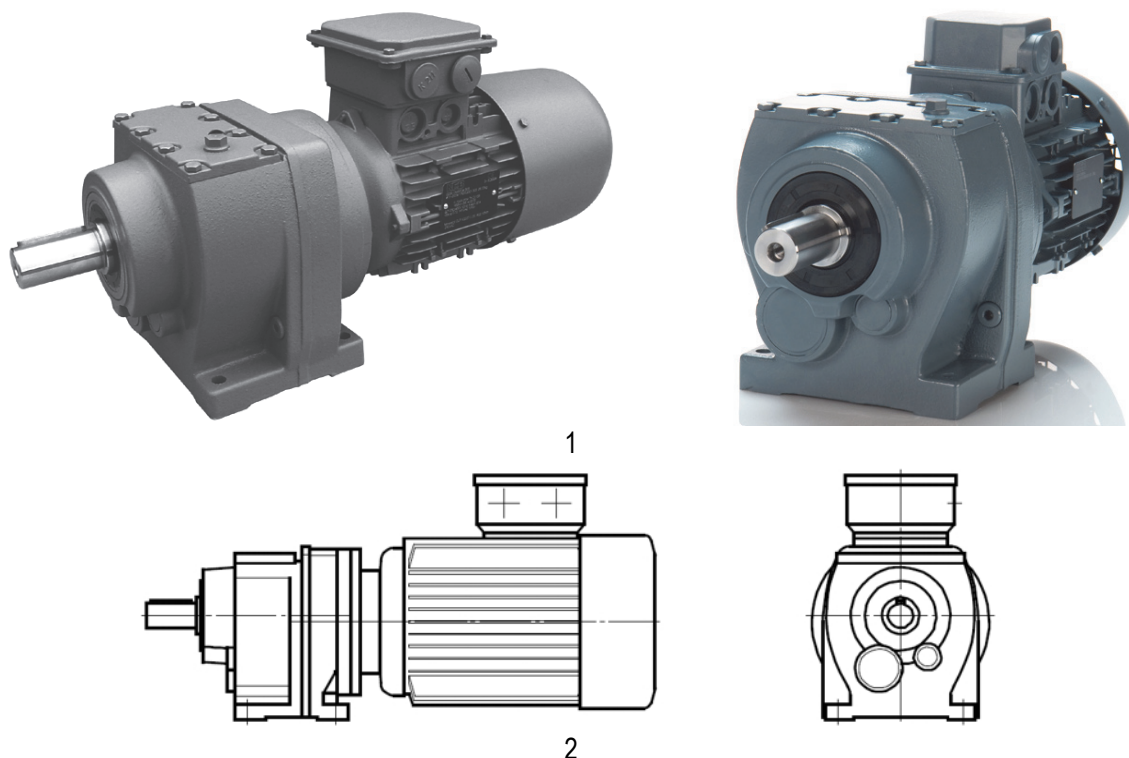
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
70	G02	46	16,97	4,6	0,1
85	G12	119	24,88	5,5	0,15
100	G22	235	21,82	8,7	0,25
120	G32	490	25,67	14,4	0,35
145	G42	890	26,83	26,5	0,5
180	G52	1330	31,19	50	1,1
220	G62	2120	31,16	75	1,9
250	G72	3650	26,11	128	3
290	G82	4510	18,81	208	4,8
340	G92	4150	17,34	328	8,1

Табела 3.53. Техничке карактеристике универзалних моторних тростепених редуктора произвођача КЕВ [41]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају М1, dm^3
70	G03	60	72,52	5	0,1
85	G13	119	115,34	5,7	0,15
100	G23	240	153,41	8,7	0,25
120	G33	490	177,27	14,8	0,35
145	G43	890	210,05	27	0,5
180	G53	1670	186,77	53	1,1
220	G63	2800	221,95	82	1,9
250	G73	4900	250,97	139	3
290	G83	8690	186,96	221	4,8
340	G93	13600	157,04	354	8,1

Компанија КЕВ производи двостепене и тростепене редукторе у истом, универзалном кућишту. Кућишта су направљена од сивог лива и она су истог облика за све величине редуктора. Кућиште је карактеристично по свом четвртасто-кружном облику (сл. 3.88). Не постоје „стомачићи”, већ тамо где би редуктор требало да је шири четвртасти је облик, а на месту где су лежајеви излазног вратила и излазни зупчаник, кућиште има кружни облик.

Монтажа зупчаника и вратила је радиаксијална, јер на спороходној комори постоји отвор са горње стране кроз који се убацује излазни зупчаник. Излазно вратило убацује се са излазне стране, а сви остали зупчаници кроз отвор са стране мотора.

**Сл. 3.88.**

Изглед (1) и шематски приказ (2) моторног зупчастог редуктора компаније KEB [41]

3.9. Универзални зупчasti редуктори произвођача Leroy Somer

Компанија Leroy Somer из Француске (Leroy-Somer, 16015 Angoulême Cedex - France) спада у осре-дње произвођаче редуктора. Основана је тридесетих година прошлог века. Данас има 45 произво-дних и монтажних погона у различитим земљама и производи 350.000 преносника годишње.

Поред конусно-зупчastих и зупчastих редуктора са паралелним вратилима, Leroy-Somer производи и универзалне зупчaste моторне редукторе, редукторе са адаптером за IEC мотор и редукторе са улазним вратилом (сл. 3.89). Ови редуктори могу се монтирати преко стопала, или прирубнице, а производе се као једностепени и тростепени, а само у одређеним величинама и као двостепени.

Компанија Leroy-Somer означава своје моторне редукторе на следећи начин [42]:

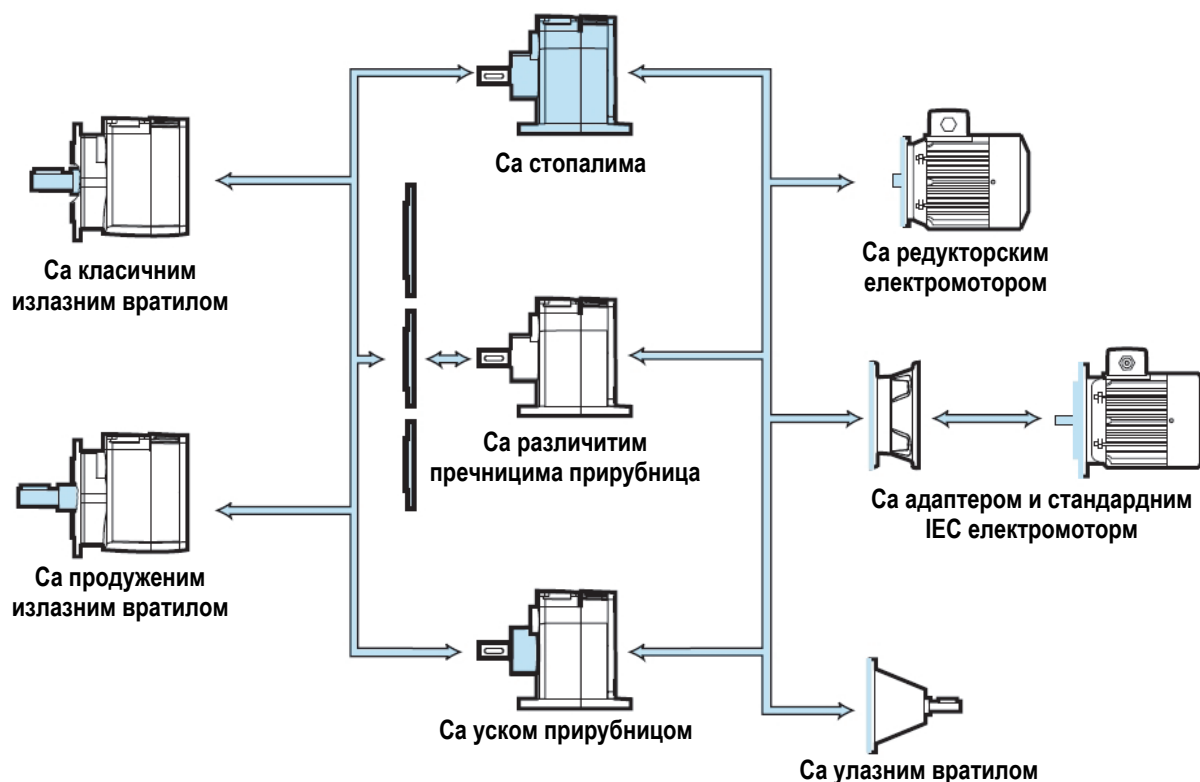
Ознака серије „Cb” / број степени и величина редуктора / преносни однос / начин монтаже / ознака „M” за моторни редуктор / број полова и величина мотора

где је: **број степени и величина редуктора** – четвороцифрен број који дефинише број степени спрезања и величину редуктора која зависи од осне висине и дефинисана је према таб. 3.54 и таб. 3.55.

преносни однос – даје се конкретна вредност преносног односа у зависности од постављеног сета зупчаника;

начин монтаже – S - за редуктор са стопалима; BS - за редуктор са широком прирубницом и стопалима, BT - за редуктор са уском прирубницом и стопалима;

ознака „MI” за моторни редуктор; поред ове ознаке постоје ознака „MU” за редуктор са адаптером за електромотор и ознака „AP” за редуктор са улазним вратилом; величина мотора и број полова – дефинисани су у каталогу произвођача Leroy-Somer [42], у зависности од снаге и броја обртаја.



Сл. 3.89.

Могући начини израде зупчастих редуктора компаније Leroy Somer [42]

Табела 3.54. Ознаке величина једноступених редуктора произвођача Leroy-Somer

Осна висина h , mm	75	80	90	112	132	160
Ознаке једноступених редуктора	Cb 3031	Cb 3131	Cb 3231	Cb 3331	Cb 3431	Cb 3531

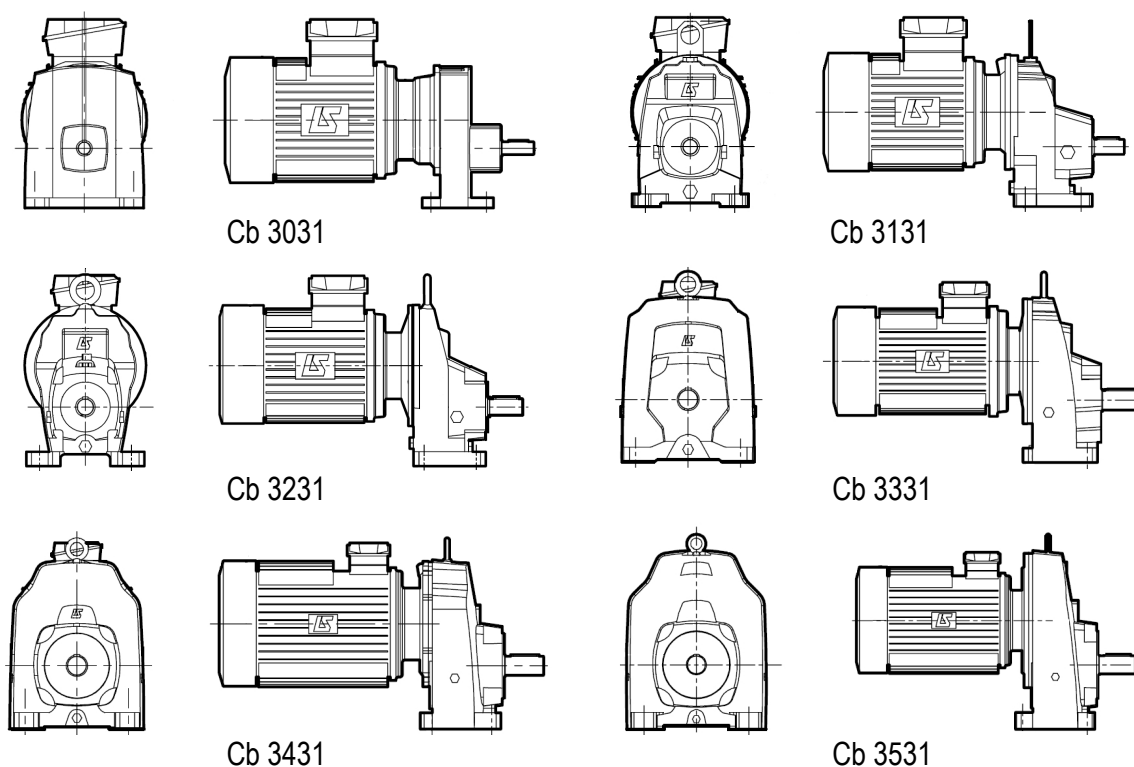
Табела 3.55. Ознаке величина троступених редуктора произвођача Leroy-Somer

Осна висина h , mm	75	90	115	140	180	225	250	315
Ознаке троступених редуктора	Cb 3033	Cb 3133	Cb 3233	Cb 3333	Cb 3433	Cb 3533	Cb 3633	Cb 3733

Редуктори произвођача Leroy-Somer узети су у обзир за разматрање због карактеристичног решења монтаже зупчаника унутар кућишта. Наиме, произвођач Leroy-Somer, за разлику од већине осталих произвођача редуктора, поставља други и трећи пар унутар спороходне коморе, док је само први пар унутар брзоходне коморе. Због немогућности да довољно оптерети своје

треће зупчато вратило, овај произвођач не производи двостепене редукторе. Двостепени редуктор производи се само за најмању осну висину 75 mm, али зато се једностепени редуктори, у посебним кућиштима, производе до осне висине 160 mm, а тростепени већ од осне висине 75 mm, чиме се покушава ублажити недостатак двостепених редуктора.

Осне висине једностепених и тростепених редуктора се не поклапају. Постоји шест величина једностепених редуктора и у зависности од осне висине, облик кућишта се незнатно разликује, више у погледу спреда него са стране (сл. 3.90 и 3.91).

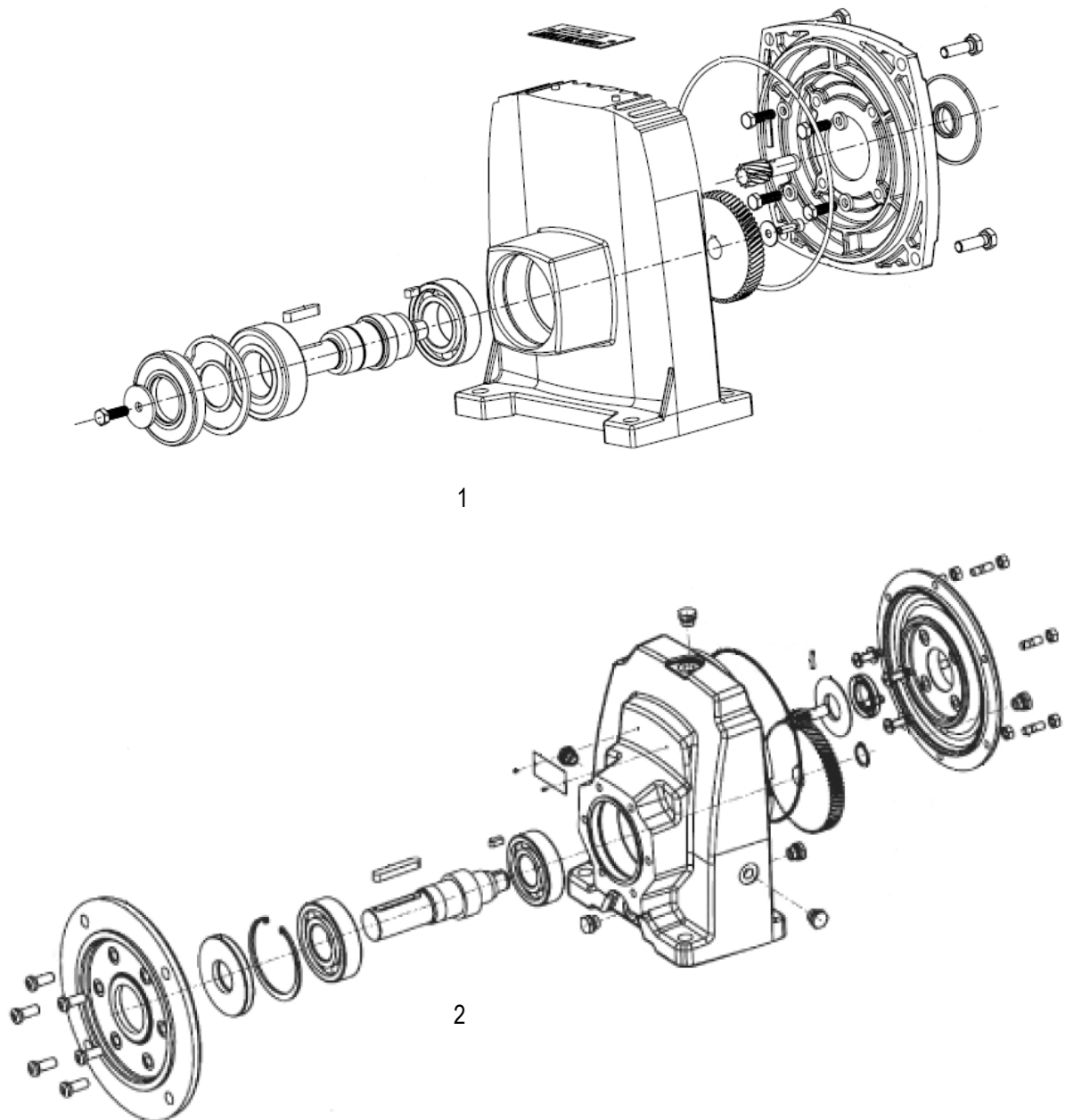


Сл. 3.90.

Шематски приказ моторног једностепеног зупчастог редуктора компаније Leroy Somer [42]

Табела 3.56. Техничке карактеристике универзалних моторних једностепених редуктора произвођача Leroy Somer [42]

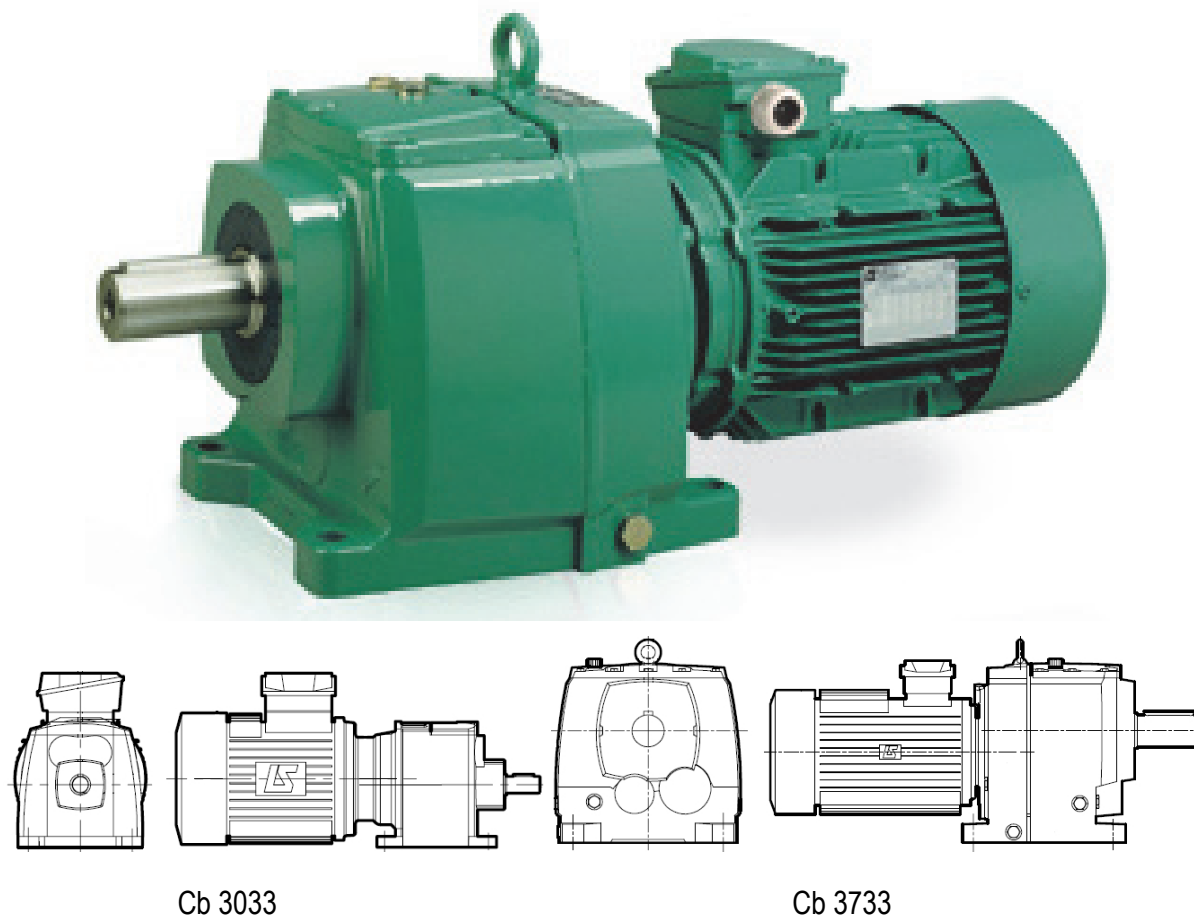
Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm ³
75	Cb 3031	15,7	8,13	2,3	/
80	Cb 3131	49,9	7,91	6,9	0,35
90	Cb 3231	79,4	8,08	8,3	0,25
112	Cb 3331	138,9	7,83	15,5	0,9
132	Cb 3431	331,3	8,1	25	2
160	Cb 3531	567,2	8	41	3,2

**Сл. 3.91.**

Експанзиони цртеж једноступеног моторног зупчастог редуктора компаније Leroy Somer [42], величина Сб 3031 (1) и величине Сб 3131-3531 (2)

Кућишта тростепених редуктора међусобно су слична за различите осне висине (сл. 3.92). Као што је већ речено, основна карактеристика тростепених редуктора компаније Leroy-Somer је постављање другог и трећег пара у спороходној комори. На сл. 3.93 види се да је трећи зупчаник позициониран између лежајева унутар спороходне коморе, а да се други зупчаник налази на препусту овог вратила у брзоходној комори. На петом зупчастом вратилу налазе се четврти и пети зупчаник између лежајева у спороходној комори.

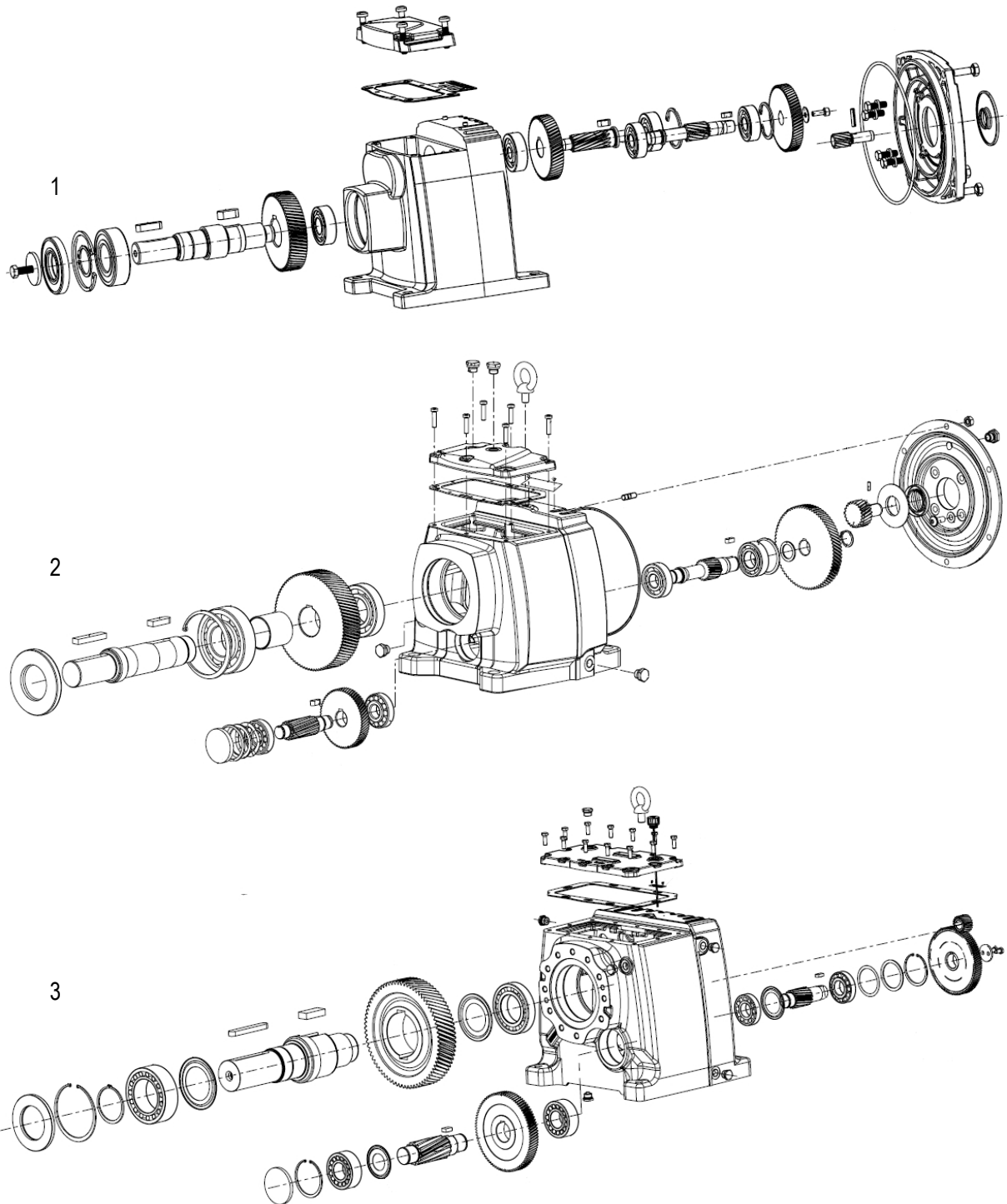
Техничке карактеристике једноступеног моторног редуктора дате су у табели 3.56, а техничке карактеристике тростепеног редуктора дате су у табели 3.57.

**Сл. 3.92.**

Изглед и шематски приказ моторног тростепеног зупчастог редуктора компаније Leroy Somer [42]

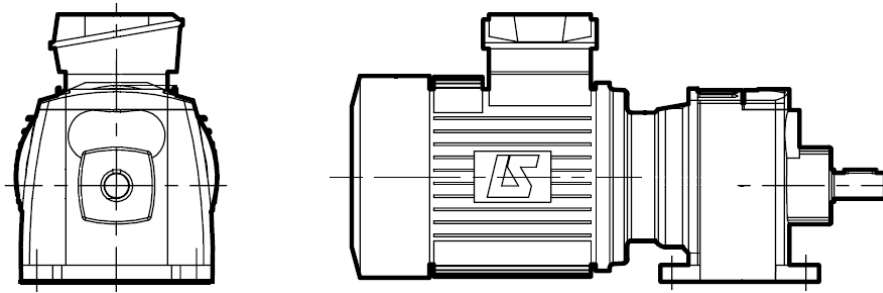
Табела 3.57. Техничке карактеристике универзалних моторних тростепених редуктора произвођача Leroy Somer [42]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
75	Cb 3033	98,2	204	4,9	0,7
90	Cb 3133	202,5	158	13	0,6
115	Cb 3233	477,9	204	18,5	0,95
140	Cb 3333	854	200	30	1,6
180	Cb 3433	1615	204	50	3,3
225	Cb 3533	3112	201	90	5,2
250	Cb 3633	4385	252	162	
315	Cb 3733	9791	244	192	

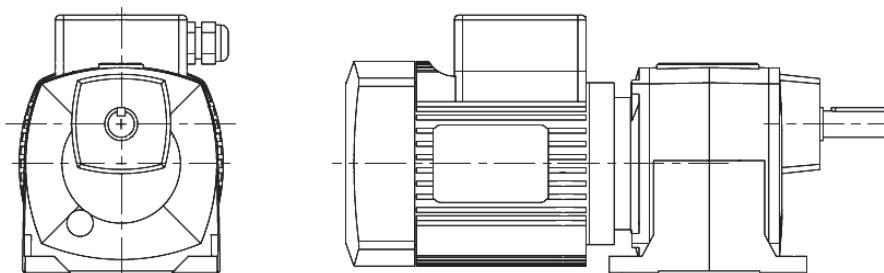
**Сл. 3.93.**

Експанзиони цртеж тростепеног моторног зупчастог редуктора компаније Leroy Somer [42], величине Cb 3033 (1), величине Cb 3133-3533 (2) и величине Cb 3633-3733 (3)

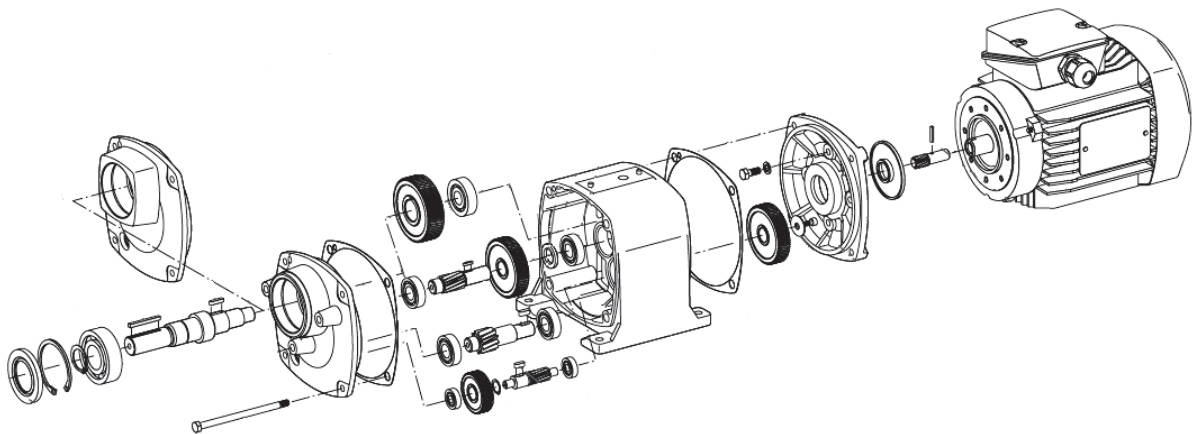
Да би се ублажио недостатак комплетне серије двостепених редуктора, компанија Leroy-Somer поред двостепеног редуктора осне висине 75 mm (сл. 3.94), производи и специфичан облик редуктора осне висине 90 mm, али са моторима мале снаге, тако да је осна висина излаза знатно већа него осна висина мотора (сл. 3.95). Ови редуктори се производе као двостепени (Cb 1502), тростепени (Cb 1503) и чак четворостепени (Cb 1504).

**Сл. 3.94.**

Шематски приказ моторног двостепеног зупчастог редуктора Сб 3032 осне висине 75 mm компаније Leroy Somer [42]

**Сл. 3.95.**

Шематски приказ специјалног моторног зупчастог редуктора осне висине 90 mm компаније Leroy Somer [42]

**Сл. 3.96.**

Експанзиони цртеж специјалног моторног зупчастог редуктора осне висине 90 mm компаније Leroy Somer [42]

Техничке карактеристике двостепеног моторног редуктора Сб 3032 осне висине 75 mm и редуктора осне висине 90 mm дате су у табели 3.58.

Кућишта редуктора најмање осне висине 75 mm (ознаке Сб 30) и специјалних редуктора Сб 15 компаније Leroy Somer праве се од легура алуминијума, док се кућишта осталих већих једноступених и троступених редуктора праве од сивог лива.

Табела 3.58. Техничке карактеристике моторних редуктора произвођача Leroy Somer [42]

Осна висина h , mm	Ознака редуктора	Називни обртни момент T_N , Nm	Највећи преносни однос i_{max}	Маса редуктора m , kg	Количина уља у положају M1, dm^3
75	Cb 3032	89	45,4	4,8	0,6
90	Cb 1502	44,5	31,5	2,9	
90	Cb 1503	71,1	161	2,9	
90	Cb 1504	87,5	231	2,9	

Монтажа зупчаника и вратила код једноступеног редуктора је аксијална и зупчаници се убацују у редуктор кроз отвор за поклопац мотора (сл. 3.91).

Монтажа зупчаника и вратила код троступеног редуктора је радиаксијална јер на спорходној комори постоји отвор са горње стране кроз који се убацују четврти и шести зупчаник, док се други зупчаник аксијално убацује у брзоходну комору са стране мотора (сл. 3.93). Треће зупчасто вратило убацује се у спорходну комору са стране мотора, док се излазно и пето зупчasto вратило убацују са излазне стране.

Код специјалног редуктора ознаке Cb 15, монтажа је аксијална, јер овај редуктор има и предњи и задњи поклопац (сл. 3.96), тако да се зупчаници и вратила могу аксијално поставити.

4. АНАЛИЗА ТЕХНИЧКИХ КАРАКТЕРИСТИКА И КОНЦЕПЦИЈСКИХ РЕШЕЊА УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА

При усвајању техничких карактеристика и концепцијског решења универзалних зупчастих редуктора потребно је, на основу изведених решења, усвојити најповољније. На основу изведених решења универзалних зупчастих редуктора анализираних у овом раду, види се да скоро сваки од произвођача редуктора има другачије техничке карактеристике и другачије концепцијско решење редуктора, тако да је тешко одредити које је решење најповољније.

Посебан проблем представља то што су и осне висине различите, различити су начини уградње зупчаника, различити су и приступи у дефинисању носивости и преносних односа, а и примењени материјали за израду редуктора, нарочито код мањих осних висина, нису исти. Применом различитих захвата произвођачи редуктора долазе до свог концепцијског решења како би се разликовали од конкуренције или да би имали боље карактеристике или да би избегли могућност да буду тужени због копирања њиховог решења. Одговарајућим обликом и расподелом масе кућишта редуктора произвођачи настоје да обезбеде већу крутост кућишта и стабилност целог редуктора, а све то утиче и на техничке карактеристике универзалног редуктора.

4.1. Осне висине универзалних зупчастих редуктора

Осна висина редуктора је једна од најважнијих карактеристика редуктора јер од ње зависи величина преносног односа и вредност називног обртног момента, а у појединим случајевима и концепција редуктора. Осна висина је начелно прописана стандардом и за њене вредности би требало усвајати бројеве из стандардног реда R20. Међутим, с обзиром да је стандардни ред R20 прилично густ, већина произвођача редуктора усваја нешто ређи ред, раније R10, а сада чешће R20/2, тј. бројеве са фактором пораста $q_h = 1,25$, мада има и другачијих вредности [6].

Данас се тежи ка постизању истих осних висина, у циљу лакше узајамне заменљивости редуктора, што је нарочито значајно за мање произвођаче како би неким купцима могли да понуде своје редукторе, уместо редуктора великих произвођача. То значи да се поред осних висина морају имати и исте димензије битне за монтажу, нпр. димензије отвора за темељне завртњеве на стопалима и прирубницама и њихов положај и сл.

Табела 4.1. Осне висине једноступених универзалних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)	Бројеви по стандардном реду R20																	
		Постојеће осне висине h , mm																	
		50	55	56	60	63	70	71	75	80	82	85	90	100	112	125	132	140	160
1.	SEW																		
2.	Siemens-Flender																		
3.	Nord - UNICASE																		
4.	Nord - NORDBLOC																		
5.	Nord – NORDBLOC.1																		
6.	Nord – STANDARD																		
7.	Rossi – E04																		
8.	Rossi – ES07																		
9.	Lenze GST																		
10.	Lenze MultiMount																		
11.	Pujol S																		
12.	Pujol I																		
13.	Bonfiglioli S																		
14.	KEB																		
15.	Leroy Somer																		
Заступљеност $\Sigma = 6$		2/6	1/6	2/6	1/6	2/6	1/6	1/6	4/6	1/6	1/6	3/6	4/6	4/6	1/6	1/6	2/6	2/6	

Због непостојања стандарда из ове области данас се осне висине редуктора компаније SEW, као водећег светског произвођача универзалних редуктора, сматрају за „стандард” и према њима их усклађују готово сви произвођачи редуктора.

Од анализираних произвођача редуктора, само њих шест производи једностепене редукторе. Једино се великим произвођачима исплати да производе једностепене редукторе, док је другим произвођачима исплатљивије да понуде двостепене редукторе уместо једностепених, који могу да понуде сличне техничке карактеристике као и једностепени редуктори (нпр. Rossi). У таб. 4.1 приказане су осне висине једностепених редуктора, а у таб. 4.2 осне висине двостепених и тростепених редуктора. Из обе табеле може се приметити да неки произвођачи, као нпр. Nord UNICASE, Pujol и Bonfiglioli, имају и нестандартне вредности осних висина, као што су 82, 86, 102, 106, 128, 142, 155, 162, 212, 218, 238, 268, 302, 330, 390 и 425, што је вероватно разлог пласмана тих редуктора на америчко тржиште, где су јединице у инчима и деловима инча, због чега је спектар осних висина знатно већи.

На основу приказаних вредности осних висина за једностепене редукторе, може се закључити да су осне висине свих произвођача покривене у интервалу од 63 до 112 mm, мада неки произвођачи нуде и мање, односно веће осне висине. Као што се може видети, ниједан произвођач не поштује у потпуности редове R10 или R20/2, већ уводе и додатне вредности осних висина, тзв. међувеличине. Тако на пример, осне висине 90, 100 и 112 mm често су тражене и у том интервалу их велики произвођачи SEW, Siemens-Flender и Nord производе по реду R20. Једностепене редукторе са најмањим осним висинама 50 mm, производе само компаније Lenze и Bonfiglioli. SEW производи једностепене редукторе до осне висине 140 mm, а Siemens-Flender и Leroy Somer до 160 mm. На основу приказаног прегледа осних висина једностепених редуктора (таб. 4.1) види се да су најчешће примењиване осне висине 80, 100 и 112 mm, па ће оне у даљем бити коришћене за анализу техничких карактеристика.

Двостепене, односно тростепене редукторе производе сви анализирани произвођачи. Осне висине крећу од 65 mm, па иду све до 315 mm, док само највећи произвођачи (SEW, Siemens-Flender и Nord) производе двостепене и тростепене редукторе са осном висином до 425 mm, односно 450 mm. Код двостепених и тростепених редуктора има много више убачених нестандартних осних висина, па тако нпр. између 75 и 90 mm, и између 90 и 115 mm, има чак шест различитих осних висина код појединих произвођача редуктора. Уводећи неке нове осне висине, које други произвођачи немају, произвођачи редуктора покушавају да задрже своје купце, односно да их „натерају” да користе само њихове редукторе. Ово је могуће код великих произвођача који имају и сопствену производњу мотора (нпр. SEW, Lenze и Bonfiglioli). Најчешће примењиване осне висине двостепених, односно тростепених редуктора су 75, 115 и 250 mm, па ће оне касније бити коришћене за анализу техничких карактеристика.

4.2. Концепцијска решења анализираних универзалних зупчастих редуктора

Код свих анализираних решења обратила се пажња на једноставну израду и монтажу, на смањење габаритних димензија редуктора и њихове масе, а да се при томе обезбеди што равномерније налагање бокова спрегнутих зупчаника.

Код излазних вратила обично се води рачуна да само један од лежајева прихвата аксијалну силу, како би се уштедело на цени лежајева и како би се омогућила што једноставнија монтажа и демонтажа склопа излазног вратила, и омогућило правилно ширење вратила при његовом загревању.

Поред тога, пажња се повела и о распореду зупчаника, јер они веома утичу и на оптерећење лежајева, а тиме и на њихову величину, могућност уградње и радни век. Поред тога, вођено је рачуна да се са спољашње стране кућишта врши постављање и уградња лежајева и ускочника јер то знатно упрошћава монтажу [20,21].

Код старијих решења присутан је био проблем немогућности уградње великог лежаја у спољашњем зиду кућишта редуктора, због малих међуосних растојања, који су били последица малих преносних односа, па су поједини произвођачи оба лежаја постављали са исте стране зупчаника. Међутим, код новијих решења, код којих се иде на велике преносне односе, тај проблем је превазиђен и он више није разлог да се лежајеви постављају са исте стране зупчаника [17]. Због тога, излазно вратило више не мора имати тако високу крутост (велик пречник) као код ранијих решења.

Известан проблем, код неких решења, представља потреба за јаким унутрашњим лежајем на тзв. петом зупчастом вратилу, којег није било могуће уградити у средњем зиду кућишта, због малог простора за уградњу великог лежаја, посебно што је пречник тог вратила, на месту лежаја, доста велик, да би се обезбедила потребна крутост вратила (ради правилнијег спрезања бокова зупчаника који се постављају на њега). Поједини произвођачи тај проблем решавају тако што постављају три лежаја (ослонца) на то вратило (што је скупље решење), док други користе јаче вратило и цилиндрични ваљчасти лежај, који има знатно већу радијалну носивост, а и могућност прихватања релативно велике аксијалне силе. То целој конструкцији даје већу крутост [20,21].

Постављањем зупчаника између лежајева обезбеђује се већа крутост вратила, односно, омогућава се примена тањег вратила. При томе пожељно је да је зупчаник постављен на средини између лежајева, како би налегање бокова зубаца спрегнутих зупчаника било што правилније. Уколико то није могуће извести, потребно их је тако поставити да при спрезању бокови зубаца што правилније належу.

С обзиром на положај и распоред зупчаника и лежајева, унутар кућишта редуктора, у пракси постоји велики број различитих решења. Анализирањем карактеристичних концепцијских решења једностепених моторних универзалних зупчастих редуктора уочавају се два концепцијска решења постављања зупчаника (сл. 4.1).



а) Редуктор са излазним зупчаником на препусту



б) Редуктор са излазним зупчаником између лежајева



Сл. 4.1.

Могућа концепцијска решења једностепених универзалних зупчастих редуктора са специјалним редукторским електромотором

Код једностепених зупчастих редуктора са стопалима улазни зупчаник се по правилу поставља изнад излазног зупчаника да би се могао уградити велики електромотор, тј. таквим начином уградње улазно вратило налази се на довољној висини у односу на подлогу.

Преглед концепцијских решења једностепених моторних редуктора анализираних произвођача дат је у таб. 4.3. Код решења код којег је излазни зупчаник на препусту, већа је дужина, а тиме и маса редуктора. Поред тога, код тих решења нешто је већи и угиб вратила, мада се због великог пречника излазног вратила то и не примети. И поред тога, што се предност даје излазном зупчанику постављеном између лежајева, на већем броју анализираних решења улазни парови су са зупчаником на препусту (таб. 4.3).

Табела 4.3. Концепцијска решења једностепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)		
1.	SEW		
2.	Siemens-Flender		
3.	Nord - UNICASE		
4.	Lenze GST		
5.	Bonfiglioli S		
6.	Leroy Somer		
Заступљеност $\Sigma = 6$		4 / 6	2 / 6

Код двостепених и тростепених редуктора постоји већи број могућих концепцијских решења. Због веће компактности конструкције, тј. заузимања мање корисне површине, најчешће се користе редуктори са вратилима распоређеним у виду троугла. До сада је било уобичајено да се редуктори израђују са саосним (коаксијалним) вратилима, али се у новије време све чешће користи несаосан положај вратила у циљу повећања преносног односа.

На основу анализираних карактеристичних концепцијских решења двостепених универзалних зупчастих редуктора евидентна су четири случаја (сл. 4.2). Решења на сл. 4.2-а,г захтевају примену кућишта са једном комором, док решења на сл. 4.2-б,в захтевају примену кућишта са две коморе.

Најјефтиније и најбоље решење, у случају да се редуктор користи само као двостепени, је са излазним зупчаником на препусту и другим и трећим зупчаником између лежајева (сл. 4.2-а). За мање обртне моменте повољно је и решење са излазним зупчаником између лежајева и другим зупчаником на препусту (сл. 4.2-б), док је за веће обртне моменте решење са излазним зупчаником између лежајева и трећим зупчастим вратилом ослоњеним у три лежаја најбоље, али и најскупље решење (сл. 4.2-в). Четврто решење (сл. 4.2-г) са свим зупчаницима између лежајева највише одговара искључиво двостепеним редукторима када су сви зупчаници у једној комори.



а) Редуктор са излазним зупчаником на препусту, а другим и трећим између лежајева



б) Редуктор са излазним зупчаником између лежајева, а другим на препусту



в) Редуктор са излазним зупчаником између лежајева и трећим зупчастим вратилом ослоњеним на три лежаја







г) Редуктор са зупчаницима између лежајева

Сл. 4.2.

Могућа концепцијска решења двостепених универзалних зупчастих редуктора са специјалним редукторским електромотором

Табела 4.4. Карактеристична концепцијска решења двостепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)				
1.	SEW			несаосна вратила	
2.	Siemens-Flender			несаосна вратила	
3.	Nord - UNICASE	саосна вратила, $h = 86 - 212 \text{ mm}$		саосна вратила $h = 250 - 450 \text{ mm}$	
4.	Nord - NORDBLOC	саосна вратила			
5.	Nord – NORDBLOC.1			до 130 mm саосна вратила од 140 mm несаосна врат.	
6.	Nord – STANDARD	саосна вратила			
7.	Rossi – E04				
8.	Rossi – ES07		саосна вратила $h = 65 - 115 \text{ mm}$	саосна вратила саосна вратила $h = 115 - 140 \text{ mm}$	
9.	Lenze GST		несаосна вратила		
10.	Lenze MultiMount		несаосна вратила $h = 80 - 135 \text{ mm}$		несаосна вратила $h = 75 - 85 \text{ mm}$
11.	Pujol S		саосна вратила		
12.	Pujol I	саосна вратила			
13.	Bonfiglioli C		саосна вратила		
14.	KEB		несаосна вратила		
15.	Leroy Somer				
Заступљеност $\Sigma = 15$		4 / 15	6 / 15	6 / 15	1 / 15

На основу анализираних концепцијских решења двостепених редуктора (таб. 4.4) види се да се сва решења подједнако користе, осим у случају мањих Lenze MultiMount редуктора који се израђују као двостепени, па се сви зупчаници налазе између лежајева у истој комори, и то је једини случај примене овог концепцијског решења. Најскупље решење, са трећим зупчастим вратилом ослоњеним на три лежаја, користе само највећи произвођачи редуктора (SEW, Siemens-Flender, Nord и Rossi). У зависности од осне висине, неки произвођачи нуде и две концепције редуктора, с тим што увек решење са зупчастим вратилом ослоњеним у три лежаја користе за веће осне висине, односно веће називне моменте. Произвођачи који производе двостепене редукторе у посебним кућиштима користе прво решење, а произвођачи који користе исто кућиште за двостепене и тростепене редукторе по правилу користе друго решење (таб. 4.4).



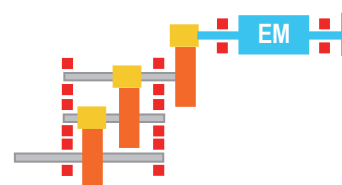
а) Редуктор са излазним зупчаником на препусту, а четвртим и петим између лежајева



б) Редуктор са излазним зупчаником између лежајева, а четвртим на препусту



в) Редуктор са излазним зупчаником између лежајева и петим зупчастим вратилом ослоњеним на три лежаја



г) Редуктор са зупчаницима између лежајева, осим другог зупчаника који је на препусту



д) Редуктор са излазним зупчаником између лежајева, а трећим и четвртим на препусту

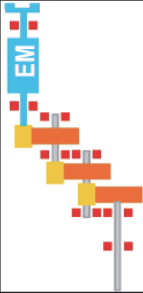


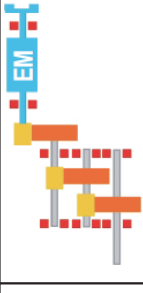
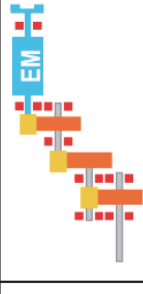
Сл. 4.3.

Могућа концепцијска решења тростепених универзалних зупчастих редуктора са специјалним редукторским електромотором

Анализом концепцијских решења тростепених зупчастих редуктора уочено је да се јавља пет типичних решења редуктора (сл. 4.3). Решења на сл. 4.3-а,б,в,г захтевају кућиште са две коморе које може бити једноделно или дводелно, док једино решење на сл. 4.3-д захтева кућиште са три коморе које мора бити дводелно (решење редуктора Lenze GST).

Код тростепених редуктора (таб. 4.5) ослањање зупчастог вратила на три лежаја користе само произвођачи SEW и Rossi, али због тога не постижу велике преносне односе, јер пречник другог зупчаника не може бити велик. Siemens-Flender и Nord четврти зупчаник постављају на препусту, те је пето зупчато вратило ослоњено на два лежаја.

Табела 4.5. Карактеристична концепциска решења тростепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)					
1.	SEW		несаосна вратила			
2.	Siemens-Flender		несаосна вратила			
3.	Nord - UNICASE	несаосна вратила $h = 86 - 212 \text{ mm}$	саосна вратила $h = 250 - 450 \text{ mm}$			
4.	Nord - NORDBLOC		саосна вратила			
5.	Nord - NORDBLOC.1		до 130 mm саосна вратила од 140 mm несаосна врат.			
6.	Nord - STANDARD	несаосна вратила				
7.	Rossi - E04				саосна вратила	
8.	Rossi - ES07		саосна вратила			
9.	Lenze GST					несаосна вратила
10.	Lenze MultiMount		несаосна вратила			
11.	Pujol S		саосна вратила			
12.	Pujol I	несаосна вратила				
13.	Bonfiglioli C		саосна вратила			
14.	KEB		несаосна вратила			
15.	Leroy Somer					несаосна вратила
Заступљеност $\Sigma = 15$		3 / 15	9 / 15	2 / 15	1 / 15	1 / 15

И остали произвођачи најчешће користе ову концепцију са другим, трећим и излазним зупчаником између лежајева, а четвртим зупчаником на препусту (друго решење, таб. 4.5). Тростепени редуктори који се добијају када се једностепени редуктор монтира на двостепени (сл. 3.17, 3.41-2, 3.57-3 и 3.69) раде се по првој концепцији и они су због тога сви са несаосним вратилима (прво решење, таб. 4.5), осим редуктора Lenze GST, чији се средњи зид кућишта може скинути, те је код њега излазни зупчаник између лежајева (пето решење, таб. 4.5). За разлику од свих осталих редуктора са једноделним кућиштем код којих су први и други пар у брзоходној, а трећи пар у спороходној комори, карактеристично је решење произвођача Leroy Somer код којег се у спороходној комори налази други и трећи пар.

4.3. Начини склапања и монтаже анализираних универзалних зупчастих редуктора

При усвајању концепције редуктора треба обратити пажњу на начин монтаже и потребу међусобног повезивања два редуктора, у циљу формирања вишестепених редуктора. Наравно, при томе се мора водити рачуна о минималном утрошку материјала, што нижем обиму машинске обраде и довољној чврстоћи и крутости кућишта. Поред тога, потребно је водити рачуна и о могућности коришћења истих сетова зупчаника у оквиру појединих величина редуктора, на пример, зупчасти пар из једностепене величине је први пар двостепене величине и први пар у, првој већој, тростепеној величини.

С обзиром на усвојени начин монтаже, на кућишту редуктора потребно је предвидети одговарајуће поклопце и међуплочу. Ови делови се не рачунају у основне делове редуктора, па чак ни чеони поклопац или међуплоча у облику адаптера који се јавља код појединих произвођача редуктора, нпр. компаније Рџој, али су то пратећи делови које кућиште мора имати да би било комплетно.

На основу анализираних карактеристичних решења кућишта редуктора може се извести следећа подела кућишта с обзиром на отворе који се на њему налазе:

- кућишта са отвором на спороходној комори;
- кућишта са отвором на обе коморе;
- кућишта са спуштеним средњим зидом;
- кућишта са демонтажним средњим зидом;
- кућишта са међуплочом;
- кућишта са чеоним поклопцем.

Избор решења такође зависи од жељене крутости кућишта и једноставности монтаже. На основу анализираних карактеристичних решења кућишта редуктора може се закључити да се савремени редуктори производе као једноделни и као дводелни. Са становишта крутости кућишта најповољнија су једноделна кућишта (сл. 4.4), али она не обезбеђују велике преносне односе. Дводелна кућишта су мање крута (сл. 4.5), а нарочито ако имају и отвор за убацивање великих зупчаника, због чега се она обично морају додатно ојачавати.

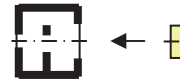
Данас присутна тежња за постизањем великих преносних односа и тиме применом великих гоњених зупчаника, узроковала је потребу чеоног отварања кућишта, а код вишестепених редуктора и/или са бочне (горње) стране, јер се са чеоних страна (са класичном величином отвора којег диктира прирубница електромотора) не могу уграђивати тако велики зупчаници. Кућишта са великим чеоним отворима су нешто слабија, али им могућност једноставне уградње, даје извесну предност.

Код једностепених редуктора велики задњи отвор најчешће омогућава уградњу великих зупчаника. Кад то није могуће, уграђује се посебан поклопац (нпр. решење Lenze, сл. 3.57-1), тако да код њих није потребно отварати кућиште редуктора са горње стране. Моноблок конструкције,

без горњих отвора, често имају међуплочу којом се омогућава велики чеони отвор редуктора, а која истовремено служи за повезивање редуктора и електромотора, а евентуално и за смештај лежајева. Код мањих кућишта овог типа са две коморе поједини произвођачи постављају нижи средњи зид преко кога се уграђује велики излазни зупчаник (сл. 4.4-а,г, редуктори Siemens-Flender за $h = 90 - 180 \text{ mm}$, сл. 3.8-3, редуктори Rossi за $h = 90 - 195 \text{ mm}$, сл. 3.46, редуктори Bonfiglioli за $h = 115 - 130 \text{ mm}$, сл. 3.82) или се поставља демонтажни средњи зид (сл. 4.4-д, редуктори Lenze GST).



а) Једноделно кућиште са аксијалном монтажом



б) Једноделно кућиште са аксијалном монтажом и спуштеним средњим зидом



в) Једноделно кућиште са међуплочом и аксијалном монтажом



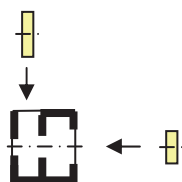
г) Једноделно кућиште са аксијалном монтажом, спуштеним средњим зидом и међуплочом



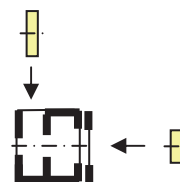
д) Једноделно кућиште са аксијалном монтажом, демонтажним средњим зидом и међуплочом



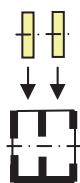
е) Једноделно кућиште са аксијалном монтажом, предњим чеоним поклопцем и међуплочом



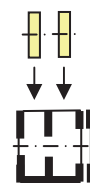
ж) Једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом и са поклопцем на спороходној комори



з) Једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом, поклопцем на спороходној комори и међуплочом



и) Једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом и са поклопцем на обе коморе



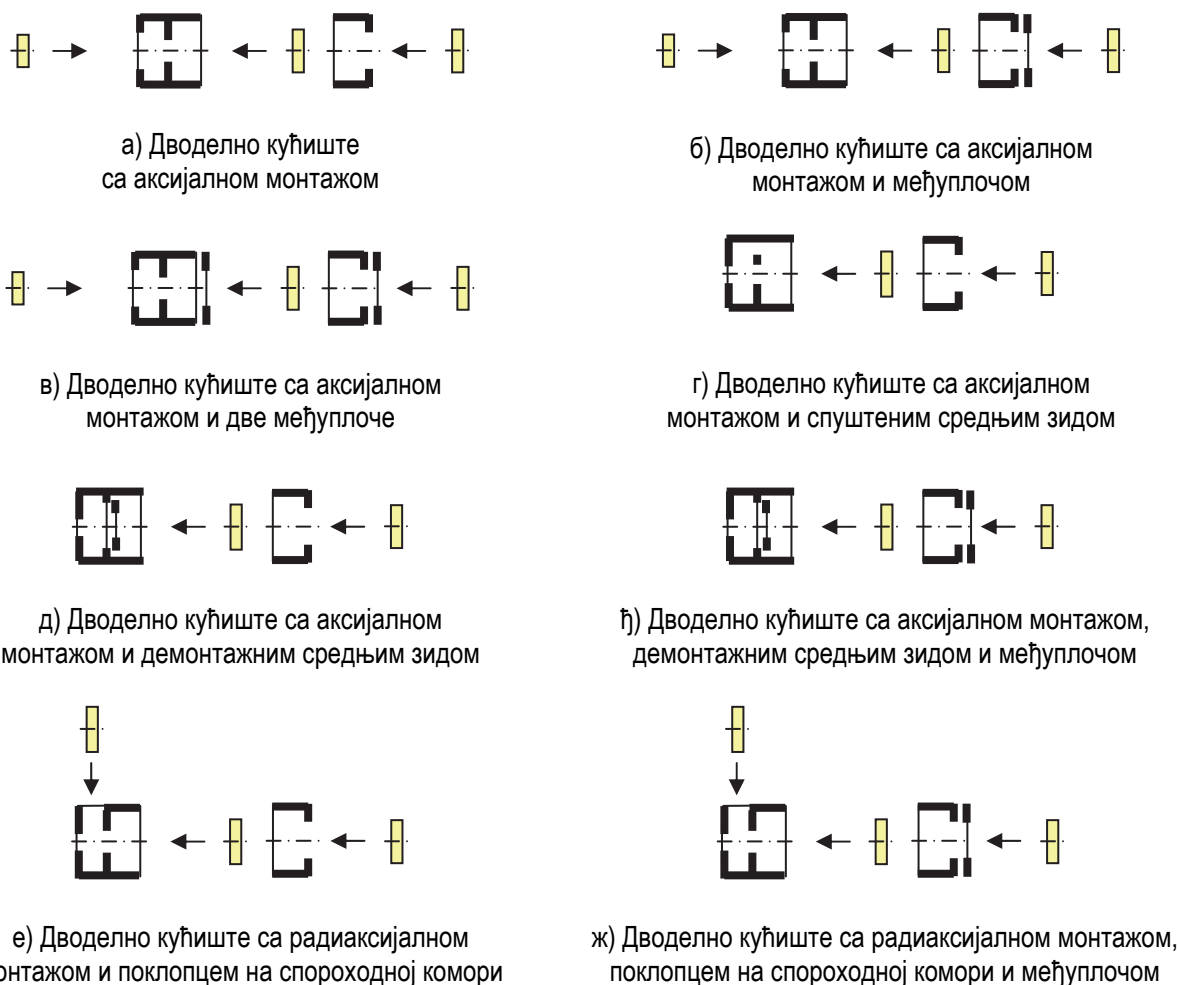
ј) Једноделно кућиште са радиаксијалном монтажом, поклопцем на обе коморе и међуплочом

Сл. 4.4.

Карактеристична концепцијска решења постављања зупчаника у једноделном кућишту редуктора [19]

На основу анализираних решења кућишта једноступених редуктора може се извршити селекција начина монтаже једноступених редуктора (таб. 4.6). Види се да се код једноступених редуктора

врши аксијална монтажа у једноделним кућиштима. Радиаксијални начин монтаже не користи се код једноступених редуктора због једноставнијег облика, мањег броја делова и лакше монтаже зупчаника, вратила и лежајева. Такође, код њих најчешће не постоји потреба за дводелним кућиштима, мада поједини произвођачи користе кућишта са међуплочом. Анализом табеле 4.6 види се да, од анализираних шест једноступених редуктора, само највећи произвођачи (SEW и Nord) израђују једноступене редукторе без међуплоче, док велики произвођач Siemens-Flender и остала три произвођача користе међуплочу и на тај начин успевају да поставе веће пречнике зупчаника и тако остваре веће преносне односе. На тај начин успешно конкуришу осталим произвођачима по величини преносних односа. На сл. 4.6 види се да редуктори без међуплоче имају мањи преносни однос, тако да је овај захват потпуно оправдан са становишта преносних односа.

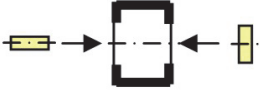
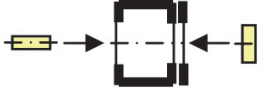


Сл. 4.5.

Карактеристична концепцијска решења постављања зупчаника у дводелном кућишту редуктора [19]

Због већег броја делова и различитих концепцијских решења постоји више начина монтаже двоступених, а поготово троступених универзалних зупчастих редуктора. Анализом карактеристичних решења кућишта двоступених и троступених редуктора може се извршити селекција начина монтаже у зависности од произвођача редуктора (таб. 4.7 и таб. 4.8). Такође, поједини произвођачи, да би добили што боље техничке карактеристике својих редуктора, користе различите начине монтаже у зависности од осне висине. На основу извршене селекције, види се да се код двоступених редуктора користе искључиво једноделна кућишта, док се код троступених редуктора у неким случајевима користе и дводелна кућишта.

Табела 4.6. Начини монтаже једноступених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)		
1.	SEW		
2.	Siemens-Flender		
3.	Nord - UNICASE		
4.	Lenze GST		
5.	Bonfiglioli S		
6.	Leroy Somer		
Заступљеност $\Sigma = 6$		2 / 6	4 / 6




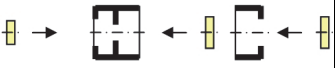
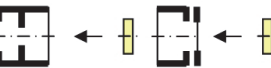






Међу анализираним редукторима (таб. 4.7 и таб. 4.8) види се да су заступљене све варијанте монтажа једноделних кућишта (сл. 4.4), док су коришћене само неке од варијанти монтажа дводелних кућишта (сл. 4.5). То значи да се кућишта савремених зупчастих редуктора најчешће израђују као једноделна, јер такви редуктори имају већу крутост. Основни недостатак једноделних кућишта, смањен преносни однос, произвођачи настоје да реше применом одговарајуће међуплоче или применом кућишта са горњим отвором како би у кућиште могли да се уграде што већи гоњени зупчаници.

Аксијална монтажа најчешће се користи код мањих двоступених и троступених редуктора, док се радиаксијална монтажа користи код редуктора већих осних висина, где је потребно што једноставније и лакше уградити велике зупчанике. Најчешће коришћен начин монтаже код мањих величина двоступених редуктора је аксијална монтажа у једноделном кућишту са међуплочом. Код већих двоступених и троступених редуктора најчешћи начин монтаже је радиаксијална монтажа у једноделном кућишту са међуплочом. Међутим, ово правило не поштује произвођач редуктора Lenze GST који стално користи аксијалан начин монтаже уз коришћење демонтажног средњег зида. На основу анализираних карактеристичних решења кућишта двоступених редуктора (таб. 4.7) може се видети да највећи произвођач SEW користи кућиште без међуплоче. Произвођачи редуктора Rossi ES07 и KEB покушавају да га копирају користећи кућиште без међуплоче, док сви остали користе међуплочу. Резултат тих настојања приказан је на сл. 4.12 и 4.23 где се види да ови редуктори имају најмање преносне односе. Карактеристично решење редуктора компаније Pujol је са међуплочом која је истовремено и адаптер за уградњу стандардних мотора. Захваљујући томе овај редуктор обезбеђује велике преносне односе због малих погонских зупчаника (сл. 3.66 и 3.68). У троступеној варијанти код овог произвођача постоје чак две међуплочу-адаптера, једна за повезивање једноступеног редуктора, који се додаје на постојећи двоступени, а друга за повезивање мотора (сл. 3.69).

Табела 4.7. Начини монтаже двостепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Ред.бр.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	Заступљеност $\Sigma = 14$
Произвођач редуктора (тип редуктора)	SEW	Siemens-Flender	Nord - UNICASE	Nord – NORDBLOC	Nord – NORDBLOC.1	Nord – STANDARD	Rossi – E04	Rossi – ES07	Lenze GST	Lenze MultiMount	Pujol S	Pujol I	Bonfiglioli C	KEB	Leroy Somer	
			$h = 86-212$ mm													1/14
				све h	$h = 65-130$ mm	све h	$h = 75-90$ mm					све h				5/14
		$h = 90-180$ mm					$h = 90-195$ mm						$h = 85-130$ mm			3/14
									све h				$h=85$ mm			2/14
											све h					1/14
		$h = 90-425$ mm												све h		2/14
		$h = 65-90$ mm			$h = 140-225$ mm			све h								3/14
		$h = 225-425$ mm					$h = 236-315$ mm			све h			$h = 155-345$ mm			4/14
		$h = 75-90$ mm	$h = 250-450$ mm													2/14

Табела 4.8. Начини монтаже тростепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Ред.бр.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	Заступљеност $\Sigma = 15$
Произвођач редуктора (тип редуктора)	SEW	Siemens-Flender	Nord - UNICASE	Nord – NORDBLOC	Nord – NORDBLOC.1	Nord – STANDARD	Rossi – E04	Rossi – ES07	Lenze GST	Lenze MultiMount	Pujol S	Pujol I	Bonfiglioli C	KEB	Leroy Somer	
					$h = 90-130$ mm		$h = 75-90$ mm									2/15
		$h = 90-180$ mm					$h = 90-195$ mm						$h = 115-130$ mm			3/15
											све h					1/15
			$h = 86-212$ mm													1/15
						све h							$h = 100-110$ mm			2/15
									све h							1/15
												све h				1/15
		$h = 90-425$ mm												све h		2/15
		$h = 65-90$ mm			$h = 140-225$ mm			све h								3/15
		$h = 225-425$ mm		све h			$h = 236-315$ mm				све h					6/15
		$h = 75-90$ mm $h = 250-450$ mm											$h = 155-345$ mm			2/15

4.4. Материјали који се користе за израду зупчастих редуктора

За израду редуктора користе се различити материјали. Зупчаници се израђују од живих материјала, са великом тврдоћом и отпорношћу на хабање. То су најчешће челици за цементацију обично 16MnCr5, 20MnCr5, 16MnCr4, итд. Они се обично цементирају на дубину прописану стандардом и кале на одређену тврдоћу (обично од 58 до 60 HRC). Вратила се најчешће израђују од угљеничних челика. Због лаке обрадивости и добрих механичких карактеристика најчешће се користе челици C45, C55 и C60R. Они се најчешће не подвргавају побољшању. Зупчаста вратила се израђују од истих оних челика који се користе и за израду зупчаника.

Кућишта редуктора, заједно са уљем, чине око 70% масе редуктора нерачунајући масу електромотора. Због тога је веома значајно смањити масу кућишта, што одговарајућим обликом одливка, што коришћењем неких лакших материјала. До сада су се кућишта углавном израђивала од сивог лива, али су нове тенденције увођење легура алуминијума код мањих редуктора. Материјали кућишта анализираних зупчастих редуктора дати су у таб. 4.9 за једностепене и таб. 4.10 за двостепене и тростепене редукторе.

Табела 4.9. Материјали кућишта једностепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)	Легуре алуминијума	Сиви лив
1.	SEW		
2.	Siemens-Flender		
3.	Nord - UNICASE		
4.	Lenze GST		
5.	Bonfiglioli S	$h = 50-60 \text{ mm}$	$h = 70-82 \text{ mm}$
6.	Leroy Somer	$h = 75 \text{ mm}$	$h = 80-160 \text{ mm}$
Заступљеност $\Sigma = 6$		2 / 6	6 / 6

Без обзира на мање осне висине једностепених редуктора, од шест анализираних решења, само два произвођача (Bonfiglioli S и Leroy Somer) користе и легуре алуминијума као материјал кућишта и то само за најмање величине. То чине да би се постигла већа чврстоћа и крутост кућишта.

На основу приказаних табела материјала употребљених за израду кућишта анализираних редуктора, види се да готово сви произвођачи редуктора израђују кућиште од сивог лива. Само неки од произвођача користе легуре алуминијума као материјал кућишта и то само за редукторе мањих осних висина. Највећи произвођач редуктора SEW, као и Rossi, Pujol и KEB не користе легуре алуминијума. Код једностепених редуктора произвођачи Bonfiglioli и Leroy Somer користе легуре алуминијума за неке једностепене редукторе и тако успешно конкуришу великим произвођачима. У двостепеној и тростепеној верзији највеће осне висине кућишта редуктора производе Nord (тип редуктора NORDBLOC.1, до 130 mm) и Bonfiglioli (до 110 mm). Још се истиче и Lenze MultiMount редуктор који преноси мале снаге и обртне моменте, јер су све његове осне висине кућишта редуктора израђене од легура алуминијума.

Табела 4.10. Материјали кућишта двостепених и тростепених моторних зупчастих редуктора анализираних произвођача

Р. бр.	Произвођач редуктора (тип редуктора)	Легуре алуминијума	Сиви лив
1.	SEW		
2.	Siemens-Flender	$h = 75-90 \text{ mm}$	$h = 90-425 \text{ mm}$
3.	Nord - UNICASE		
4.	Nord - NORDBLOC		
5.	Nord – NORDBLOC.1	$h = 65(90)-130 \text{ mm}$	$h = 140-225 \text{ mm}$
6.	Nord – STANDARD		
7.	Rossi – E04		
8.	Rossi – ES07		
9.	Lenze GST	$h = 65 \text{ mm (2x)}$	$h = 80-315 \text{ mm}$
10.	Lenze MultiMount		
11.	Pujol S		
12.	Pujol I		
13.	Bonfiglioli C	$h = 85(100)-110 \text{ mm}$	$h = 115-345 \text{ mm}$
14.	KEB		
15.	Leroy Somer	$h = 75 \text{ mm (3x)}$	$h = 90-315 \text{ mm}$
Заступљеност $\Sigma = 15$		6 / 15	14 / 15

4.5. Показатељи квалитета универзалних зупчастих редуктора

Када се говори о квалитету редуктора, треба разликовати:

- квалитет конструкционог решења (пре свега техничке карактеристике редуктора, нпр. вредност називног обртног момента, однос називног обртног момента и масе, поузданост редуктора и сл.);
- квалитет израде (нпр. тачност димензија, квалитет површинске обраде, квалитет монтаже који је уочљив преко нивоа шума или нивоа вибрација и сл.);
- квалитет примењеног материјала (чврстоћа, тврдоћа, еластичност, крутост, жилавост, кртост);
- квалитет експлоатације (мали број отказа, једноставно одржавање, једноставан и лак сервис и ремонт).

Постоји читав низ показатеља који се могу користити као показатељи квалитета редуктора. Избор показатеља квалитета зависи од низа фактора, али у највећој мери од циља оцењивања [43]. Наиме, различито се врши оцењивање ако га врше дизајнери, конструктори, комерцијалисти, продавци или купци. Свако својим оцењивањем жели да добије само оне податке који њега занимају у том тренутку и који се могу најбоље искористити и за његове циљеве. На пример, купци посматрају само оне податке који ће дати информацију о оправданости куповине и могућности смањења цене. За купца је често важно да је маса што већа мислећи да је тиме редуктор јачи и поузданији, мада је можда реч о застарелој технологији и застарелом конструкционом решењу. У овом раду оцењивање редуктора врши се са конструкторског гледишта када је потребно постићи што боље техничке карактеристике са што мањом масом, запремином и временом обраде.

4.5.1. Предлог начина оцењивања техничких карактеристика универзалних зупчастих редуктора

Потпунија оцена концепцијског решења не може се обавити без анализе техничких карактеристика које ти редуктори имају. Оцењивање техничких карактеристика може се обавити на више начина:

- Упоредивањем, појединих техничких карактеристика редуктора, као што су преносни однос (i), називни обртни моменат (T_N) или маса (m) добијају се тзв. јединични показатељи квалитета конструкционог решења. Овакво оцењивање врше произвођачи нових или усавршених редуктора када пореде показатеље својих нових редуктора са показатељима већ постојећих редуктора. То је најчешћи начин поређења техничких карактеристика и конструктори углавном њега користе при истицању предности својих редуктора.

Показатељи који се овде добијају су бројеви (q_i , q_T или q_m) чија величина показује квалитет поређеног редуктора са базним редуктором:

$$q_i = \frac{i_{\max A}}{i_{\max bas}}, \quad q_T = \frac{T_{NA}}{T_{N bas}}, \quad q_m = \frac{m_A}{m_{bas}} \quad (4.1 \text{ а, б, в})$$

где је: q_i - однос јединичних показатеља по највећем преносном односу,
 q_T - однос јединичних показатеља по излазном обртном моменту,
 q_m - однос јединичних показатеља по маси редуктора,
 $i_{\max A}$ - највећи преносни однос поређеног редуктора,
 T_{NA} - највећи излазни обртни момент поређеног редуктора,
 m_A - маса поређеног редуктора,
 $i_{\max bas}$ - највећи преносни однос базног редуктора,
 $T_{N bas}$ - највећи излазни обртни момент базног редуктора,
 m_{bas} - маса базног редуктора.

Сва ова оцењивања имају смисла само ако се оцењују редуктори исте осне висине.

- Дефинисањем тзв. комплексних показатеља квалитета добија се могућност потпуније оцене доброте решења. Већина јединичних показатеља и њихова дозвољена одступања, нажалост, нису дефинисана стандардом. Истицањем предности појединих јединичних показатеља својих редуктора, произвођачи често и не помињу остале јединичне показатеље који могу да буду неповољни за избор редуктора. Да би се што реалније оценио квалитет редуктора, потребно је увести следеће комплексне показатеље квалитета:
 - однос преносног односа и масе (i_{\max} / m). Овај фактор показује вредности преносних односа по јединици масе редуктора. Он треба да буде што већи, при чему велика маса редуктора смањује овај однос, односно примена мањег броја зупчастих парова или примена легура алуминијума као материјал за израду кућишта, повећава овај показатељ;
 - однос називног обртног момента и масе (T_N / m) је комплексни показатељ који говори о носивости редуктора с обзиром на његову масу, односно о рационалном искоришћењу материјала. Овај фактор треба да буде што већи, при чему ће велика маса кућишта и осталих делова редуктора негативно утицати на овај показатељ. То значи да редуктори са оптимално изведеним решењем кућишта имају веће вредности овог показатеља;
 - да би се добила потпунија оцена квалитета редуктора конструкционог решења потребно је увести и показатељ $i_{\max} T_N / m$. Овим показатељем дефинише се квалитет решења и са становишта преносног односа и са становишта носивости. Комплексним параметрима могу се дефинисати показатељи који говоре о рационалности изведеног решења

редуктора, јер квалитетан редуктор поред великог обртног момента и/или преносног односа мора имати и рационалнију конструкцију, тј. што мању масу. При томе треба имати у виду да се и овим комплексним показатељима могу оцењивати само редуктори исте осне висине.

Показатељи који се овом оценом добијају су бројеви (Q_1 , Q_2 или Q_3) чија величина показује квалитет поређених комплексних карактеристика редуктора са комплексним карактеристикама базног редуктора:

$$Q_1 = \frac{(i_{\max}/m)_A}{(i_{\max}/m)_{bas}}, \quad Q_2 = \frac{(T_N/m)_A}{(T_N/m)_{bas}}, \quad Q_3 = \frac{(i_{\max} T_N/m)_A}{(i_{\max} T_N/m)_{bas}} \quad (4.2 \text{ а, б, в})$$

где је: Q_1 - однос комплексних показатеља у односу на највећи преносни однос и масу редуктора, говори о рационалности коришћења материјала у односу на постигнути преносни однос;

Q_2 - однос комплексних показатеља у односу на највећи излазни обртни момент и масу редуктора, говори о рационалности коришћења материјала у односу на постигнути обртни момент;

Q_3 - однос комплексних показатеља у односу на највећи преносни однос, највећи излазни обртни момент и масу редуктора, говори о рационалности коришћења материјала у односу на постигнути преносни однос и обртни момент;

$(i_{\max}/m)_A$, $(T_N/m)_A$, $(i_{\max} T_N/m)_A$ - комплексне карактеристике неког редуктора који се пореди,

$(i_{\max}/m)_{bas}$, $(T_N/m)_{bas}$, $(i_{\max} T_N/m)_{bas}$ - комплексне карактеристике базног редуктора.

- Поред ових показатеља потребно је увести и додатне параметре како би се могли поредити и оцењивати редуктори различитих осних висина. Увођењем осне висине (h) унутар комплексних показатеља могло би се постићи једнако поређење квалитета изведених редуктора без обзира на њихову величину и могућност оцене квалитета изведеног решења у оквиру читавог дијапазона осних висина, па је тако могуће да се јаве следећи показатељи:
 - однос масе и осног растојања (m/h) говори о рационалности коришћења материјала за различите висине редуктора. Овај показатељ говори о утрошку материјала по јединици осне висине редуктора, али ништа не говори о осталим карактеристикама;
 - однос обртног момента и осног растојања (T_N/h) говори о носивости редуктора за различите висине редуктора, али ништа не говори о уложеној маси и преносном односу;
 - однос преносног односа и осног растојања (i_{\max}/h) је показатељ који говори о величини преносног односа редуктора за различите величине редуктора, али ништа не говори о уложеној маси и носивости;
 - однос преносног односа и носивости за различите осне висине ($i_{\max} T_N/h$) је комплексни показатељ који обезбеђује реалнији начин оцењивања, а описује карактеристике редуктора различитих величина, али без утицаја масе;
 - однос преносног односа и носивости за различите осне висине ($i_{\max} T_N/mh$) је сложени комплексни показатељ који узима у обзир и утицај масе, па је ово глобални комплексни показатељ који описује квалитет редуктора и са становишта рационалности коришћења материјала за различите величине редуктора.

Вредности ових односа (q_i , Q_i) су бројеви који могу бити већи или мањи од један, односно тада казују колико је пута неки јединични или комплексни показатељ поређеног редуктора већи или мањи од јединичних или комплексних показатеља редуктора са којим се врши поређење.

Такође, као показатељи квалитета конструкционог решења, могу се посматрати и:

- прилагођеност конструкције за једноставну израду, монтажу, уградњу, сервис, одржавање и ремонт (технологичност),
- степен примене стандардних делова,
- степен унификације делова у оквиру конструкције,
- степен унификације материјала и сл.

Увођењем цене добио би се још потпунији показатељ квалитета, али с обзиром на то да је цена тржишна категорија, која често не приказује реално стање, при овој анализи она није узета у обзир.

Ипак, у овом случају када се не преферира ниједно решење, односно када се од више решења жели истаћи најбоље, нема смисла на почетку истицати једно решење које је базно или у односу на чије карактеристике се желе поредити карактеристике осталих решења. Ово би се могло користити само ако се желе поредити карактеристике решења зупчастих редуктора са нпр. карактеристикама зупчастог редуктора компаније SEW или сл. У том случају ће се добити бројеви који ће показивати колико је пута неки јединични или комплексни показатељ бољи или лошији од јединичних или комплексних показатеља компаније SEW. Пошто на овај начин не можемо доћи до решења које ће истаћи најбољи јединични или комплексни показатељ, овај начин поређења јединичних или комплексних показатеља неће се користити у овом раду.

Наравно, да би се могла спровести оцена потребно је да се за израду кућишта користе исти материјали, јер у случају примене различитих материјала добијене вредности нису упоредиве, мада се и тада добијају одређене оцене које много говоре о погодности поједних решења. Поред тога, потребно је имати у виду да се поједини произвођачи оријентишу на велику носивост, а мале преносне односе својих редуктора, док се други оријентишу на малу носивост, а велике преносне односе. Поред тога поједини произвођачи (SEW, Siemens-Flender, Nord – NORDBLOC, Rossi, Bonfiglioli), у оквиру једног кућишта (или осне висине), нуде два сета зупчаника: један са малом носивошћу и великим преносним односима, а други са великом носивошћу и малим преносним односима, како би што успешније конкурисали другим произвођачима. Оваквим приступом произвођачи незнатно усложњавају свој производни програм али, несумњиво, постижу велику предност на тржишту. Сви набројани произвођачи који користе два сета зупчаника су велики произвођачи редуктора и њима ово усложњавање програма по свему судећи не представља никакав проблем.

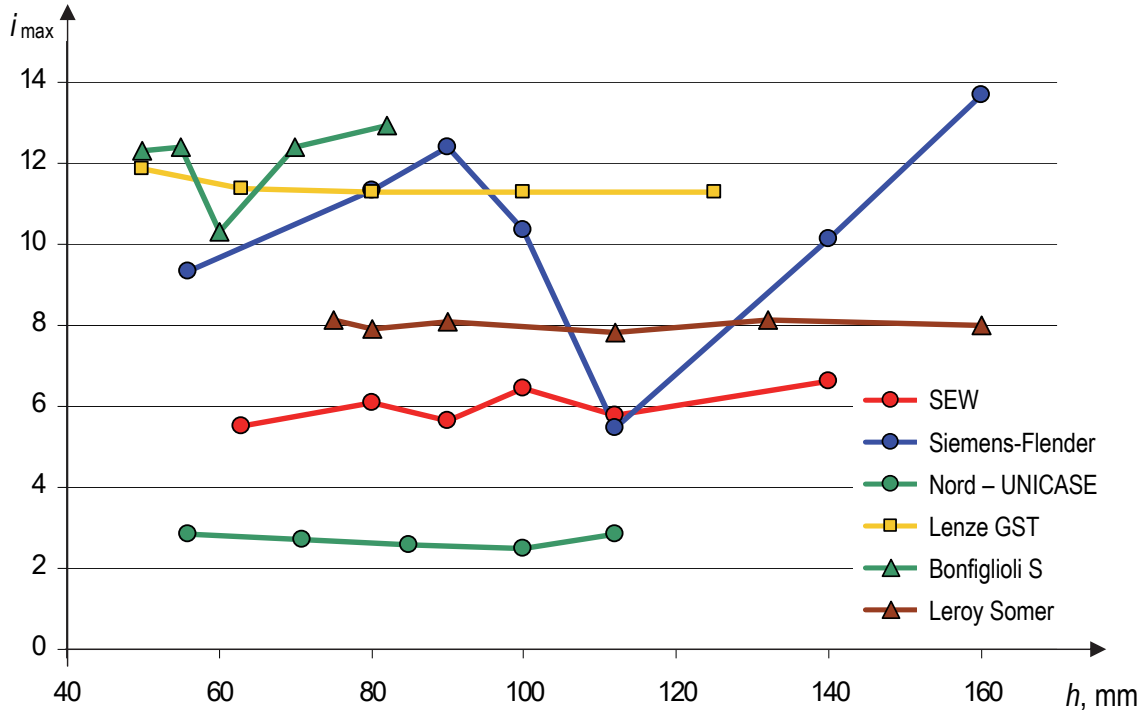
Овде ће се прво извршити анализа јединичних и комплексних показатеља квалитета посматраних редуктора по најчешће коришћеним осним висинама, а затим ће се користити и предложени показатељ квалитета, односно комплетна анализа за све величине редуктора. Тако ће се за једноступени редуктор посматрати најчешће коришћене осне висине 80, 100 и 112 mm, а за двоступене и троступене редукторе 90, 115 и 250 mm.

4.5.2. Оцењивање техничких карактеристика једноступених редуктора

На основу спроведене анализе шест произвођача једноступених редуктора на сл. 4.6, 4.7, 4.8 и 4.9 приказано је поређење техничких карактеристика, односно јединичних показатеља квалитета једноступених редуктора за одговарајуће осне висине.

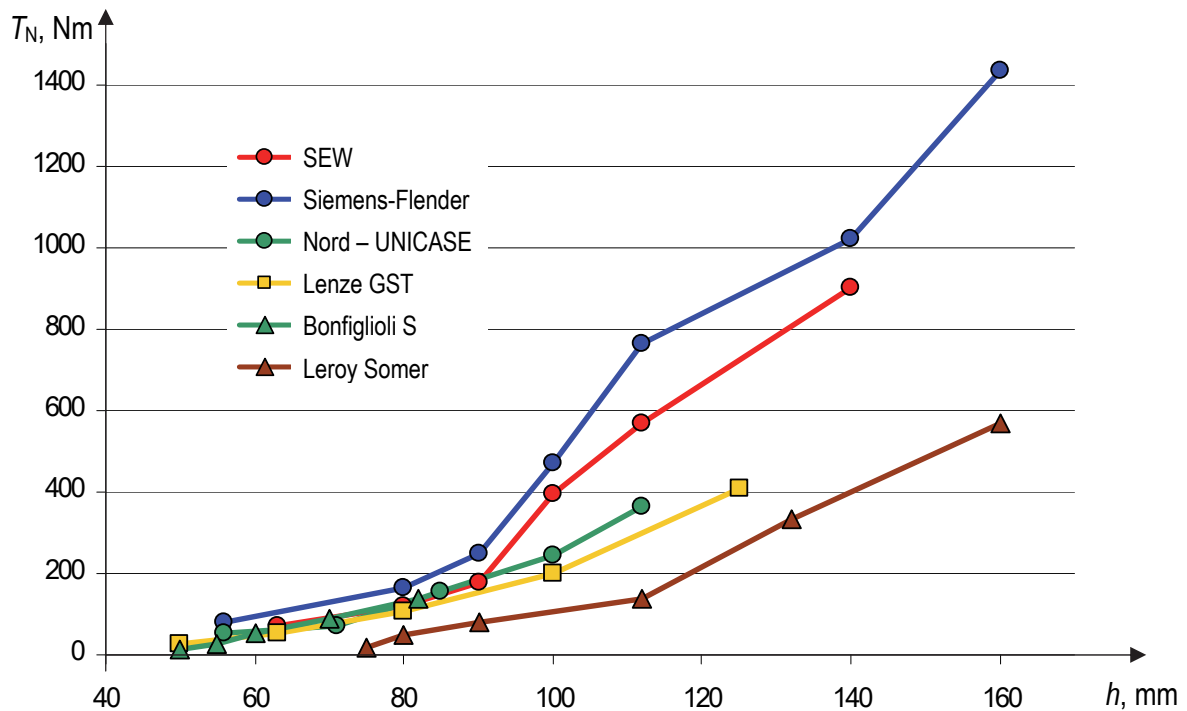
На основу дијаграма на сл. 4.6 може се закључити да редуктори произвођача Lenze, Siemens-Flender и Bonfiglioli имају веће преносне односе и то најпре захваљујући њиховој концепцији аксијалне монтаже са међуплочом која им омогућава уградњу већег излазног зупчаника. Редуктори SEW и Nord – UNICASE имају излазни зупчаник постављен између лежајева тако да постижу веће носивости (сл. 4.7). Међутим, најбољи пример је редуктор произвођача Siemens-Flender који има највеће носивости, али у исто време и велике преносне односе (иако доста

различите за поједине осне висине). Облик линија које приказују запремину уља (сл. 4.9) поклапа се са обликом линија маса (сл. 4.8), што значи да се маса и запремина сразмерно повећавају. Редуктори произвођача Leroy Somer имају најмању масу и запремину редуктора, док највећи произвођачи не теже смањењу маса својих редуктора, тако да SEW и Siemens-Flender имају релативно велике масе редуктора.



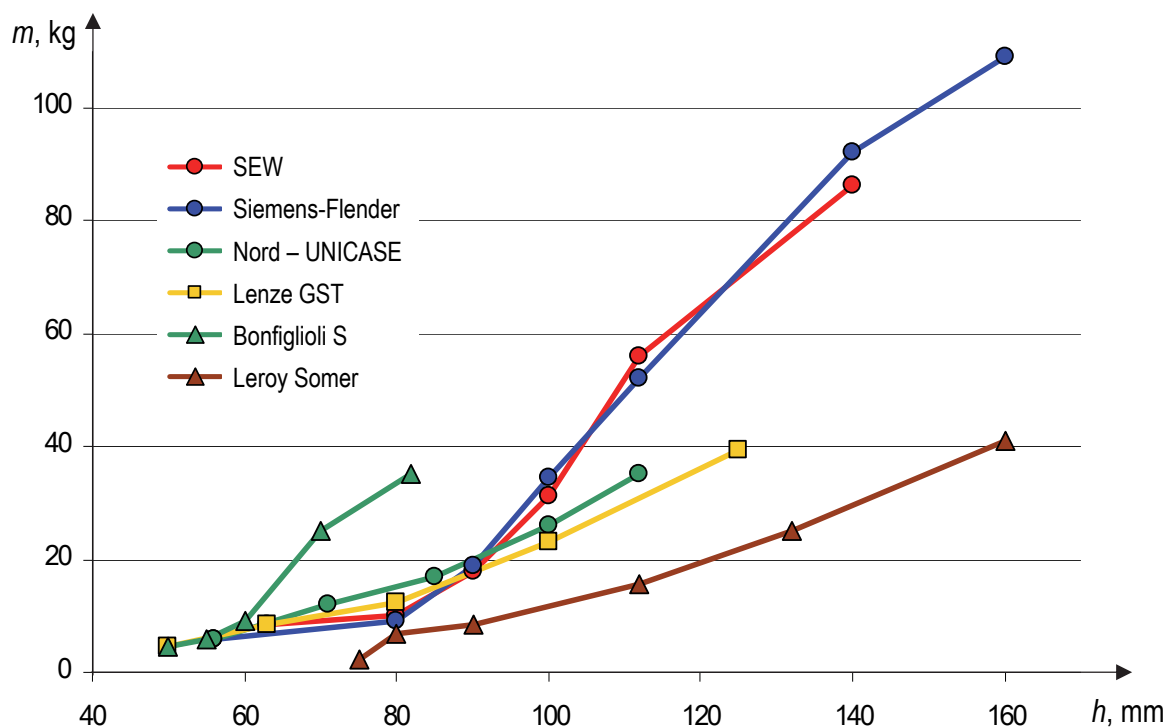
Сл. 4.6.

Дијаграм преносних односа једностепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



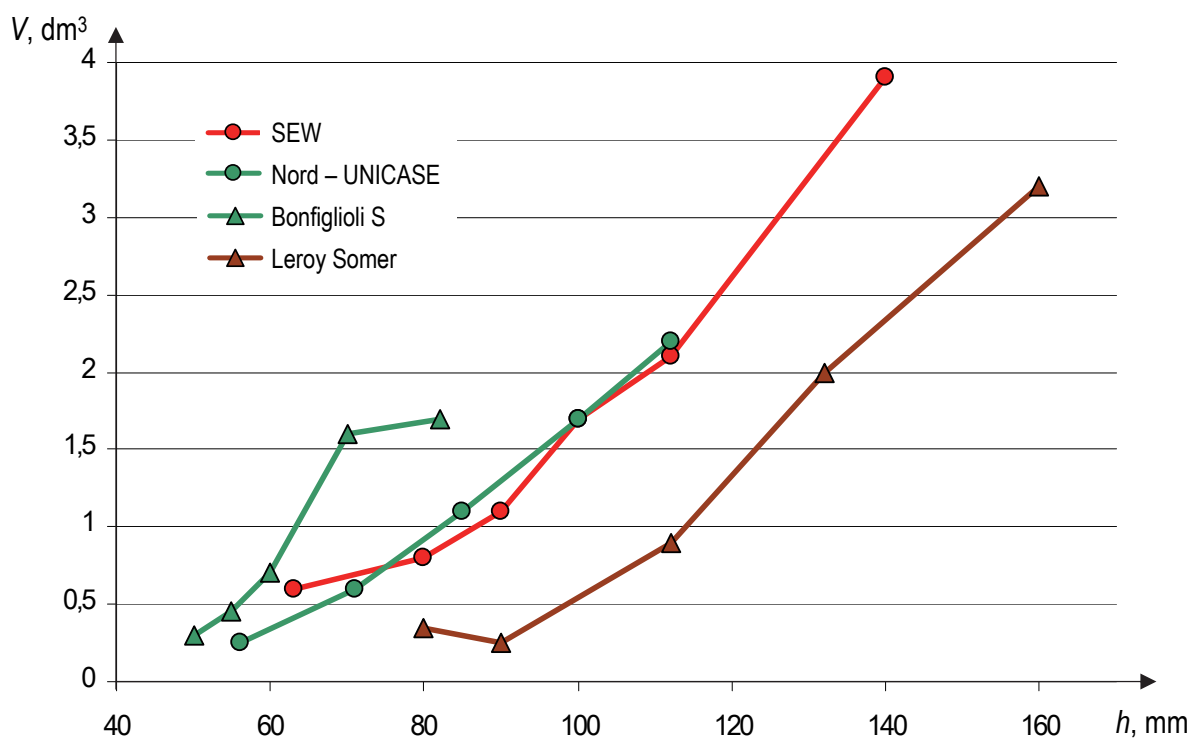
Сл. 4.7.

Дијаграм називних обртних момената једностепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.8.

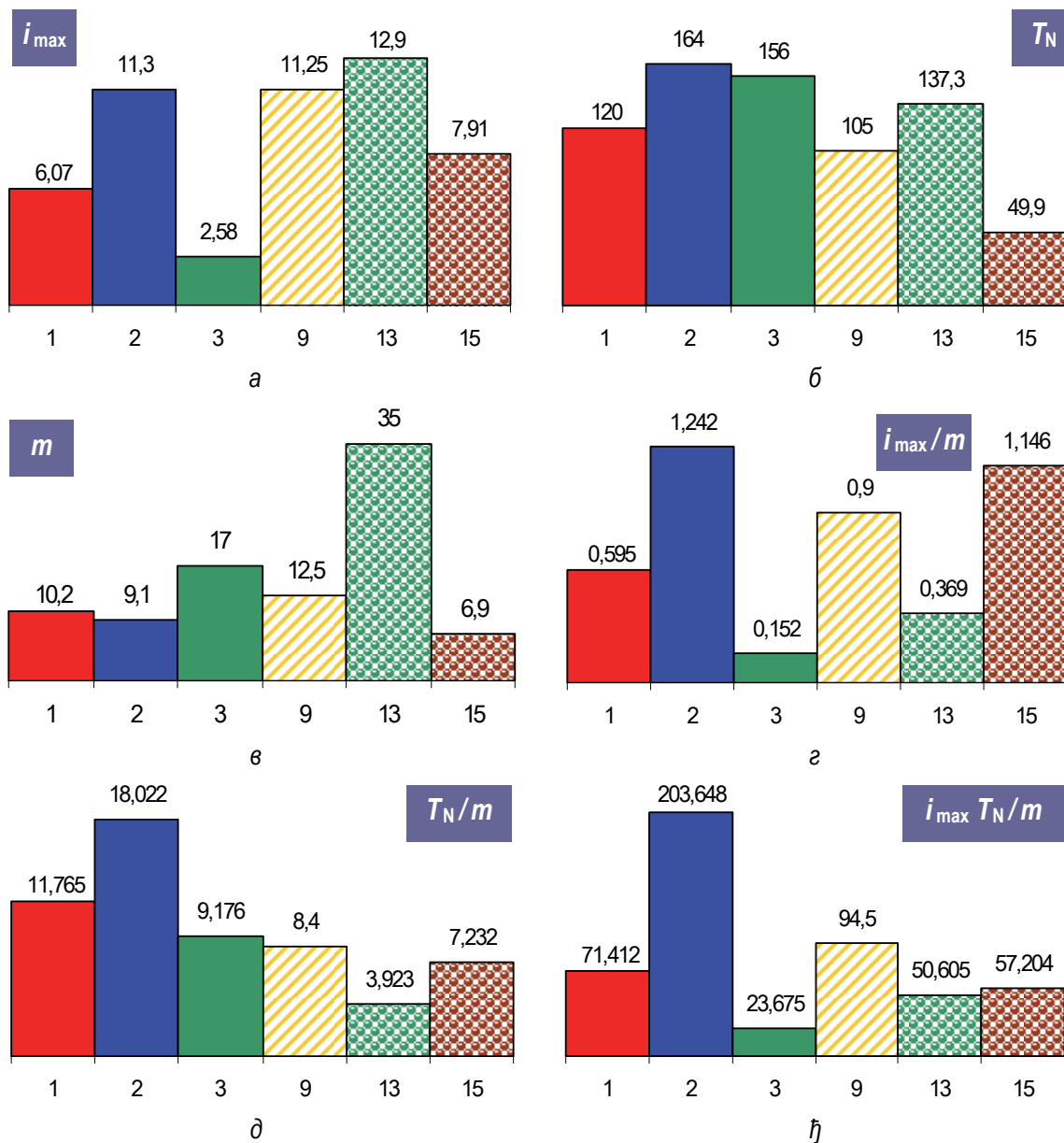
Дијаграм маса једноступених универзалних моторних редуктора (без масе мотора) анализираних произвођача



Сл. 4.9

Дијаграм запремина уља за подмазивање једноступених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача

За поређење комплексних показатеља потребно је посматрати исту осну висину. Због тога ће се за најчешће коришћене осне висине једноступених редуктора 80, 100 и 112 mm посматрати јединични показатељи (i_{\max} , T_N , m) и комплексни показатељи преко односа преносног односа и масе (i_{\max}/m), називног обртног момента и масе (T_N/m), и као свеобухватна оцена преко односа $i_{\max} T_N/m$.

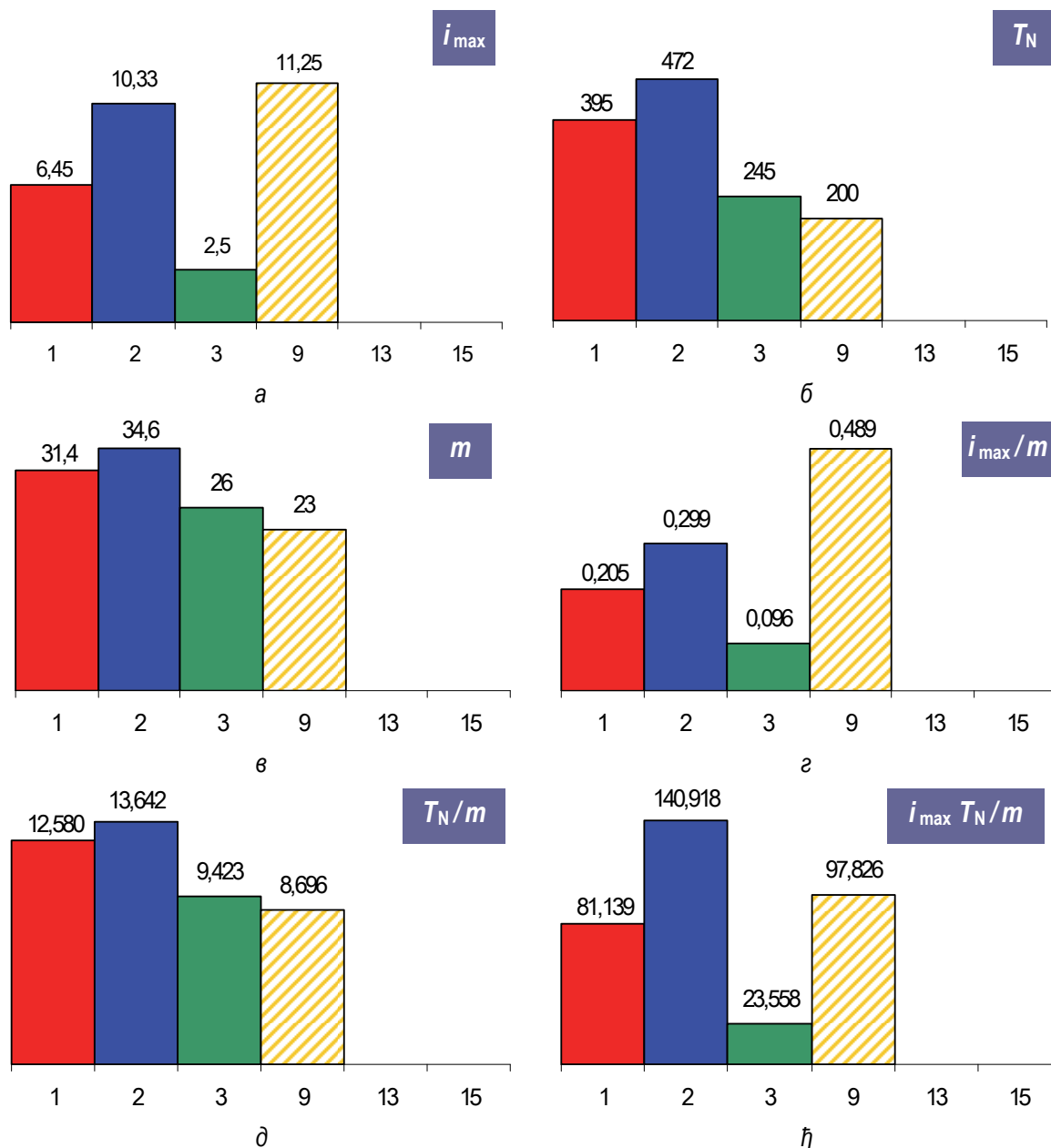


Сл. 4.10.

Дијаграм јединичних (а, б, в) и комплексних (г, д, њ) показатеља квалитета једноступених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 80$ mm (1 - SEW, 2 - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 9 - Lenze GST, 13 - Bonfiglioli S, 15 - Leroy Somer)

Поређењем јединичних показатеља квалитета једноступеног редуктора за осну висину 80 mm, види се да редуктори произвођача Bonfiglioli, Siemens-Flender и Lenze имају највеће преносне односе (сл. 4.10-а), а да редуктори произвођача Siemens-Flender, Nord UNICASE и Bonfiglioli имају највеће излазне обртне моменте (сл. 4.10-б). Међутим, Bonfiglioli редуктор има велику масу (сл. 4.10-в), што умањује његове комплексне показатеље, док редуктор Leroy Somer има малу масу, што његове комплексне показатеље знатно повећава. Да би се реалније оценио квалитет

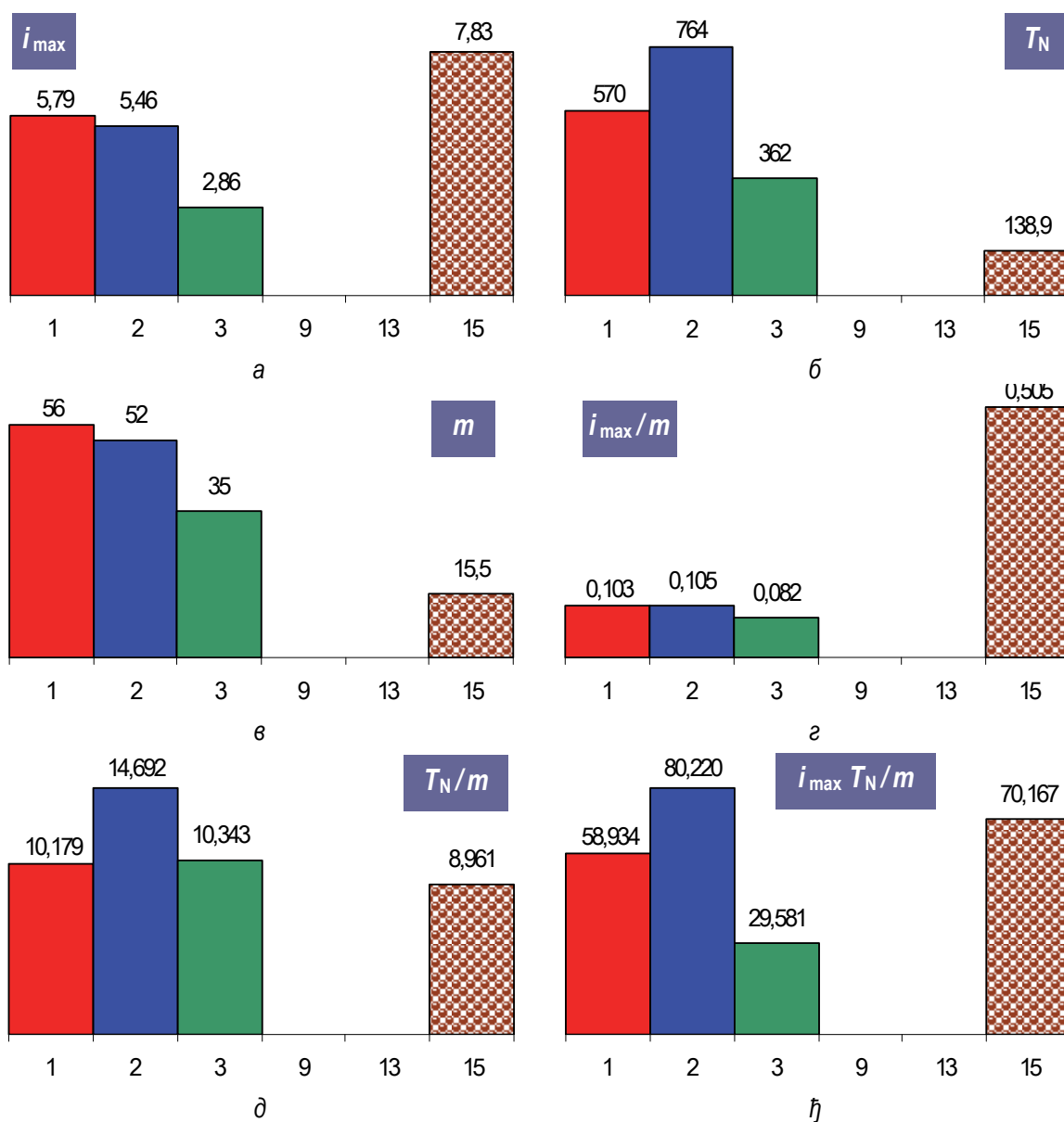
редуктора потребно је увести одређене комплексне показатеље којима се одређује рационалност постигнутог решења. С обзиром на употребљену масу редуктора, најбоље комплексне показатеље, с обзиром на преносни однос, имају Siemens-Flender, Leroy Somer и Lenze (сл. 4.10-г), а с обзиром на носивост Siemens-Flender, SEW и Nord UNICASE (сл. 4.10-д). На крају се у комплексној карактеристици која би требало да покаже укупни квалитет знатно изнад свих истиче редуктор произвођача Siemens-Flender (сл. 4.10-ђ), а доста лошије карактеристике имају редуктори Lenze и SEW. То значи да се, и поред тога што нема највећи преносни однос, редуктор Siemens-Flender истиче својим комплексним карактеристикама, односно квалитетом искоришћености масе редуктора. Треба још напоменути да карактеристике редуктора Nord и Bonfiglioli важе за осне висине 85 mm односно 82 mm, јер се они не производе са осном висином 80 mm.



Сл. 4.11.

Дијаграм јединичних (а, б, в) и комплексних (г, д, њ) показатеља квалитета једноstepених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 100 \text{ mm}$ (1 - SEW, 2 - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 9 - Lenze GST, 13 - Bonfiglioli S, 15 - Leroy Somer)

Поређењем јединичних показатеља квалитета једноступеног редуктора који имају осну висину 100 mm, види се да редуктори произвођача Lenze и Siemens-Flender имају највеће преносне односе (сл. 4.11-а), а да редуктори произвођача Siemens-Flender и SEW имају највеће излазне обртне моменте (сл. 4.11-б). Пошто Bonfiglioli не производи једноступене редукторе веће осне висине од 82 mm, он се овде више и не разматра, тако да је рангирање према преносном односу остало исто, једино се према излазном обртном моменту после Siemens-Flender сада више истиче редуктор произвођача SEW. Међутим, што се тиче маса, оба ова произвођача производе редукторе са великим масама (сл. 4.11-в). То незнатно смањује њихове комплексне карактеристике, па се према преносном односу у односу на употребљену масу поново истиче Leroy Somer (сл. 4.11-г), док су према носивостима и маси, ту поново Siemens-Flender и SEW (сл. 4.11-д). Највећу комплексну оцену квалитета, с обзиром на рационалност конструкције, за осну висину 100 mm има за редуктор Siemens-Flender (сл. 4.11-ђ), док су нешто лошији од њега редуктори Lenze GST и SEW, са много бољим карактеристикама од произвођача Nord који се код ове осне висине не истиче.

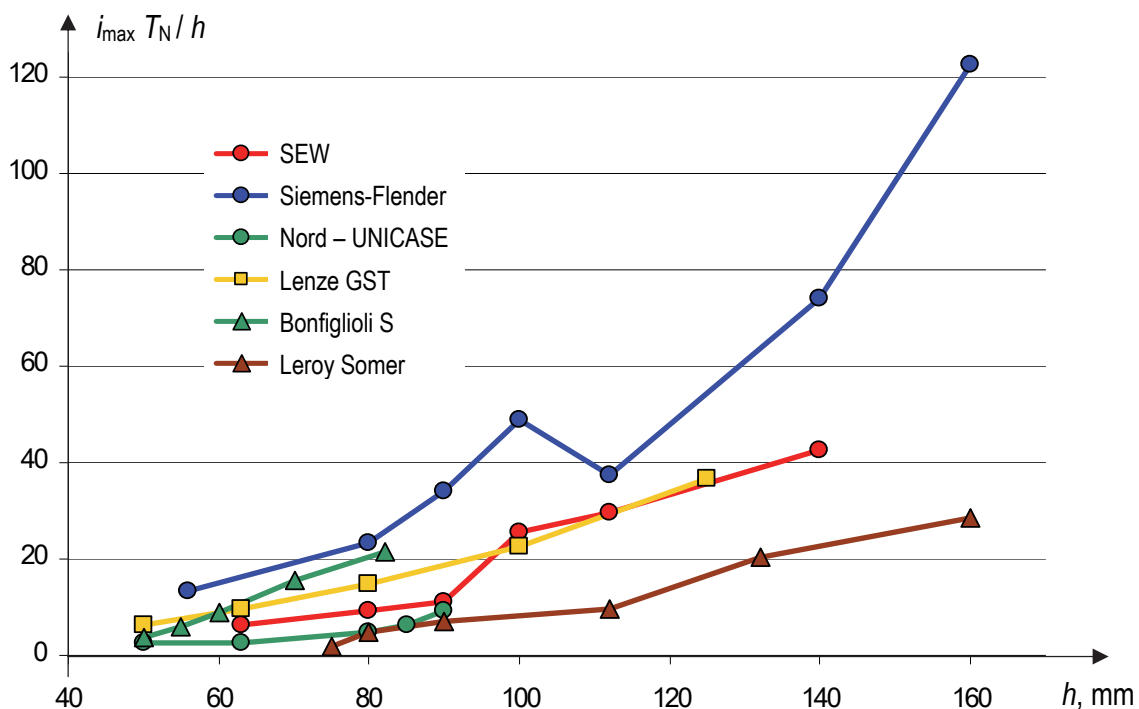


Сл. 4.12.

Дијаграм јединичних (а, б, в) и комплексних (г, д, ђ) показатеља квалитета једноступених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 112 \text{ mm}$ (1 - SEW, 2 - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 9 - Lenze GST, 13 - Bonfiglioli S, 15 - Leroy Somer)

Поређењем јединичних показатеља квалитета једноступеног редуктора који имају осну висину 112 mm, види се да се према преносним односима овде истиче редуктор произвођача Leroy Somer (сл. 4.12-а), па тек онда SEW и Siemens-Flender, а да редуктори произвођача Siemens-Flender и SEW имају највеће излазне обртне моменте (сл. 4.12-б), а они опет имају и највеће масе (сл. 4.12-в). Захваљујући малој маси, комплексни показатељ у односу на преносни однос је знатно већи код редуктора Leroy Somer (сл. 4.12-г), док се Siemens-Flender поново истиче према носивости и маси (сл. 4.12-д). Као крајњи закључак оцене комплексних показатеља за постигнут преносни однос и обртни момент, произилази да је најрационалније решење редуктор произвођача Siemens-Flender (сл. 4.12-ђ), док је одмах после њега редуктор произвођача Leroy Somer.

На основу спроведене анализе за ове три карактеристичне осне висине, види се да су редуктори Siemens-Flender најбоље оцењени са становишта комплексних карактеристика. Комплексни показатељи с обзиром на преносни однос велики су и код редуктора произвођача Lenze GST и Leroy Somer, али због осталих карактеристика они нису на првом месту. Ови произвођачи су се посветили великим преносним односима са мањом носивошћу (Lenze, Leroy Somer), па користе међуплочу на кућишту и излазни зупчаник на препусту, баш као и Siemens-Flender. Произвођачи једноступених редуктора SEW и Nord – UNICASE усвојили су решење излазног зупчаника између лежајева и примене кућишта без међуплоче и тако постижу велике комплексне карактеристике с обзиром на носивост. Редуктори произвођача Bonfiglioli прављени су за мање осне висине када успешно постижу међу највећим преносним односима од свих једноступених редуктора. Ипак, њихове масе су велике и то им значајно смањује вредности комплексних показатеља.



Сл. 4.13.

Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{\max} T_N / h$) једноступених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача

Да би се могли оцењивати једноступени редуктори независно од њихове величине, тј. да би се поредио квалитет конструкционог решења за различите осне висине, потребно је увести у разматрање комплексне показатеље који узимају у обзир и осну висину (h) чиме се добија још

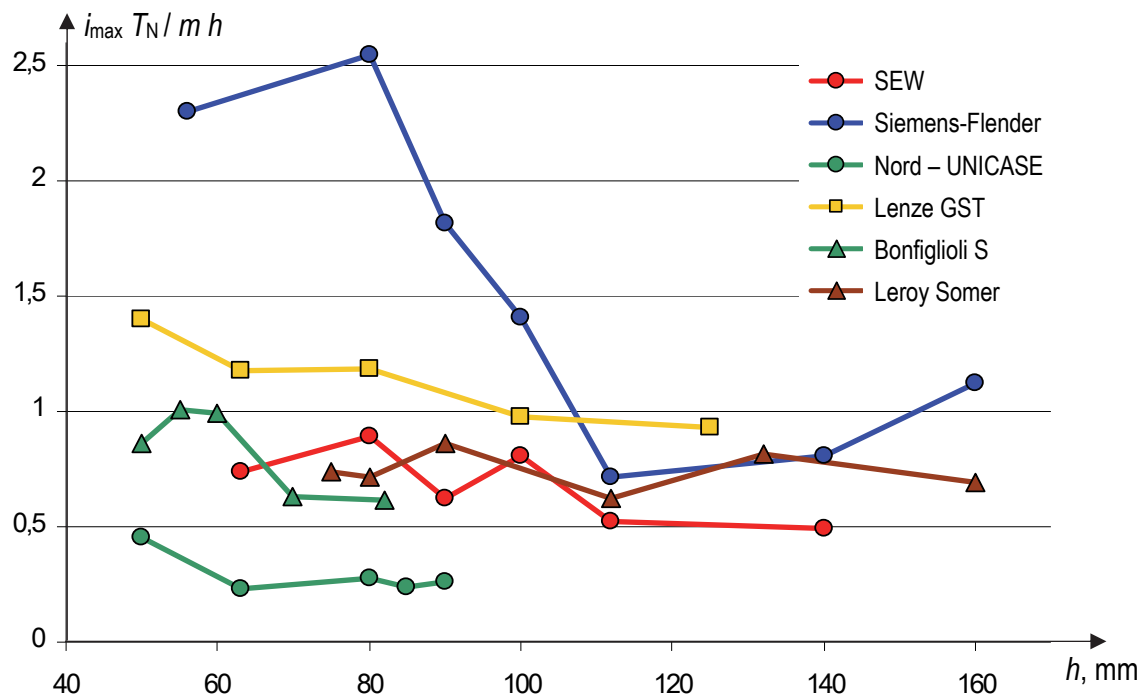
потпунија оцена квалитета једноступених редуктора. На пример, показатељ ($i_{\max} T_N / h$, сл. 4.13) или још комплекснији ($i_{\max} T_N / m h$, сл. 4.14) који узима у обзир и масу.

На основу дијаграма на сл. 4.13, види се да се код свих произвођача редуктора веће вредности преносног односа и носивости добијају код већих осних висина. Такође, види се оно што је већ закључено и на основу неколико карактеристичних осних висина, да су за све осне висине једноступени редуктори произвођача Siemens-Flender најбољи. веома добре карактеристике има и произвођач Bonfiglioli, али он има мале осне висине, а такође, добре карактеристике имају редуктори произвођача SEW и Lenze. Све су то велики произвођачи редуктора, тако да се могло и очекивати да они имају боље показатеље у односу на остале произвођаче као што је на пример Leroy Somer.

Ако се у оцењивање укључи и маса редуктора, са дијаграма на сл. 4.14 види се да је однос преносног односа и носивости према маси приближно једнак за све осне висине, осим за произвођача Siemens-Flender који ову карактеристику има много бољу за мање осне висине. То значи да је конструкција редуктора Siemens-Flender мањих величина изведена много рационалније него при већим осним висинама. Овде се с обзиром на искоришћеност масе истичу још и произвођачи Lenze и Leroy Somer.

Оптимално конструисан преносник подразумева да се за исту масу редуктора могу добити веће носивости и преносни односи уз прихватљиве степене сигурности и степен поузданости редуктора. По том критеријуму се посебно истиче произвођач Leroy Somer, јер он нема посебно велику носивост, као ни преносни однос, али, при већим осним висинама, својом мањом масом може успешно да конкурише редукторима произвођача Siemens-Flender и SEW. Пошто се са малом масом не могу постићи велике носивости, јер су ове две величине сразмерне једна другој, могу се понудити две концепције развоја једноступених редуктора:

- концепција са великим преносним односима и излазним обртним моментима,
- концепција са великим преносним односом и малом масом.



Сл. 4.14.

Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{\max} T_N / m h$) једноступених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача

Прва концепција више одговара великим произвођачима редуктора када они уз већу масу редуктора могу да постигну и велике излазне обртне моменте. Другу концепцију користе мањи произвођачи који се труде да у неком сегменту преносних односа (по могућности што већем), успешно конкуришу великим произвођачима и изборе се за свој део тржишта. Ти произвођачи имају много тежи задатак јер рационалном конструкцијом одливка кућишта морају постићи високе комплексне показатеље како би били успешни. Ипак, у зависности од компаније која купује редукторе, маса понекад не мора бити битна, већ само карактеристике које редуктор може да постигне. Такође, неким купцима су битне нетипичне осне висине (које овде нуди Bonfiglioli), а неким је на крају битна само цена редуктора, што овде није узето као параметар разматрања оптималности, мада је она, неоспорно, веома битна.

4.5.3. Оцењивање техничких карактеристика двостепених редуктора

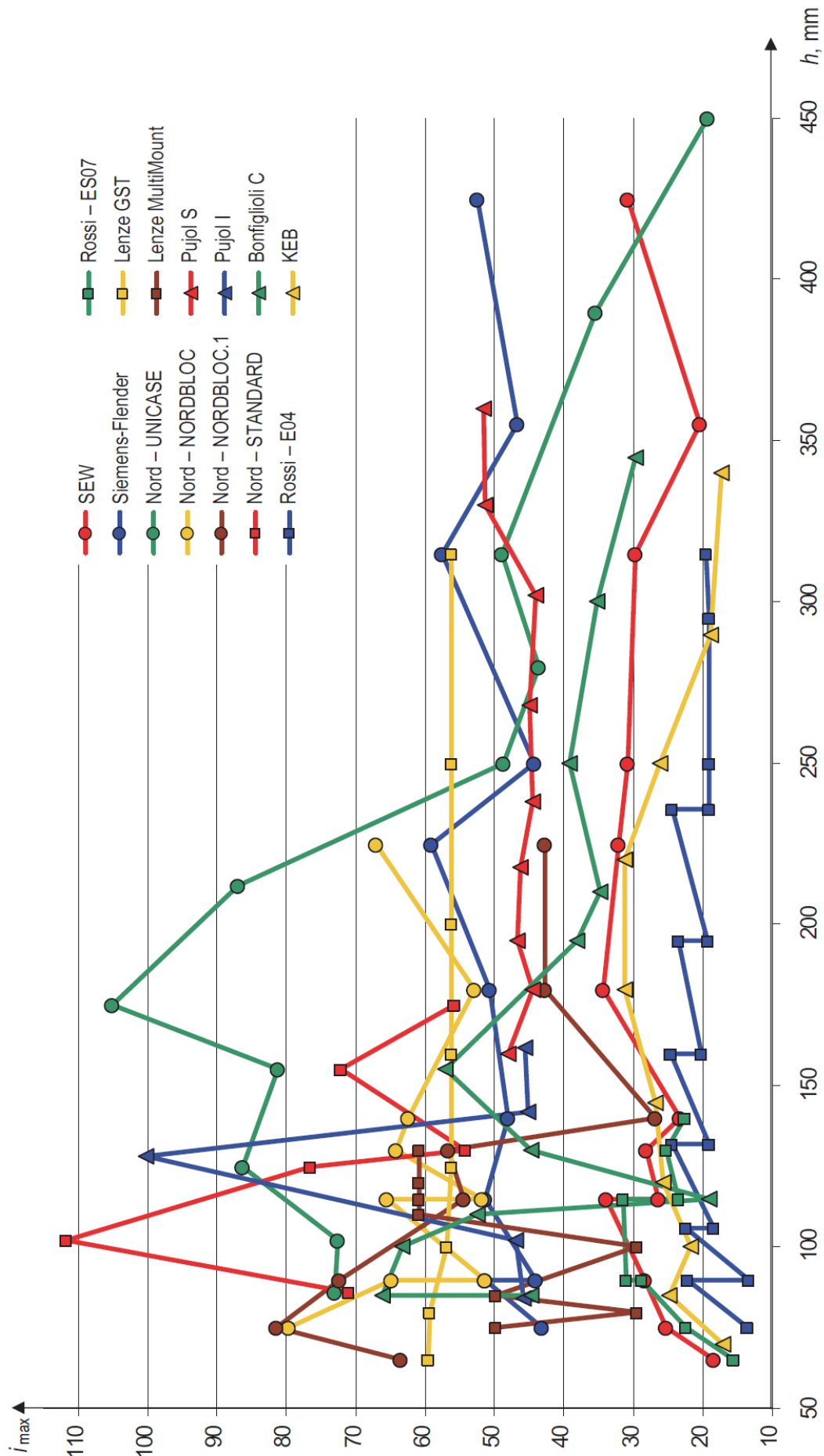
Двостепене редукторе производе сви анализирани произвођачи, осим произвођача Leroy Somer који производи само једностепене и тростепене редукторе.

На сл. 4.15, 4.16, 4.17 и 4.18 приказано је поређење техничких карактеристика, односно јединичних показатеља квалитета двостепених редуктора, у зависности од осних висина, односно типа редуктора.

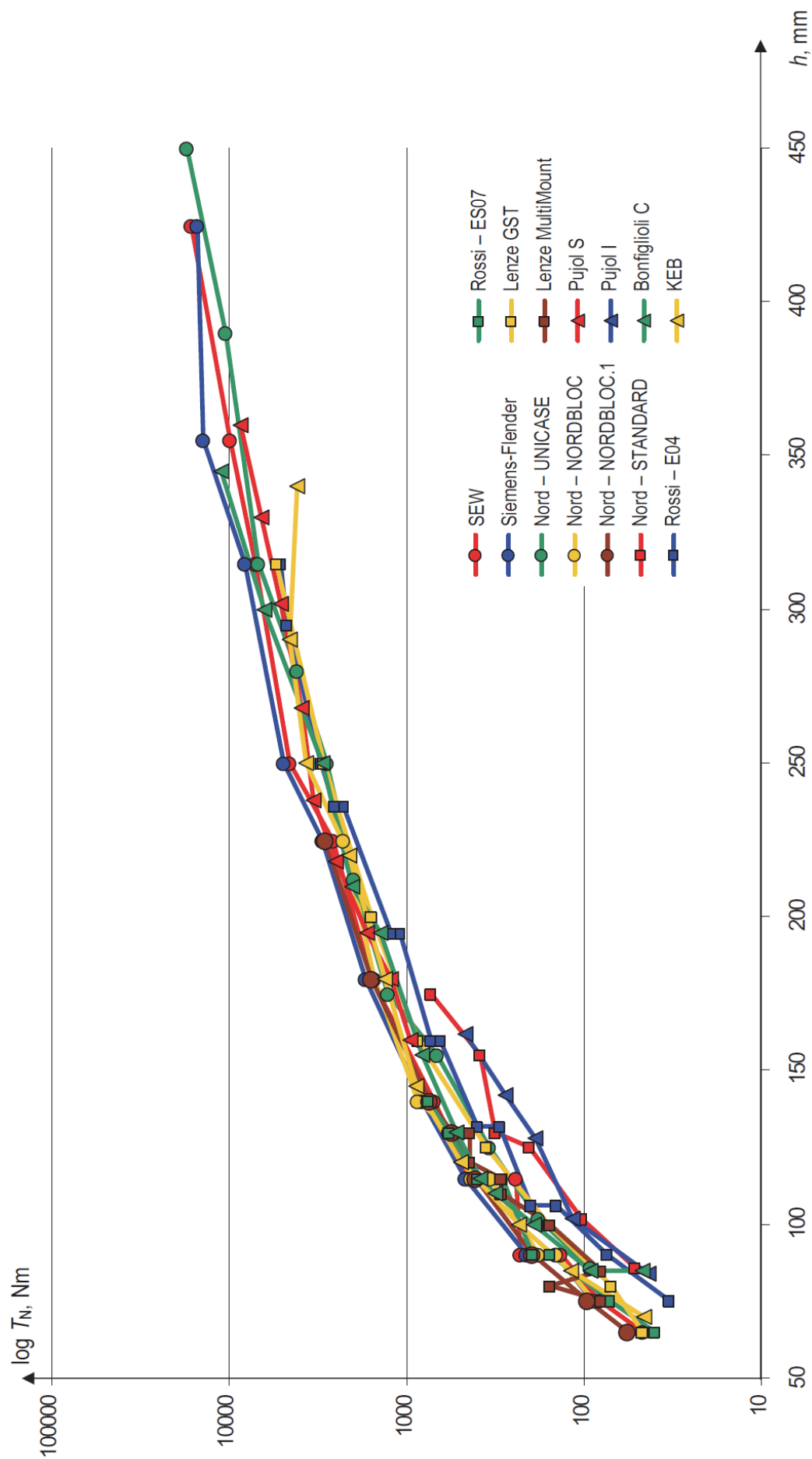
На основу датих дијаграма може закључити да се већи преносни односи добијају за мање осне висине (до 225 mm), и то пре свега код редуктора произвођача Nord, тј. врсте UNICASE, NORDBLOC и STANDARD (сл. 4.15). За те двостепене редукторе значајно је да се зупчаници монтирају аксијално у једноделно кућиште са међуплочом која им омогућава уградњу већих гоњених зупчаника и да су им оба пара зупчаника у истој комори са излазним зупчаником на препусту. Једино редуктор UNICASE нема међуплочу, а захваљујући посебном облику прирубнице редукторског мотора други и трећи зупчаник такође се налазе између лежајева (сл. 3.15). Исто тако, кућишта тих редуктора нису универзална, већ имају посебан облик за двостепене и за тростепене редукторе (осим NORDBLOC.1 који зато и има нешто ниже преносне односе).

Изнад осне висине 225 mm Nord производи само UNICASE редукторе и то у кућишту са радиаксијалном монтажом и међуплочом, што му значајно смањује преносни однос. За веће осне висине, велике преносне односе имају редуктори произвођача Lenze (који има приближно једнаке преносне односе за све величине), Siemens-Flender и Pujol S. Зупчаници редуктора Lenze аксијално се монтирају у кућиште са одвојивим средњим зидом и међуплочом (сл. 3.58) што омогућава уградњу великих зупчаника и постизање великих преносних односа. Siemens-Flender има радиаксијалан начин монтаже са међуплочом (сл. 3.9), док редуктори Pujol S имају аксијалан начин монтаже, али и са предњом и са задњом одвојивом међуплочом (сл. 3.66). Редуктори са радиаксијалном монтажом без међуплоче имају најмање преносне односе (нпр. KEB, SEW, Rossi).

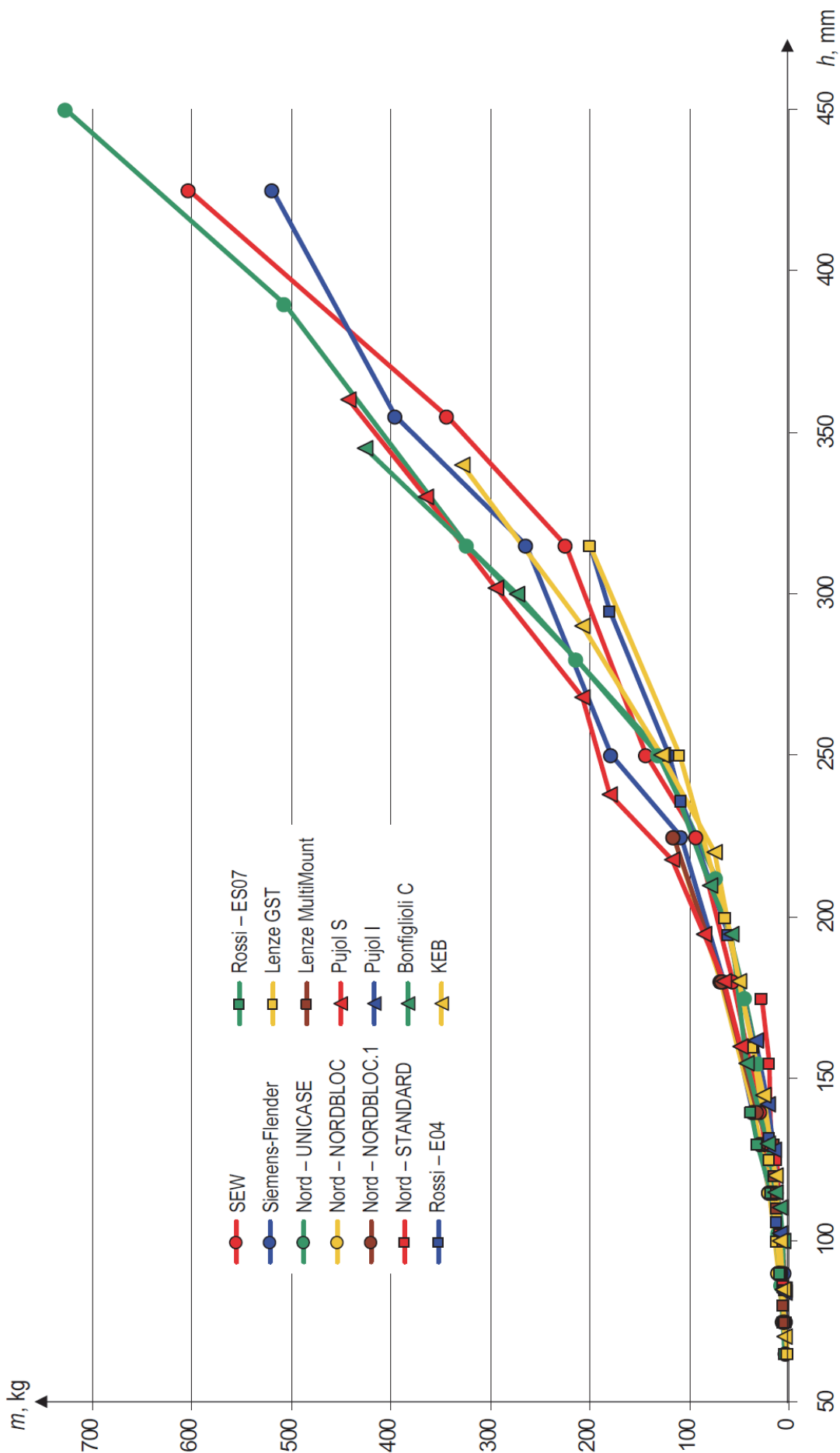
Што се тиче носивости редуктора, произвођачи углавном постижу уједначене носивости (сл. 4.16) и оне ће детаљније бити анализирани на појединим осним висинама. При мањим осним висинама види се да мање носивости имају Pujol I и Nord STANDARD који су иначе и дефинисани за веће преносне односе. При већим осним висинама издвајају се Siemens-Flender и SEW који имају треће зупчasto вратило ослоњено на три лежаја и излазни зупчаник постављен између лежајева тако да постижу веће носивости. Код ових решења произвођач Siemens-Flender користи међуплочу.



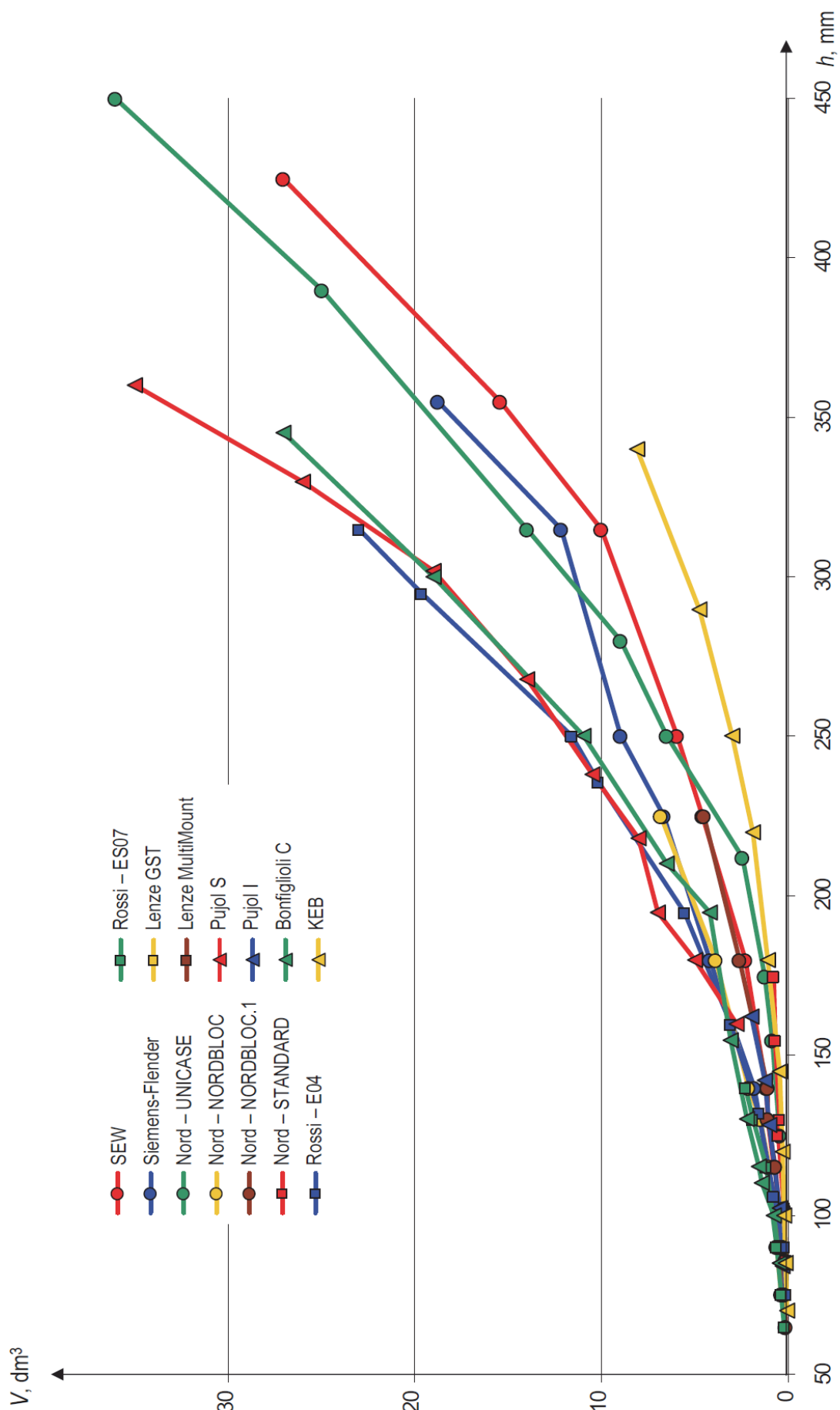
Сл. 4.15. Дијаграм преносних односа двостепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.16. Дијаграм обртних момената двостепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.17. Дијаграм маса двостворених универзалних моторних редуктора (без масе мотора) анализираних произвођача



Сл. 4.18. Дијаграм запремина угла за подмазивање двостепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача

Показатељи вредности маса и запремина прилично су уједначене (сл. 4.17 и 4.18). Истиче се произвођач Pujol S чије кућиште са своје две међуплоче знатно повећава своју масу и запремину, док произвођачи Lenze и КЕВ имају најмању масу, односно КЕВ и запремину редуктора. За мање осне висине (до 100 mm), поједини произвођачи користе кућишта од легура алуминијума и тако значајно смањују масу редуктора.

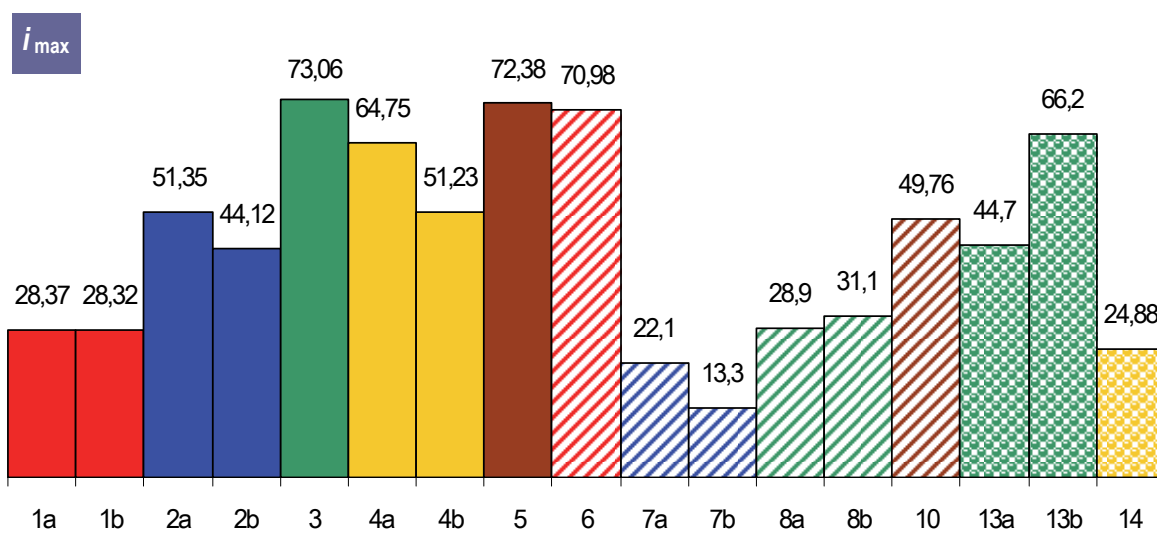
За детаљније поређење јединичних и комплексних показатеља, потребно је посматрати исту осну висину. Због тога ће се, за најчешће коришћене осне висине двостепених редуктора 90, 115 и 250 mm, посматрати јединични показатељи (i_{\max} , T_N , m) и комплексни показатељи преко односа преносног односа и масе (i_{\max} / m), називног обртног момента и масе (T_N / m), и посебно предложени показатељ однос ($i_{\max} T_N / m$).

Поређењем јединичних показатеља квалитета двостепеног редуктора за осну висину 90 mm (сл. 4.19-а), види се да чак шест произвођача редуктора нуде два сета зупчаника (SEW, Siemens-Flender, Nord – NORDBLOC, Rossi – E04, Rossi – ES07 и Bonfiglioli) чиме желе да понуде и већу носивост и већи преносни однос. Редуктори произвођача Nord – UNICASE, NORDBLOC.1 и STANDARD имају највеће преносне односе, а редуктори произвођача SEW, Siemens-Flender, Nord NORDBLOC.1 и Rossi – ES07 имају највеће излазне обртне моменте (сл. 4.19-б). Међутим, редуктори Siemens-Flender и Rossi имају велику масу (сл. 4.19-в), што умањује њихове комплексне показатеље, док се редукторима са мањим масама повећавају комплексни показатељи. Да би се реалније оценио квалитет двостепених редуктора, анализирају се комплексни показатељи којима се одређује рационалност постигнутог решења. С обзиром на употребљену масу редуктора, најбоље комплексне показатеље (сл. 4.20) имају они произвођачи који користе посебно кућиште за двостепени редуктор и они произвођачи који користе легуре алуминијума за израду кућишта.

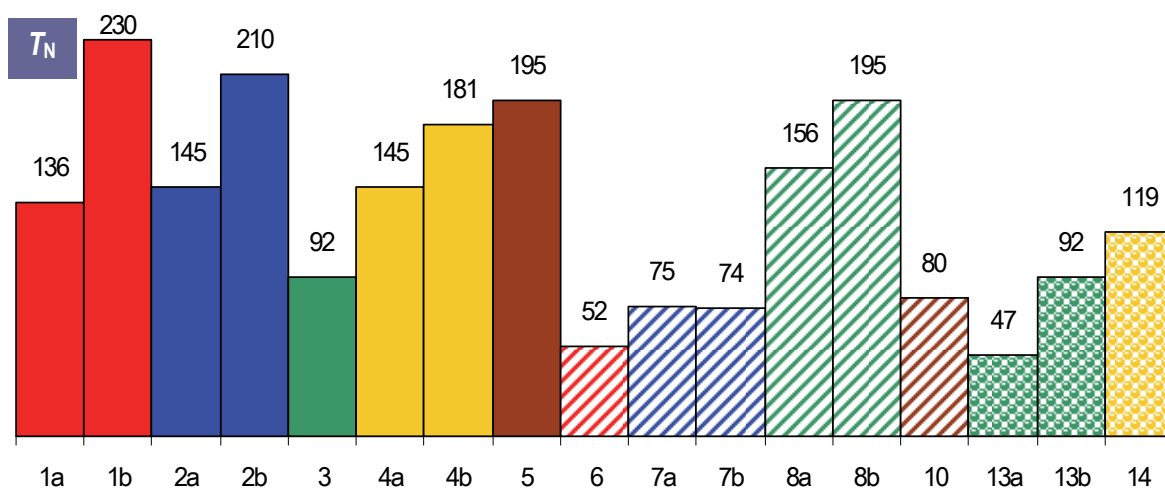
Најбоље комплексне показатеље с обзиром на остварени преносни однос (сл. 4.20-а) имају редуктори произвођача Siemens-Flender, Lenze MultiMount и Nord NORDBLOC.1 са универзалним кућиштем од легура алуминијума, Nord STANDARD са специјалним кућиштем за двостепени редуктор од сивог лива и Bonfiglioli (редуктори C05 2 и C11 2 за $h=85$ mm) са специјалним кућиштем за двостепене редукторе од легура алуминијума. С обзиром на носивост највеће комплексне показатеље има редуктор Siemens-Flender за редуктор са кућиштем од легура алуминијума (сл. 4.20-б). Такође, изражен комплексни показатељ обзиром на носивост имају и Nord NORDBLOC.1 са универзалним кућиштем од легура алуминијума, али и редуктори произвођача SEW, због своје велике носивости.

Резултујући комплексни показатељ за осну висину 90 mm истиче редукторе произвођача Nord NORDBLOC.1 и Siemens-Flender (сл. 4.20-в), оба израђена од легура алуминијума. Он показује највеће величине преносних односа и носивости за што рационалније обликован редуктор. NORDBLOC.1 за разлику од раније серије NORDBLOC има треће зупчасто вратило ослоњено на три лежаја и излазни зупчаник постављен између лежајева, али и аксијалну монтажу са међуплочом што заједно доприноси и повећању преносног односа, али и носивости, а како је израђен од легура алуминијума повећавају му се комплексни показатељи.

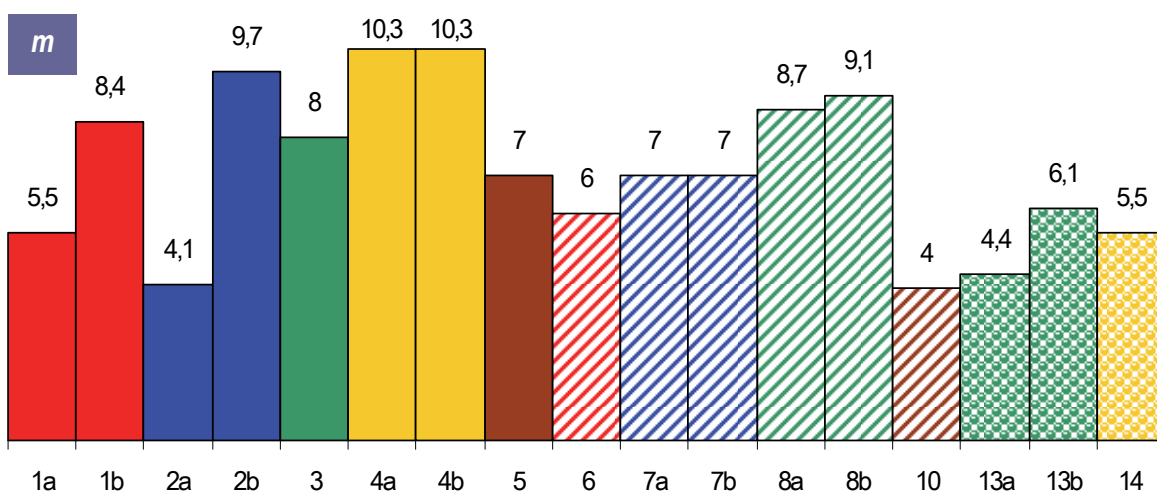
За осну висину 115 mm анализирани су и редуктори произвођача Lenze MultiMount и Bonfiglioli осне висине 110 mm и Lenze MultiMount и КЕВ висине 120 mm. Види се да у оквиру ове осне висине мање произвођача нуди по два сета зупчаника (SEW, Nord – NORDBLOC и Rossi – ES07). Захваљујући томе, једним сетом зупчаника Nord – NORDBLOC постиже највећи преносни однос у односу на све остале редукторе те величине. После њега, велике преносне односе (сл. 4.21-а) имају и двостепени редуктори произвођача Lenze MultiMount, Nord NORDBLOC.1, Bonfiglioli и Siemens-Flender, и сви они имају међуплочу на кућишту. Редуктори произвођача КЕВ, Siemens-Flender и SEW имају највеће излазне обртне моменте (сл. 4.21-б), мада су носивости углавном уједначене и не разликују се много за ову осну висину.



a



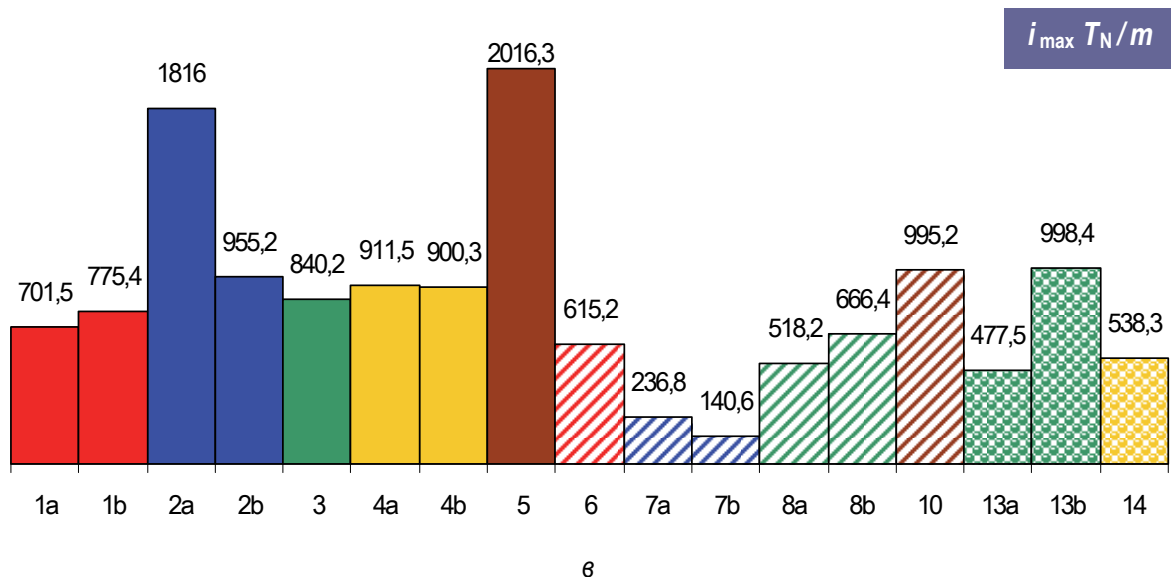
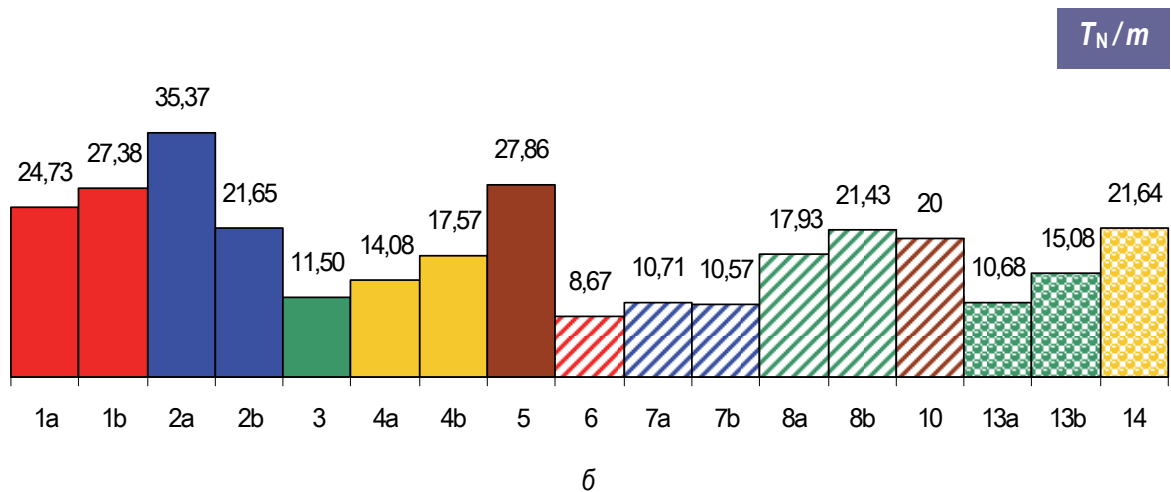
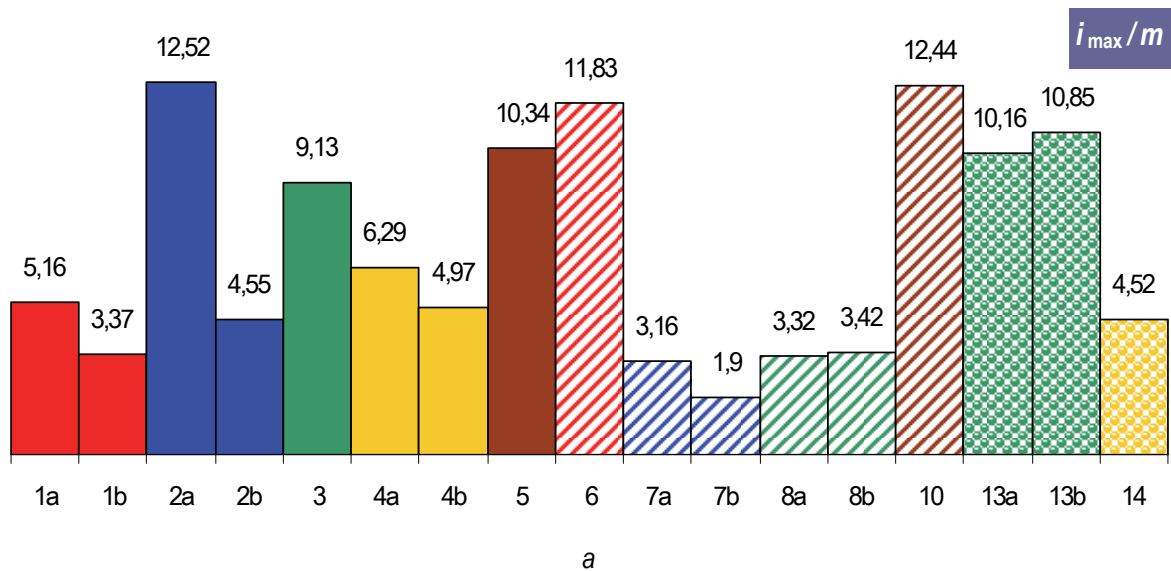
б



в

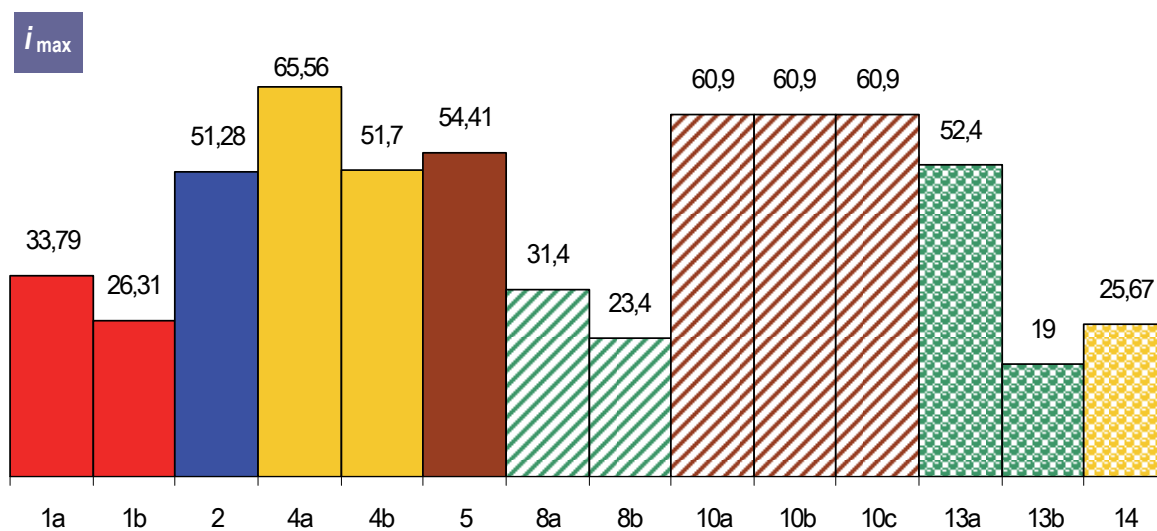
Сл. 4.19.

Дијаграм јединичних показатеља (а, б, в) квалитета двостепенних универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 90 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2a,b - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 6 - Nord – STANDARD, 7a,b - Rossi – E04, 8a,b - Rossi – ES07, 10 - Lenze MultiMount, 13a,b - Bonfiglioli C, 14 - KEB)

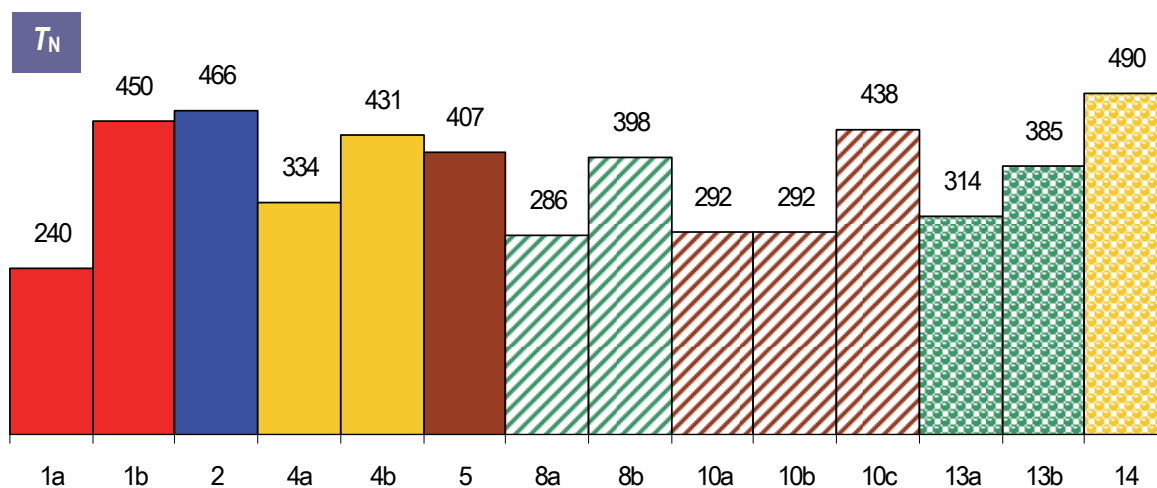


Сл. 4.20.

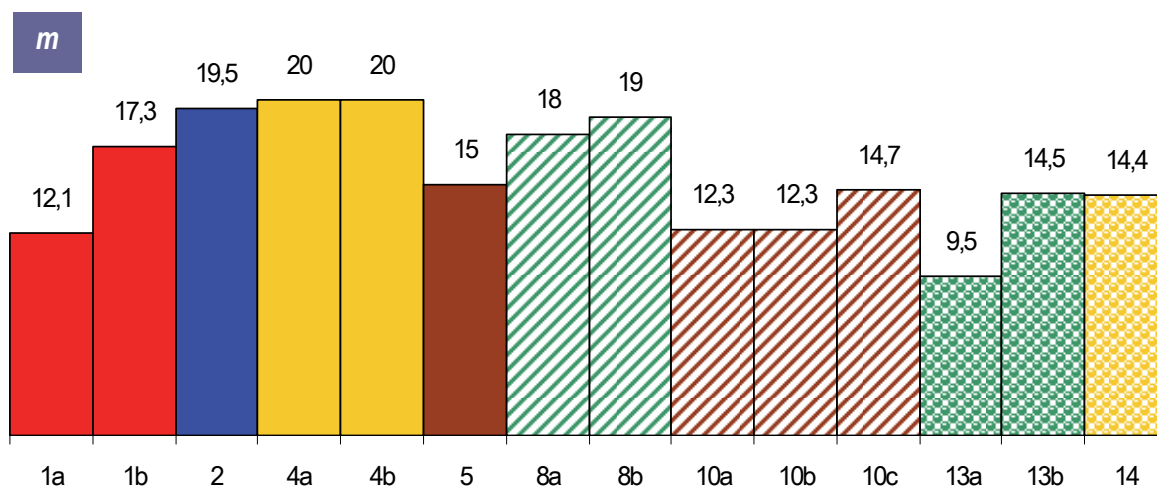
Дијаграм комплексних показатеља (а, б, в) квалитета двостепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 90 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2a,b - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 6 - Nord – STANDARD, 7a,b - Rossi – E04, 8a,b - Rossi – ES07, 10 - Lenze MultiMount, 13a,b - Bonfiglioli C, 14 - KEB)



a



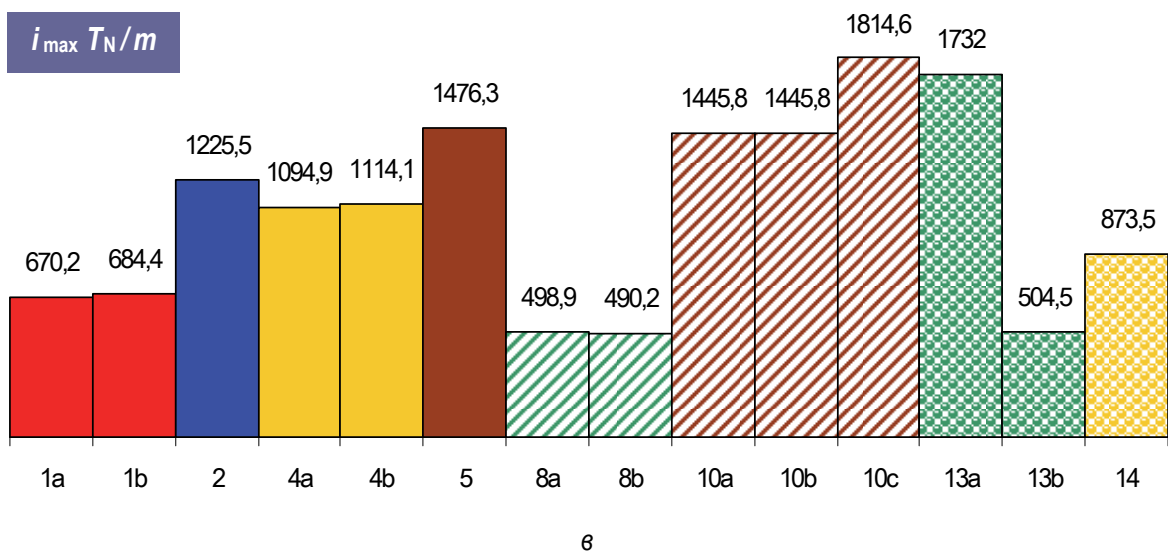
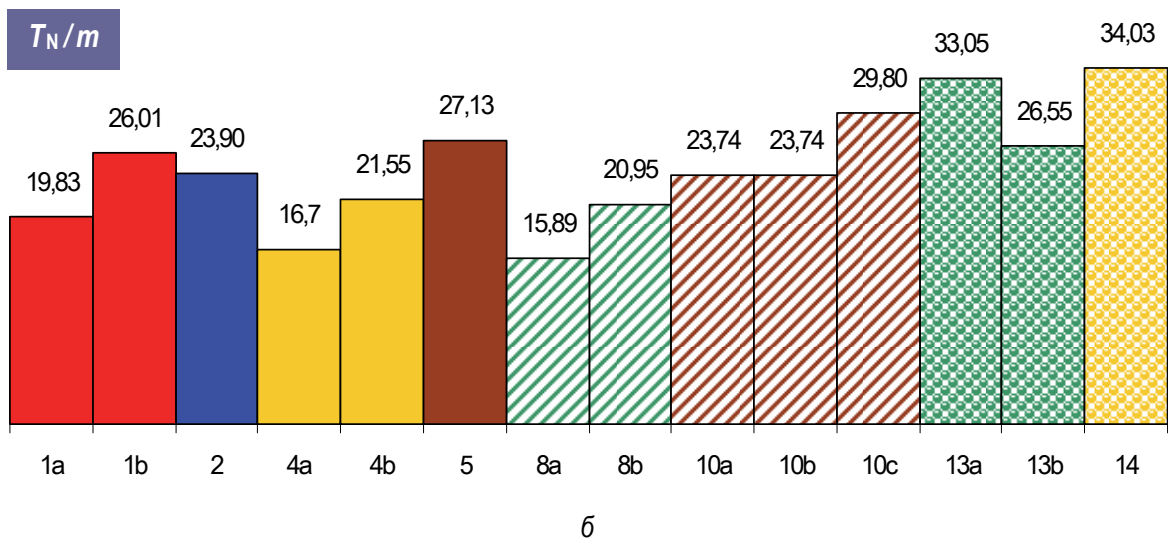
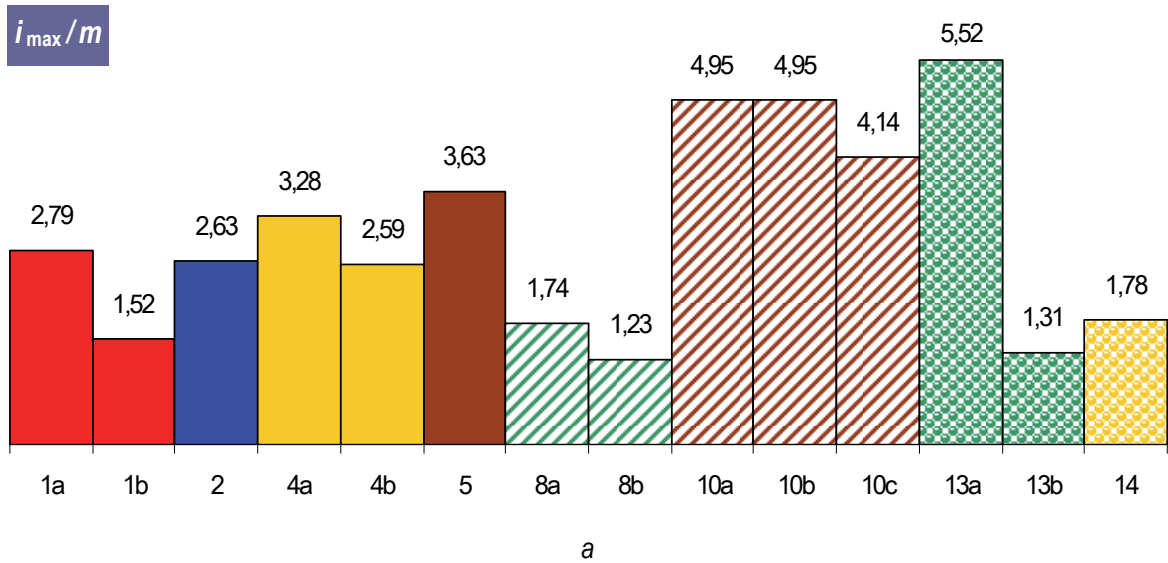
б



в

Сл. 4.21.

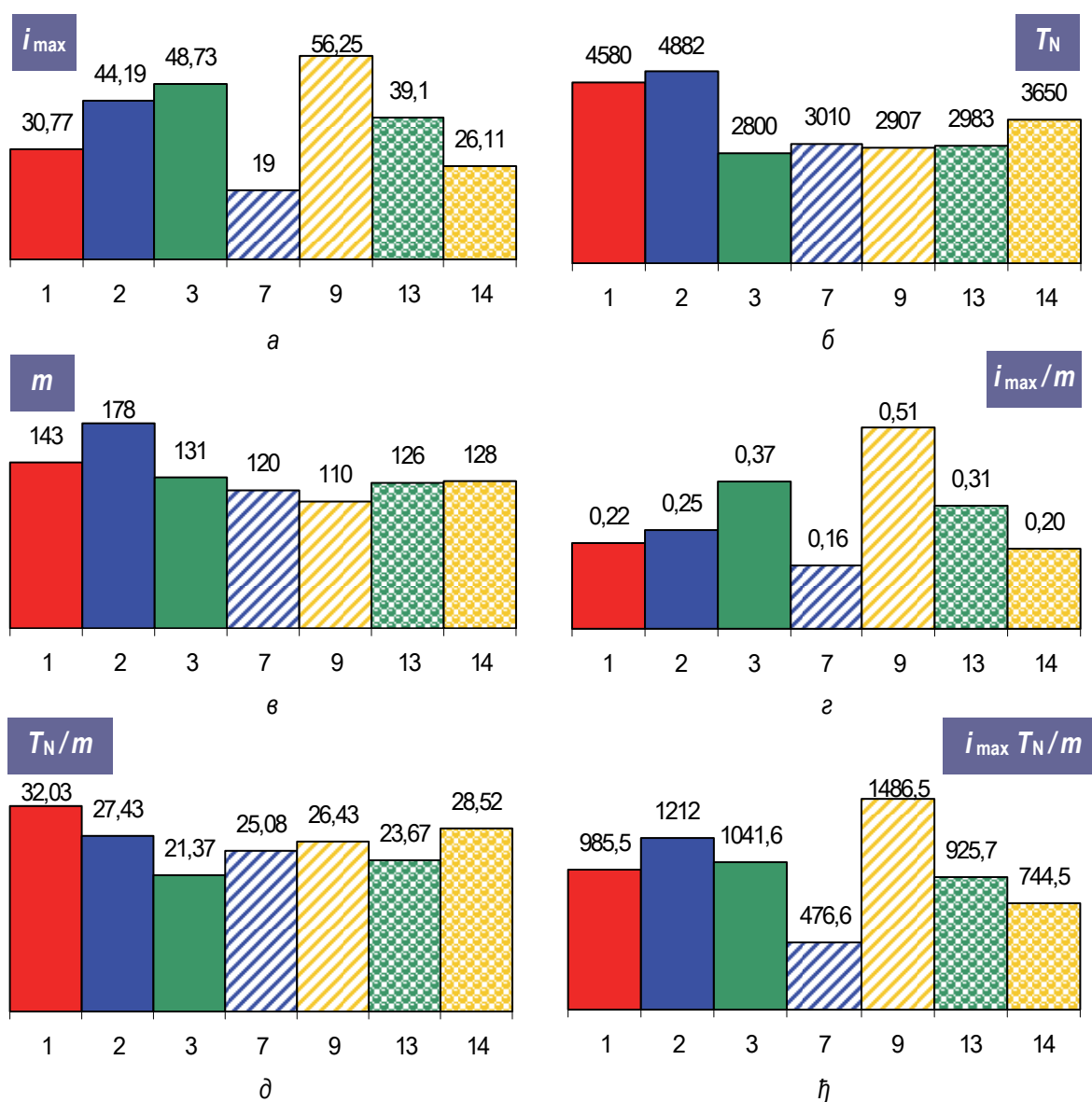
Дијаграм јединичних показатеља (а, б, в) квалитета двостепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 115 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2 - Siemens-Flender, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 8a,b - Rossi – ES07, 10a,b,c - Lenze MultiMount, 13a,b - Bonfiglioli C, 14 - KEB)



Сл. 4.22.

Дијаграм комплексних показатеља (а, б, в) квалитета двостепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 115 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2 - Siemens-Flender, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 8a,b - Rossi – ES07, 10a,b,c - Lenze MultiMount, 13a,b - Bonfiglioli C, 14 - KEB)

Међутим, редуктори произвођача Siemens-Flender, Nord – NORDBLOC и Rossi имају велику масу (сл. 4.21-в), што умањује њихове комплексне показатеље, док се редукторима чија су кућишта израђена од легура алуминијума значајно повећавају комплексни показатељи. Захваљујући комплексним показатељима могу да се оцене најрационалније изведена решења са становишта преносног односа (сл. 4.22-а) и овде се истичу редуктори произвођача Bonfiglioli, Lenze MultiMount и Nord NORDBLOC.1 са универзалним кућиштем од легура алуминијума, али и Nord NORDBLOC од сивог лива, захваљујући свом великом преносном односу. С обзиром на носивост, најбоље комплексне карактеристике имају редуктори произвођача KEB и SEW (сл. 4.22-б) са великом носивошћу и кућиштем од сивог лива, али и Bonfiglioli и Nord NORDBLOC.1 са редукторима мањих маса. Ипак, комплексна карактеристика која показује укупни квалитет рационалности изведених решења за осну висину 115 mm највећа је за редукторе чија су кућишта израђена од легура алуминијума (Lenze MultiMount, Bonfiglioli и Nord NORDBLOC.1), а тек после њих су редуктори чија су кућишта од сивог лива, произвођача Siemens-Flender и Nord – NORDBLOC (сл. 4.22-в).



Сл. 4.23.

Дијаграм јединичних (а, б, в) и комплексних (г, д, е) показатеља квалитета двостепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 250 \text{ mm}$ (1 - SEW, 2 - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 7 - Rossi – E04, 9 - Lenze GST, 13 - Bonfiglioli C, 14 - KEB)

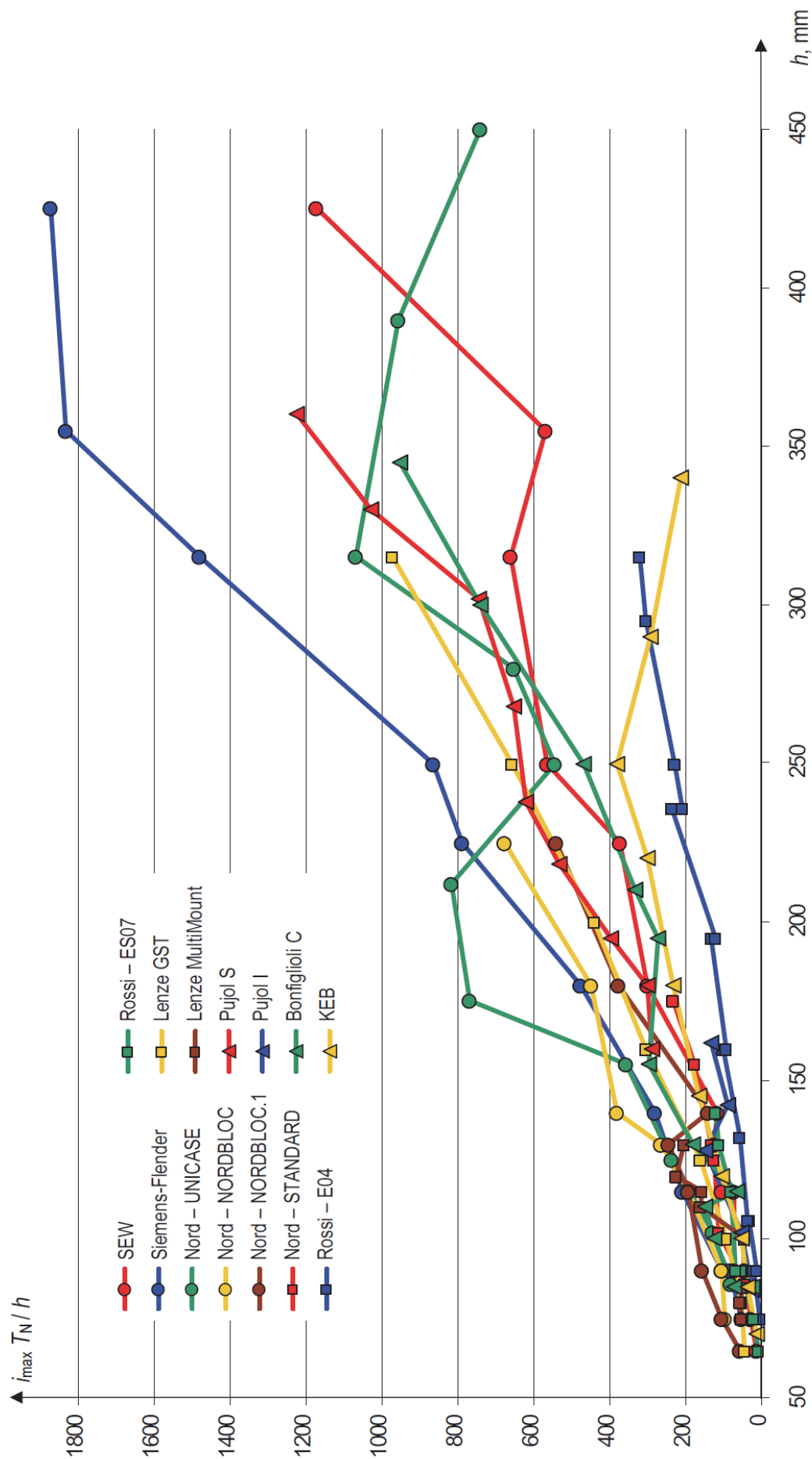
За осну висину 250 mm анализирани произвођачи редуктора не користе кућишта од легура алуминијума, нити нуде два сета зупчаника за ту и веће осне висине. Редуктори Lenze GST, који имају исти преносни однос за све осне висине и који се до сада нису истицали, постижу највећи преносни однос (сл. 4.23-а). Велике преносне односе имају и двостепени редуктори произвођача Nord UNICASE и Siemens-Flender. Од њих само Lenze GST има аксијалну монтажу са одвојивим средњим зидом и међуплочом, док Nord UNICASE и Siemens-Flender имају међуплочу, али и радиаксијалну монтажу што умањује пречнике гоњених зупчаника. Редуктори произвођача Siemens-Flender и SEW имају највеће излазне обртне моменте, док редуктори других произвођача имају уједначене, али доста мање носивости (сл. 4.23-б). Оба ова произвођача имају треће зупчasto вратило ослоњено на три лежаја и излазни зупчаник између лежајева, што повећава њихову носивост, међутим, то исто имају и редуктори Nord – UNICASE и Rossi E04, па немају тако велике носивости. Редуктор Siemens-Flender има највећу масу (сл. 4.23-в), што умањује његове комплексне карактеристике, док редуктор Lenze GST са највећим преносним односом има и најмању масу, што значајно утиче на комплексне показатеље. Према томе, с обзиром на остварени преносни однос, највеће комплексне карактеристике знатно изнад свих има Lenze GST (сл. 4.23-г), а с обзиром на носивост комплексне карактеристике су уједначене (сл. 4.23-д). Укупна комплексна карактеристика за осну висину 250 mm показује да је најрационалније изведено решење код Lenze GST редуктора (сл. 4.23-ђ), а исто тако добра решења су редуктори произвођача Siemens-Flender, Nord – UNICASE и SEW.

На основу анализе за ове три карактеристичне осне висине, види се да су редуктори са кућиштима израђеним од легура алуминијума најбоље оцењени са становишта комплексних карактеристика, а да одмах после њих следе редуктори са кућиштима израђеним од сивог лива произвођача Lenze GST и Siemens-Flender.

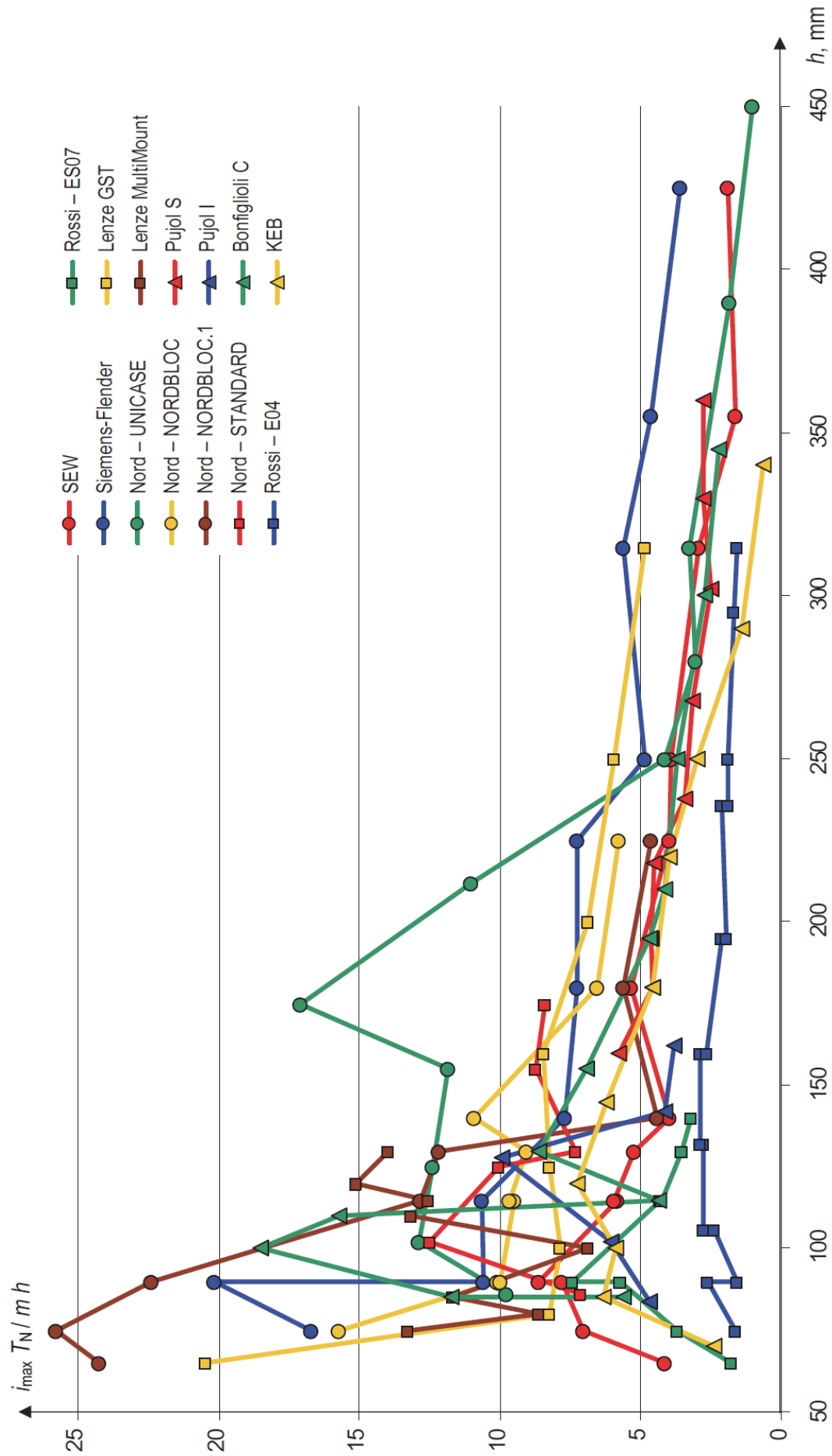
Да би се могли оцењивати двостепени редуктори независно од њихове величине, тј. да би се поредио квалитет конструкционог решења за различите осне висине, у разматрање је потребно увести комплексне карактеристике с обзиром на осну висину (h), јер се тако добија још потпунија оцена квалитета свих анализираних двостепених редуктора. Према томе, потребно је увести у разматрање показатељ ($i_{\max} T_N / h$, сл. 4.24) или још комплекснији који узима у обзир и искоришћену масу ($i_{\max} T_N / m h$, сл. 4.25).

На основу дијаграма на сл. 4.24, види се да се, у односу на осну висину, боље карактеристике преносног односа и носивости добијају за веће величине редуктора. Међутим, у зависности од начина монтаже и концептуалног дизајна, неки редуктори значајно повећавају ове карактеристике при већим осним висинама (Siemens-Flender, Lenze GST, Pujol S), док се код неких овај показатељ само незнатно увећава (Rossi E04, KEB). До осне висине 212 mm најбоље карактеристике имају редуктори произвођача Nord (NORDBLOC.1, NORDBLOC, UNICASE), а за веће величине далеко су најбољи редуктори произвођача Siemens-Flender. За веће осне висине подједнаке комплексне показатеље, али много мање од редуктора произвођача Siemens-Flender, постижу редуктори произвођача Lenze GST, Nord – UNICASE и Pujol S.

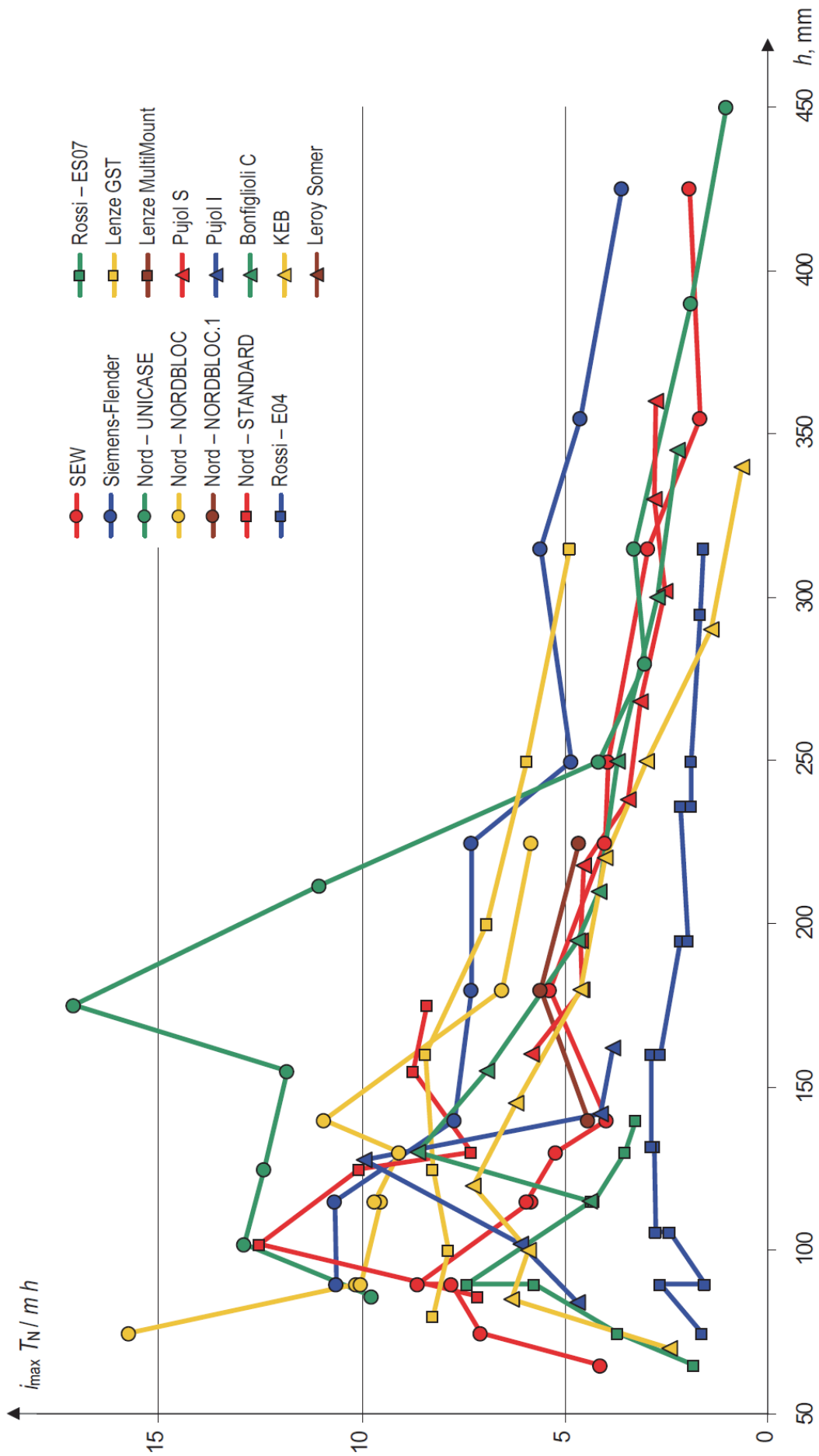
Ако се у све ово укључи и маса редуктора, на дијаграму на сл. 4.25, види се да је однос преносног односа и носивости према маси најбољи за мање осне висине за редукторе са кућиштем од легура алуминијума (Nord NORDBLOC.1, Siemens-Flender, Bonfiglioli). За веће осне висине, када се више не користе легуре алуминијума, редуктори произвођача Siemens-Flender и Lenze GST су најбољи. Изузетно се за осне висине 155, 175 и 212 mm истиче редуктор Nord UNICASE са кућиштем мање масе, само за двостепене редукторе, што значајно побољшава његове комплексне карактеристике у односу на редукторе са универзалним кућиштима. То значи да се при мањим величинама редуктора, односно при мањим масама редуктора, добијају знатно веће носивости и преносни односи. За веће величине редуктора масе се знатно повећавају, па се овај показатељ смањује.



Сл. 4.24. Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{max} T_N / h$) двостепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.25. Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{max} T_N / m h$) двостепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.26. Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{max} T_N / m h$) двостепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача са кућиштем од сивог лива

На дијаграму на сл. 4.26, приказан је да однос преносног односа и носивости према маси и величини редуктора, али само за редукторе са кућиштем од сивог лива. Ово је реалнији приказ јер је извршено поређење показатеља двостепених редуктора израђених од истог материјала. Најбоље комплексне карактеристике имају редуктори Nord UNICASE са аксијалном монтажом зупчаника у специјално кућиште за двостепене редукторе и Nord NORDBLOC са аксијалном монтажом зупчаника у специјално кућиште са међуплочом.

На основу изложене анализе за двостепене редукторе, може се уочити да се користи пуно редуктора са кућиштем од легура алуминијума, више него код једностепених редуктора. На примеру редуктора Nord NORDBLOC.1 који има највећу осну висину, са кућиштем од легура алуминијума, види се да су његове комплексне карактеристике најбоље захваљујући мањој маси и положају лежајева у две вертикалне равни. Ово омогућава постављање већег лежаја на излазном вратилу и преношење већих радијалних и аксијалних сила. На основу анализираних карактеристика посматраних редуктора овде се могу уочити две концепције развоја двостепених редуктора:

- двостепени редуктори у специјалном кућишту,
- двостепени редуктори у универзалном кућишту;

а у оквиру сваког од њих:

- са отвором са горње стране на спороходној комори,
- са отвором са горње стране на обе коморе,
- са демонтажним средњим зидом и поклопцем са моторне стране;

при чему произвођачи редуктора нуде:

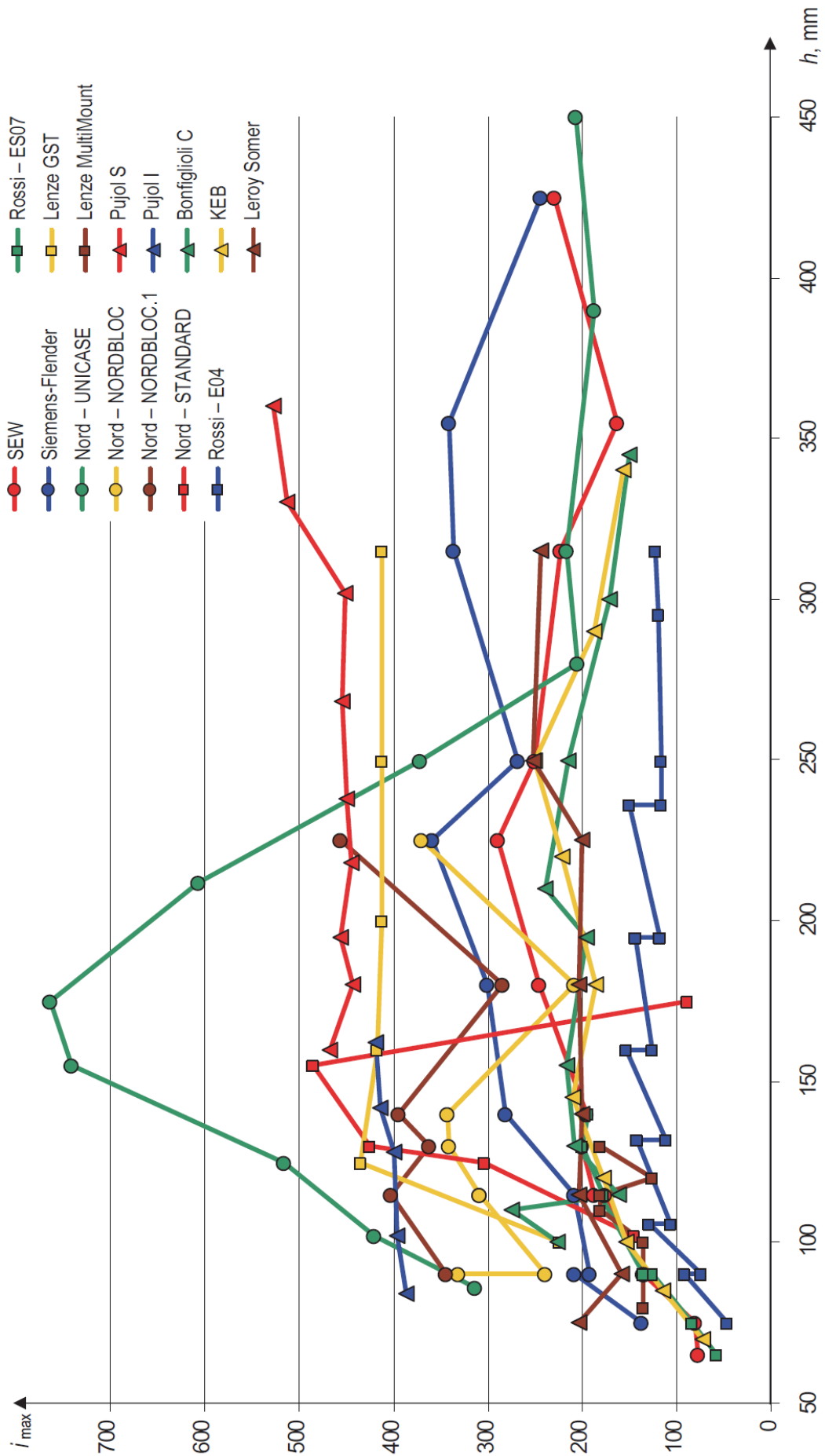
- велике преносне односе,
- велику носивост,
- истовремено велику носивост и велике преносне односе (са два сета зупчаника).

Двостепене редукторе у универзалном кућишту, најчешће, производе мањи и средњи произвођачи, и углавном нуде велике преносне односе, уз не тако велику носивост, коришћењем аксијалне монтаже, са стандардним IEC моторима везаним преко међуплоче или адаптера. Велики произвођачи производе редукторе у универзалним кућиштима, али и у специјалним кућиштима за двостепене редукторе којима постижу смањење масе и мање габаритне димензије редуктора. Крутост универзалних кућишта редуктора водећих произвођача је велика, тако да они постижу велике носивости. Водећим произвођачима се, често, исплати производња два сета зупчаника у оквиру исте осне висине, па тако постижу и велику носивост и велике преносне односе. Коришћењем аксијалне монтаже и међуплоче постиже се повећање преносних односа, ослањањем вратила у три лежаја и постављањем излазног зупчаника између лежајева долази до још значајнијег повећања носивости.

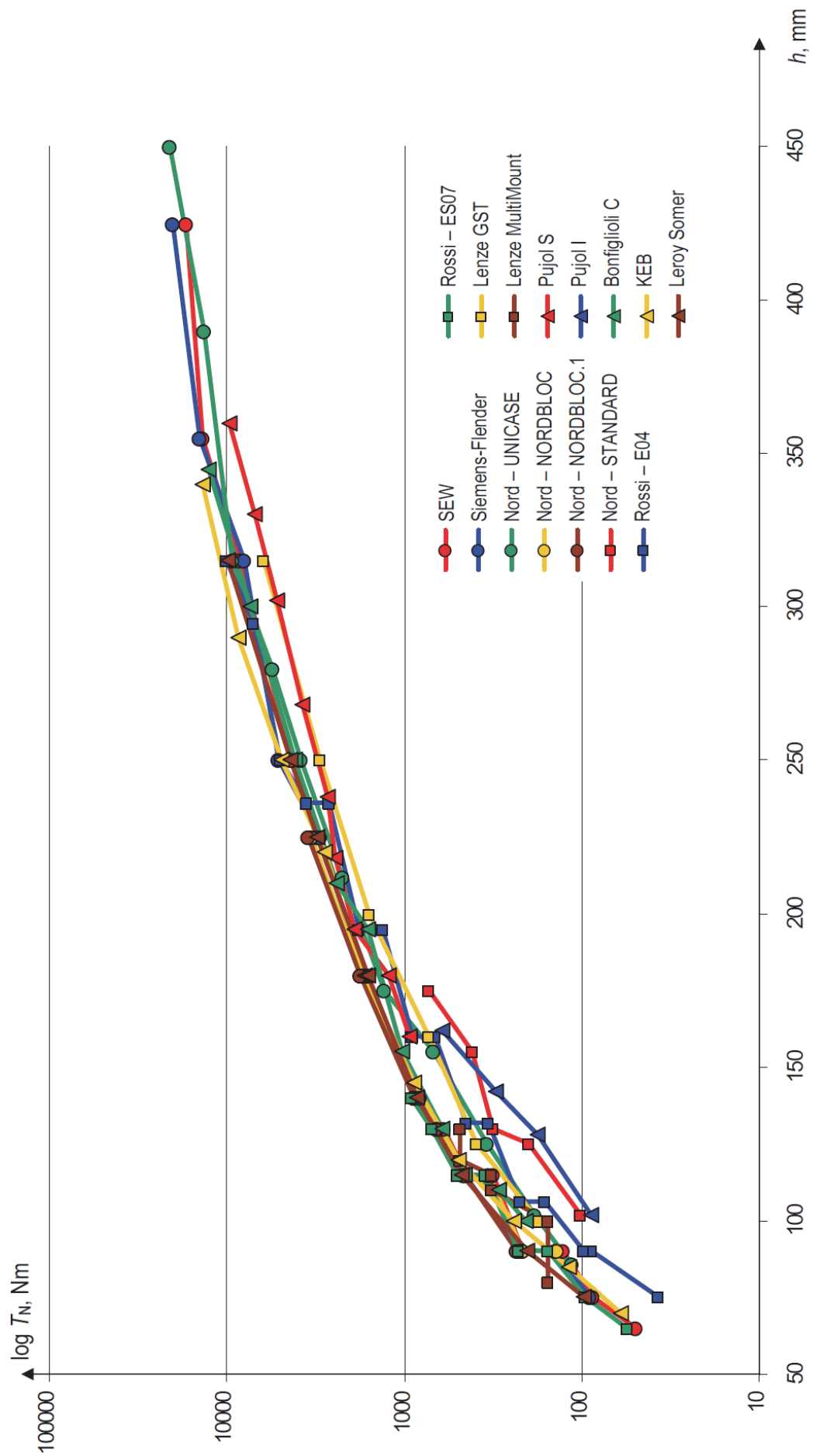
4.5.4. Оцењивање техничких карактеристика тростепених редуктора

Тростепене редукторе производе сви анализирани произвођачи. На сл. 4.27, 4.28, 4.29 и 4.30 приказане су техничке карактеристике, односно јединични показатељи квалитета тростепених редуктора, у зависности од осних висина, односно типа редуктора.

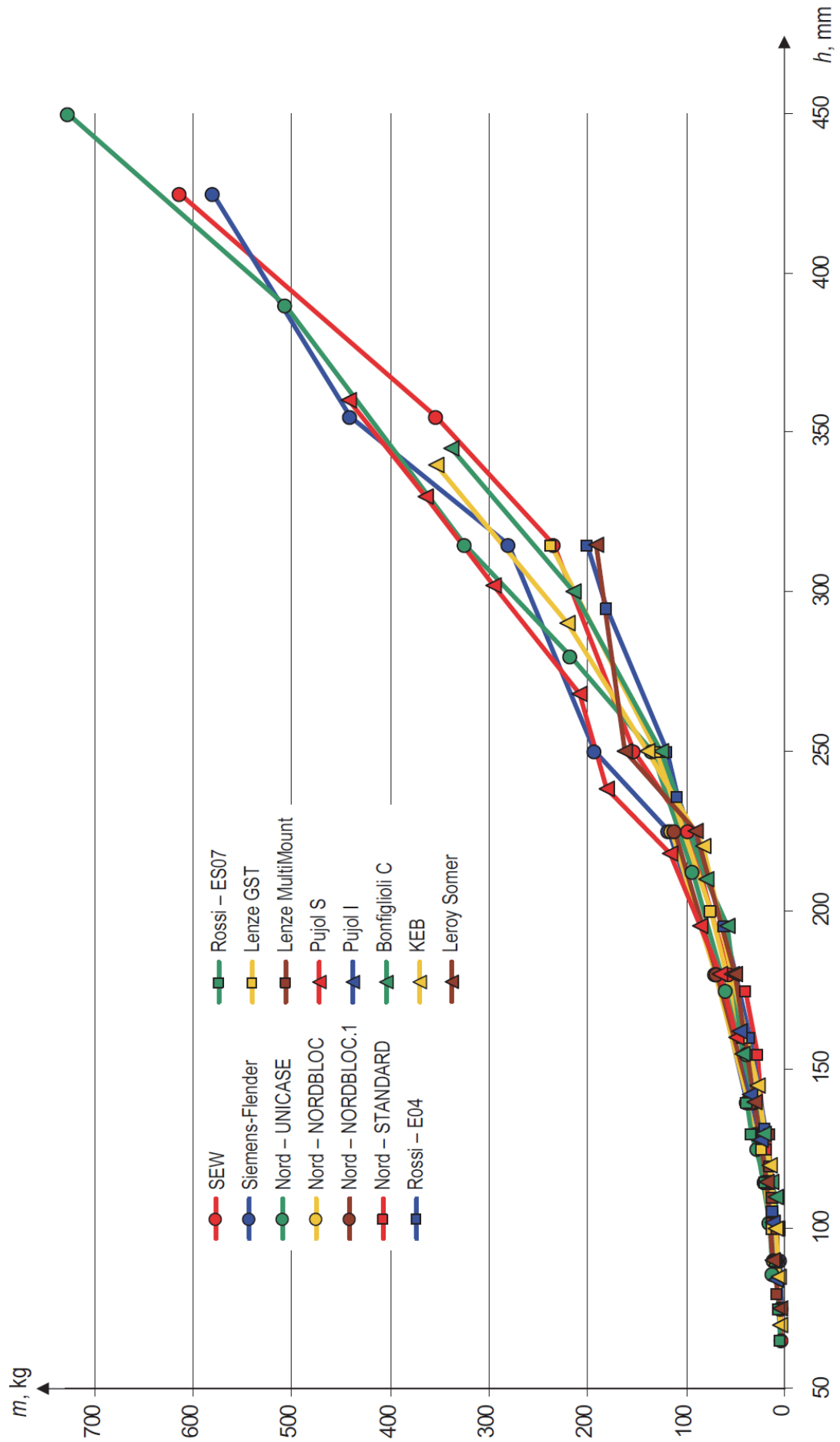
На основу датих дијаграма може се закључити да поједини произвођачи нуде различите преносне односе, али да се до осне висине 212 mm истиче редуктор произвођача Nord UNICASE са већим преносним односима од осталих (сл. 4.27). Концепцијско решење кућишта овог редуктора је да је оно дводелно са аксијалном монтажом. Захваљујући посебном облику прирубнице редукторског мотора други зупчаник налази се између лежајева, трећи је на препусту, четврти и пети су између лежајева, док је шести на препусту излазног вратила (сл. 3.17).



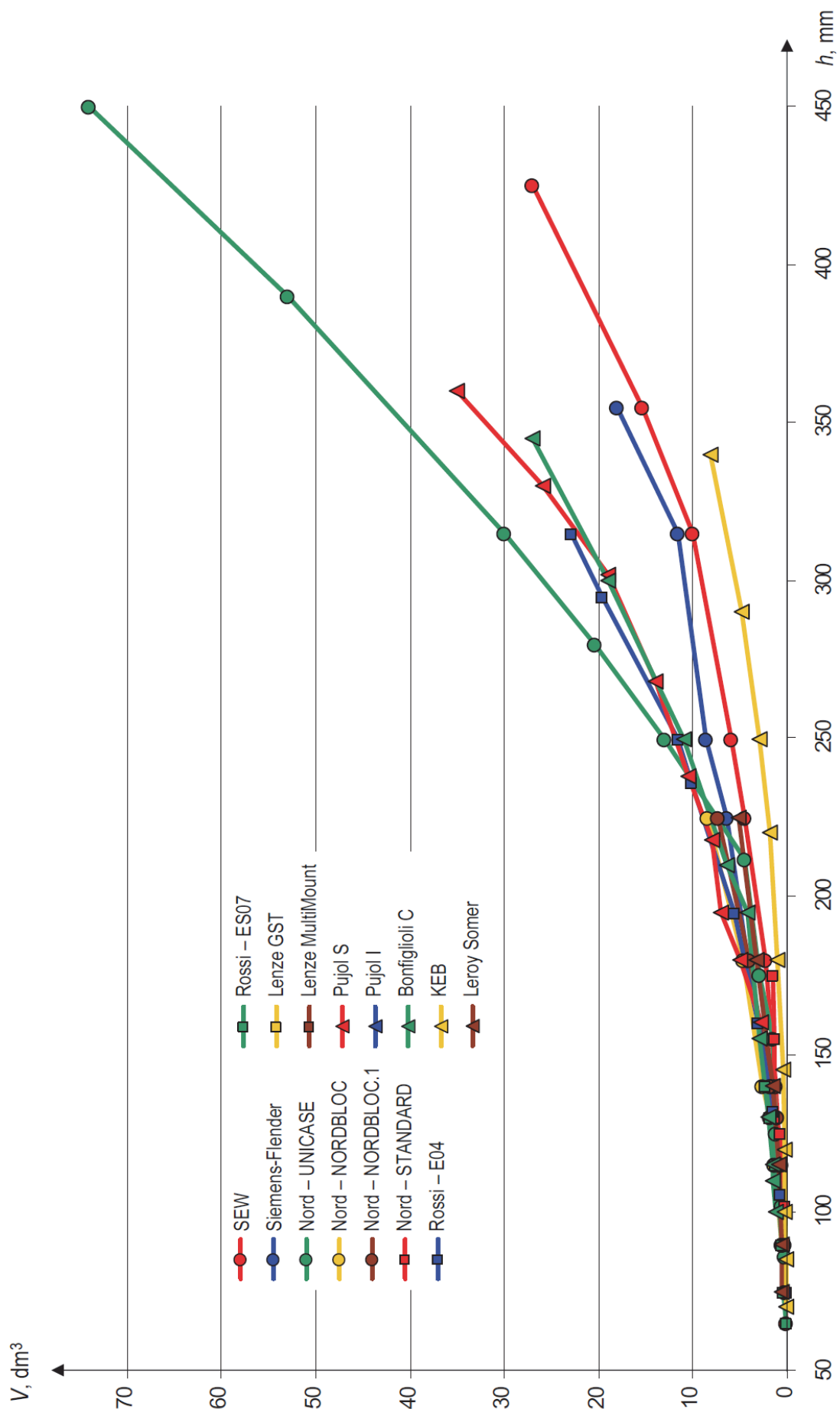
Сл. 4.27. Дијаграм преносних односа тростепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.28. Дијаграм обртних момената тростепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.29. Дијаграм маса тростепених универзалних моторних редуктора (без масе мотора) анализираних произвођача



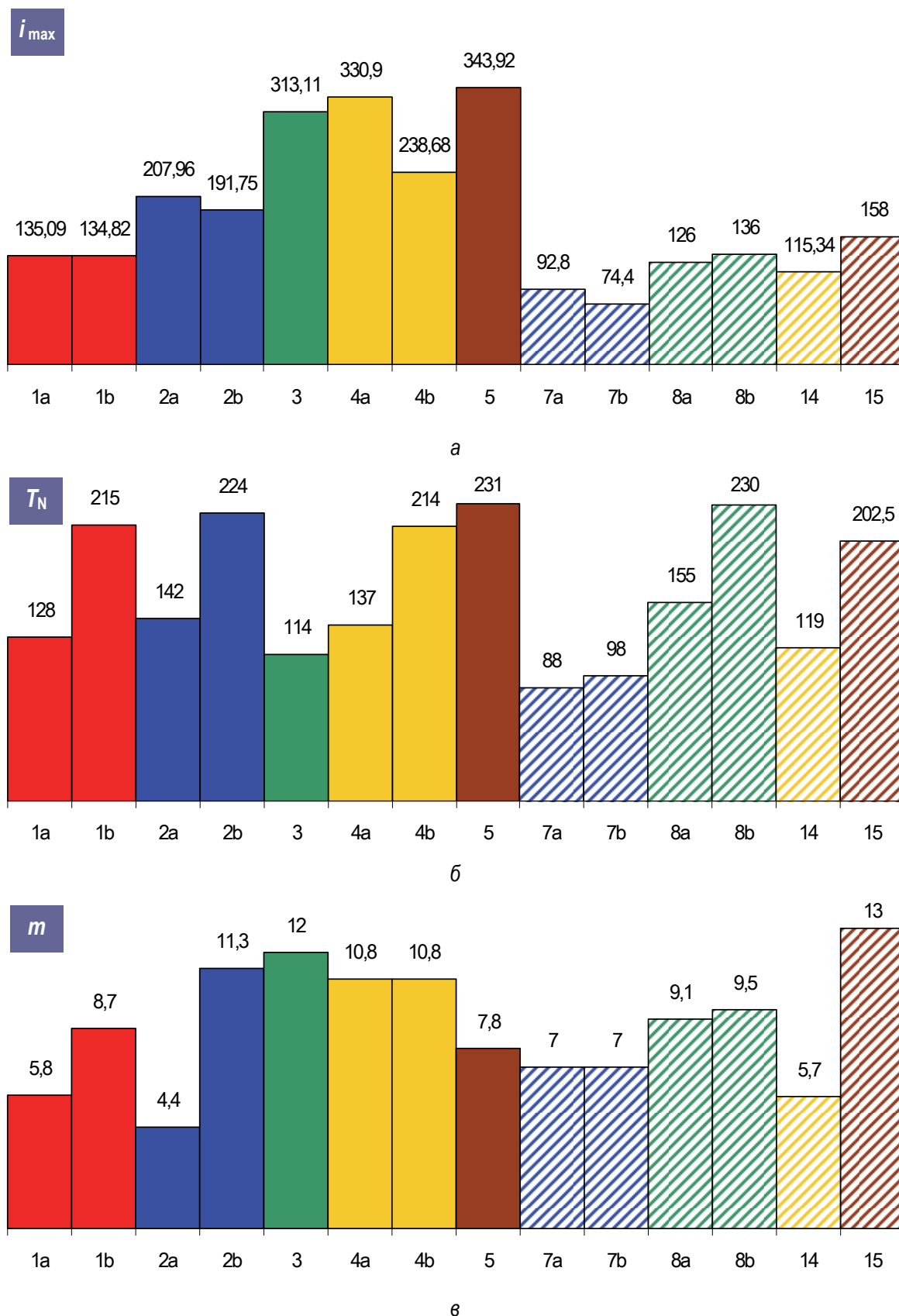
Сл. 4.30. Дијаграм запремина уља за подмазивање тростепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача

За веће осне висине овај редуктор има радиаксијалну монтажу, па му се због тога значајно смањују највеће вредности преносних односа. Редуктори произвођача Pujol S и Lenze GST имају највеће преносне односе у области великих осних висина. За разлику од двостепених редуктора, редуктори Nord NORDBLOC и STANDARD немају највеће преносне односе. Погодан начин монтаже омогућава редукторима уградњу великих гоњених зупчаника, па тако редуктори Pujol S имају једноделно кућиште и предњи и задњи одвојиви поклопац (сл. 3.66), редуктори Lenze имају дводелно кућиште са једном, а редуктори Pujol I дводелно кућиште са две међуплоче са стране мотора (сл. 3.69). Концепцијско решење редуктора Pujol I је исто као и код редуктора Nord UNICASE са трећим и шестим зупчаником на препусту, а четвртим и петим зупчаником између лежајева. Кућиште редуктора Lenze има одвојиви средњи зид у великом кућишту, тако да је излазни зупчаник између лежајева. Pujol S има четврти зупчаник на препусту, а други и трећи и пети зупчаник је између лежајева. Као и код двостепених редуктора, најмањи преносни однос има редуктор произвођача Rossi E04, јер се код њега први зупчаник поставља на вратило IEC мотора и зато не може имати мањи пречник. Што се тиче дозвољеног оптерећења редуктора, произвођачи углавном постижу уједначене носивости (сл. 4.28) и оне ће детаљније бити анализирани на карактеристичним вредностима осних висина. Наиме, при мањим осним висинама највеће носивости имају редуктори Nord NORDBLOC, Rossi и KEB, а при већим осним висинама издвајају се Siemens-Flender, KEB, SEW и Bonfiglioli. Сви ти редуктори имају излазни зупчаник постављен између лежајева што омогућава постизање великих носивости на излазу. Пето зупчато вратило је код редуктора SEW и Rossi E04 ослоњено на три лежаја, те за одговарајуће осне висине ови редуктори имају највеће носивости, док је код редуктора Siemens-Flender, Nord NORDBLOC.1, Bonfiglioli и KEB четврти зупчаник на препусту, па они имају за нијансу слабије носивости.

Вредности маса и запремина су прилично уједначене. Истиче се произвођач KEB који има најмању запремину редуктора. Као и код двостепених редуктора за мање осне висине поједини произвођачи уводе кућишта израђена од легура алуминијума и тако значајно смањују масу редуктора, а међу њима се истиче редуктор Nord NORDBLOC.1 који производи кућишта израђена од легура алуминијума до осне висине 130 mm.

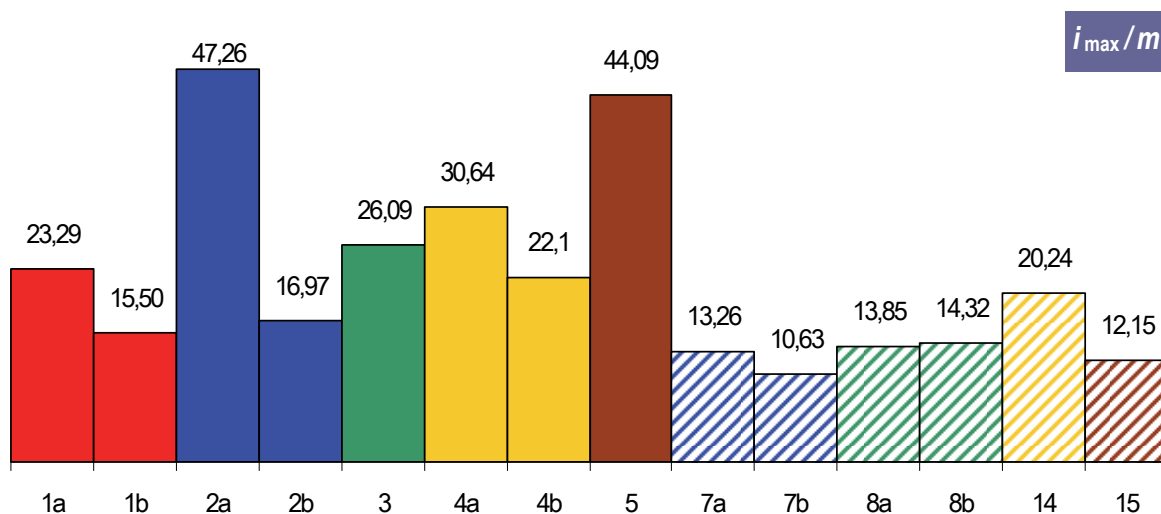
За детаљније поређење јединичних и комплексних показатеља, потребно је анализирати податке за исту осну висину. Као и код двостепених редуктора, и овде ће се посматрати најчешће коришћене осне висине 90, 115 и 250 mm тростепених редуктора, и то њихови јединични показатељи (i_{\max} , T_N , m) и комплексни показатељи преко односа преносног односа и масе (i_{\max} / m), називног обртног момента и масе (T_N / m), као и предложена свеобухватна оцена преко односа ($i_{\max} T_N / m$).

За разлику од двостепених редуктора произвођач Bonfiglioli производи тростепене редукторе тек од осне висине 100 mm. Остали произвођачи који су и код двостепених понудили два сета зупчаника, нуде и код тростепених (SEW, Siemens-Flender, Nord NORDBLOC, Rossi – E04, Rossi – ES07). Поређењем јединичних показатеља квалитета тростепених редуктора за осну висину 90 mm, види се да и овде редуктори произвођача Nord NORDBLOC.1, NORDBLOC и UNICASE имају највеће преносне односе (сл. 4.31-а). Као и код двостепених, исти произвођачи тростепених редуктора и овде имају највеће излазне обртне моменте (Rossi – ES07, Nord NORDBLOC.1, Siemens-Flender, SEW и Nord NORDBLOC, сл. 4.31-б). Међутим, редуктори израђени од сивог лива, Siemens-Flender, Nord UNICASE и NORDBLOC имају велику масу (сл. 4.31-в), што умањује њихове комплексне показатеље, док се редукторима Siemens-Flender и Nord NORDBLOC.1, који су израђени од легура алуминијума, значајно повећавају комплексни показатељи. Да би се реалније оценио квалитет тростепених редуктора анализирају се комплексни показатељи којима се одређује рационалност постигнутог решења. С обзиром на масу редуктора, најбоље комплексне показатеље имају редуктори оних произвођача који користе легуре алуминијума за израду кућишта.

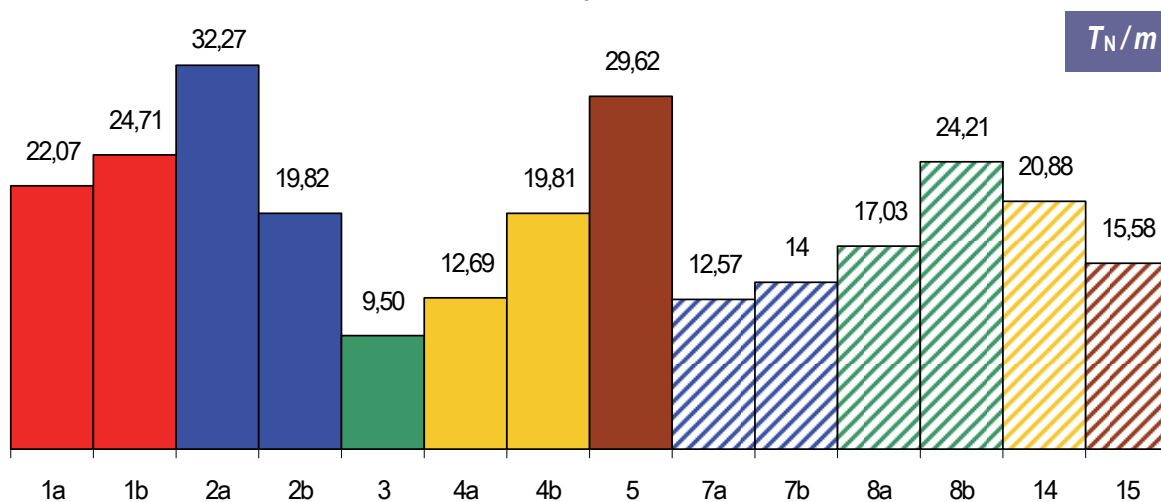


Сл. 4.31.

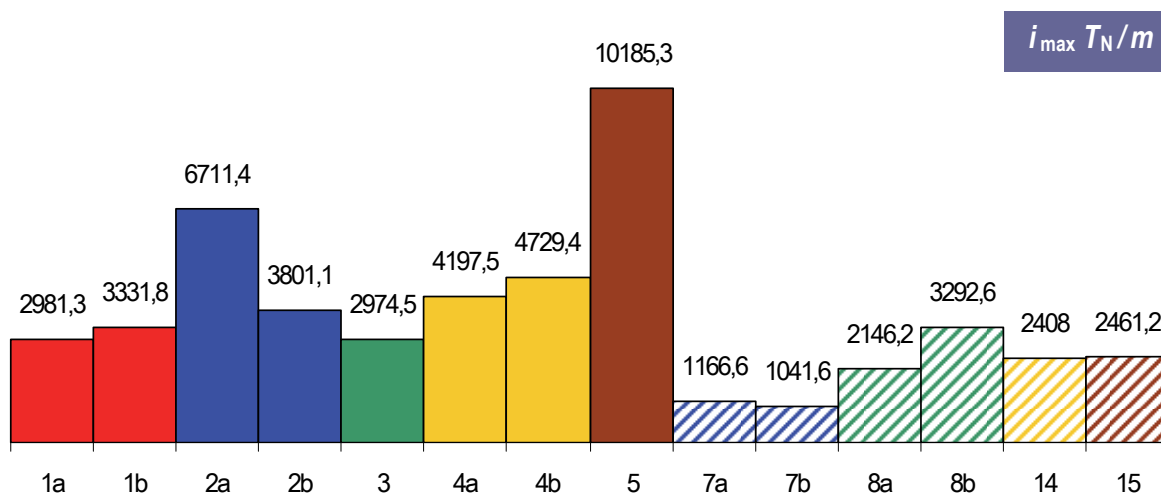
Дијаграм јединичних показатеља (а, б, в) квалитета тростепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 90 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2a,b - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 7a,b - Rossi – E04, 8a,b - Rossi – ES07, 14 – KEB, 15 - Leroy Somer)



a



б



в

Сл. 4.32.

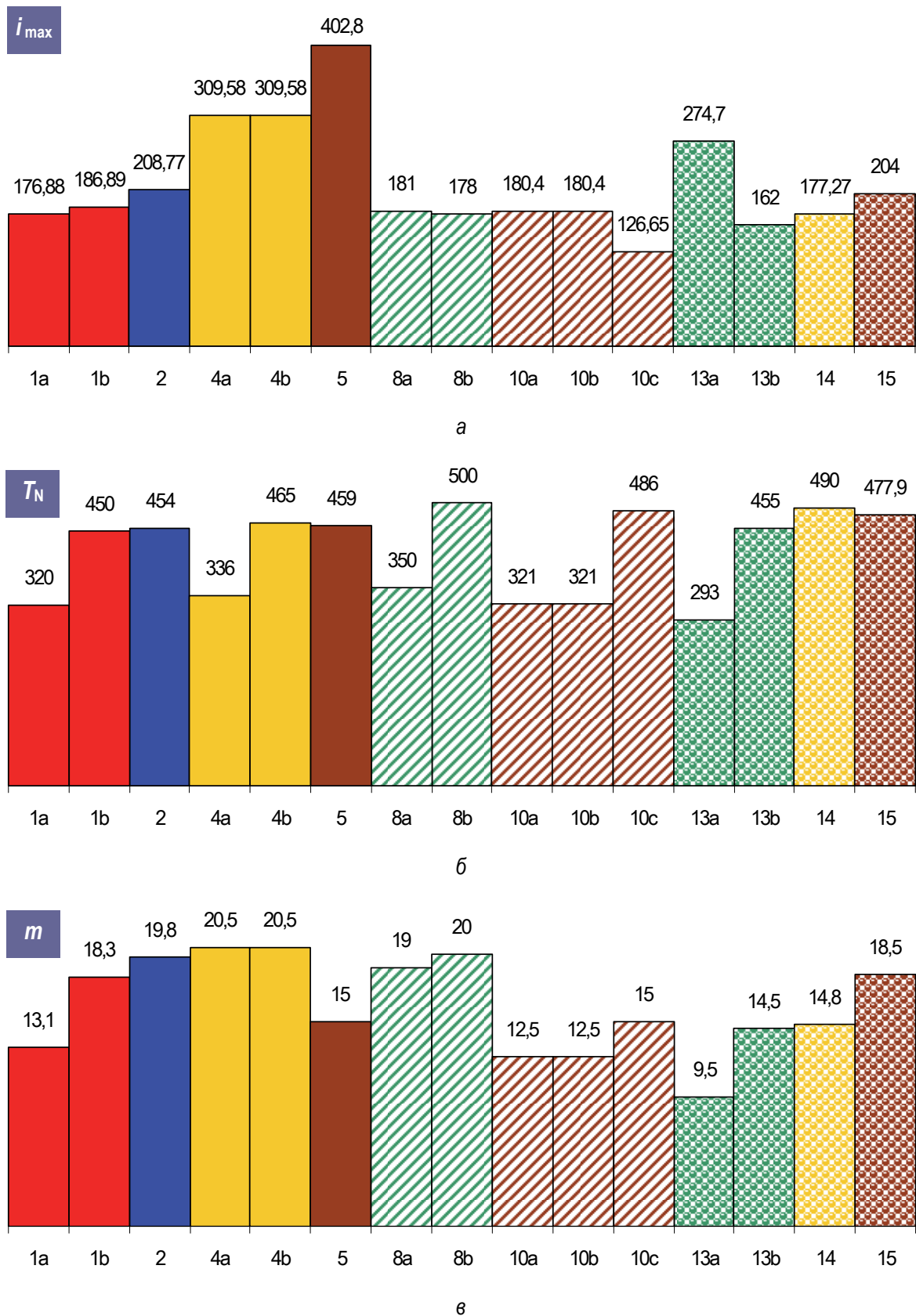
Дијаграм комплексних показатеља (а, б, в) квалитета тростепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 90 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2a,b - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 7a,b - Rossi – E04, 8a,b - Rossi – ES07, 14 – KEB, 15 - Leroy Somer)

Најбоље комплексне показатеље са становишта преносног односа имају редуктори произвођача Siemens-Flender и Nord NORDBLOC.1 (сл. 4.32-а) са универзалним кућиштем од легура алуминијума, аксијалном монтажом и међуплочом. С обзиром на носивост истичу се поново ове две врсте редуктора (сл. 4.32-б). Комплексни показатељи редуктора произвођача SEW и Rossi – ES07 који имају велике носивости, мањи су јер су редуктори израђени од сивог лива. Сви ови редуктори имају излазни зупчаник постављен између лежајева и пето зупчато вратило ослоњено на три лежаја (осим Rossi – ES07). Комплексна карактеристика која показује укупни квалитет за осну висину 90 mm убедљиво је највећа за редукторе произвођача Nord NORDBLOC.1 и Siemens-Flender (сл. 4.32-в), оба израђена од легура алуминијума. Оба ова редуктора имала су највећи комплексни показатељ и код исте осне висине двостепених редуктора.

За осну висину 115 mm види се да је преносни однос уједначен, осим за редукторе Nord NORDBLOC.1 (са аксијалном монтажом и међуплочом), Nord NORDBLOC (са радиаксијалном монтажом и међуплочом) и Bonfiglioli (са дводелним кућиштем, аксијалном монтажом и међуплочом) који имају знатно веће преносне односе од осталих (сл. 4.33-а). Носивост свих редуктора ове величине је уједначена и износи између 300 и 500 Nm (сл. 4.33-б). Међутим, редуктори Nord – NORDBLOC, Rossi – ES07 и Siemens-Flender имају велику масу (сл. 4.33-в), што умањује њихове комплексне показатеље, док се редукторима чија су кућишта израђена од легура алуминијума (Nord NORDBLOC.1, Bonfiglioli и Lenze MultiMount) значајно повећавају комплексни показатељи. Рационалност изведеног редуктора са становишта преносног односа може се исказати преко комплексних параметара где се истичу редуктори произвођача Bonfiglioli и Nord NORDBLOC.1 са универзалним кућиштем израђеним од легура алуминијума (сл. 4.34-а). С обзиром на носивост, више редуктора има сличне комплексне показатеље (сл. 4.34-б). Ипак, комплексна карактеристика која показује укупни квалитет за осну висину 115 mm највећа је за редукторе чија су кућишта израђена од легура алуминијума (Nord NORDBLOC.1 и Bonfiglioli), а знатно после њих су остали редуктори (сл. 4.34-в).

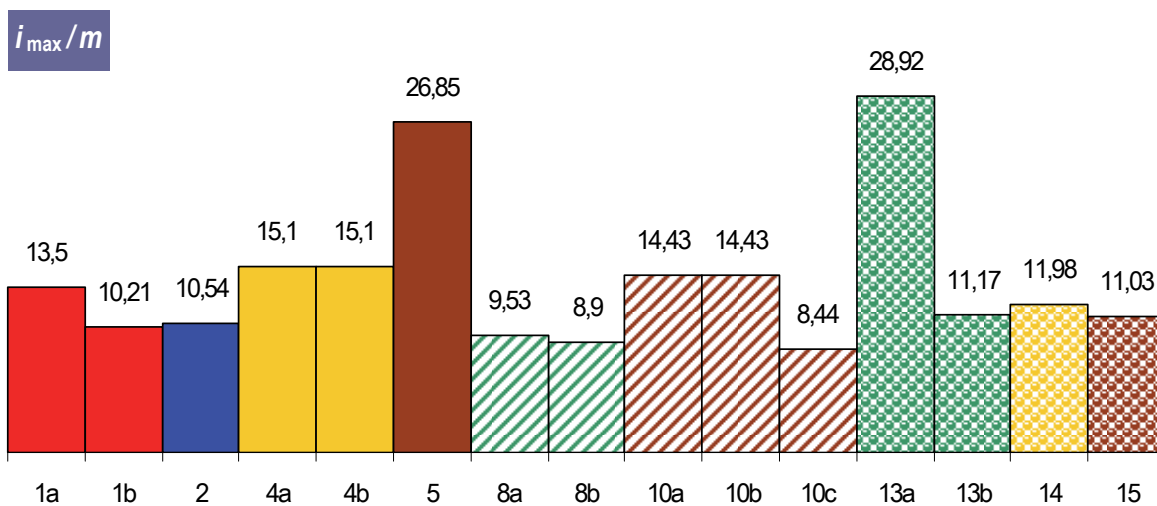
Анализирани произвођачи тростепене редукторе осне висине 250 mm и веће не израђују са кућиштима од легура алуминијума и нуде их само са по једним сетом зупчаника. Као и код двостепених редуктора, произвођач Lenze GST постиже највећи преносни однос у овој величини (сл. 4.35-а), као и редуктори произвођача Nord UNICASE. За разлику од двостепених редуктора, тростепени редуктори произвођача Siemens-Flender сада немају највеће преносне односе. Lenze GST има дводелно кућиште са аксијалном монтажом и међуплочом, чиме може поставити гоњене зупчанике великог пречника. Nord UNICASE има међуплочу, али и радиаксијалну монтажу што умањује пречнике гоњених зупчаника. Редуктори произвођача Siemens-Flender, Rossi E04 и KEB имају највеће излазне обртне моменте (сл. 4.35-б), мада и редуктори других произвођача имају тек нешто мање носивости. Увођењем комплексних карактеристика може се боље сагледати квалитет изведених решења за осну висину 250 mm. С обзиром на остварени преносни однос, предност и даље имају редуктори Lenze GST и Nord UNICASE (сл. 4.35-г). Редуктор Siemens-Flender има највећу масу, што умањује његове комплексне карактеристике носивости, тако да се ту истичу само редуктори Rossi E04 и KEB (сл. 4.35-д). Укупна комплексна карактеристика за осну висину 250 mm је ипак највећа за три произвођача редуктора Nord – UNICASE, Lenze GST и KEB (сл. 4.35-ђ).

На основу анализе за ове три карактеристичне осне висине, види се да су редуктори са кућиштима израђеним од легура алуминијума најбоље оцењени са становишта комплексних карактеристика, а да одмах после њих следе редуктори са кућиштима израђеним од сивог лива произвођача Lenze GST, Nord – UNICASE и KEB.

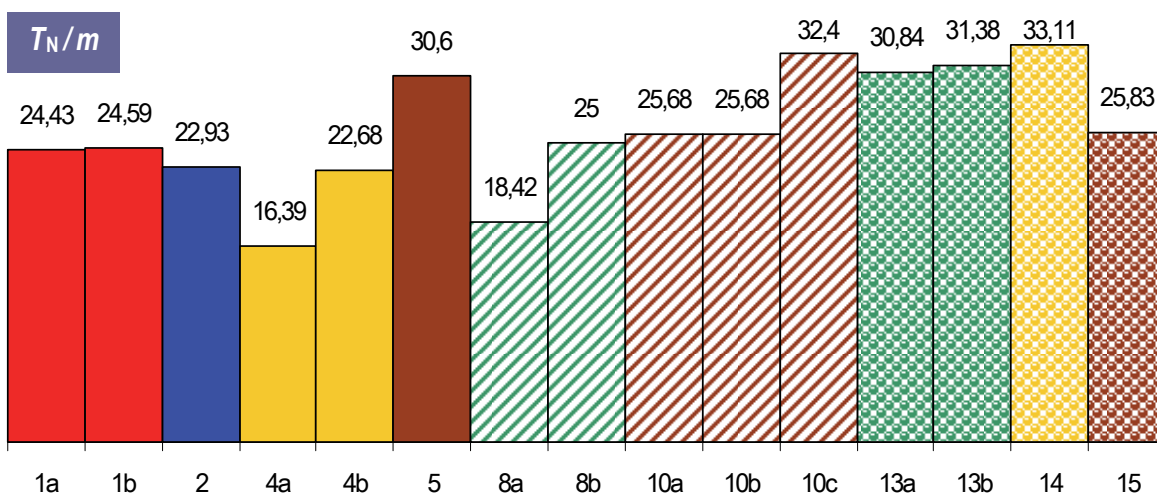


Сл. 4.33.

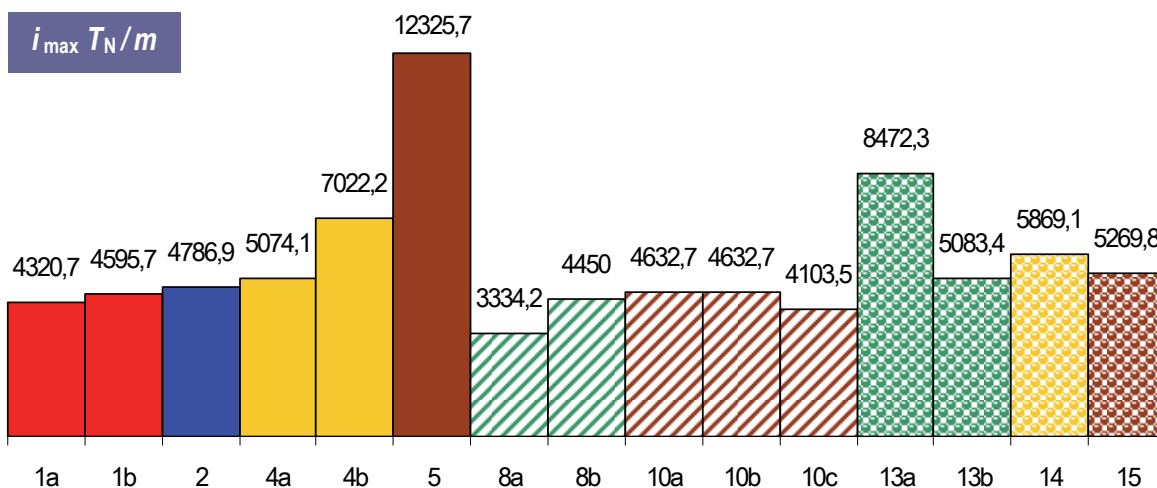
Дијаграм јединичних показатеља (а, б, в) квалитета тростепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 115 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2 - Siemens-Flender, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 8a,b - Rossi – ES07, 10a,b,c - Lenze MultiMount, 13a,b - Bonfiglioli C, 14 – KEB, 15 - Leroy Somer)



a



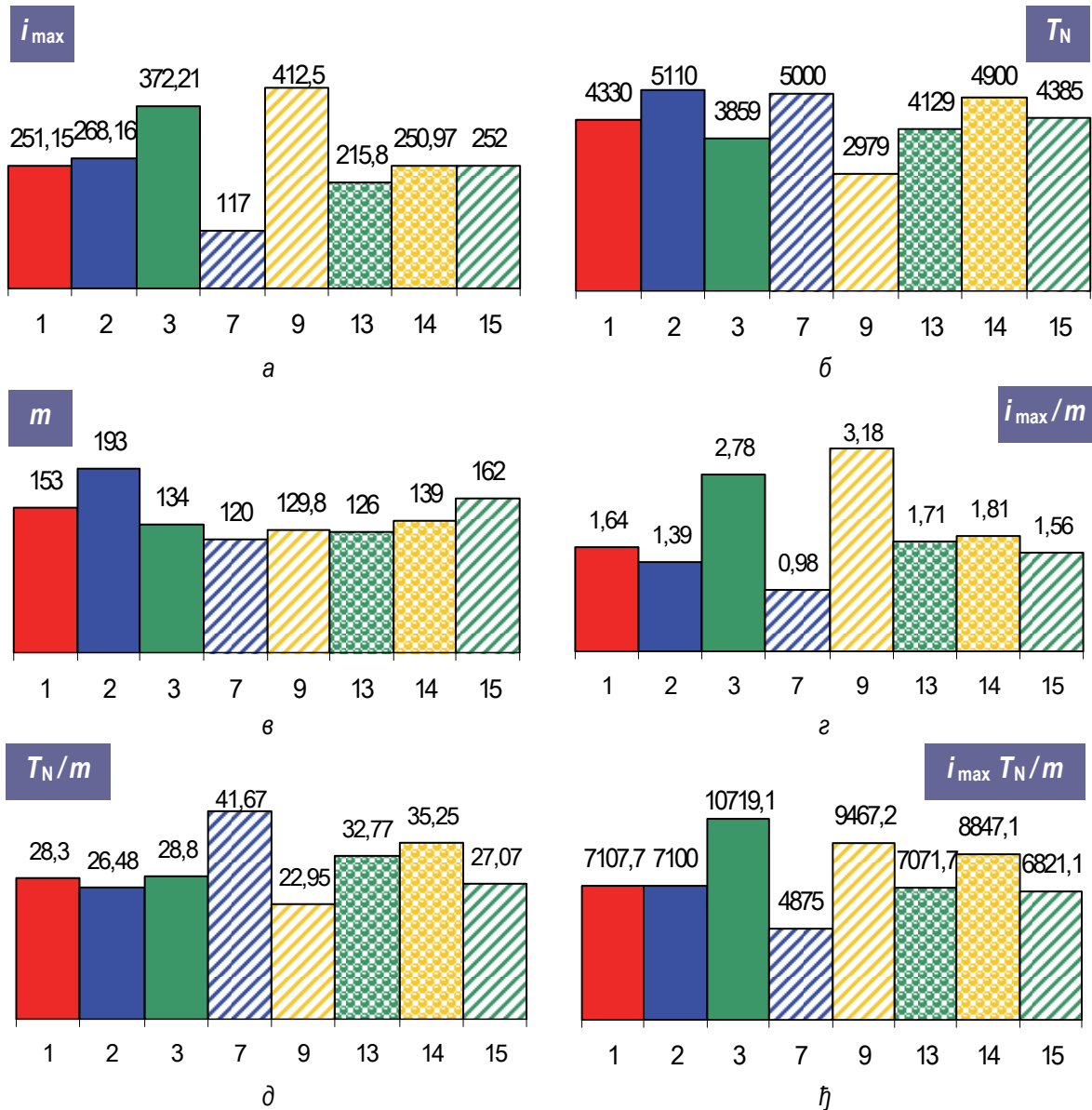
б



в

Сл. 4.34.

Дијаграм комплексних показатеља (а, б, в) квалитета тростепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 115 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2 - Siemens-Flender, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 5 - Nord – NORDBLOC.1, 8a,b - Rossi – ES07, 10a,b,c - Lenze MultiMount, 13a,b - Bonfiglioli C, 14 – KEB, 15 - Leroy Somer)

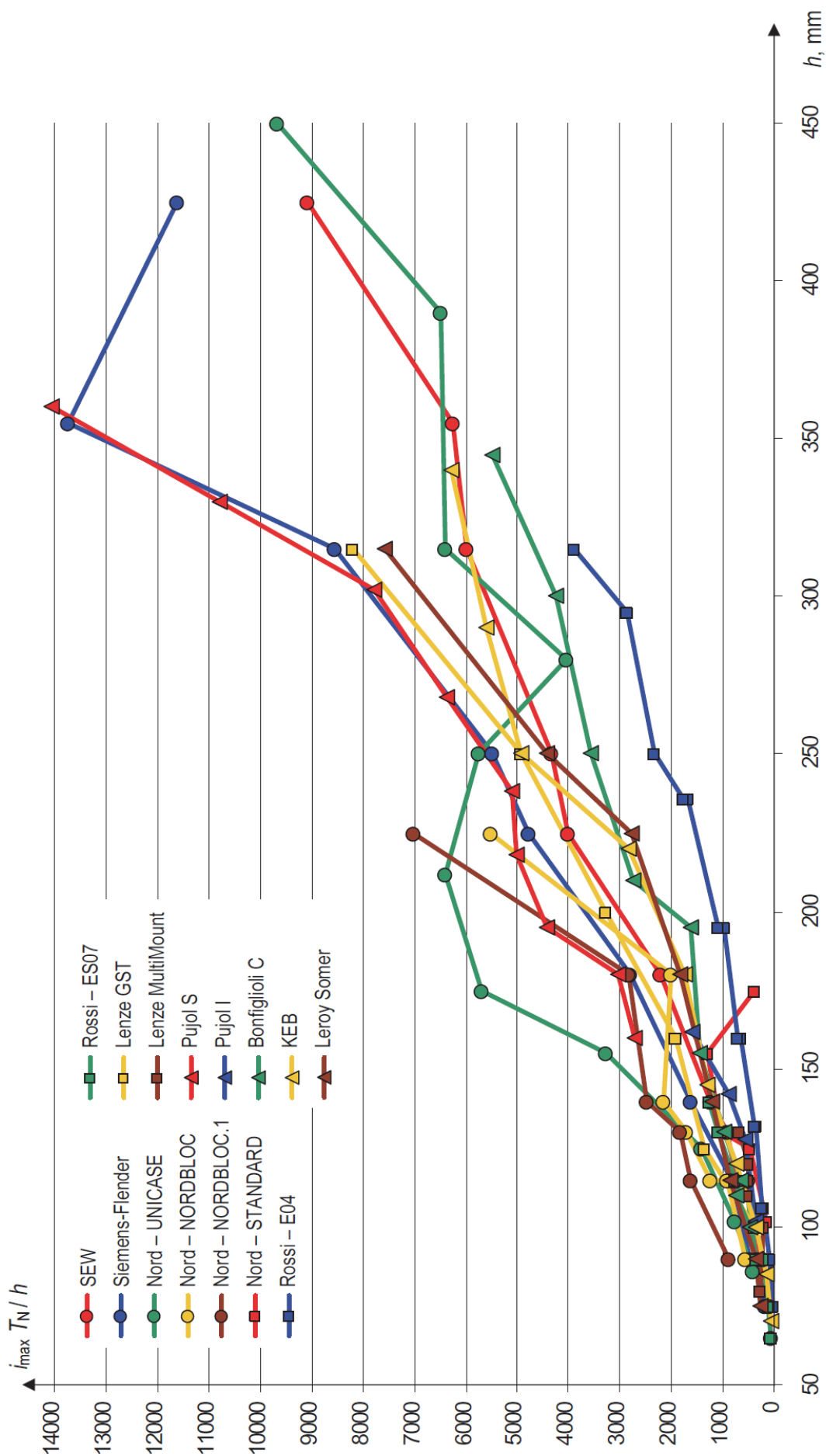


Сл. 4.35.

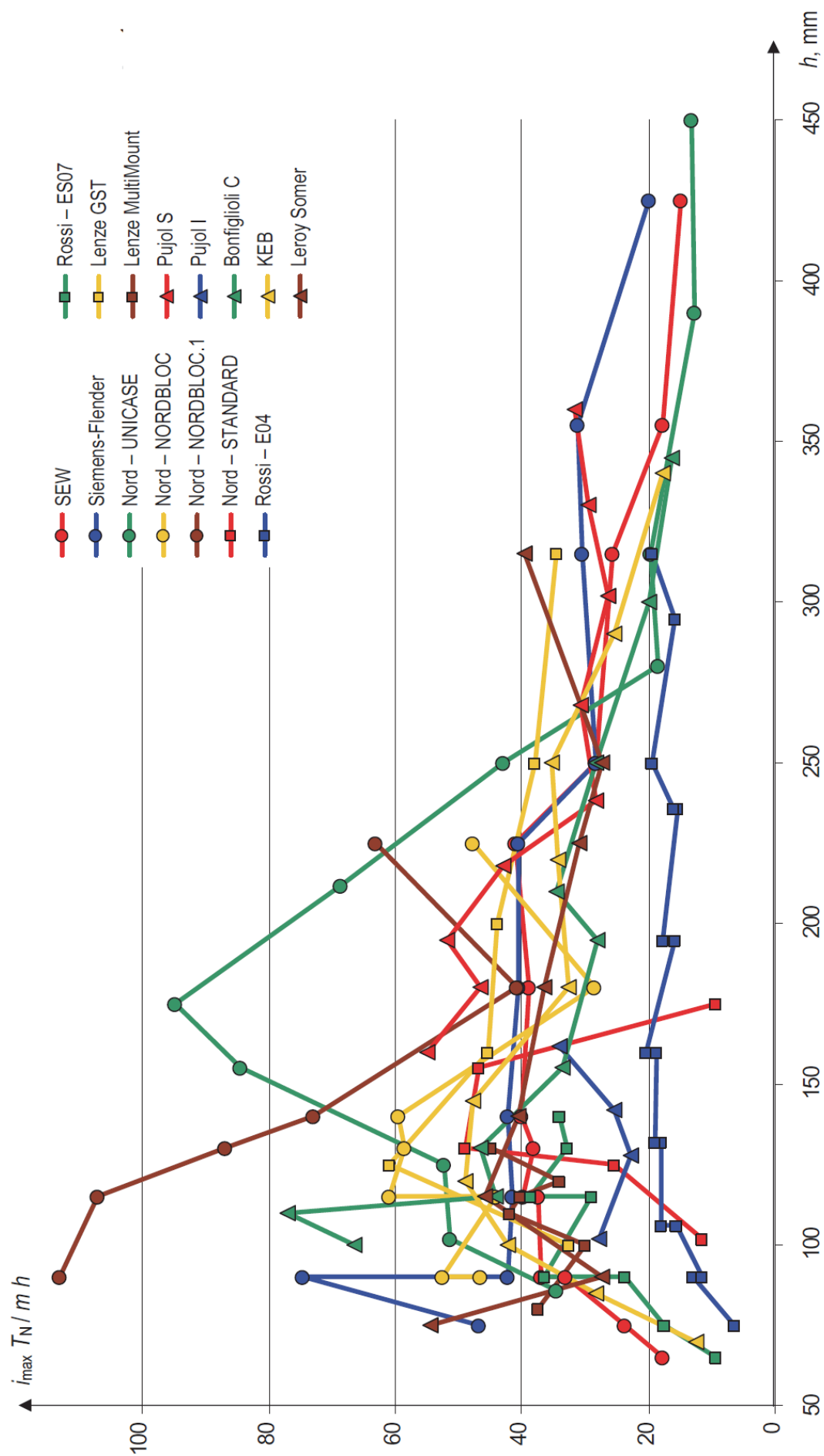
Дијаграм јединичних (1, 2, 3) и комплексних (4, 5, 6) показатеља квалитета тростепених универзалних моторних редуктора за осну висину $h = 250 \text{ mm}$ (1 - SEW, 2 - Siemens-Flender, 3 - Nord – UNICASE, 7 - Rossi – E04, 9 - Lenze GST, 13 - Bonfiglioli C, 14 – KEB, 15 - Leroy Somer)

Да би се могли оцењивати тростепени редуктори независно од њихове величине, тј. да би се поредио квалитет рационалности решења за различите осне висине, у разматрање се уводе комплексне карактеристике с обзиром на осну висину (h) и тако се добија још потпунија оцена квалитета целе серије тростепених редуктора. Према томе, потребно је увести у разматрање предложени показатељ ($i_{max} T_N / h$, сл. 4.36) или још комплекснији који узима у обзир и искоришћену масу ($i_{max} T_N / m h$, сл. 4.37).

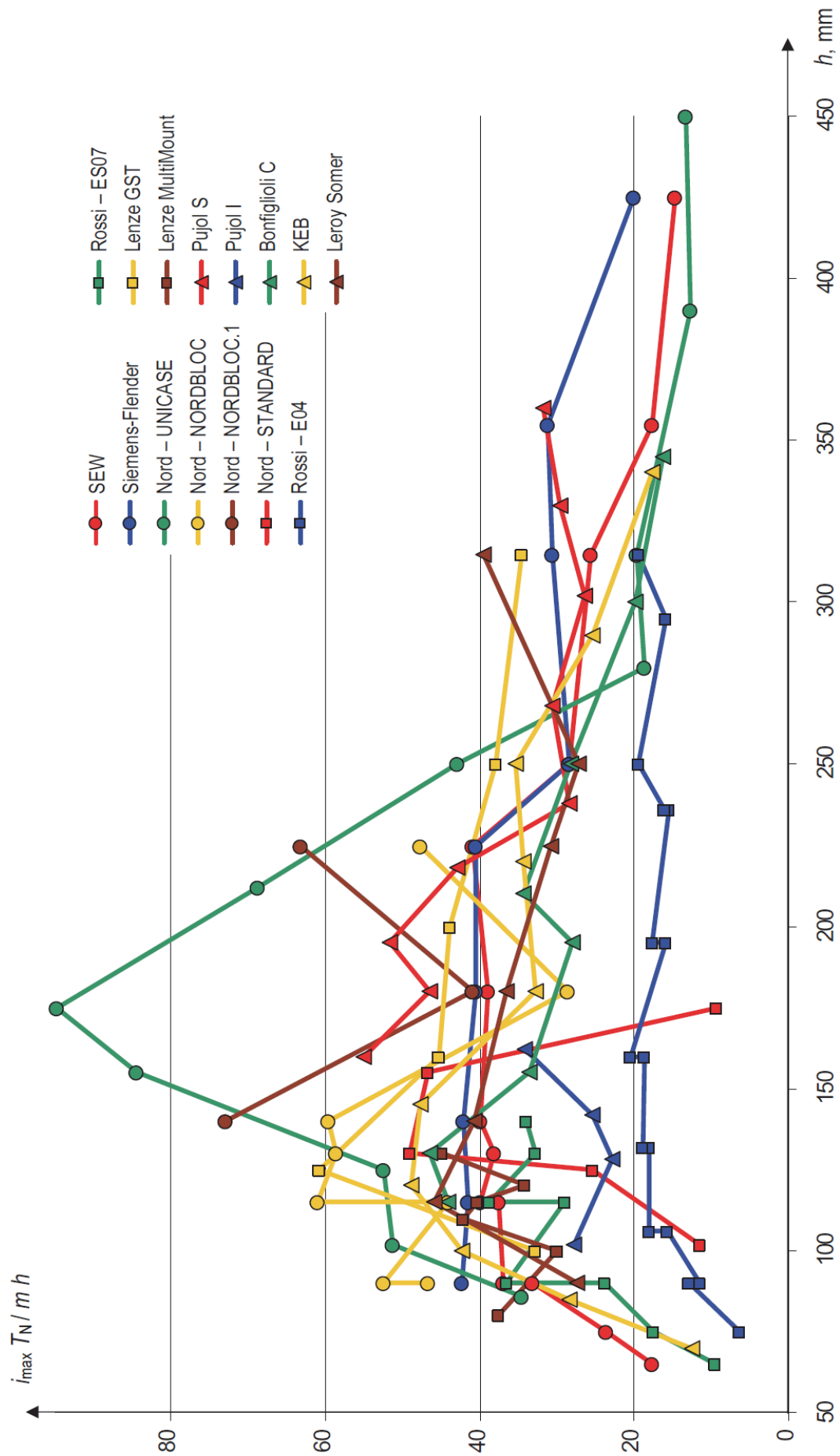
На основу дијаграма на сл. 4.36, види се да до 250 mm осне висине веома добре комплексне карактеристике преносног односа и носивости имају редуктори Nord NORDBLOC.1 и UNICASE, док су за веће величине далеко најбољи редуктори произвођача Siemens-Flender и Pujol S. Редуктори произвођача Pujol S имају нестандартне осне висине које се нису појављивале у анализиране три осне висине, али се из дијаграма укупних комплексних карактеристика виде њихове високе вредности.



Сл. 4.36. Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{max} T_N / h$) тростелених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.37. Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{max} T_N / m h$) тростепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача



Сл. 4.38. Дијаграм комплексне карактеристике ($i_{max} T_N / m h$) тростепених универзалних моторних редуктора анализираних произвођача са кућиштем од сивог лива

Ако би се у обзир узела и рационалност обликовања, односно искоришћеност масе редуктора (сл. 4.37), поред поменутих произвођача Nord NORDBLOC.1 (алуминијумско кућиште) и Nord UNICASE (дводелно кућиште) истичу се и редуктори Lenze GST, Pujol S и Siemens-Flender, као и Leroy Somer (има најбоље карактеристике за осну висину 315 mm, са другим и трећим паром зупчаника у спороходној комори).

На дијаграму на сл. 4.38, приказан је однос преносног односа и носивости према маси и величини редуктора, али само за тростепене редукторе са кућиштем од сивог лива. Ово је реалнији приказ јер је извршено поређење показатеља тростепених редуктора израђених од истог материјала. Најбоље комплексне карактеристике имају редуктори Nord UNICASE са аксијалном монтажом зупчаника у дводелно кућиште.

На основу изложене анализе за тростепене редукторе, учешће редуктора са кућиштем од легура алуминијума при мањим величинама и мањим оптерећењима једнако је као и код двостепених редуктора. Утицај мање масе кућишта дводелних редуктора запажен је код редуктора Nord UNICASE и Lenze GST, јер су њихове комплексне карактеристике боље него код универзалних кућишта. Захваљујући мањој маси, јер је кућиште израђено од легура алуминијума, одговарајућем начину монтаже и положају лежајева у две равни веома добре карактеристике има и Nord NORDBLOC.1. Исто тако, велике носивости постижу редуктори Siemens-Flender и Pujol S што значајно поправља њихове укупне карактеристике. На основу анализираних карактеристика посматраних редуктора, могу се уочити две концепције тростепених редуктора:

- специјално кућиште за тростепене редукторе,
- универзално кућиште за двостепене и тростепене редукторе;

а у оквиру сваког од њих:

- са отвором са горње стране на спороходној комори,
- са отвором са горње стране на обе коморе,
- са демонтажним средњим зидом и поклопцем са моторне стране,
- са дводелним кућиштем;

при чему произвођачи редуктора нуде:

- велике преносне односе,
- велику носивост,
- два сета зупчаника (велика носивост и велики преносни однос).

Тростепене редукторе у универзалном кућишту најчешће производе мањи и средњи произвођачи, и то углавном нуде велике преносне односе уз не тако велику носивост, коришћењем аксијалне монтаже са стандардним IEC моторима везаним преко међуплоче или адаптера. Велики произвођачи, такође, производе тростепене редукторе у универзалним кућиштима, обично нешто веће масе и крутости, и тако постижу велику носивост. Сви они, у принципу, користе специјалне редукторске моторе. Поједини велики произвођачи користе специјална дводелна кућишта за тростепене редукторе што обезбеђује велике преносне односе, а уз квалитетно ослањање вратила и повећану крутост кућишта, постиже се и велика носивост (Nord, Lenze, Pujol). Великим произвођачима се, очигледно, исплати производња два сета зупчаника у оквиру исте висине, па тако постижу и велику носивост и велике преносне односе. „Отварањем” кућишта са горње стране, велики, па и мали произвођачи редуктора, постижу боље техничке карактеристике својих производа.

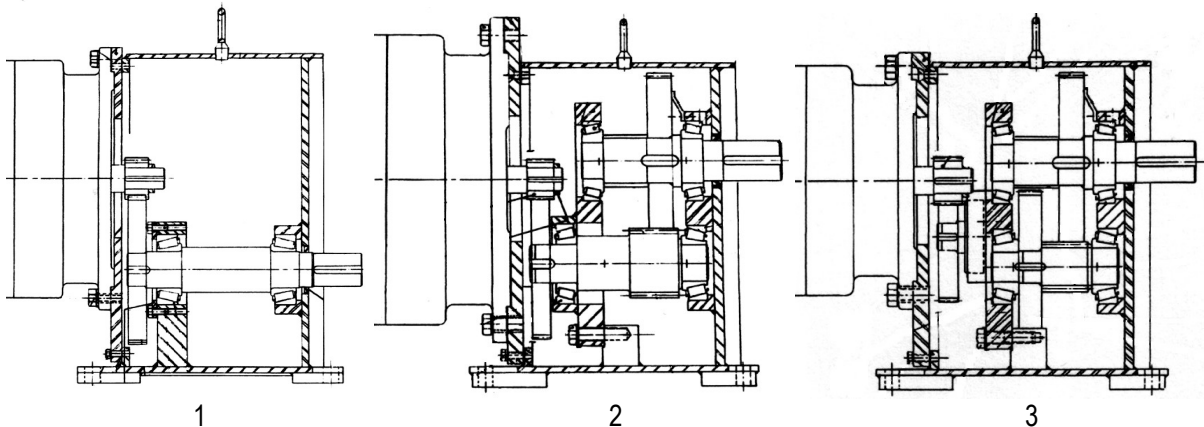
Захваљујући увођењу комплексних карактеристика при оцени квалитета универзалних зупчастих редуктора могуће је утврдити општи квалитет изведених решења и међусобно их поредити за различите осне висине. Такође, увођењем масе у разматрање комплексних показатеља, може се закључити о рационалности изведених решења редуктора, односно степену искоришћености масе при дефинисању решења зупчастог редуктора. До посебног изражаја долазе редуктори са кућиштима израђеним од легура алуминијума који имају знатно веће вредности комплексних карактеристика. Међутим, легуре алуминијума су погодне само код мањих оптерећења, односно, мањих осних висина.

5. АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИЧНИХ КОНЦЕПЦИЈСКИХ РЕШЕЊА САВРЕМЕНИХ УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА

Евидентно је да се универзални зупчasti редуктори израђују у више различитих варијанти. Неоспорно је да захтеви тржишта, величина серије, а затим и ресурси произвођача највише утичу на концепцију зупчастих редуктора. Концепција редуктора дефинише облик, распоред компонената и начин монтаже. Међутим, величина серије не зависи само од броја редуктора који се производе, већ и од њихове величине (димензија), односно од њихове осне висине.

5.1. Уобичајена концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора малих произвођача

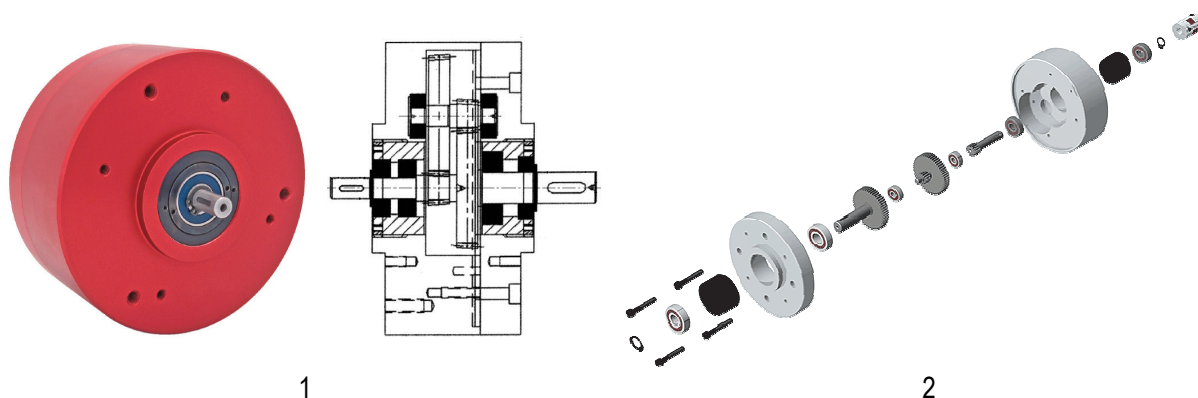
Мали произвођачи редуктора су сви они произвођачи који немају сопствену производњу електромотора, па због тога они најчешће користе стандардне IEC електромоторе које директно или помоћу адаптера уграђују на своје редукторе. Мали произвођачи најчешће израђују редукторе у малим или средњим серијама. Кућиште редуктора у малим серијама најчешће се израђује заваривањем, што свакако има великог утицаја на облик таквог кућишта (сл. 5.1).



Сл. 5.1.

Једноступени (1), двоступени (2) и троступени редуктор (3) са завареним кућиштем (произвођач Philadelphia Gear Drives) [6]

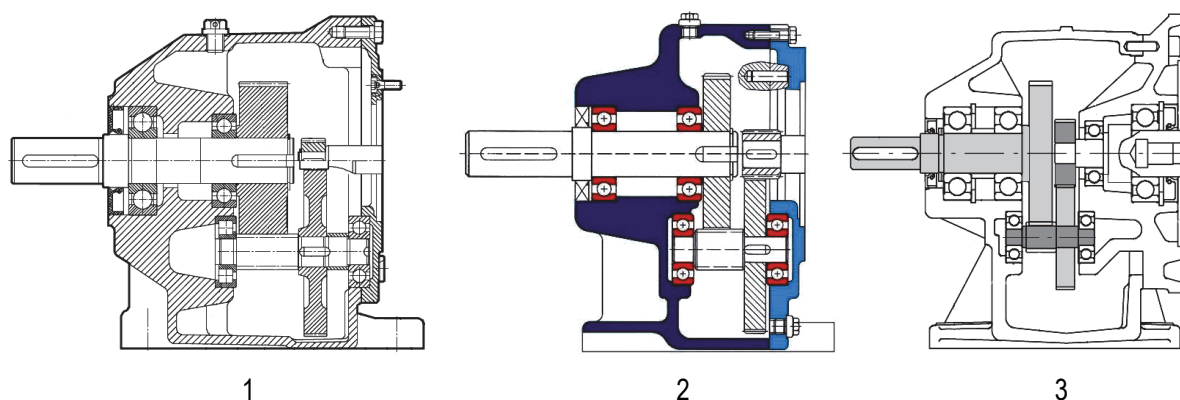
Карактеристично решење мањих зупчастих редуктора који се израђују у малим серијама има произвођач Ondrives (сл. 5.2). Пошто је реч о малим редукторима, он их израђује од пуног комада (из шипке). Овакви зупчасти редуктори релативно су једноставни за израду и одржавање, имају прихватљиву цену, али и поред тога, код већих величина, због већих габаритних димензија, имају нешто мању примену. Овај произвођач их израђује са преносним односом од 2 до 16 и веома малом носивошћу (реч је о малом преноснику кретања), са степеном искоришћења око 0,92% [44].



Сл. 5.2.

Карактеристично решење класичног двостепеног зупчастог редуктора (1) и експанзиони цртеж класичног двостепеног зупчастог редуктора (2) (произвођач Ondrives) [44]

Мали произвођачи редуктора настоје да усвоје редукторе са што већим преносним односима док маса кућишта није толико значајна јер се најчешће израђују у малим серијама. Велике преносне односе редуктори постижу коришћењем великих зупчаника, тј. применом међуплоче са стране мотора која омогућује њихову уградњу. Повољнија је израда двостепених редуктора у специјалном кућишту за двостепене редукторе којима се могу постићи велики преносни односи и тако успешно конкурисати скупљим тростепеним редукторима. Мали произвођачи углавном не производе једноступене редукторе, јер се они ређе траже, као ни тростепене, јер их у једном делу преносних односа могу заменити двостепени редуктори са великим преносним односом. Значајно је да је маса ових редуктора знатно мања од масе тростепених редуктора.



Сл. 5.3.

Двостепени зупчасти редуктори са великим преносним односом [12, 28, 36]

Код сасвим малих серија присутна је концепција кућишта са једном комором у којој се налазе излазни зупчаник на препусту и други и трећи зупчаник између лежајева. Десни лежај трећег

зупчастог вратила код ових редуктора налази се у међуплочи и на тај начин се штеди простор унутар кућишта. Слично решење имају редуктори Nord NORDBLOC (сл. 5.3-1), Nord STANDARD (сл. 5.3-2) и Pujol I (сл. 5.3-3), за које је у претходним анализама већ закључено да имају велике преносне односе.

Редуктори Pujol I (сл. 5.3-3) имају специфичну међуплочу, која је истовремено и адаптер за IEC моторе и то је добро решење јер је адаптер код малих произвођача неопходан, а монтажом малог зупчаника на вратило овог адаптера могу се постићи велики преносни односи. Такође, отвор на кућишту, који је обезбеђен овом међуплочом, је велики и омогућава уградњу великог излазног зупчаника.

Уколико мали произвођачи редуктора производе тростепене редукторе, што је ређи случај, настоје обезбедити велике преносне односе, јер се по носивостима својих редуктора не могу поредити са водећим компанијама. Коришћењем међуплоче, спуштеног средњег зида (код тростепених редуктора), и адаптера за стандардни IEC мотор са упресованим зупчаником, мали произвођачи могу се постићи велике преносне односе и на тај начин обезбедити конкурентност својим редукторима.

5.2. Уобичајена концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора великих произвођача

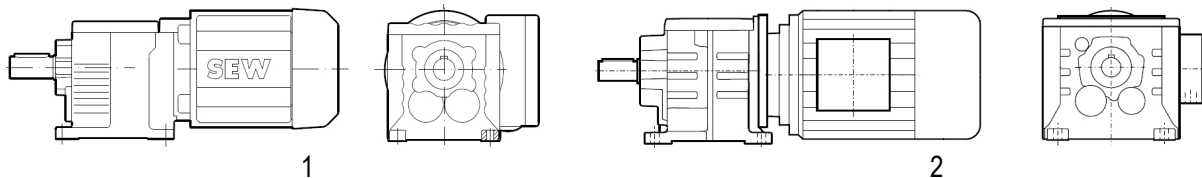
Велики произвођачи редуктора (SEW, Siemens-Flender) користе специјалне (редукторске) моторе, који се одликују специфичним прирубницама, специјалним пречницима краја вратила, јачим лежачевима и бољим решењем заптивања, тако да они имају низ предности (једноставнија, компактнија и јефтинија конструкција, могућност постизања већих преносних односа, већа оптеретивост слободног краја вратила мотора и боља херметичност), а с обзиром на то да они поседују сопствене фабрике електромотора, проблем цене мотора и рокова испоруке код њих готово и није присутан. Специјални редукторски електромотори имају посебне димензије слободног краја вратила и посебне величине (пречнике) прирубница (обично од 4 до 6) за сваку величину (осну висину) редуктора. Зато се њиховом применом умногоме компликује испорука мотора, али они, несумњиво, дају многоструке предности моторним редукторима.

Редукторе, са стандардним IEC моторима, испоручују и велики произвођачи који користе специјалне моторе, када то посебно захтевају купци. На пример, када купци хоће сами да уграђују моторе (на купљене редукторе), у случају да мисле да могу да обаве јефтинији или бржи сервис својих мотора, или у случају извоза редуктора у земље, које имају сопствене фабрике електромотора, које, дотичне државе, великим царинама на моторе штите од иностране конкуренције, па се купцима не исплати да купују моторне редукторе, већ безмоторне са адаптером за IEC моторе. Наиме, адаптери за IEC моторе омогућавају купцима знатно једноставнију и сигурнију монтажу IEC мотора.

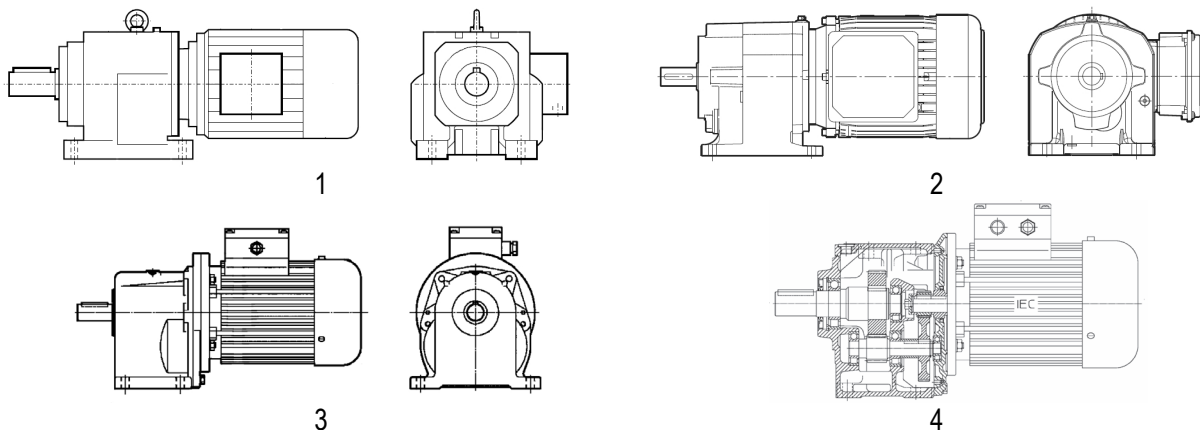
На основу анализираних решења види се да готово сви велики произвођачи универзалних зупчастих моторних редуктора користе специјалне електромоторе, осим произвођача редуктора Rossi који на своје високо универзално кућиште монтира стандардне електромоторе (сл. 3.46 и 3.48). Велики излазни пречник вратила мотора му због тога не дозвољава монтажу мањих зупчаника, тако да овај редуктор не може да оствари велике преносне односе. Ипак, овај произвођач је цењен по свом универзалном облику кућишта и релативно великим преносним односима које његови редуктори могу да остваре.

Пошто се ради о великосеријској производњи редуктора, употреба специјалних мотора се исплати јер велике компаније имају обезбеђену њихову производњу, а посебно што се не захтева употреба адаптера. За најмање осне висине до 90 mm, произвођачи SEW и Siemens-Flender

производе кућиште са горњим поклопцем на обе коморе и радиаксијалном монтажом, где Siemens-Flender користи легуре алуминијума за израду кућишта и међуплочу (сл. 5.4). За нешто веће величине редуктора најчешће се користи аксијална монтажа, са или без примене међуплочу, са кућиштем израђеним од легура алуминијума или сивог лива. До осне висине 130 mm произвођач Nord – NORDBLOC.1, односно до 180 mm Siemens-Flender, тј. до 195 mm произвођач Rossi користе, исто тако, аксијалну монтажу (сл. 5.5).

**Сл. 5.4.**

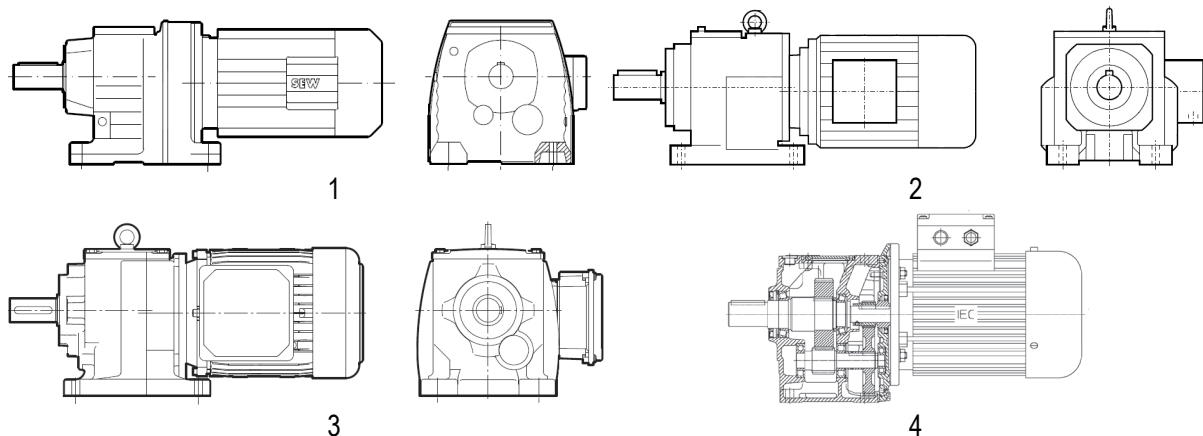
Облик универзалних редуктора са радиаксијалном монтажом за најмање осне висине до 90 mm (1 – редуктор произвођача SEW са кућиштем од сивог лива и 2 – редуктор произвођача Siemens-Flender са кућиштем од алуминијумских легура)

**Сл. 5.5.**

Облик редуктора произведених у великосеријској производњи са аксијалном монтажом за средње величине редуктора (1 – редуктор произвођача Siemens-Flender са међуплочом и кућиштем од сивог лива, 2 – редуктор произвођача Nord – NORDBLOC.1 са међуплочом и кућиштем од алуминијумских легура, 3 – редуктор произвођача Rossi-E04 са међуплочом и кућиштем од сивог лива, 4 – редуктор произвођача Rossi-E04 са међуплочом, спуштеним средњим зидом и кућиштем од сивог лива)

Постизање великих преносних односа се, поред измене начина постављања првог зупчаника на вратило електромотора и повећања међуосног растојања, може обезбедити и постојањем довољно великог отвора на кућишту, кроз који се могу уграђивати велики зупчаници. Мада се редуктори по величинама развијају по теорији сличности, тако да су они по облику готово идентични, евидентно је код готово свих произвођача да су мање величине нешто другачијег облика, како би се постигла оптималнија конструкција. За веће осне висине класична једноделна кућишта са аксијалном монтажом то не могу да обезбеде, па се због тога користи радиаксијална монтажа. Основни поборник таквог концепцијског решења редуктора (компанија SEW), пре десетак година, напустио је аксијални начин и прешао на радиаксијалну монтажу. За велике осне висине, једноделно кућиште је много круће и стабилније поготово ако је израђено од сивог лива, тако да су и остали велики произвођачи прешли на радиаксијални начин уградње са отвором на спороходној комори или на обе коморе (Nord – NORDBLOC.1), са или без употребе међуплочу (сл. 5.6). Радиаксијалним начином монтаже произвођачи су повећали преносне односе својих

редуктора, али не у тој мери да би могли да конкуришу, по величини преносних односа, произвођачима који користе дводелна кућишта са аксијалном монтажом и демонтажним средњим зидом, нпр. компанија Lenze.



Сл. 5.6.

Облик редуктора произведених у великосеријској производњи са радиаксијалном монтажом за велике осне висине редуктора (1 – редуктор произвођача SEW без међуплоче, 2 – редуктор произвођача Siemens-Flender са међуплочом, 3 – редуктор произвођача Nord – NORDBLOC.1 без међуплоче, 4 – редуктор произвођача Rossi-E04 са међуплочом)

На основу спроведене анализе произилази да су облици данашњих решења кућишта великих произвођача редуктора веома слични и да они задовољавају практично све захтеве који се постављају пред њих.

Одређена разлика постоји само зато да их конкуренција не би могла тужити за копирање њиховог решења. Међутим, треба истаћи да има произвођача који су задржали класичне облике кућишта и због тога имају нешто слабије карактеристике. Ипак, ови редуктори опстају на тржишту, мада имају мање вредности преносних односа.

Решење компаније Siemens-Flender данас се може сматрати за најповољније решење и њега би требало усвојити као узор којем би сви велики произвођачи редуктора требало да теже.

5.3. Уобичајена концепцијска решења универзалних зупчастих редуктора средњих произвођача

У средње произвођаче редуктора спадају сви они произвођачи електромотора који поред производње мотора у свом производном програму имају и производњу редуктора као споредан програм. Дијапазон редуктора средњих произвођача није тако широк као код великих произвођача. Пошто имају обезбеђен пласман мотора, на своје редукторе најчешће уграђују своје специјалне моторе.

Средњи произвођачи редуктора не производе све редукторе који се траже на тржишту. Они производе само оне редукторе које могу лако, брзо и добро да продају и који ће им обезбедити успешно пословање. Значи, циљ ових произвођача редуктора није да имају комплетан асортиман редуктора, већ је њихов циљ да производе само онај асортиман редуктора који ће им побољшати пласман електромотора, односно, обезбедити успешно пословање.

На основу спроведених анализа произилази да је уградња великих зупчаника у кућиште редуктора најједноставнија код радиаксијалне монтаже. Међутим, ту се јавља проблем монтаже вратила и зупчаника. Код аксијалне монтаже јавља се проблем услед немогућности уградње

великих зупчаника са чеоне стране, док је код таквог начина уградње могућа веома једноставна монтажа вратила и зупчаника и њихова уградња, као подскопа, у редуктор. Може се рећи да је решење са демонтажним средњим зидом најпогодније, мада сигурно сваки произвођач има аргументовано оправдање за примену свог решења. Такође, најповољнији редуктори за постизање великих преносних односа су редуктори који се израђују од дводелних кућишта, са аксијалном монтажом и са демонтажним средњим зидом, јер они омогућавају да се највећи део монтажних радова обави ван кућишта редуктора и од стране мање вештог особља.

Оваква концепција универзалних зупчастих редуктора са дводелним кућиштима заступљена је код релативно малог броја произвођача, који су акценат ставили на брзу испоруку. Ти редуктори, по својим техничким карактеристикама, не заостају за водећим произвођачима, већ напротив, они чак и предњаче по много чему.

6. ОЧЕКИВАНИ ПРАВЦИ РАЗВОЈА УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА

Имајући у виду да су зупчasti редуктори веома заступљени механизми, неоспорно је да постоји веома велик број произвођача таквих редуктора, а њихова данашња решења су, с обзиром на дугогодишње непрестано усавршавање, доведена скоро до савршенства. Међутим, они се даље непрестано усавршавају у свим фазама свог постојања, од истраживања, пројектовања, конструисања, израде, испитивања, контролисања, конзервације, паковања, складиштења, транспорта, отпакивања, деконзервације, уградње, пуштања у погон и уходавања, експлоатације, надзора, сервиса, одржавања, ремонта или уклањања, односно одлагања, или рециклирања истрошених редуктора.

Оштра конкуренција утицала је на снажан развој универзалних редуктора, тако да сада постоји више различитих концепцијских решења. Поједине концепције настале су из тежње да се повећа носивост редуктора (T_N), преносни однос (i), односно, да се смањи утрошак материјала, трошкови израде (цена), време монтаже и сл. Сваки од ових захтева произилазио је из тежње да се у нечему буде бољи од конкуренције и да се у неком делу тржишта постигне одређена предност, мада су многа решења настала из тежње да се направи другачије решење од конкуренције да би се избегли евентуални спорови око ауторства.

6.1. Основне одлике савремених универзалних зупчastих редуктора

Савремени универзални зупчasti редуктори спадају у релативно једноставне и веома усавршене производе, тако да се код њих не могу очекивати неки значајнији помаци на пољу развоја, посебно имајући у виду чињеницу да су они, пре десетак година, доживели веома интензиван развој. Наиме, већина водећих светских произвођача универзалних зупчastих редуктора успела је да, у оквиру исте осне висине редуктора, истовремено повећа и носивост и највеће преносне односе, за скоро 100%, што је представљало веома велик, значајан и, може се слободно рећи, изненађујући напредак.

Основне одлике савремених универзалних зупчastих редуктора су:

- компактна конструкција, тј. мала запремина,

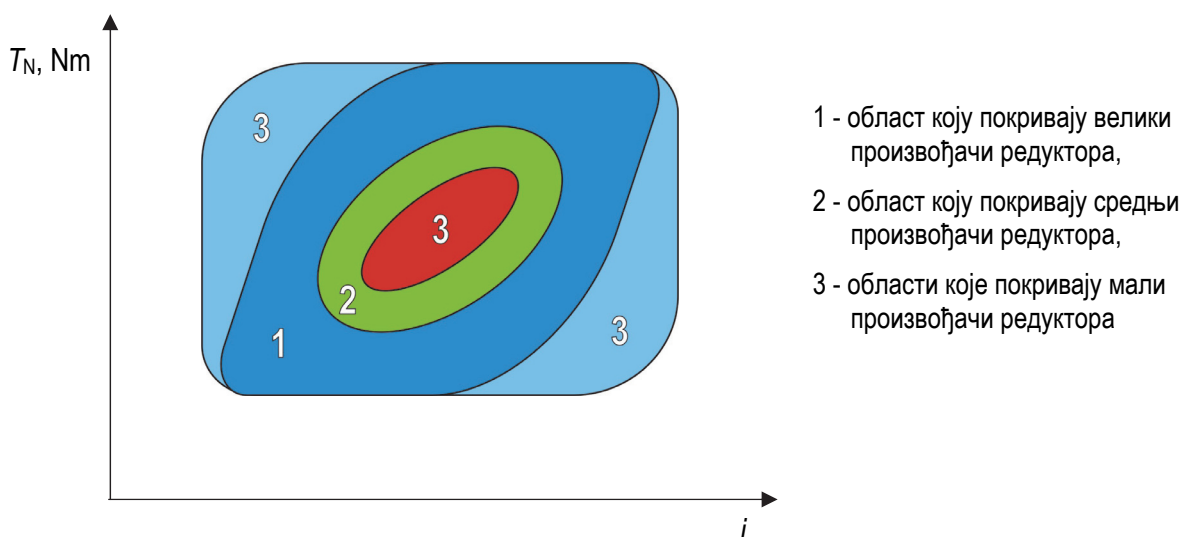
- мала маса,
- добар дизајн (леп облик, допадљива текстура, интересантне боје и добро решена графичка средства информисања),
- потпуна покривеност носивости и преносних односа у најтраженијем дијапазону, односно код моторних редуктора излазних бројева обртаја, по одговарајућем стандардном реду,
- релативно ниска цена,
- висока поузданост,
- миран и тих рад,
- ниски трошкови одржавања итд.

Непостојање одговарајућег стандарда за редукторе даје одређену слободу произвођачима универзалних редуктора да се, при конципирању фамилије редуктора, определе за:

- мале, са $h \leq 100$ mm,
- средње, са 100 mm $< h \leq 500$ mm,
- велике редукторе, са $h > 500$ mm [6];

односно, у оквиру сваке од њих:

- са великом носивошћу и малим преносним односом,
- са осредњом носивошћу и осредњим преносним односом,
- са малом носивошћу и великим преносним односом,
- са великом носивошћу и великим преносним односом (са два сета зупчаника).

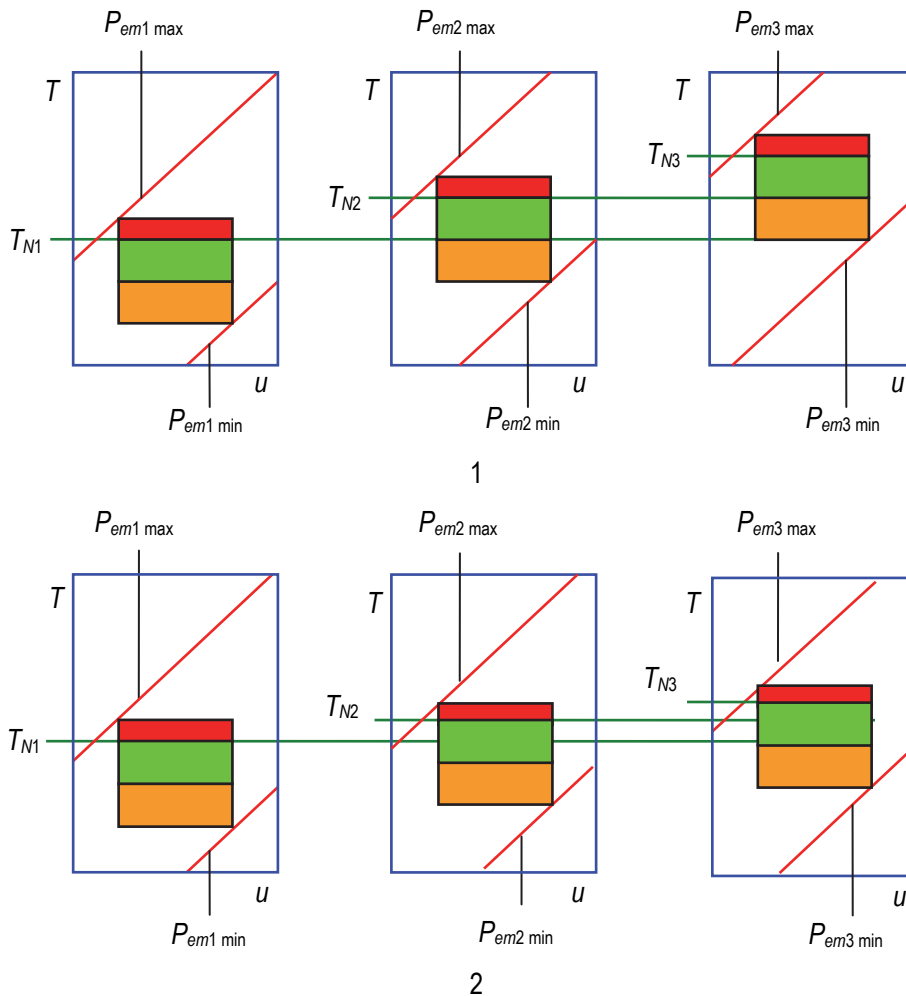


Сл. 6.1.

Шематски приказ области преносних односа и носивости које покривају велики, средњи и мали произвођачи редуктора

Решење које ће бити усвојено, зависи од позиције произвођача. Велики произвођачи углавном нуде све (сл. 6.1), средњи произвођачи нуде уже подручје у односу на велике произвођаче, јер избегавају веома велике, односно веома мале преносне односе и носивости који се ређе траже. Мали произвођачи настоје да покрију најтраженије подручје или онај сегмент тржишта који не покривају велики произвођачи, тј. веома мале и/или веома велике преносне односе, односно носивости. То им, у одређеној мери, полази за руком што потврђује њихов опстанак на тржишту. Међутим, велики произвођачи, да би доскочили малим произвођачима, настоје да у оквиру једног кућишта понуде два сета зупчаника (велика носивост – мали преносни односи и мала носивост – велики преносни односи) чиме у великој мери елиминишу конкуренцију. Наравно, тај захват даје добре резултате, међутим, и поред тога велики произвођачи настоје да додатно потисну конкуренцију увођењем међувеличина редуктора, тј. у подручју најтраженијих носивости и

преносних односа нуде међувеличину (обично мањи – јефтинији редуктор који задовољава постављене захтеве), сл. 6.2.



Сл. 6.2.

Приказ начина убацивања међувеличине у стандардни ред универзалних зупчастих редуктора са класичном понудом (1) и са међувеличинама (2) [45]

Сви ти захвати великих произвођача ограничавају тржиште малим произвођачима универзалних редуктора тако да се они, због ограничених финансијских могућности и немогућности технолошког праћења великих произвођача универзалних редуктора, све чешће пребацују у произвођаче специјалних редуктора, тј. за одређени узан круг купаца, који немају освојену производњу редуктора, израђују специјалне редукторе. Наравно, и велики произвођачи универзалних редуктора, када им се за то укаже прилика и када је реч о довољно великим серијама, за поједине купце веома радо израђују и специјалне редукторе, посебно када у њих могу да уграђују и неке од компоненти својих универзалних редуктора [45].

6.2. Правци развоја зупчастих редуктора

Данас, у области примене редуктора, специјални редуктори имају нешто већу примену од универзалних са тенденцијом даљег смањења примене универзалних редуктора, која проистиче као последица глобализације тржишта, тј. смањења броја произвођача радних машина – потенцијалних корисника универзалних редуктора. Као што је познато, велике серије утичу на губитак предности примене универзалних редуктора. Због тога произвођачи универзалних

редуктора свим силама настоје да усаврше своје редукторе, како би смањили потребу за коришћењем специјалних редуктора и тиме задрже свој удео на тржишту и, уопште, обезбеде свој опстанак.

Основна развојна истраживања произвођача универзалних редуктора (сл. 6.3) усмерена су на [45]:

- потпуније задовољење погонских захтева (по питању преносног односа, обртног момента и оптерећења слободног краја излазног вратила),
- повећање степена искоришћења,
- повећање применљивости (универзалности),
- побољшање дизајна,
- смањење масе,
- смањење димензија,
- повећање поузданости,
- повећање радног века,
- смањење нивоа шума,
- смањење вибрација,
- смањење трошкова производње,
- смањење трошкова одржавања,
- смањење могућности загађивања животне средине,
- прилагођавање за једноставну уградњу,
- прилагођавање за једноставан надзор, сервис, одржавање и ремонт,
- прилагођавање за једноставно рециклирање.



Сл. 6.3.

Шематски приказ уобичајених могућности усавршавања механичких преносника

Да би се задржала конкурентност и атрактивност универзалних зупчастих редуктора непрестано се врше одређене модификације на њима са циљем даљег побољшања њихових карактеристика.

6.2.1. Повећање носивости

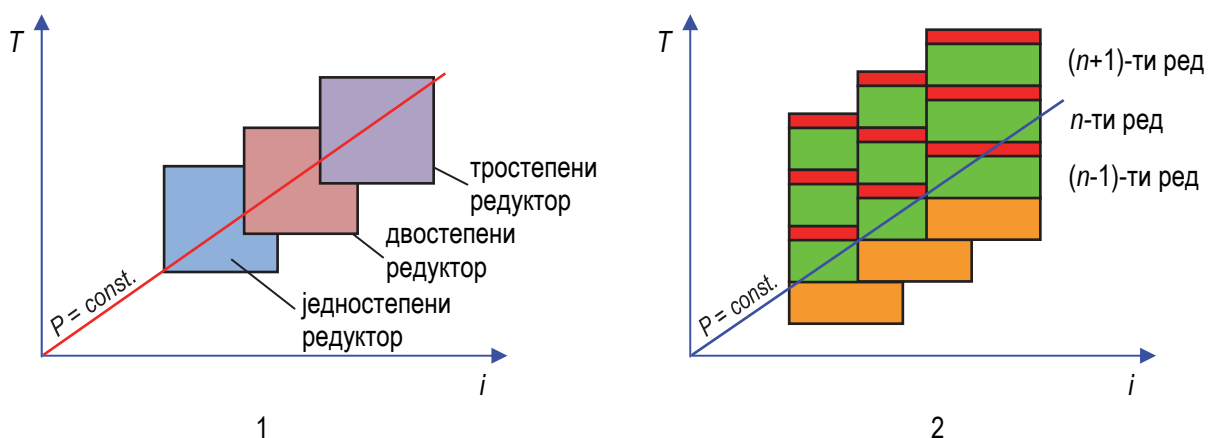
У оквиру једне осне висине редуктора носивост редуктора може се повећати на више начина:

1. ојачавањем зупчаника:
 - применом квалитетнијих материјала,
 - применом квалитетније обраде,
 - применом квалитетније термохемијске обраде,
 - повећањем ширине зупчаника,

- применом већег модула,
 - применом већег међуосног растојања,
 - буричењем зупчаника,
 - применом квалитетнијег мазива;
2. ојачавањем вратила:
- применом квалитетнијих материјала,
 - применом рационалнијег конструкционог решења,
 - применом квалитетније обраде,
 - применом термохемијске обраде,
 - повећањем пречника вратила;
3. ојачавањем лежајева:
- применом квалитетнијих лежајева,
 - применом већих лежајева,
 - применом друге врсте (јачих) лежајева;
4. ојачавањем кућишта:
- применом рационалнијег конструкционог решења,
 - применом квалитетнијег материјала,
 - применом квалитетније обраде,
 - применом квалитетније термохемијске обраде,
 - повећањем дебљине зида кућишта;
5. ојачавањем темелјних завртњева:
- применом квалитетнијих материјала,
 - применом квалитетније термохемијске обраде,
 - повећањем пречника завртња.

Повећање носивости механичких преносника омогућава, у појединим случајевима, понуду мањих (јефтинијих) преносника што свакако утиче на већу конкурентност и већи пласман преносника. Због тога сви произвођачи механичких преносника настоје да повећају носивост својих преносника и да је посебно прикажу, за сваки преносни однос посебно, како би максимално искористили све расположиве могућности својих преносника.

Да би покрили што већу област захтева тржишта, произвођачи су принуђени да производе вишестепене редукторе (сл. 6.4-1) и више величина редуктора, тј. фамилију универзалних зупчастих редуктора (сл. 6.4-2).



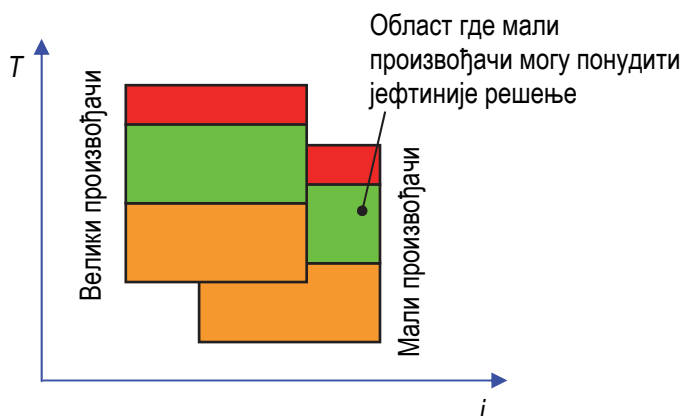
Сл. 6.4.

Карактеристична област примене вишестепених редуктора (1)

и карактеристична област примене фамилије универзалних редуктора (2) [46]

Велики произвођачи редуктора су се до сада, углавном, оријентисали на подручје најтраженијих величина обртних момената и преносних односа, како би могли, преко великих серија, да покрију велика улагања. То је омогућавало малим произвођачима да се убаце у међуподручја (велики преносни односи и мала носивост, а знатно ређе мали преносни односи и велика носивост) и да производњом таквих редуктора успешно послују (сл. 6.5).

Раније се за једну осну висину прописивала иста носивост за све преносне односе, а данас се прави разлика у зависности од носивости зупчаника, под условом да не постоји неки други ограничавајући фактор (лежајеви или вратила), како би се што рационалније искористио употребљени материјал (редуктор).



Сл. 6.5.

Карактеристичне области које покривају поједини произвођачи редуктора [46]

Како би обезбедили високу конкурентност својим редукторима многи произвођачи практикују да у оквиру истог кућишта нуде два сета зупчаника (релативно мали преносни односи са великом носивошћу и велики преносни односи са релативно малом носивошћу). Поређење преносних односа и носивости редуктора садашњих карактеристика са вредностима ових карактеристика од пре нешто више од десет година приказано је на примерима редуктора компаније NORD (табела 6.1 и 6.2), SEW (табела 6.3) и Siemens-Flender (табела 6.4).

Напредак на повећању носивости редуктора остварен је, највероватније, захваљујући примени квалитетнијих материјала, квалитетније обраде и буричења зупчаника, квалитетније термохемијске обраде и квалитетнијих мазива. У табели 6.3 приказане су и карактеристике старијег реда редуктора компаније SEW (од 1990. год.) са старим обликом кућишта, где је очигледно повећање техничких карактеристика редуктора.

Табела 6.1. Упоредни преглед техничких карактеристика старог и новог реда двостепених и тростепених зупчастих редуктора компаније Nord UNICASE [11,46]

Ознака редуктора	Осна висина h , mm	Nord UNICASE стари ред, 1999. год.		Nord UNICASE нови ред, 2012. год.		
		i_{\max}	T_{\max} , Nm	i_{\max}	T_{\max} , Nm	Повећање носивости, %
SK 02	86	73,06	77	73,06	92	19
SK 03		313,11	77	313,11	114	48
SK 12	102	72,63	139	72,63	181	30
SK 13		420,83	148	420,83	184	24
SK 22	125	86,3	226	86,3	341	51
SK 23		516,65	226	516,65	341	51
SK 32	155	81,27	512	81,27	678	32
SK 33		740,37	512	740,37	688	34

Табела 6.2. Упоредни преглед техничких карактеристика старог и новог реда двостепених и тростепених зупчастих редуктора компаније Nord NORDBLOC [12,47]

Ознака редуктора	Осна висина h , mm	Nord UNICASE стари ред, 2000. год.		Nord UNICASE нови ред, 2012. год.		
		i_{\max}	T_{\max} , Nm	i_{\max}	T_{\max} , Nm	Повећање носивости, %
SK 272	90	64,75	130	64,75	145	12
SK 273		330,9	137	330,9	137	0
SK 372	90	51,23	175	51,23	181	3
SK 373		238,68	214	238,68	214	0
SK 472	115	65,56	300	65,56	334	11
SK 473		309,58	320	309,58	336	5
SK 572	115	51,7	370	51,7	431	16
SK 573		309,58	450	309,58	465	3
SK 672	130	64,18	450	64,18	534	19
SK 673		340,54	630	340,54	648	3
SK 772	140	62,32	460	62,32	858	86
SK 773		343,08	835	343,08	876	5

Табела 6.3. Упоредни преглед техничких карактеристика старог и новог реда двостепених и тростепених зупчастих редуктора компаније SEW [14,47]

Ознака редуктора	Осна висина h , mm	SEW стари ред, 1990. год.		SEW стари ред, 1999. год.			SEW нови ред, 2012. год.		
		i_{\max}	T_{\max} , Nm	i_{\max}	T_{\max} , Nm	Повећ. нос., %	i_{\max}	T_{\max} , Nm	Повећ. нос., %
R42 / R27	90	15,84	120	28,37	130	8	28,37	136	5
R43 / R27	90	108,32	100	135,09	128	28	135,09	128	0
R40 / R37	90	21,61	100	28,32	200	100	28,32	230	15
R40 / R37	90	111,16	100	134,82	200	100	134,82	215	8
R62 / R47	115	24,24	200	33,79	240	20	33,79	240	0
R63 / R47	115	155,61	300	176,88	300	0	176,88	320	7
R60 / R57	115	32,14	190	26,31	450	137	26,31	450	0
R60 / R57	115	190,84	240	186,89	450	87	186,89	450	0
R72 / R67	130	22,95	500	28,13	540	8	28,13	580	7
R73 / R67	130	168,79	560	199,81	595	6	199,81	595	0
R702 / R77	140	32,99	450	23,37	705	57	23,37	705	0
R703 / R77	140	197,39	450	195,24	820	82	195,24	890	9

Табела 6.4. Упоредни преглед техничких карактеристика старог и новог реда двостепених и тростепених зупчастих редуктора компаније Siemens-Flender [16,47]

Ознака редуктора	Осна висина h , mm	Siemens-Flender стари ред, 1999. год.		Siemens-Flender нови ред, 2012. год.		
		i_{\max}	T_{\max} , Nm	i_{\max}	T_{\max} , Nm	Повећање носивости, %
Z38	90	44,12	182	44,12	210	15
D38		191,75	220	191,75	224	2
Z48	115	45,38	450	51,28	466	4
D48		208,77	450	208,77	454	1
Z68	140	48,09	535	48,09	812	51
D68		281,01	800	281,01	809	1

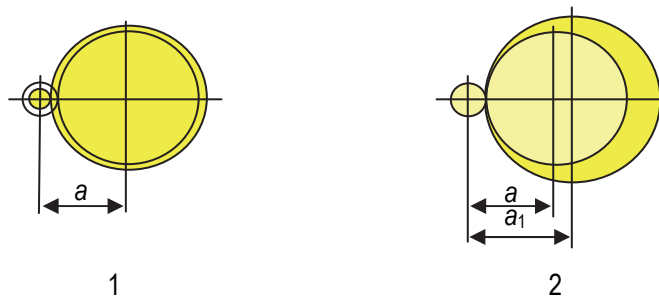
6.2.2. Повећање преносног односа

Велики преносни односи, у појединим случајевима, омогућавају понуду нижестепених (јефтинијих) редуктора што свакако веома позитивно утиче на конкурентност и пласман редуктора. Због тога сви произвођачи механичких редуктора настоје да повећају преносни однос својих производа. Као карактеристичан пример могу се навести редуктори компаније Lenze (сл. 3.55 и 3.58), или још боље редуктори Nord UNICASE (сл. 3.15, 3.16 и 3.17), код којих су још рационалније искоришћене расположиве могућности (сл. 4.15, 4.19, 4.20, 4.23, 4.27 и 4.35).

При повећању преносних односа обично се иде до границе када је јефтиније, са становишта утрошеног материјала и машинске обраде, уградити два зупчаста пара уместо једног. Величина највећег преносног односа утиче, у појединим случајевима, на степен искоришћења. Наиме, уместо двостепених у неким случајевима могу се користити једностепени, или уместо тростепених у неким случајевима двостепени, итд. Поред тога, тиме се постиже, у неким случајевима, компактнија и јефтинија конструкција, мада је она у осталим случајевима скупља због тога што се увек користе већи зупчаници, због већих међуосних растојања.

У оквиру исте осне висине редуктора преносни однос редуктора може се повећати на више начина [47]:

1. смањењем погонског зупчаника (сл. 6.6-1):
 - применом квалитетнијих материјала,
 - смањењем модула зупчаника,
 - смањењем броја зубаца,
 - смањењем модула зупчаника и броја зубаца,
2. повећањем гоњеног зупчаника (сл. 6.6-2):
 - повећањем броја зубаца зупчаника, што по правилу захтева повећање међуосног растојања и измену облика кућишта, отварање спороходне и/или брзоходне коморе кућишта (да би се велики зупчаници могли убацити у кућиште) и сл.



Сл. 6.6.

Шематски приказ начина повећања преносног односа смањењем пречника мањег зупчаника (1) и повећањем међуосног растојања (2) [48]

6.2.3. Повећање степена искоришћења

Степен искоришћења, несумњиво, представља веома важну карактеристику сваког механизма и увек се настоји повећати. У оквиру универзалних зупчастих редуктора то се постиже:

- квалитетнијом обрадом,
- већом тачношћу израде,
- применом савремених материјала и превлака,
- применом квалитетнијих синтетичких мазива,
- смањењем броја преносних елемената (зупчастих парова) и лежајева.

Уколико би се повећао преносни однос по зупчастом пару, постоји могућност да се при великим преносним односима понуди преносник са мањим бројем зупчастих парова, тј. преносник са већим степеном искоришћења. Имајући у виду да је степен искоришћења по зупчастом пару обично око 0,98, произилази да се таквим прилазом дефинисању концепције редуктора, у појединим случајевима, могу постићи уштеде енергије и до 2%, што није занемарљиво.

Поред смањења броја зупчастих парова, повећање степена искоришћења може се постићи и изменом уобичајене концепције вишестепених редуктора, тј. уместо уобичајена три лежаја на тзв. петом зупчастом вратилу, може се користити пето зупчато вратило са два лежаја што свакако омогућава додатно смањење губитака у редуктору.

6.2.4. Повећање универзалности

Када се говори о универзалности треба разликовати универзалност редуктора, тј. његову могућност разноврсне примене и уградње, и универзалност компонената редуктора која омогућује једноставнију и бржу монтажу и испоруку. Данас је постало сасвим уобичајено да купац очекује испоруку у року од 72 сата (три дана) што захтева високу универзалност компонената како би се могла (обично у сервисно-монтажним центрима који се налазе у близини великих тржишта) обезбедити испорука у тако кратком временском року. Да би се смањили трошкови производње и да би се скратили рокови испоруке извршена је максимална унификација компонената.

Универзални зупчasti редуктори могу се израђивати на три концепцијски различита начина:

1. У посебним кућиштима за једноступене, двоступене и троступене моторне редукторе, чијом комбинацијом се праве вишеступени редуктори. Ова верзија је најповољнија, међутим, она је и најскупља (због много алата) и захтева велико тржиште, како би се они могли исплатити. Ипак, ова верзија остаје као крајњи циљ сваког произвођача редуктора.
2. У посебним кућиштима за једноступене и двоступене редукторе, чијом комбинацијом се праве троступени и вишеступени редуктори. Ова верзија једино је погодна за подручје двоступених редуктора, где велики произвођачи редуктора нуде двоступене редукторе, урађене у универзалним кућиштима за двоступене и троступене редукторе, који су скупљи од редуктора који су урађени у специјалним кућиштима само за двоступене редукторе. Са редукторима овакве концепције мањи произвођачи веома успешно конкуришу великим произвођачима. Међутим, будући да ова концепција није погодна за подручје троступених редуктора, за које влада највеће интересовање на тржишту, јер су такви троступени редуктор скуп, од ње се одустало, или постепено одустаје и у компанијама које су дуго година биле основни поборници оваквог решења (Nord, Lenze, Pujol).
3. У посебним кућиштима за једноступене, а заједничким за двоступене и троступене редукторе, чијом комбинацијом се праве вишеступени редуктори. Овакво решење је данас најзаступљеније, због мањих инвестиција и велике универзалности, и због тога га и користи највећи број произвођача.

Готово сви произвођачи редуктора израђују посебна кућишта за везу са стопалима и за везу са прирубницом, с тим што могу да се користе и мале, и велике и прирубнице за мешалице. Постојање две врсте кућишта за све произвођаче, несумњиво, представља велико оптерећење. Због тога поједини произвођачи настоје да са само једним кућиштем са стопалима или једним универзалним кућиштем, које је пре свега намењено за везу са стопалима, а може се користити и за везу са прирубницом, превазиђу тај проблем (Lenze, сл. 3.62). С обзиром на то да се редуктори са прирубницама нешто ређе траже, то произвођачима не причињава неке веће проблеме. Поменути произвођач Lenze развио је MultiMount редукторе чије кућиште може бити монтирано на подлогу без стопала, а посебно се могу причврстити и стопала или прирубница.

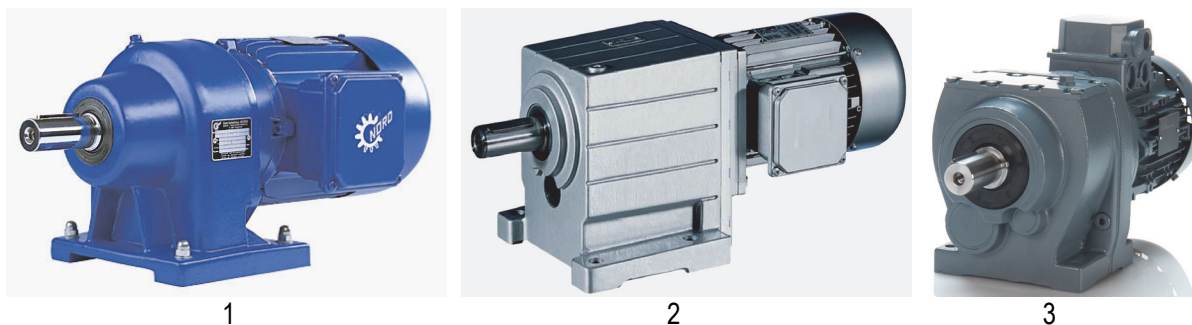
Применом само једне врсте кућишта знатно се смањују трошкови производње, а посебно трошкови складиштења полупроизвода, мада је крутост ових кућишта нешто мања, па се користи само код мањих осних висина, тј. мањих вредности обртних момената.

Поред тога, постоје и такви произвођачи (Rossi) који настоје једним кућиштем обезбедити још већу универзалност редуктора, тј. могућности још сложеније уградње, што им додатно усложњава облик кућишта, али им знатно повећава могућност примене (сл. 3.45).

У будућности се може очекивати још значајнији развој универзалности, посебно компонената редуктора, како би се обезбедила висока међусобна заменљивост компонената и тиме скратили рокови испоруке, јер као што је то познато, код универзалних зупчастих редуктора се за сваког купца посебно испоручује редуктор (Mass Customization), јер је он дефинисан величином мотора, величином преносног односа (излазног броја обртаја), обликом уградње, а сам мотор положајем уградње, положајем прикључнице на електромотору, положајем уводнице на електромотору, степеном механичке заштите електромотора, итд. Неоспорно је да се у оквиру развоја моторних редуктора може очекивати и интензивнији развој моторних редуктора са IEC мотором, како би се што више повећала универзалност, односно, скратили рокови испоруке. Овај захват посебно је интересантан за мање произвођаче и посебно у случају извоза моторних редуктора у земље које своје произвођаче електромотора штите великим царинама, па је извоз моторних редуктора у те земље практично неисплатив.

6.2.5. Побољшање дизајна

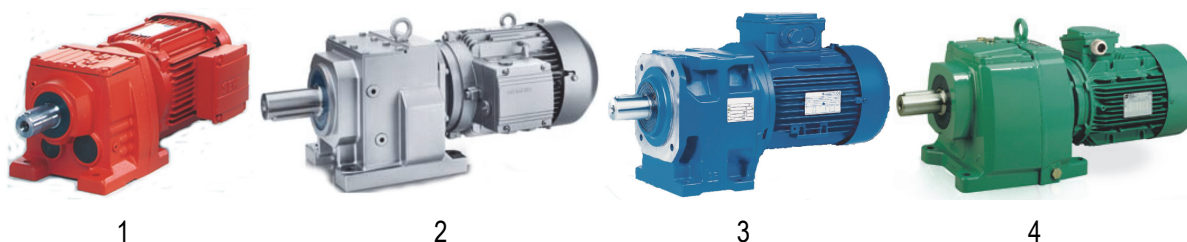
Услед великог броја произвођача једне исте врсте редуктора са уједначеним нивоом квалитета, ценом и роковима испоруке, дизајн редуктора је постао пресудан фактор од којег зависи њихов пласман. Због тога се данас, много више него раније, посвећује велика пажња дизајну. Под дизајном редуктора подразумева се пре свега његов спољашњи облик који умногоме зависи од распореда и положаја зупчаника, затим текстура, боја и графичка средства информисања, која се налазе на редуктору.



Сл. 6.7.

Карактеристични облици универзалних зупчастих моторних редуктора: цилиндрични облик кућишта - Nord STANDARD (1), четвртасти облик кућишта - Lenze GST (2), сложени облик кућишта са закривљеним и равним површинама - KEB (3)

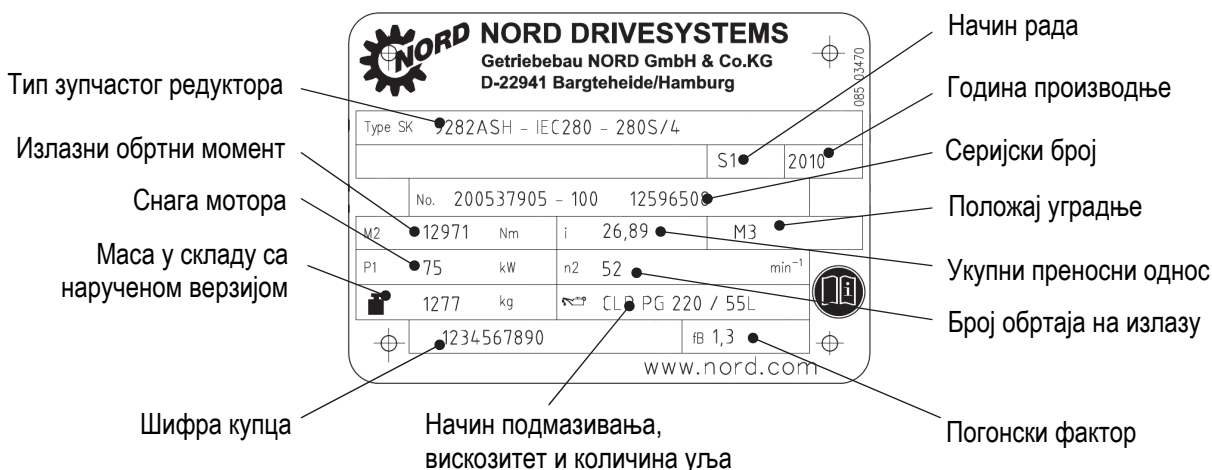
Леп изглед редуктора изузетно је важан, мада он није пресудан за пласман редуктора. Међутим, обликовању кућишта редуктора ипак посвећује се велика пажња и зато су данас присутна кућишта најразличитијих облика и боја. Облик кућишта редуктора много зависи од осне висине, начина повезивања редуктора за подлогу, распореда и величине зупчаника, као и од начина уградње зупчаника у кућиште. У зависности од тих фактора, кућишта универзалних зупчастих редуктора могу бити изведена као цилиндрична, четвртаста или као комбинација различитих сложених облика (сл. 6.7). Успешнија решења оствариле су фирме Siemens- Flender, SEW, итд. код којих је обезбеђена пластична површина, којом се повећавају крутост кућишта, али и активна спољашња површина, чиме се омогућује боље хлађење кућишта и тиме повећава топлотни капацитет редуктора.

**Сл. 6.8.**

Карактеристичне боје универзалних зупчастих моторних редуктора: црвена - SEW (1), боја метала (сива) - Siemens-Flender (2), плава - Rossi (3), зелена - Leroy Somer (4)

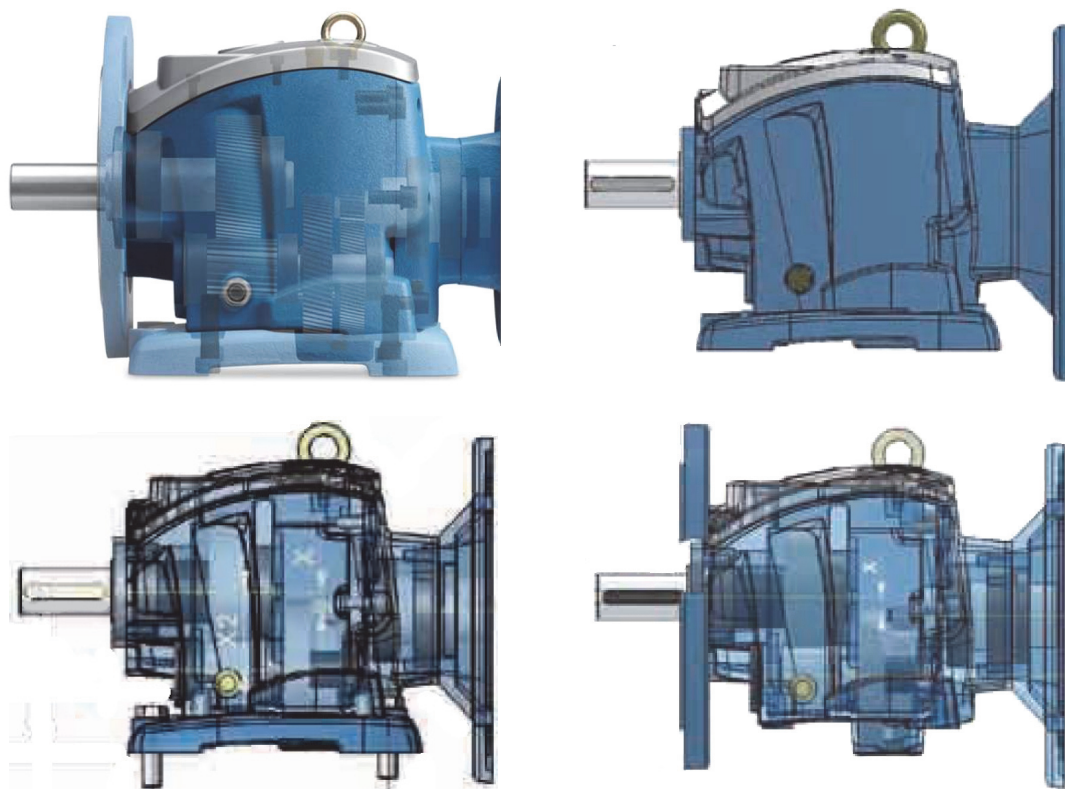
За бојење кућишта редуктора најчешће се користе четири карактеристичне боје: црвена, плава, зелена и сива, односно боја метала (сл. 6.8). Боја метала је боја свих кућишта направљених од легура алуминијума. То је природна боја метала и таква кућишта се по правилу не боје. Употребом неке од наведених боја дизајнери покушавају да привуку пажњу потрошача и да их заинтересују за свој производ. Експонати изложени на сајмовима обично се боје бојама којих најчешће нема у редовној продаји и то бојама које снажно делују на човека (наранџаста, црвена, жута), а све у циљу привлачења пажње посматрача на изложене редукторе. Међутим, на специјалан захтев купца, редуктори се могу обојити у било коју (жељену) боју, што се, наравно, посебно наплаћује. Боја, такође, не служи само да задовољи декоративне карактеристике редуктора, већ она мора да врши и заштиту од корозије током целокупног века трајања, при свим (предвиђеним) условима експлоатације. Текстура, најчешће, зависи од начина израде (ливењем у песку или ливењем у кокили). На леп изглед кућишта велики утицај има и распоред сенки које ствара пластична површина, затим, натписне плочице и евентуални пиктограми који указују на начин замене уља и сл.

На кућиштима редуктора постављају се натписне плочице на којима су поред врсте и типа редуктора, у зависности од произвођача, дефинисане и остале његове карактеристике, као што су број обртаја, носивост, маса, начин монтаже, врста уља и запремина уља и итд. (сл. 6.9).

**Сл. 6.9.**

Натписна плочица на зупчастом редуктору произвођача Nord [28]

Пројектанти редуктора, уз задовољење свих захтева за обликом кућишта, настоје да направе што допадљивији редуктор, што универзалнији и са што мањом масом. И поред тога што дизајн редуктора није најбитнији фактор за избор редуктора, ангажовањем афирмисаних дизајнера, произвођачи редуктора настоје да добију атрактиван дизајн редуктора и тако привуку пажњу купца. На пример, дизајнери једне мање и не тако познате компаније за производњу редуктора



Сл. 6.10.
Карактеристично решење редуктора компаније Robus [49]



Сл. 6.11.

Карактеристично решење редуктора компаније ABM (1)[50], Stöber (2)[51], Siti (3)[52], Motovario (4)[9], Xingguang (5)[53], Wangye (6)[54], Feilong (7)[55]

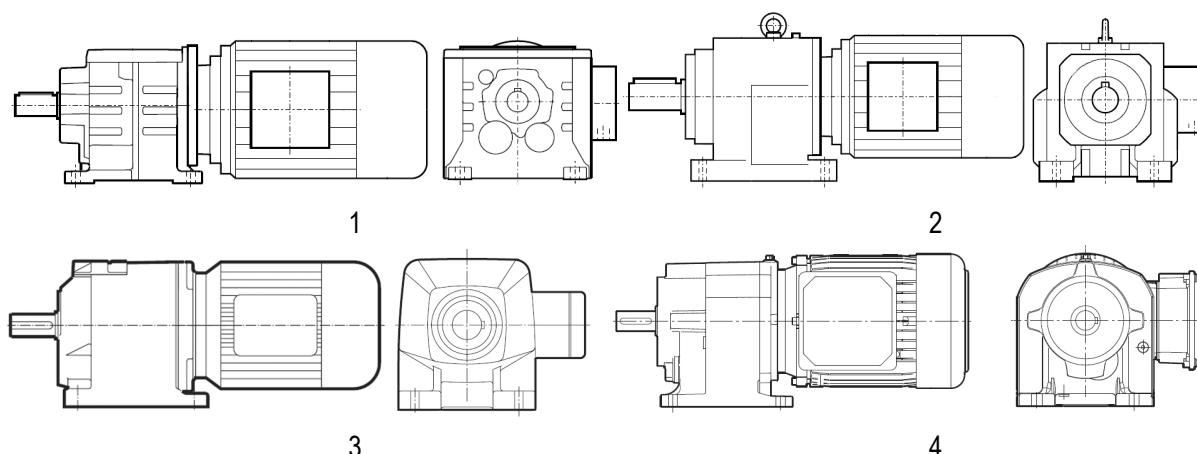
Robus произвели су интересантна и атрактивна решења редуктора (сл. 6.10) комбинујући допадљив облик и спајајући две боје: плаву за кућиште и светлу боју метала за поклопац. Таквом комбинацијом постигнута је одговарајућа композициона равнотежа, а кућиште је изведено као универзално за двостепени и тростепени редуктор, са могућношћу монтаже стопала и прирубнице.

Специфичан дизајн редуктора имају и редуктори компанија АВМ и Stöber. Обе ове компаније користе црну боју за кућишта и моторе, међутим, облик кућишта им је потпуно различит, јер компанија АВМ производи цилиндричне редукторе чије се стране редуктора континуирано спуштају на постоље (сл. 6.11-1), док компанија Stöber производи потпуно четвртасто кућиште редуктора (сл. 6.11-2). На сл. 6.11-3 и 6.11-4 приказана су још и решења кућишта произвођача Siti и Motovario. Зупчасти редуктори, као и сви остали производи, све више се производе у Кини (сл. 6.11-5,6,7) где произвођачи, уз мање или веће измене, најчешће без дозволе и одобрења, копирају решења европских произвођача и продају их по знатно повољнијим ценама, али и, за сада, са знатно лошијим квалитетом.

6.2.6. Смањење масе

Смањење масе редуктора је обострани захтев и произвођача и корисника редуктора. Код првих је то начин да се смањењем масе постигне јефтинија производња, док је код оних других то могућност да се понуди рационалнији и обично лакши производ.

Смањење масе постиже се једноставнијом конструкцијом, применом лакших материјала, применом мање количине мазива и сл. Произвођачима редуктора великих серија исплати се да кућиште праве од легура алуминијума и то, углавном, за мање осне висине до 130 mm. Овим се значајно смањује маса редуктора у поређењу са истим таквим редуктором од сивог лива (таб. 4.9 и 4.10). На слици 6.12 приказани су редуктори произвођача Siemens-Flender исте осне висине 90 mm израђени од легура алуминијума масе 4,4 kg и са другим сетом зупчаника, али у кућишту од сивог лива много веће масе 11,3 kg. Такође, дат је пример старе и нове серије NORDBLOC редуктора произвођача Nord који су у старој варијанти били израђени од сивог лива и масе 10,8 kg, док је нова варијанта израђена од легура алуминијума са мањом масом 7,8 kg.



Сл. 6.12.

Двостепени и тростепени универзални зупчасти редуктори осне висине 90 mm произвођача Siemens-Flender израђени од легура алуминијума Z/D28 (1) и од сивог лива Z/D38 (2) и произвођача Nord NORDBLOC израђен од сивог лива SK 273/373 (3) и Nord NORDBLOC.1 од легура алуминијума SK 372.1/373.1 (4) [12,16,29]

Примена већих преносних односа омогућава, у појединим случајевима, понуду лакшег редуктора (једноступеног уместо двоступеног, или двоступеног уместо троступеног, итд.), јер уместо два

или три пара зупчаника, постоји само један односно два пара зупчаника са мање вратила и лежајева. Међутим, преносници са истим бројем зупчаника, а већим преносним односом увек су мало тежи, од одговарајућих редуктора са уобичајеном величином преносних односа, јер се код њих увек уграђују релативно велики зупчаници, због већих међуосних растојања [56].

6.2.7. Смањење димензија

Смањење димензија редуктора представља обострани захтев и произвођача и корисника редуктора. Произвођачи на тај начин постижу јефтинију производњу, док корисници добијају компактнију конструкцију финалног производа. Повећањем преносних односа може се смањити број зупчастих парова и тако код неких преносних односа добити могућност за смањење димензија. Смањење димензија је, ипак, ограничено, јер се смањењем димензија нпр. вратила, смањује и његова носивост, као и радни век лежаја. Међутим, смањење димензија може некад утицати на повећање трошкова производње, пре свега због компликованије монтаже.

Табела 6.5. Преглед димензија кућишта двостепеног и тростепеног редуктора осне висине $h = 90 \text{ mm}$ са техничким карактеристикама редуктора за које се користе

Ознака редуктора	Дужина $a, \text{ mm}$	Ширина $b, \text{ mm}$	Висина $c, \text{ mm}$	Називни обртни момент		Највећи преносни однос	
				$T_{N2x}, \text{ Nm}$	$T_{N3x}, \text{ Nm}$	$i_{\text{max } 2x}$	$i_{\text{max } 3x}$
SEW, R 27	193	151	147	136	128	28,37	135,09
SEW, R 37	201	145	151	230	215	28,32	134,82
Siemens-Flender, Z/D 28	185	143	142	145	142	51,35	207,96
Siemens-Flender, Z/D 38	190	163	159	210	224	44,12	191,75
Nord UNICASE, SK 02 (2x)	182	130	151	92	-	73,06	-
Nord UNICASE, SK 03 (3x)	240	130	151	-	114	-	313,11
Nord NORDBLOC, SK 272/3	208	145	160	145	137	64,75	330,9
Nord NORDBLOC, SK 372/3	208	145	160	181	214	51,23	238,68
Nord NORDBLOC.1, SK 372.1/ SK 373.1	218	150	168	195	231	72,38	343,92
Nord STANDARD, SK 0 (2x)	138	130	136	52	-	70,98	-
Rossi, MR 2I 41	153	156	146	74	98	13,3	74,4
Rossi, MR 2I 3	183	166	154	195	230	31,1	136
Lenze, GST04 (2x)	174	129	132	70	-	59,286	-
Bonfiglioli C05 2 (2x)	120	135	146	47		44,7	
Bonfiglioli C11 2 (2x)	150	130	141	92		66,2	

Произвођачи редуктора смањење габаритних димензија редуктора настоје постићи правилним дефинисањем дебљине зидова кућишта, постављањем укрућења и сл. Иако не постоји стандард који дефинише димензије редуктора, већина произвођача придржава се димензија које прописују водећи произвођачи редуктора (нпр. SEW), тако да проблем димензија није присутан, а што се тиче дебљине зидова, оне су условљене технолошким могућностима (ливења) појединих

произвођача, тако да су и оне у великој мери усаглашене. Уобичајено мишљење је да произвођачи који имају сопствене ливнице имају нешто дебље зидове кућишта и обратно, мада то не мора да буде и правило.

Смањење димензија кућишта не омогућује уградњу зупчаника већих димензија и већих лежајева, што аутоматски значи смањење преносних односа и носивости. Искуство и вештина дизајнера, квалитет материјала који се користи и савремене технологије обраде имају највише утицаја да се постигну боље техничке карактеристике и са кућиштем мањих димензија. При томе, прегледом анализираних вредности, може се видети да веће димензије кућишта не условљавају и боље техничке карактеристике (таб. 5.5). У примеру из табеле види се да се смањењем димензија кућишта редуктора не добијају одмах и мање вредности излазних момената и преносних односа, јер Siemens-Flender, за мање димензије кућишта, има боље техничке карактеристике. У табели 5.5 дат је и пример дводелних кућишта (Nord UNICASE), посебно за двостепене и посебно за тростепене редукторе. Види се да су димензије двостепених редуктора са оваквим кућиштем најмање, али да је, додавањем једноступеног редуктора, дужина ових тростепених редуктора највећа, што опет не значи и највећи обртни момент.

6.2.8. Повећање поузданости

Повећање поузданости остварује се правилним димензионисањем, рационалнијим конструкционим решењима, која се огледају у смањењу оптерећења у редуктору (применом великих преносних односа излазног пара, како би што мањи обртни момент „ушао” у „унутрашњост” редуктора). Повећање поузданости може се остварити применом јачих лежајева (које је могуће применити захваљујући већим међуосним растојањима, као и применом ваљчастих уместо кугличних лежајева), рационалнијим обликом вратила (са мањим изворима концентрације напона, на пример, да се веза остварује пресовањем или лепљењем, а не клином), применом крућих вратила (тј. њиховим укрућивањем посредством главчине зупчаника), применом квалитетнијих материјала, итд.

6.2.9. Повећање радног века

Произвођачи редуктора, у највећем броју случајева, век трајања својих редуктора прилагођавају постојећим законским прописима и, веома ретко, нуде нешто изнад тога. По важећим законским прописима, који су на снази у већини земаља, век трајања за такву врсту производа треба да износи бар 5 година, што при раду у једној смени (8 часова), 5 дана у недељи, при нормалним условима експлоатације током 50 радних недеља годишње, захтева радни век од 10000 сати. При прорачуну редуктора век трајања редуктора обично ограничавају лежајеви, осовински заптивачи и зупчаници, док остале компоненте, углавном, не утичу битније на век трајања.

6.2.10. Смањење нивоа шума

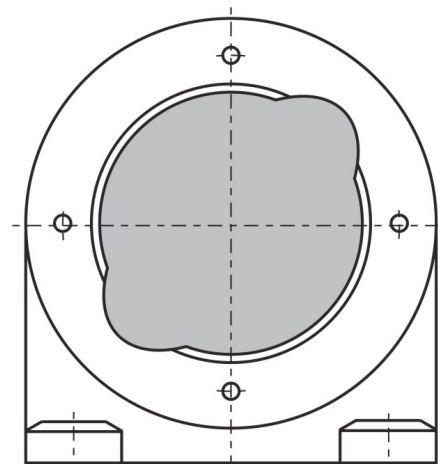
Зупчасти преносници, иако не производе велики шум, представљају извор буке који треба смањити. Смањење нивоа шума могуће је постићи смањењем броја зупчастих парова, повећањем угла нагиба бока зупца (први зупчасти пар, код појединих произвођача, има вредности $\beta \geq 30^\circ$), буричењем зубаца, смањењем броја лежајева, корекцијом профила, прецизнијом и квалитетнијом обрадом, применом кућишта и поклопаца веће крутости и од сивог лива (који има способност да апсорбује вибрације), коришћењем квалитетнијег решења подмазивања, извођењем једноставнијег облика зупчаника који производи мањи шум и сл.

6.2.11. Смањење трошкова производње и прилагођавање за једноставну монтажу

Неоспорно је да цена редуктора, односно трошкови производње, имају изузетно велик утицај на пласман редуктора па су произвођачи редуктора принуђени да непрестано раде на смањењу тих трошкова. То се углавном постиже рационалнијом конструкцијом и применом јефтинијих материјала, јефтинијих технологија израде и сл., што нажалост може имати негативне и последице на техничке карактеристике и квалитет редуктора.

Скраћење времена монтаже обично захтева сложенију, па чак и скупљу, машинску обраду делова. Међутим, тај захват се исплати јер се брзом испоруком редуктора често може обезбедити њихова продаја, посебно у случајевима замене редуктора при њиховом отказу или хаварији. Тада цена редуктора обично није спорна јер губици који настају због застоја, тј. прекида технолошког процеса вишеструко премашују трошкове набавке новог редуктора.

Сви захвати предузети у циљу повећања преносног односа утичу на повећање пречника гоњеног (великог) зупчаника што у великој мери отежава њихову уградњу. Основни проблем код примене великих зупчаника је немогућност једноставне уградње таквих зупчаника у кућиште редуктора. Наиме, посредством осне висине и пречника прирубнице кућишта (са моторне стране) дефинисане су димензије кућишта редуктора. Те димензије су за донедавно уобичајене вредности преносних односа, односно величине зупчаника, задовољавајуће, али при повећаним преносним односима, односно при примени зупчаника са повећаним димензијама, та ограничења димензија представљају велики проблем за једноставну монтажу [57].

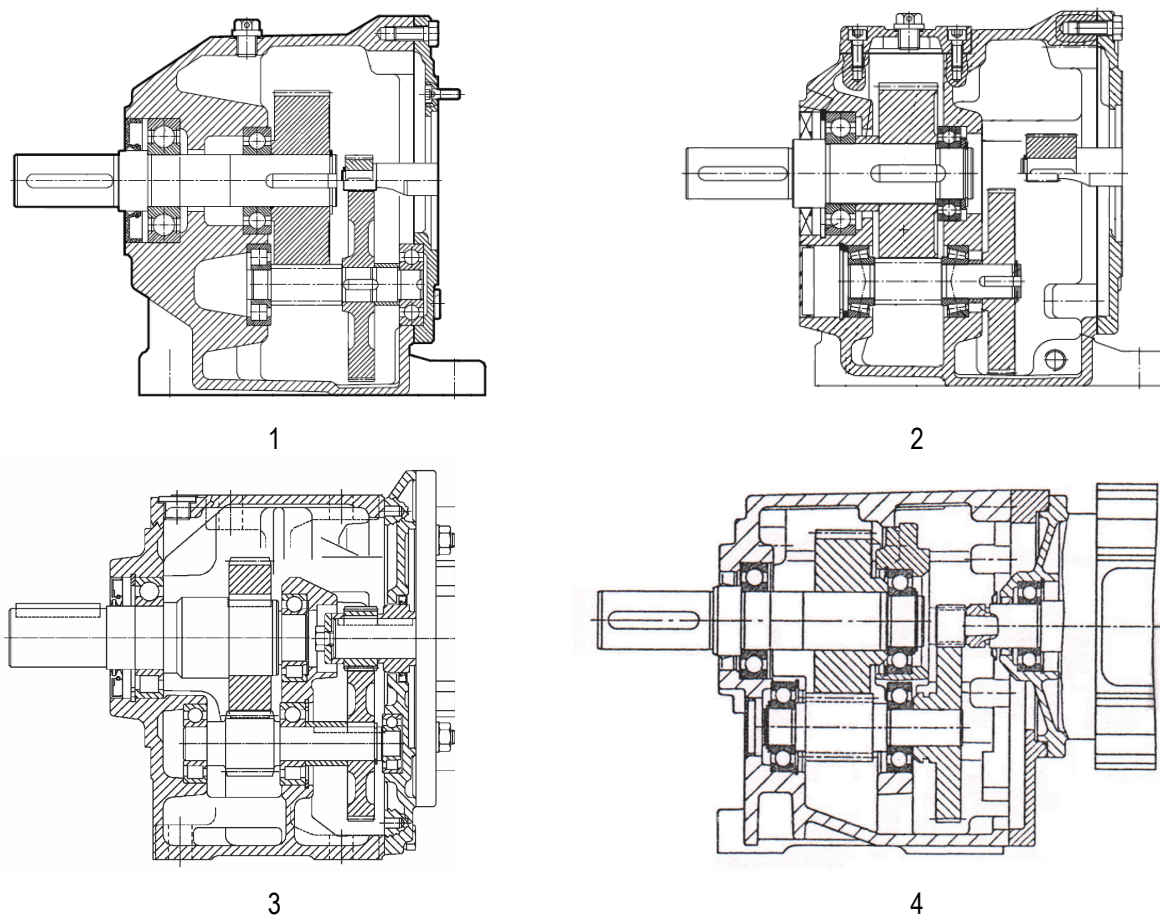


Сл. 6.13.

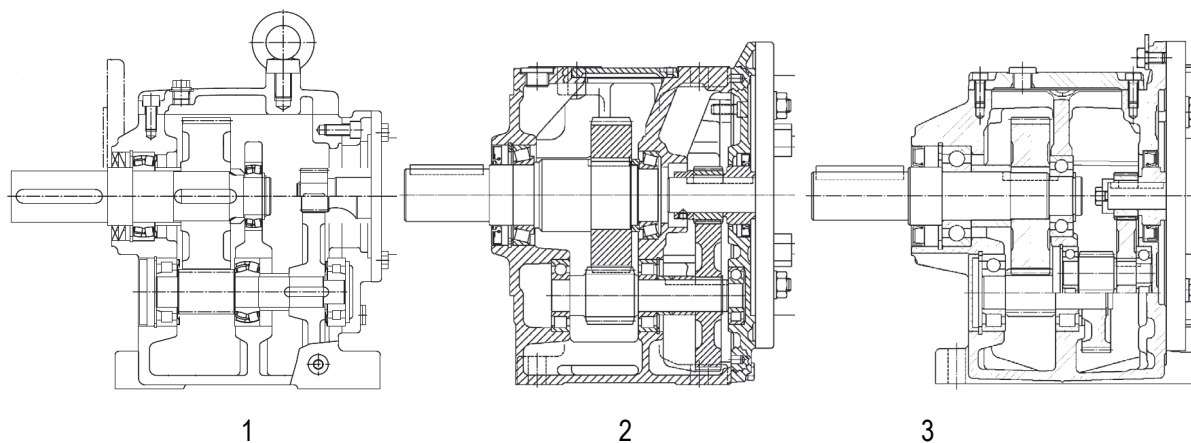
Облик отвора на кућишту у облику елипсе за уградњу зупчаника

Уградња великих зупчаника врши се кроз чеони отвор у облику елипсе, са великом полуосом већом од полупречника отвора, кроз који се убацује зупчаник. Заокретањем великог зупчаника, у кућиште редуктора могу се „убацити“ зупчаници чији је темени пречник незнатно већи од пречника отвора, тј. „анзаца“ на прирубници електромотора (сл. 6.13). Наравно, овим захватом се донекле нарушава чврстоћа и крутост кућишта, тако да се са величином велике полуосе не претерује, што значи да се не предвиђа уградња посебно великих зупчаника. Скоро сви произвођачи, који примењују веће преносне односе, напустили су овакву концепцију кућишта редуктора [19].

Проблем уградње великих зупчаника покушава се решити и применом посебне међуплоче, са моторне стране редуктора (сл. 6.14-1,2), али ни то решење не даје задовољавајуће резултате, поготово што се њиме не решава проблем уградње великих зупчаника у спороходну комору где је посебно важно уградити велики зупчаник, осим у случају да је средњи зид редуктора демонтажан. Основна улога међуплоче је и да омогући једноставно повезивање стандардних IEC мотора и кућишта редуктора.

**Сл. 6.14.**

Примена међуплоче са задње стране зупчастог редуктора: 1,2 – решење компаније Nord NORDBLOC [12], 3 – решење компаније Rossi [13], 4 – решење компаније Lenze [33]

**Сл. 6.15.**

Примена горњих поклопаца на кућишту универзалног зупчастог редуктора: 1 – решење компаније Nord UNICASE [28], 2 – решење компаније Rossi [13], 3 – решење компаније Rossi-STANDARDFIT [13]

Нешто другачија верзија овог решења (сл. 6.14-3) предвиђа задржавање средњег зида и постављање отвора на њему посредством кога се уграђују велики зупчаници у спороходну комору. Овим решењем омогућава се уградња великих зупчаника, спороходна комора је затворена па се зупчаници излазног пара уграђују из брзоходне коморе, преко спуштеног средњег

зида, што додатно компликује монтажу, мада овим захватом кућиште постаје нешто чвршће и круће. Да би превазишли проблем крутости кућишта, поједини произвођачи отварају спороходну комору из брзоходне, преко демонтажног средњег зида (сл. 6.14-4) [19].

Многи произвођачи сматрају да је израда дводелног кућишта компликована, скупа (због више делова које треба обрађивати) и да је тешко обезбедити саосност ослонаца лежајева, као и херметичност. Због тога се не израђују дводелна кућишта већ се проблем уградње великих зупчаника настоји решити једноделним кућиштем на којем неки произвођачи постављају поклопац само на спороходној комори (сл. 6.15-1,2), а други на обе коморе (сл. 6.15-3), при чему већина њих отвара кућиште са горње старне (због једноставније контроле и мање могућности цурења уља), мада има произвођача који га отварају са доње стране.

6.2.12. Смањење трошкова одржавања

Смањење трошкова одржавања је битан правац даљег развоја редуктора. Ниске трошкове одржавања омогућује коришћење квалитетнијих материјала, пре свега за израду зупчаника, вратила и лежајева, коришћење квалитетније обраде, употреба квалитетнијих (синтетичких) уља, уз квалитетан надзор у току рада, као и конструисање редуктора на такав начин да обезбеђује лако растављање и састављање редуктора.

6.2.13. Смањење могућности загађења животне средине

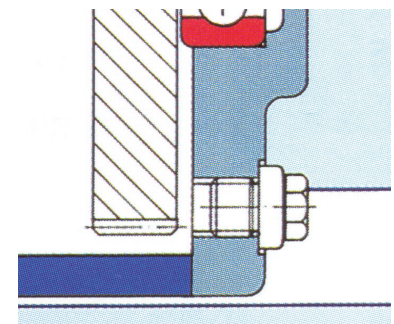
Зупчasti редуктори представљају потенцијалне загађиваче животне средине, пре свега, због могућности цурења уља из кућишта, због релативно високог шума којег стварају и њиховог загревања. Цурење уља се спречава квалитетним материјалима од којих се кућиште израђује и уградњом квалитетних заптивача. Шум и вибрације настоје се смањити: смањењем броја зупчастих парова, повећањем угла нагиба бока зупца, буричастим брушењем, смањењем броја лежајева, корекцијом профила еволвенте, тачнијом и квалитетнијом израдом, крућом конструкцијом кућишта и поклопаца, квалитетнијим решењем начина подмазивања, једноставнијим обликом тела зупчаника, итд.

Због прилично великог степена искоришћења губици у зупчастим редукторима релативно су мали па они не узрокују неко веће топлотно оптерећење. Наравно, при већим снагама то није случај па се и том параметру мора посветити велика пажња.

Да би се обезбедио правилан и дуготрајан рад редуктора потребно је остварити квалитетно подмазивање свих места додира спрегнутих зупчаника и свих лежајева. Избор уља врши се у зависности од оптерећења, обимне брзине зупчаника и радне температуре. Данас се за зупчaste редукторе обично користе минерална уља, а код одговорнијих погона синтетичка (таб. 6.6).

Прва замена уља обично се врши након 120-150 сати рада, а након тога, на сваких 2000 сати рада, односно једном годишње [6].


Уливање, контрола нивоа и испуштање уља врши се посредством одговарајућих отвора који се затварају завртњима. Испуштање уља врши се посредством отвора који је постављен у најнижој тачки редуктора, на његовим бочним зидовима (сл. 6.16). Испод глава ових завртњева постављају се пластични или гумени заптивачи којима се врши заптивање. Испод овог отвора потребно је предвидети простор за постављање посуде за прихватање истрошеног уља. Искоришћено уље које се избацује из редуктора потребно је рециклирати уколико је то могуће, а ако не, потребно га је одложити на неко безбедно место како не би дошло до загађења животне средине.




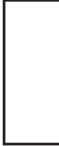
Сл. 6.16.

Завртњи за испуштање уља из редуктора [28]

Табела 6.6. Мазива за универзалне зупчесте редукторе коју препоручује компанија SEW [14]

R... 	K...(HK...) 	F... 	°C -50 0 +50 +100 	DIN (ISO) 	ISO, NLGI	Mobil®	Shell	KUBBER KUBBER	ARAL	bp	Tribol	TELSCO	Optimal	FUCHS	TOTAL
			Standard -10 +40		VG 220	Mobilgear 630	Shell Omala 220	Klüberoil GEM 1-220 N	Aral Degol BG 220	BP Energol GR-XP 220	Tribol 1100/220	Meropa 220	Optigear BM 220	Renolin CLP 220	Carter EP 220
			+80	CLP PG	VG 220	Mobil Glygoyle 30	Shell Tivela S 220	Klübersynth GH 6-220	Aral Degol GS 220	BP Enersyn SG-XP 220	Tribol 800/220	Synlube CLP 220	Optiflex A 220		Carter SY 220
			+80	CLP HC	VG 220	Mobil SHC 630	Shell Omala HD 220	Klübersynth GEM 4-220 N	Aral Degol PAS 220		Tribol 1510/220	Pinnacle EP 220	Optigear Synthetic A 220	Renolin Unisyn CLP 220	
			-40		VG 150	Mobil SHC 629	Shell Omala HD 150	Klüberoil GEM 4-150 N				Pinnacle EP 150			Carter SH 150
			+25	CLP(CC)	VG 150 VG 100	Mobilgear 627	Shell Omala 100	Klüberoil GEM 1-150 N	Aral Degol BG 100	BP Energol GR-XP 100	Tribol 1100/100	Meropa 150	Optigear BM 100	Renolin CLP 150	Carter EP 100
			+10	HLP(HM)	VG 68-46 VG 32	Mobil D.T.E. 13M	Shell Tellus T 32	Klüberoil GEM 1-68 N	Aral Degol BG 46		Tribol 1100/68	Rando EP Ashless 46	Optigear 32	Renolin B 46 HVI	Equivis ZS 46
			+10	CLP(HC)	VG 32	Mobil SHC 624		Klüber-Summit HySyn FG-32				Cetus PAO 46			Dacnis SH 32
			-40	HLP(HM)	VG 22 VG 15	Mobil D.T.E. 11M	Shell Tellus T 15	Isoflex MT 30 ROT		BP Energol HLP-HM 15		Rando HDZ 15			Equivis ZS 15

 - синтетичко уље

 - минерално уље

6.2.14. Прилагођавање редуктора за једноставан надзор, сервис, одржавање и ремонт

Да би се обезбедило правилно праћење понашања редуктора током његове експлоатације (мониторинг), мора се дефинисати: ко, кад, где, чиме, како и колико често испитује одређене параметре, колико износе нормалне вредности испитиваних параметара, колико износе граничне вредности, колико критичне и шта се предузима када се достигну те критичне вредности.

Ту се првенствено мисли на праћење појаве цурења уља, стање кућишта, завртњева, спојница, као и на температуру, ниво вибрација и буке. При уградњи редуктора мора се водити рачуна да се обезбеди приступачност редуктору како би се контрола могла квалитетно извршити. У случају прекомерног загревања, цурења уља или појаве вибрација и буке одмах треба прекинути експлоатацију и извршити дефектажу тј. установити узроке загревања, цурења или повећаних вибрација и извршити замену оштећених компонената.

Законска обавеза сваког произвођача је да у гарантном року (од две године) обезбеди бесплатан сервис својих редуктора. Под сервисом се подразумева контрола рада, замена мазива и евентуално оштећених компонената. Уколико је до оштећења дошло услед грешке у изради или грешке у материјалу, врши се бесплатна замена, а у противном замена се наплаћује. Начин сервиса мора бити детаљно описан од стране произвођача, као и поступак рада у случају појаве отказа, како би се сервисери благовремено обучили за обављање квалитетног сервиса. Произвођачи редуктора имају увек доступне високообучене кадрове који су непрестано на услузи. Сервис представља битан фактор при одлучивању за куповину редуктора. Тешко је веровати да ће се купац одредити за куповину редуктора ако нема обезбеђен добар сервис. У многим случајевима брз и добар сервис имају већи значај за продају производа него његова цена. Добро организована сервисна служба и благовремено реаговање на рекламације купаца представљају највећу подршку продаји [58].

Одржавање редуктора врши служба одржавања по упутству које даје произвођач редуктора, а у којем се наводи период након којег се врши замена уља, осовинских заптивача, лежајева и зупчаника, као и начин уочавања оштећења. Произвођачи редуктора, по правилу, организују обуку корисника и на тај начин кориснике упознају са правилним одржавањем редуктора. Организовање бесплатних курсева за купце повољно утиче на пласман редуктора. Одржавање универзалних зупчастих редуктора своди се на уклањање наталожених нечистоћа (углавном прашине) са површине кућишта, како би се обезбедило несметано одвођење топлоте и тиме спречило прекомерно загревање редуктора. Основне активности које се врше током одржавања редуктора су редовна контрола и замена уља, које се врше преко посебних отвора за уливање, контролу нивоа и испуштање уља, због чега је потребно одржавати ове отворе (навој) у чистом и исправном стању.

Ремонт редуктора врши се обично у ремонтним радионицама произвођача, или овлашћених сервисера. Произвођач редуктора обавезан је да овлашћеним сервисерима да упутство за ремонт у којем се наводи тачан поступак ремонта, вредности које треба да имају карактеристичне коте на појединим елементима након ремонта, начин замене елемената или њихове дораде, као и карактеристичне вредности појединих величина након ремонта, пре свега, радна температура, ниво вибрација и ниво шума. При ремонту се, по правилу, врши замена свих заптивки и лежајева, а у великом броју случајева и свих зупчаника. У случају замене зупчаника они се обавезно замењују у пару. Одлука о томе доноси се након опсежне дефектаже елемената [59].

6.2.15. Прилагођавање за једноставно рециклирање

За израду редуктора користе се веома квалитетни и скупи материјали и мазива. Њихова рециклажа мора се обезбедити не само због заштите животне средине, већ и због општег

недостатка тако квалитетних материјала. Потребно је водити рачуна о могућности једноставног растављања редуктора након његове потпуне „истрошености”, како би се све компоненте могле претопити, у циљу израде неких других сличних производа. Само кућиште редуктора и поклопци су од сивог лива, док се код мањих величина израђују и од легура алуминијума, а сви ти материјали су врло захвални за рециклирање. Све остале компоненте (зупчаници и лежајеви) су од висококвалитетног легираног челика, а излазно (код безмоторних редуктора и улазно) вратило од висококвалитетног угљеничног челика, па је потребно све компоненте раздвојити и посебно рециклирати. Такође, код рециклаже мора се посебно водити рачуна о рециклажи истрошеног уља, јер се оно релативно често мења, па се њиме могу, посебно код великих редуктора, направити велике уштеде, а нарочито због тога што неправилним руковањем оно може веома да загађује човекову околину. Произвођачи универзалних редуктора свим тим факторима посвећују велику пажњу и својим приручницима дају купцима детаљно упутство за поступање са истрошеним уљем.

7. ПРЕДЛОГ СОПСТВЕНОГ РЕШЕЊА УНИВЕРЗАЛНОГ ЗУПЧАСТОГ РЕДУКТОРА НАМЕЊЕНОГ МАЛИМ ПРОИЗВОЂАЧИМА

На основу спроведених анализа и изведених закључака о карактеристикама редуктора произилази да би концепцијско решење универзалног зупчастог редуктора, намењеног мањим произвођачима, морало да се заснива на примени стандардног IEC мотора. Неоспорно је да специјални редукторски мотори имају многоструке предности, али је код мањих произвођача (који не поседују сопствену фабрику мотора) рационалније да користе стандардне IEC моторе. На тај начин би се избегло складиштење великог броја мотора различитих облика, што веома оптерећује производњу, чиме би се рационализовала производња.

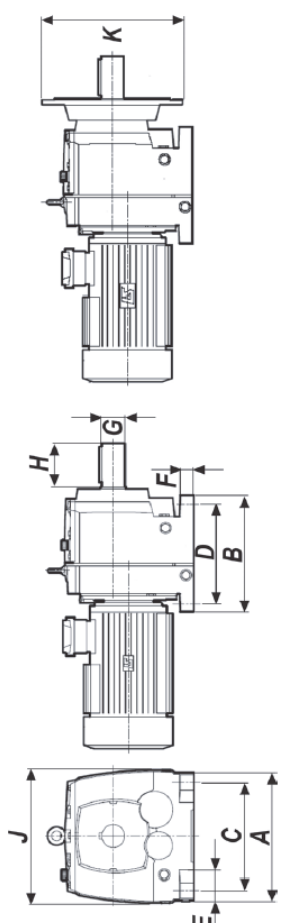
У овом случају предлог мера, које би требало спровести, приказан је на примеру универзалног зупчастог редуктора осне висине 115 mm. Ова величина узета је у разматрање јер је то, на основу извршених анализа (таб. 4.2), најфреквентнија величина редуктора, а мањи произвођачи редуктора би требало да производе редукторе само најтраженијих осних висина.

7.1. Приградне димензије конкурентских решења редуктора осне висине 115 mm

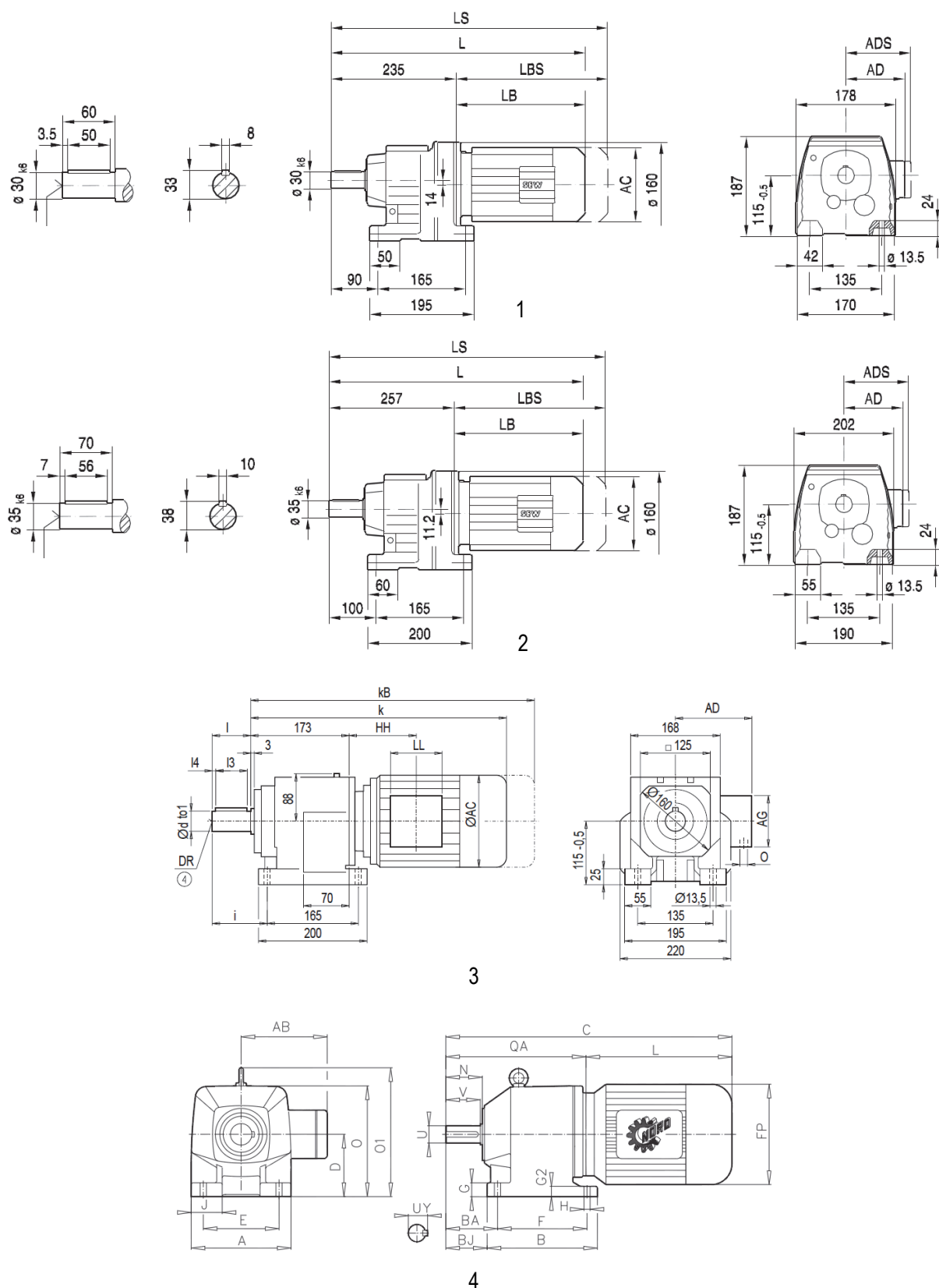
Као што ни осне величине зупчастих редуктора нису стандардизоване, тако ни приградне димензије редуктора не подлежу никаквим прописима. Ипак, да би се остварила нека међусобна заменљивост редуктора, мањи произвођачи производе редукторе са приградним димензијама које имају и водећи произвођачи редуктора. Само највећи произвођачи редуктора могу слободно да дефинишу димензије својих редуктора, јер они имају највеће тржиште и диктирају величине осталим, мањим, произвођачима који морају да их прате уколико желе да обезбеде заменљивост са тим редукторима. У таб. 7.1 и на сл. 7.1 дате су приградне димензије стопала редуктора и излазног вратила, за осну висину редуктора од 115 mm.

На основу датог прегледа може се закључити да су редуктори свих произвођача међусобно заменљиви (завртњеви су постављени на 165 x135 mm), осим произвођача Bonfiglioli и Leroy Somer.

Табела 7.1. Упоредни преглед габаритних димензија, приградних димензија стопала редуктора, излазног вратила и прирубнице, за осну висину редуктора 115 mm

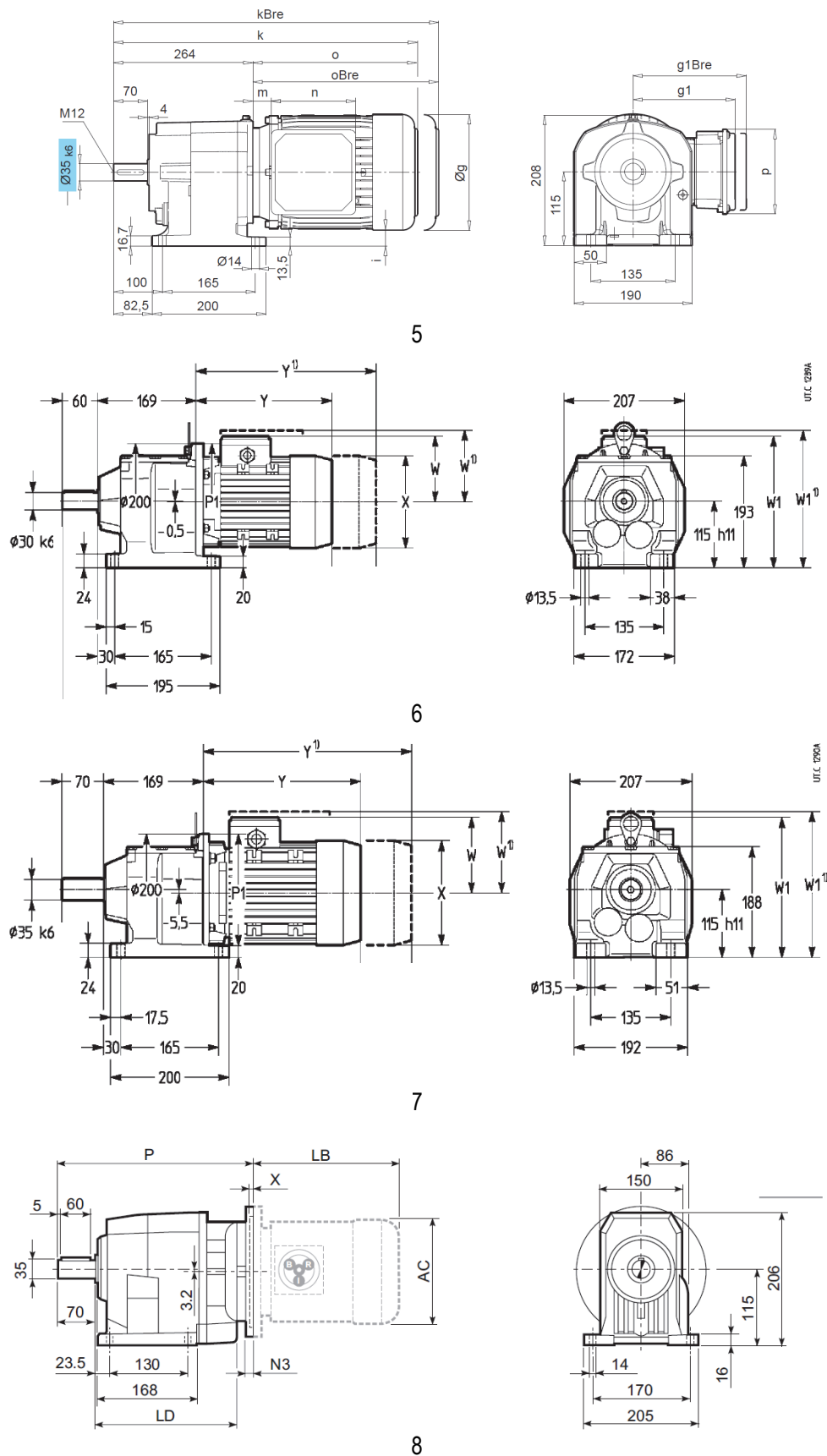


Редуктор	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K		
										мала	средња	велика
SEW, R47	170	195	135	165	42	24	30	60	178	109	140, 160	200
SEW, R57	190	200	135	165	55	24	35	70	202	120	160, 200	250
Siemens-Flender, D/Z 48	195	200	135	165	55	25	30	60	220	110	200, 250	300
Nord NORDBLOC, SK 472, SK 473	190	200	135	165	60	25	32	60	190	-	160, 200, 250	300
Nord NORDBLOC, SK 572, SK 573	190	200	135	165	60	25	35	70	190	-	160, 200, 250	300
Nord NORDBLOC.1, SK 572.1, SK 573.1	190	200	135	165	50	16,7	35	70	190	-	140, 160, 200	250
Rossi ES07, MR 2I 4, MR 3I 4	172	195	135	165	38	24	30	60	207	-	-	-
Rossi ES07, MR 2I 5, MR 3I 5	192	200	135	165	51	24	35	70	207	-	-	-
Bonfiglioli, C 35 2/3	205	168	170	130	-	16	35	70	161	-	200	250
Leroy Somer, Cb 3233	208	216	135	192	65	21	30	60	222	82	160, 200	250



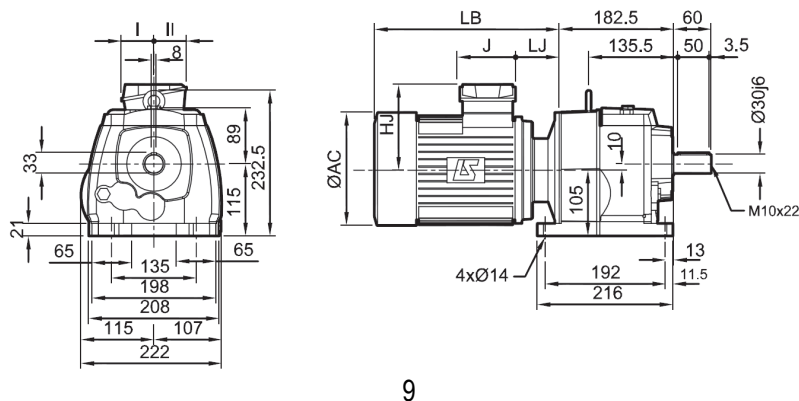
Сл. 7.1.

Приградне димензије стопала редуктора и излазног вратила, за осну висину редуктора од 115 mm: 1 – SEW, R47; 2 - SEW, R57; 3 – Siemens-Flender, D/Z 48; 4 - Nord NORDBLOC, SK 472, SK 473, SK 572, SK 573



Сл. 7.1. (наставак)

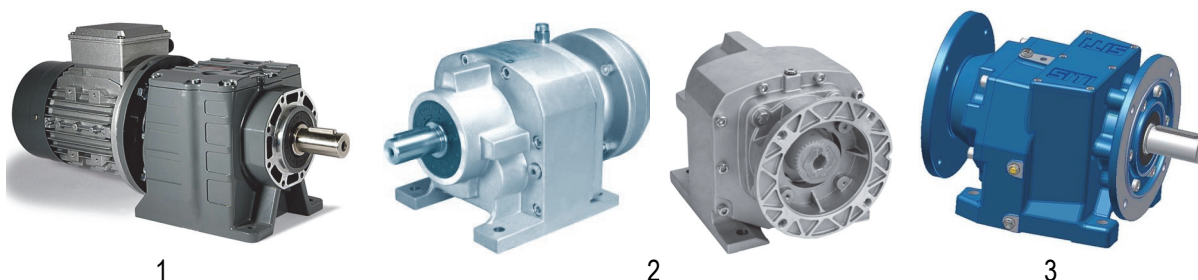
Приградне димензије стопала редуктора и излазног вратила, за осну висину редуктора од 115 mm: 5 – Nord NORDBLOC, SK 572.1, SK 573.1; 6 – Rossi ES07, MR 2I 4, MR 3I 4; 7 – Rossi ES07, MR 2I 5, MR 3I 5; 8 - Bonfiglioli, C 35 2/3

**Сл. 7.1.** (наставка)

Приградне димензије стопала редуктора и излазног вратила, за осну висину редуктора од 115 mm: 9 – Leroy Somer, Cb 3233

7.2. Димензије адаптера за IEC моторе намењених за редукторе осне висине 115 mm

Адаптери за IEC моторе служе као веза између редуктора и стандардног IEC мотора (сл. 7.2) који по правилу има другачији пречник прирубнице. Адаптер прихвата и релативно велике силе које се јављају на зупчанику, а које стандардни електромотори, по правилу, не могу да прихвате.

**Сл. 7.2.**

Облици IEC адаптера: 1 – редуктор произвођача Varvel; 2 – редуктор произвођача Nord-Nordbloc; 3 – редуктор произвођача Siti

Велики произвођачи редуктора, који имају сопствену производњу редукторских мотора, производе и адаптере за стандардн IEC моторе, када купци то захтевају (нпр. Nord). Има и таквих произвођача који користе само специјалне моторе и не производе адаптере за IEC моторе (нпр. Lenze).

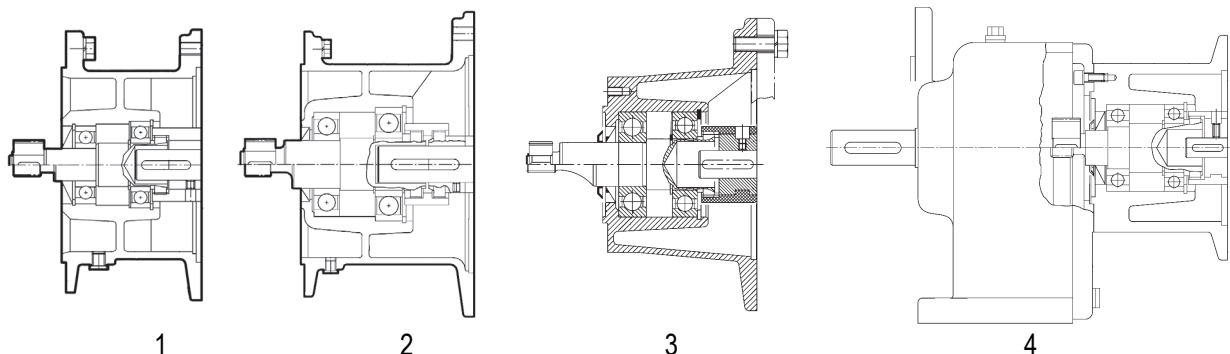
Мањи и неки средњи произвођачи најчешће су принуђени да користе стандардне IEC моторе [60], мада то није и правило, углавном због цене и краћих рокова испоруке, а све предности специјалних мотора настоје надокнадити погодним начином везивања мотора са редуктором. С обзиром на то да је доста тешко надокнадити све предности специјалних мотора у пракси се срећу веома различита конструкциона решења везе редуктора са стандардним IEC моторима који се директно, или посредством адаптера за IEC моторе, везују за кућиште редуктора. Због тога се за редукторе намењене за мале произвођаче препоручује коришћење само адаптера за IEC моторе.

Примена стандардних IEC електромотора, који се директно, без адаптера за IEC моторе, везују за кућиште, захтева посебну међуплочу и (обично) посебан прстен и осовински заптивач за обезбеђење херметичности (решење компаније Rossi, сл. 3.48). Примена таквог решења

најчешће не омогућава постизање великих преносних односа на првом пару (без повећања међуосног растојања првог пара, мада је то ограничено осном висином, тј. пречником гоњеног зупчаника), па се практикује да се на слободан крај вратила мотора постави чаура, у коју се утискују релативно мали зупчаници, што омогућава велике преносне односе. Међутим, пошто су тада први зупчаници на великом препусту, тиме се знатно смањује њихова оптеретивост (због већих угиба вратила, ограничене чврстоће вратила и ограничене носивости лежајева стандардног мотора), па се практиковало да се, код појединих величина електромотора, скраћују вратила мотора (некада компанија Högз [6]), али се тада више не може говорити о стандардним IEC моторима. Скраћивање вратила се, понекад, врши и због недостатка простора за уградњу великих мотора. Такође, у случају директног везивања првог зупчаника и вратила стандардног мотора, број првих парова зупчаника нешто је смањен, јер се код директне везе зупчаника и краја вратила мотора, на крајеве вратила већих мотора не могу поставити мали зупчаници.

Постоје различита конструкциона решења адаптера за IEC моторе. Они се разликују према димензијама, према начину улежиштења вратила адаптера, начину повезивања вратила мотора са вратилом адаптера, броју делова које чини адаптер, броју различитих величина адаптера који се прикључују на редукторе исте осне висине и сл. Оно што је заједничко за све адаптере је да имају исте прикључне димензије прирубнице за стандардне IEC моторе (тзв. прирубнице B5).

Компанија Nord производи IEC адаптере за све своје три фамилије редуктора (Unicase, Nordbloc и Standard, сл. 7.3). У зависности од величине електромотора, та компанија користи различите спојнице. За величине мотора до 112 користи адаптере са крутим спојницама (сл. 7.3-1,3,4), а за моторе 132 и веће користи адаптере са еластичним спојницама (сл. 7.3-2) [12].



Сл. 7.3.

IEC адаптери произвођача Nord: 1 – редуктор Unicase (величине 63 - 112); 2 – редуктор Unicase (величине 132 - 180); 3 – редуктор Nordbloc (величине 63 - 112); 4 – редуктор Standard

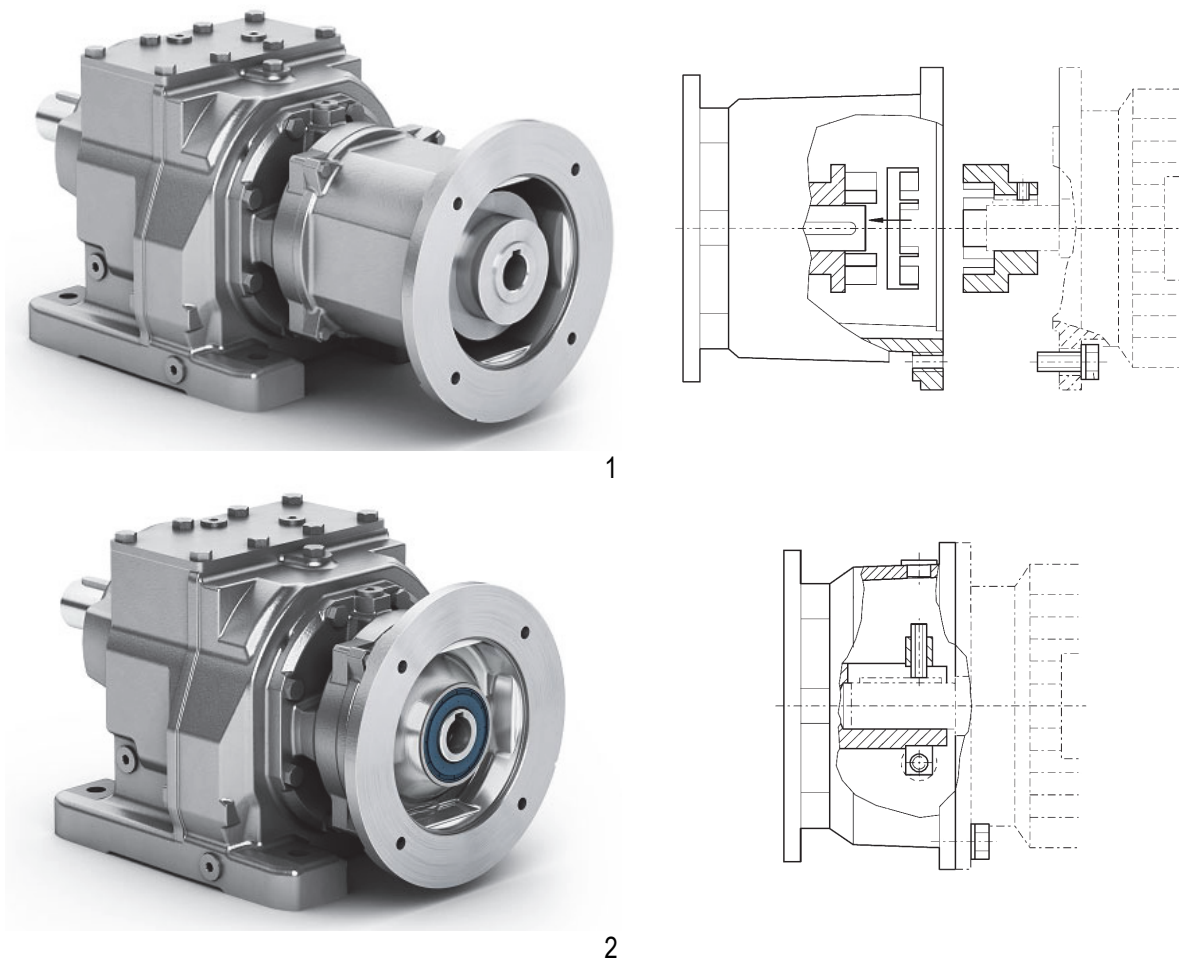
Компанија Siemens-Flender за све величине мотора производи широке и уске адаптере, тј. адаптере са еластичном спојницом (сл. 7.4-1) и са крутом спојницом (сл. 7.4-2).

Погонски зупчаник може бити постављен на вратило адаптера (сл. 7.3), али се на тај начин не могу добити велики преносни односи. Већи преносни односи добијају се када се вратило адаптера израђује као зупчasto (сл. 7.3), или се погонски зупчаник утискује у вратило адаптера (сл. 7.5).

Ослањање вратила у адаптеру најчешће се врши помоћу два лежаја, и то углавном куглична (сл. 7.3), док се за веће димензије адаптера користе куглични и ваљчasti лежај. Компанија Leroy Somer код редуктора Cb 1502-1503-1504 чак користи куглични и игличasti лежај (сл. 7.5-2).

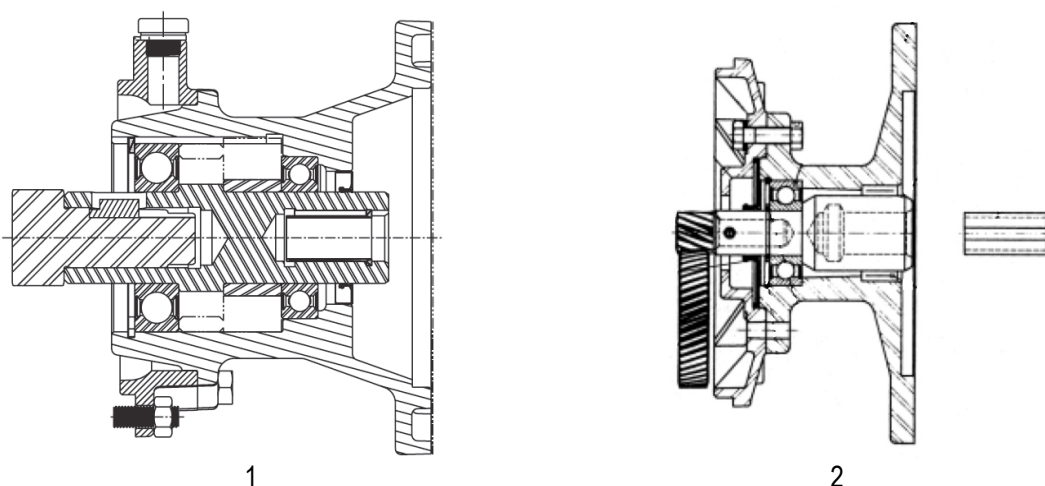
Адаптери се могу израђивати као једноделни (Nord, сл. 7.3) и тада један адаптер одговара једној величини редуктора, али и једној величини електромотора, тако да се у овој варијанти за сваку величину мотора израђује адаптер за исто кућиште, што условљава велике трошкове и велики

број делова на складишту. Повољнија варијанта је када се адаптер израђује као дводелни, где се један део израђује са димензијама прирубнице мотора, а други део, који се поставља на кућиште редуктора, је са димензијама поклопца редуктора (сл. 7.4, 7.5 и 7.6).



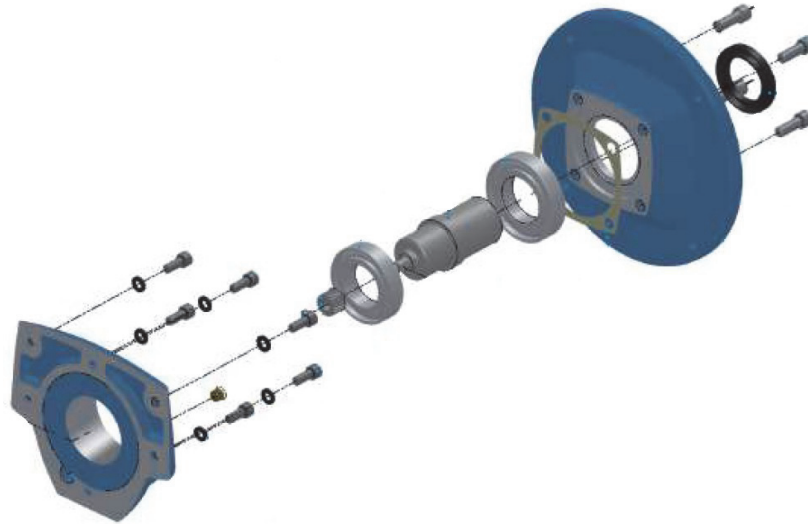
Сл. 7.4.

IEC адаптери произвођача Siemens-Flender: 1 – широки IEC адаптер (K2) са еластичном спојницом; 2 – уски IEC адаптер (K4) са крутом спојницом



Сл. 7.5.

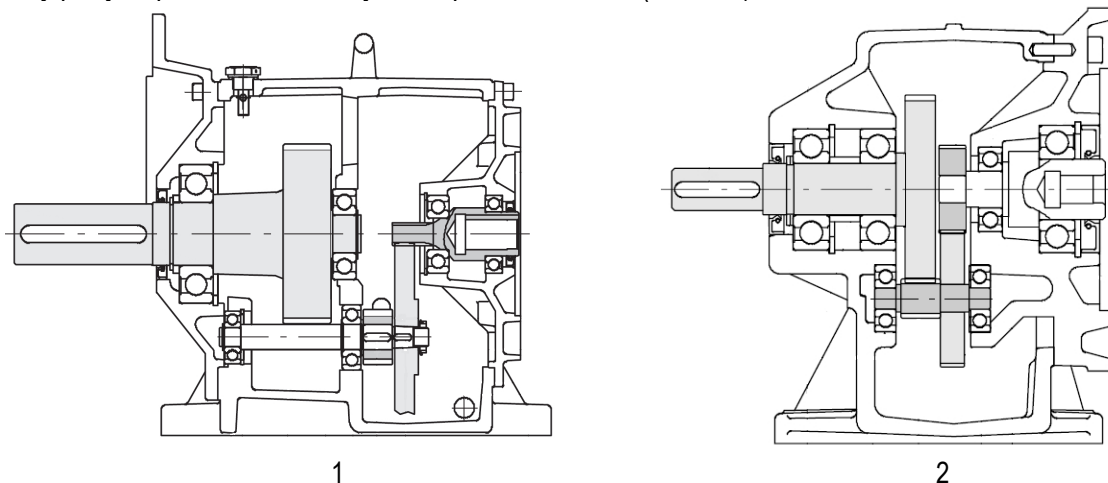
IEC адаптери са упресованим погонским зупчаником: 1 – произвођач Boston Gears; 2 – произвођач Leroy Somer (редуктори Cb 1502-1503-1504)

**Сл. 7.6.**

Дводелни IEC адаптер (решење компаније Robus) [47]

Посебно интересантно решење адаптера за IEC моторе има компанија Pujol (сл. 7.7) код кога задњи поклопац, односно међуплоча, истовремено представља и адаптер. Поклопац садржи два лежаја у које је улежиштено вратило адаптера које са улазне стране има рупу за повезивање са вратилом мотора. Поклопац редуктора серије I произвођача Pujol има аксијални начин монтаже зупчаника и садржи још и лежај за треће зупчасто вратило (сл. 7.7-2).

Као коначно решење препоручује се неко средње решење компаније Pujol, где би се користио адаптер за IEC мотор са ослонцем за лежај (као код редуктора Pujol I), али се он не би монтирао на дводелно кућиште (као код редуктора Pujol I), већ на универзално кућиште за двостепени и тростепени редуктор (као код редуктора Pujol S, сл. 7.7-1), с тим што би облик кућишта одговарао кућишту редуктора Lenze са одвојивим средњим зидом (сл. 3.58).

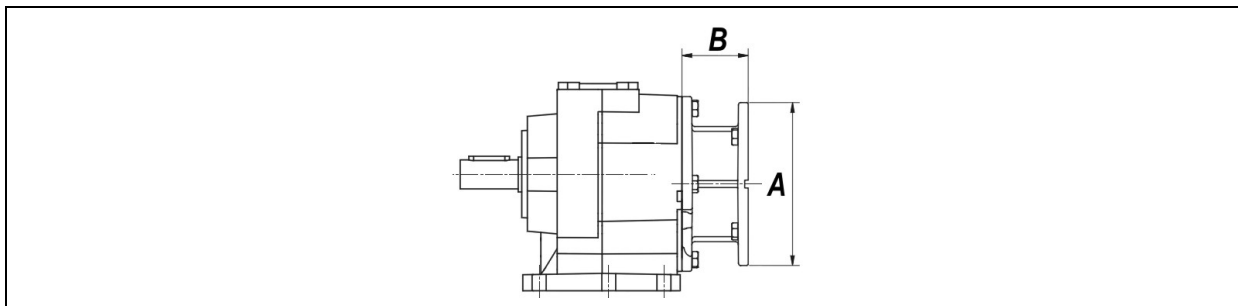
**Сл. 7.7.**

Изглед поклопаца - адаптера за IEC мотор код редуктора произвођача Pujol:
1 - редуктор серије S, 2 - редуктор серије I [36]

Карактеристичне димензије адаптера анализираних произвођача зупчастих редуктора, за осну висину $h = 115$ mm, приказани су у табели 7.2. Види се да су ширине адаптера различите за различите величине мотора, али да су сви пречници прирубница израђени у складу са стандардним пречницима прирубница IEC мотора. Такође, без обзира на осну висину редуктора од само 115 mm, види се да произвођачи редуктора производе и прирубнице адаптера већих

пречника (250 и 300 mm) који премашују раван подлоге за које је редуктор са стопалима причвршћен. Такође, према табели 7.2 види се да је ширина адаптера различита код сваког произвођача, а исто тако да зависи и од величине мотора.

Табела 7.2. Упоредни преглед димензија адаптера за стандардне IEC моторе, за осну висину редуктора од 115 mm



SEW, R47; SEW, R57

Величина IEC мотора	Двостепени, тростепени	Пречник прирубнице адаптера, A, mm	Ширина адаптера, B, mm
63	2x, 3x	140	66
71	2x, 3x	160	66
80, 90	2x, 3x	200	99
100	2x, 3x	250	134
112	2x	250	134
132	2x	300	191

Siemens-Flender, Z/D 48 – K2

Величина IEC мотора	Двостепени, тростепени	Пречник прирубнице адаптера, A, mm	Ширина адаптера, B, mm
80, 90	2x, 3x	200	195,5 (212,5)
100	2x, 3x	250	218 (235)
112	2x	250	217
132	2x	300	280

Siemens-Flender, Z/D 48 – K4

Величина IEC мотора	Двостепени, тростепени	Пречник прирубнице адаптера, A, mm	Ширина адаптера, B, mm
63	2x, 3x	140	68 (85)
71	2x, 3x	160	64,5 (81,5)
80, 90	2x, 3x	200	88,5 (105,5)
100	2x, 3x	250	96 (113)
112	2x	250	104,5
132	2x	300	147,5

Nord NORDBLOC.1, SK 572.1, SK 573.1

Величина IEC мотора	Двостепени, тростепени	Пречник прирубнице адаптера, A, mm	Ширина адаптера, B, mm
63	2x, 3x	140	72,5
71	2x, 3x	160	72,5
80	2x, 3x	200	72,5
90	2x, 3x	200	85,5
100, 112	2x, 3x	250	82

Табела 7.2. Упоредни преглед димензија адаптера за стандардне IEC моторе, за осну висину редуктора од 115 mm (наставак)**Bonfiglioli, C 35 2/3**

Величина IEC мотора	Двостепени, тростепени	Пречник прирубнице адаптера, A, mm	Ширина адаптера, B, mm
63	2x, 3x	140	86
71	2x, 3x	160	86
80, 90	2x, 3x	200	105
100, 112	2x, 3x	250	115

Leroy Somer, Cb 3233

Величина IEC мотора	Двостепени, тростепени	Пречник прирубнице адаптера, A, mm	Ширина адаптера, B, mm
71	2x, 3x	160	122
80, 90	2x, 3x	200	130
100, 112	2x, 3x	250	144

7.3. Препоруке за избор преносних односа

На број потребних зупчаника, у оквиру универзалног зупчастог редуктора највећи утицај има жељена (потребна) вредност највећег преносног односа, жељена учесталост („густина“) преносних односа (углавном по реду R20), а затим, и конструкционо решење редуктора. Наиме, у оквиру исте осне висине кућишта, број зупчастих парова веома зависи од расположивог простора за смештај зупчаника, тако да се данас користе све шира кућишта (већа осна растојања), мада им прикључне димензије остају исте. Такође, на број потребних зупчастих парова велики утицај има и начин постављања првог зупчаника на вратило електромотора, као и расположива технологија.

Применом адаптера за IEC мотор може да се користи насадно улазно вратило (сл. 7.4, 7.5 и 7.7), које се поставља на вратило мотора, тако да величина улазног зупчаника не зависи од пречника вратила мотора, па се тако постижу већи преносни односи на улазном пару. Због тога се преносни односи двостепеног редуктора постижу комбинацијом више првих зупчастих парова и обично само два (скупља) друга (тзв. трећа) пара. Код тростепених редуктора исти је случај, с тим што се убацује, обично, још један или два друга пара. При томе обично постоје два сета излазних зупчастих парова. Један стандардни који обезбеђује веће носивости, и други слабији за мање носивости, али обезбеђује веће преносне односе.

Да би смањили број зупчаника и електромотора, које је потребно у већем броју држати на складишту, поједини произвођачи посебно означавају приоритетне преносне односе, које могу одмах да понуде (обично их у каталозима редуктора означавају маснијим словима), док за остале преносне односе (бројеве обртаја) нуде нешто дуже рокове испоруке. Овакав захват би могао бити решење за све мање произвођаче редуктора.

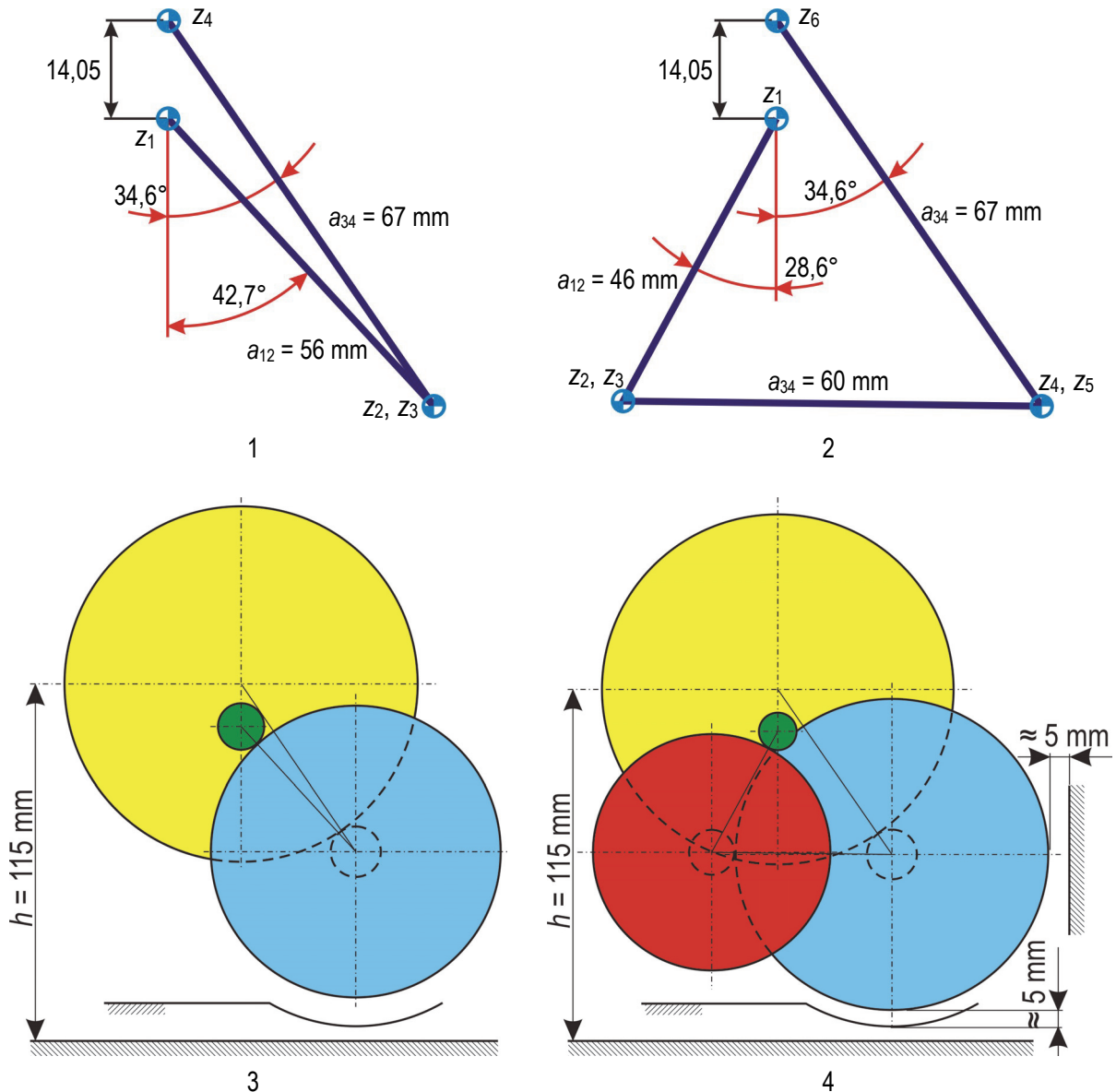
Предложени бројеви зубаца, преносни односи, положаји зупчаника и аксијална растојања између њих дати су у таб. 7.3 за осну висину 115 mm. Препоручују се осам првих зупчастих парова, два друга и два трећа зупчаста пара, у два сета зупчаника, са већом и мањом носивошћу.

Таб. 7.3. Избор зупчастих парова за препоручено решење двостепене и тростепене варијанте зупчастог редуктора осне висине 115 mm

Први пар, двостепена верзија, $a_{1/2} = 56$ mm					
z_1	z_2	$i_{1/2}$	$m_{1/2}, \text{mm}$	$\beta_{1/2}, ^\circ$	b_2, mm
11	70	6,36	1,25	30	10
13	66	5,08	1,25	30	10
16	63	3,94	1,25	30	10
19	60	3,16	1,25	30	10
22	55	2,50	1,25	30	10
26	53	2,04	1,25	30	10
30	48	1,60	1,25	30	10
35	44	1,26	1,25	30	10
Први пар, тростепена верзија, $a_{1/2} = 46$ mm					
z_1	z_2	$i_{1/2}$	$m_{1/2}, \text{mm}$	$\beta_{1/2}, ^\circ$	b_2, mm
11	70	6,36	1	30	10
13	66	5,08	1	30	10
16	63	3,94	1	30	10
19	60	3,16	1	30	10
22	55	2,50	1	30	10
26	53	2,04	1	30	10
30	48	1,60	1	30	10
35	44	1,26	1	30	10
Други пар, $a_{3/4} = 60$ mm (само у тростепеној верзији)					
z_3	z_4	$i_{3/4}$	$m_{3/4}, \text{mm}$	$\beta_{3/4}, ^\circ$	b_4, mm
11	78	7,09	1,25	20	10
19	68	3,58	1,25	20	10
Трећи пар, основна верзија ($T_N = 450$ Nm), $a_{5/6} = 67$ mm					
z_5	z_6	$i_{5/6}$	$m_{5/6}, \text{mm}$	$\beta_{5/6}, ^\circ$	b_6, mm
10	56	5,6	2	15	32
11	54	4,91	2	15	32
Трећи пар, слабија верзија ($T_N = 300$ Nm), $a_{5/6} = 67$ mm					
z_5	z_6	$i_{5/6}$	$m_{5/6}, \text{mm}$	$\beta_{5/6}, ^\circ$	b_6, mm
10	71	7,1	1,5	15	32
11	69	6,27	1,5	15	32

Распоред оса вратила и зупчаника, за двостепену и тростепену варијанту предложеног решења редуктора, приказан је на слици 7.8. Излазно вратило је на стандардној осној висини 115 mm, што је, укључујући излазне параметре, основна карактеристика овог редуктора. Усвојена осна растојања резултат су избора највећих преносних односа и расположивог простора, која обезбеђују најбоље спрезање зупчаника, са усвојеним најмањим бројевима зубаца који обезбеђују преносне односе из реда R20. Углови, под којима су постављени зупчаници, такође су резултат најбољег искоришћења простора кућишта. Гледајући највећи пречник зупчаника z_4 , пето

зупчasto вратило постављено је тако да од зупчаника до зида кућишта постоји минимално растојање (обично око 5 mm). Осе улазног и излазног зупчаника се не поклапају, већ је улазно вратило спуштено у односу на излазно, у овом случају, за 14,05 mm, што омогућава постизање већих преносних односа.



Сл. 7.8.

Распоред оса зупчаника код двостепене (1) и тростепене (2) варијанте препорученог решења и положај зупчаника код двостепене (3) и тростепене (4) варијанте предложеног решења зупчастог редуктора осне висине 115 mm

Начин комбиновања зупчastих парова и остварени преносни односи приказани су у табели 7.4 и сл. 7.9-1 за основну варијанту двостепеног редуктора са номиналним обртним моментом 450 Nm. У табели 7.5 и сл. 7.9-2 приказани су зупчasti парови и остварени преносни односи за слабију варијанту двостепеног редуктора са већим преносним односом и номиналним обртним моментом 300 Nm. Може се закључити да се датом комбинацијом зупчastих парова врло добро постижу преносни односи по стандардном реду R20, што значи да је постојећи сет зупчаника правилно дефинисан. Наиме, дозвољава се одступање преносних односа (бројева обртаја) од $\pm 5\%$, што је у овом случају обезбеђено.

Таб. 7.4. Зупчasti парови и преносни односи препорученог решења двостепене варијанте зупчastог редуктора осне висине 115 mm (основна варијанта, $T_N = 450 \text{ Nm}$)

Р. бр.	z_1	z_2	z_5	z_6	$m_{n1/2}$, mm	$m_{n5/6}$, mm	$i_{1/2}$	$i_{5/6}$	i	i_{st}
1.	11	70	10	56	1,25	2	6,36	5,60	35,63	35,5
2.	11	70	11	54	1,25	2	6,36	4,91	31,24	31,5
3.	13	66	10	56	1,25	2	5,08	5,60	28,43	28
4.	13	66	11	54	1,25	2	5,08	4,91	24,92	25
5.	16	63	10	56	1,25	2	3,94	5,60	22,05	22,5
6.	16	63	11	54	1,25	2	3,94	4,91	19,33	20
7.	19	60	10	56	1,25	2	3,16	5,60	17,68	18
8.	19	60	11	54	1,25	2	3,16	4,91	15,50	16
9.	22	55	10	56	1,25	2	2,50	5,60	14,00	14
10.	22	55	11	54	1,25	2	2,50	4,91	12,27	12,5
11.	26	53	10	56	1,25	2	2,04	5,60	11,42	11,2
12.	26	53	11	54	1,25	2	2,04	4,91	10,01	10
13.	30	48	10	56	1,25	2	1,60	5,60	8,96	9
14.	30	48	11	54	1,25	2	1,60	4,91	7,85	8
15.	35	44	10	56	1,25	2	1,26	5,60	7,04	7,1
16.	35	44	11	54	1,25	2	1,26	4,91	6,17	6,3

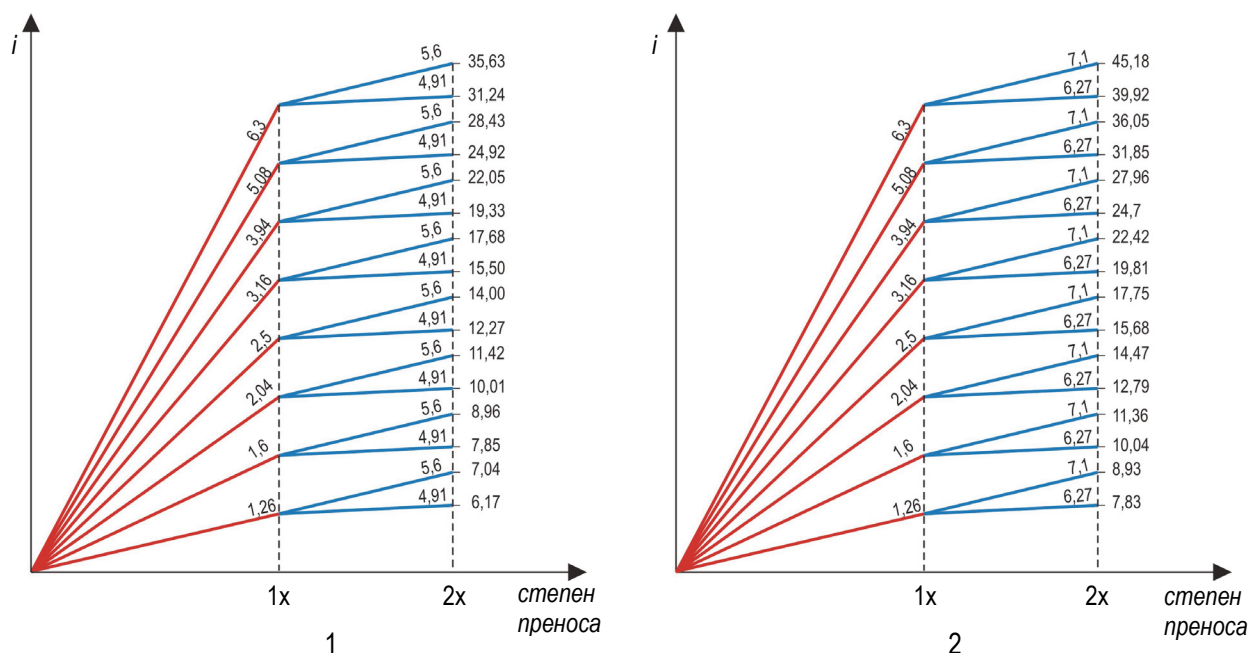
$a_{1/2} = 56 \text{ mm}$, $\beta_{1/2} = 30^\circ$, $a_{5/6} = 67 \text{ mm}$, $\beta_{5/6} = 15^\circ$

Таб. 7.5. Зупчasti парови и преносни односи препорученог решења двостепене варијанте зупчastог редуктора осне висине 115 mm (слабија варијанта, $T_N = 300 \text{ Nm}$)

Р. бр.	z_1	z_2	z_5	z_6	$m_{n1/2}$, mm	$m_{n5/6}$, mm	$i_{1/2}$	$i_{5/6}$	i	i_{st}
1.	11	70	10	71	1,25	1,5	6,36	7,10	45,18	45
2.	11	70	11	69	1,25	1,5	6,36	6,27	39,92	40
3.	13	66	10	71	1,25	1,5	5,08	7,10	36,05	35,5
4.	13	66	11	69	1,25	1,5	5,08	6,27	31,85	31,5
5.	16	63	10	71	1,25	1,5	3,94	7,10	27,96	28
6.	16	63	11	69	1,25	1,5	3,94	6,27	24,70	25
7.	19	60	10	71	1,25	1,5	3,16	7,10	22,42	22,5
8.	19	60	11	69	1,25	1,5	3,16	6,27	19,81	20
9.	22	55	10	71	1,25	1,5	2,50	7,10	17,75	18
10.	22	55	11	69	1,25	1,5	2,50	6,27	15,68	16
11.	26	53	10	71	1,25	1,5	2,04	7,10	14,47	14
12.	26	53	11	69	1,25	1,5	2,04	6,27	12,79	12,5
13.	30	48	10	71	1,25	1,5	1,60	7,10	11,36	11,2
14.	30	48	11	69	1,25	1,5	1,60	6,27	10,04	10
15.	35	44	10	71	1,25	1,5	1,26	7,10	8,93	9
16.	35	44	11	69	1,25	1,5	1,26	6,27	7,89	8

$a_{1/2} = 56 \text{ mm}$, $\beta_{1/2} = 30^\circ$, $a_{5/6} = 67 \text{ mm}$, $\beta_{5/6} = 15^\circ$

Начин комбиновања зупчastих парова и остварени преносни односи за тростепени редуктор приказани су у табели 7.6 и сл. 7.10-1 за основну варијанту са номиналним обртним моментом 450 Nm, и у табели 7.7 и сл. 7.10-2 за слабију варијанту редуктора са већим преносним односом и номиналним обртним моментом 300 Nm. Овде се може се закључити да се дата комбинација зупчastих парова врло добро слаже са вредностима стандардног реда R20, што у потпуности оправдава овакав избор бројева зубаца зупчаника.



Сл. 7.9.

Шематски приказ комбинације зупчастих парова и њихови преносни односи препорученог решења двостепене варијанте зупчастог редуктора осне висине 115 mm: 1 – основна варијанта ($T_N = 450 \text{ Nm}$), 2 – слабија варијанта ($T_N = 300 \text{ Nm}$)

Таб. 7.6. Зупчasti парови и преносни односи препорученог решења тростепене варијанте зупчастог редуктора осне висине 115 mm (основна варијанта, $T_N = 450 \text{ Nm}$)

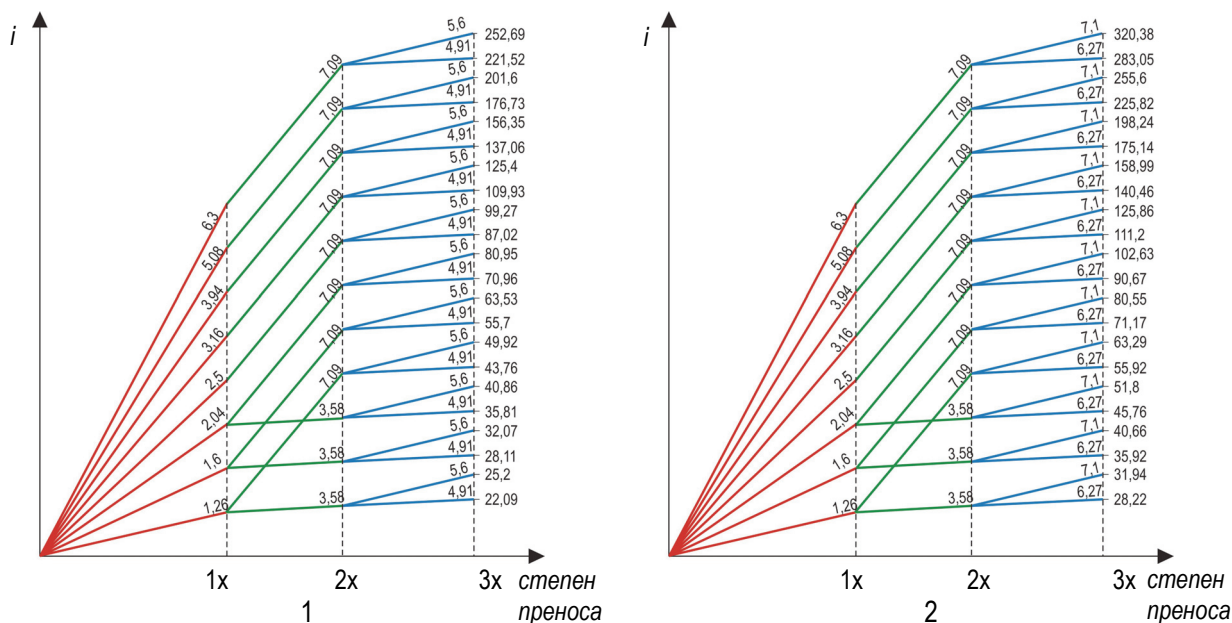
Р. бр.	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	$m_{n1/2}$, mm	$m_{n3/4}$, mm	$m_{n5/6}$, mm	$i_{1/2}$	$i_{3/4}$	$i_{5/6}$	i	i_{st}
1.	11	70	11	78	10	56	1	1,25	2	6,36	7,09	5,60	252,69	250
2.	11	70	11	78	11	54	1	1,25	2	6,36	7,09	4,91	221,52	225
3.	13	66	11	78	10	56	1	1,25	2	5,08	7,09	5,60	201,60	200
4.	13	66	11	78	11	54	1	1,25	2	5,08	7,09	4,91	176,73	180
5.	16	63	11	78	10	56	1	1,25	2	3,94	7,09	5,60	156,35	160
6.	16	63	11	78	11	54	1	1,25	2	3,94	7,09	4,91	137,06	140
7.	19	60	11	78	10	56	1	1,25	2	3,16	7,09	5,60	125,40	125
8.	19	60	11	78	11	54	1	1,25	2	3,16	7,09	4,91	109,93	112
9.	22	55	11	78	10	56	1	1,25	2	2,50	7,09	5,60	99,27	100
10.	22	55	11	78	11	54	1	1,25	2	2,50	7,09	4,91	87,02	90
11.	26	53	11	78	10	56	1	1,25	2	2,04	7,09	5,60	80,95	80
12.	26	53	11	78	11	54	1	1,25	2	2,04	7,09	4,91	70,96	71
13.	30	48	11	78	10	56	1	1,25	2	1,60	7,09	5,60	63,53	63
14.	30	48	11	78	11	54	1	1,25	2	1,60	7,09	4,91	55,70	56
15.	35	44	11	78	10	56	1	1,25	2	1,26	7,09	5,60	49,92	50
16.	35	44	11	78	11	54	1	1,25	2	1,26	7,09	4,91	43,76	45
17.	26	53	19	68	10	56	1	1,25	2	2,04	3,58	5,60	40,86	40
18.	26	53	19	68	11	54	1	1,25	2	2,04	3,58	4,91	35,81	35,5
19.	30	48	19	68	10	56	1	1,25	2	1,60	3,58	5,60	32,07	31,5
20.	30	48	19	68	11	54	1	1,25	2	1,60	3,58	4,91	28,11	28
21.	35	44	19	68	10	56	1	1,25	2	1,26	3,58	5,60	25,20	25
22.	35	44	19	68	11	54	1	1,25	2	1,26	3,58	4,91	22,09	22,5

$a_{1/2} = 46 \text{ mm}$, $\beta_{1/2} = 30^\circ$, $a_{3/4} = 60 \text{ mm}$, $\beta_{1/2} = 20^\circ$, $a_{5/6} = 67 \text{ mm}$, $\beta_{5/6} = 15^\circ$

Таб. 7.7. Зупчasti парови и преносни односи препорученог решења тростепене варијанте зупчastог редуктора осне висине 115 mm (слабија варијанта, $T_N = 300 \text{ Nm}$)

Р. бр.	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	$m_{n1/2}$, mm	$m_{n3/4}$, mm	$m_{n5/6}$, mm	$i_{1/2}$	$i_{3/4}$	$i_{5/6}$	i	i_{st}
1.	11	70	11	78	10	71	1	1,25	1,5	6,36	7,09	7,10	320,38	315
2.	11	70	11	78	11	69	1	1,25	1,5	6,36	7,09	6,27	283,05	280
3.	13	66	11	78	10	71	1	1,25	1,5	5,08	7,09	7,10	255,60	250
4.	13	66	11	78	11	69	1	1,25	1,5	5,08	7,09	6,27	225,82	225
5.	16	63	11	78	10	71	1	1,25	1,5	3,94	7,09	7,10	198,24	200
6.	16	63	11	78	11	69	1	1,25	1,5	3,94	7,09	6,27	175,14	180
7.	19	60	11	78	10	71	1	1,25	1,5	3,16	7,09	7,10	158,99	160
8.	19	60	11	78	11	69	1	1,25	1,5	3,16	7,09	6,27	140,46	140
9.	22	55	11	78	10	71	1	1,25	1,5	2,50	7,09	7,10	125,86	125
10.	22	55	11	78	11	69	1	1,25	1,5	2,50	7,09	6,27	111,20	112
11.	26	53	11	78	10	71	1	1,25	1,5	2,04	7,09	7,10	102,63	100
12.	26	53	11	78	11	69	1	1,25	1,5	2,04	7,09	6,27	90,67	90
13.	30	48	11	78	10	71	1	1,25	1,5	1,60	7,09	7,10	80,55	80
14.	30	48	11	78	11	69	1	1,25	1,5	1,60	7,09	6,27	71,17	71
15.	35	44	11	78	10	71	1	1,25	1,5	1,26	7,09	7,10	63,29	63
16.	35	44	11	78	11	69	1	1,25	1,5	1,26	7,09	6,27	55,92	56
17.	26	53	19	68	10	71	1	1,25	1,5	2,04	3,58	7,10	51,80	50
18.	26	53	19	68	11	69	1	1,25	1,5	2,04	3,58	6,27	45,76	45
19.	30	48	19	68	10	71	1	1,25	1,5	1,60	3,58	7,10	40,66	40
20.	30	48	19	68	11	69	1	1,25	1,5	1,60	3,58	6,27	35,92	35,5
21.	35	44	19	68	10	71	1	1,25	1,5	1,26	3,58	7,10	31,94	31,5
22.	35	44	19	68	11	69	1	1,25	1,5	1,26	3,58	6,27	28,22	28

$a_{1/2} = 46 \text{ mm}$, $\beta_{1/2} = 30^\circ$, $a_{3/4} = 60 \text{ mm}$, $\beta_{3/4} = 20^\circ$, $a_{5/6} = 67 \text{ mm}$, $\beta_{5/6} = 15^\circ$

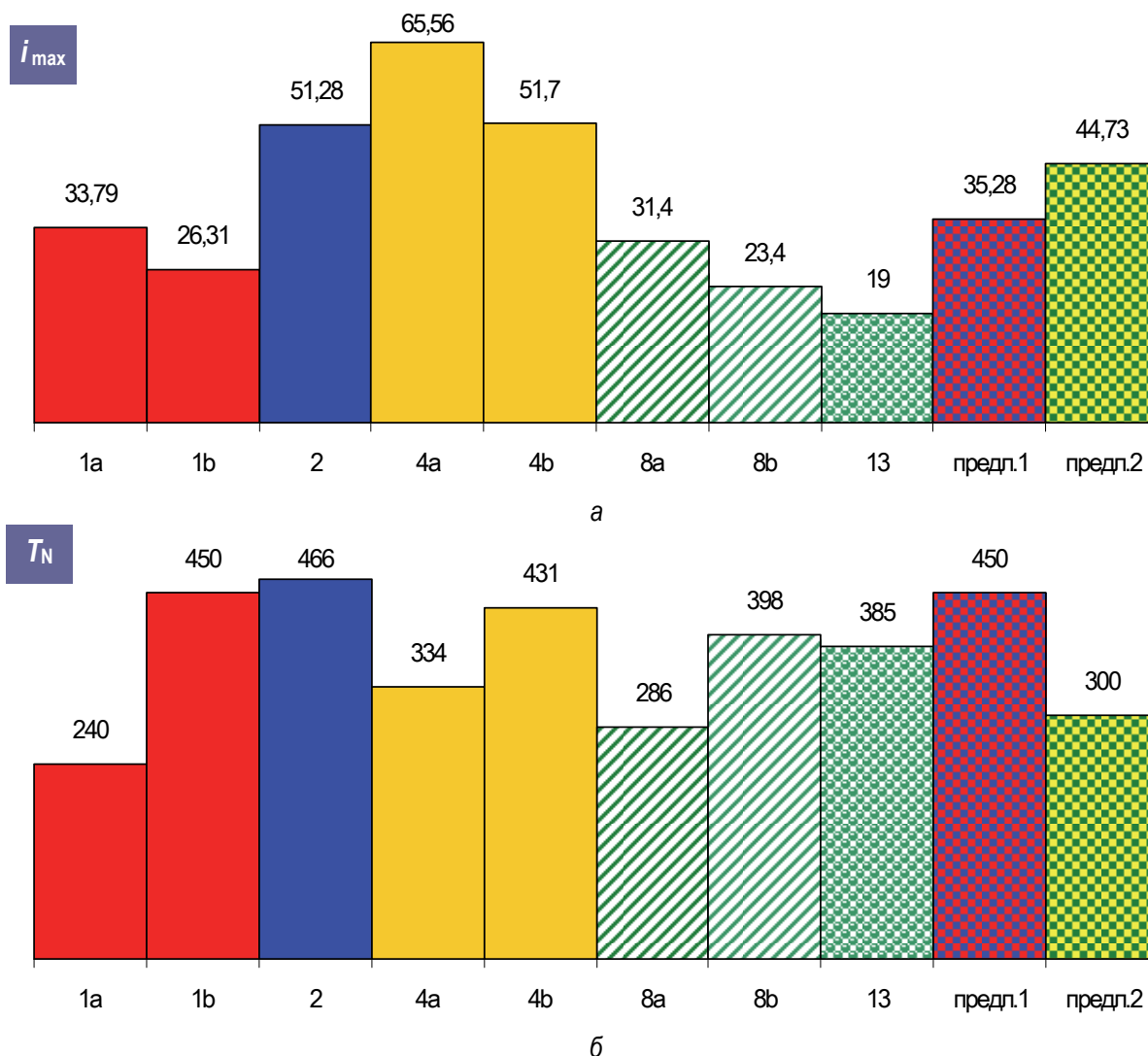


Сл. 7.10.

Шематски приказ комбинације зупчastих парова и њихови преносни односи препорученог решења тростепене варијанте зупчastог редуктора осне висине 115 mm: 1 – основна варијанта ($T_N = 450 \text{ Nm}$), 2 – слабија варијанта ($T_N = 300 \text{ Nm}$)

На основу избора броја зубаца и комбинација зупчastих парова, постигнути су одговарајући преносни односи, односно носивости за посматране универзалне зупчaste редукторе осне висине $h = 115 \text{ mm}$. Носивост предложених зупчastих парова испитивана је у некадашњој

фабрици „Преносници” компаније АТБ „Север” из Суботице, која је у међувремену затворена, а редуктори, са предложеним зупчастим паровима, никад нису реализовани. Упоредивањем носивости и преносних односа зупчастих редуктора исте осне висине чија су кућишта израђена од сивог лива, може се видети да предложено решење има задовољавајуће вредности и да се може прихватити.

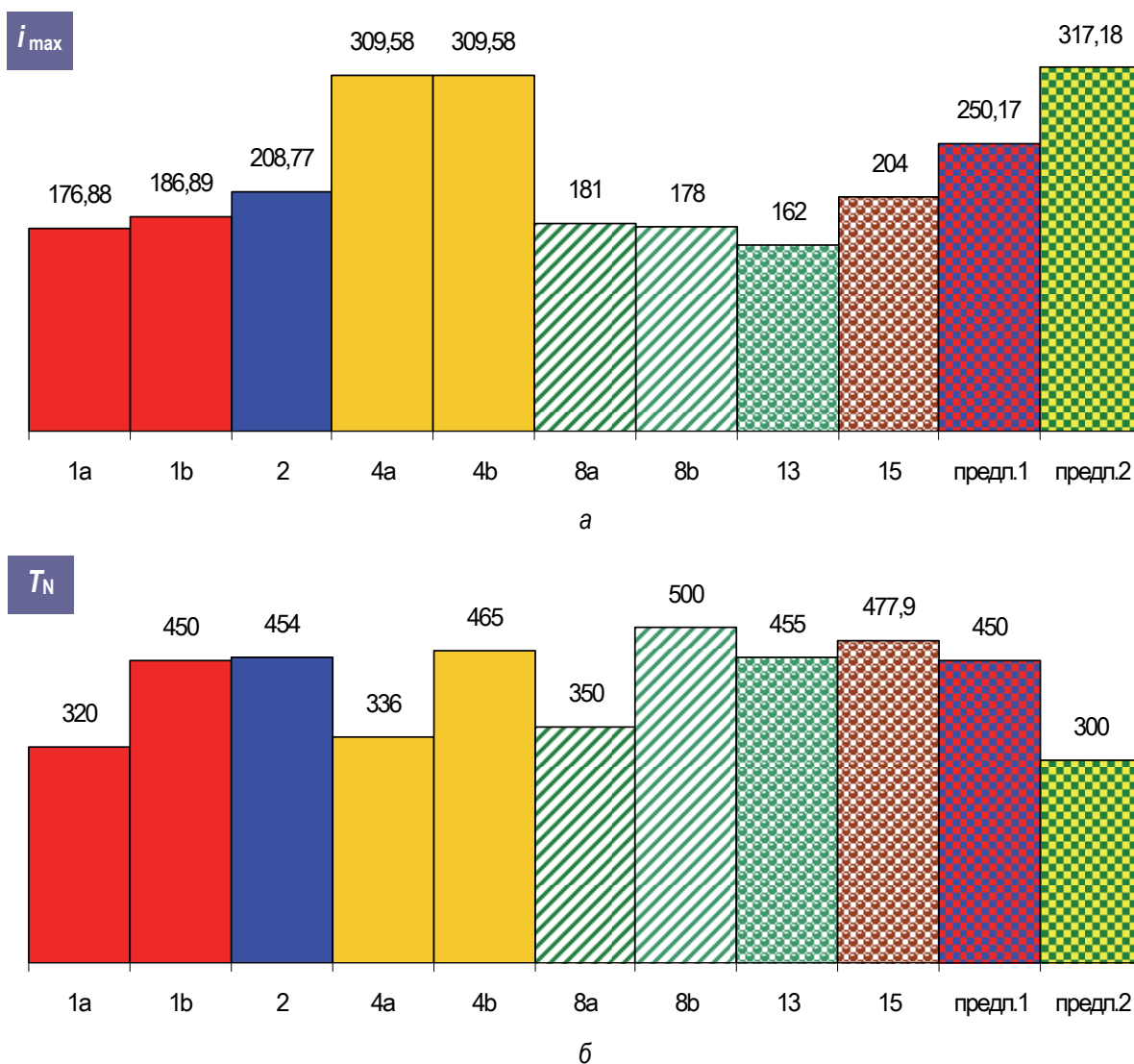


Сл. 7.11.

Дијаграм јединичних показатеља (а, б) квалитета двостепених зупчастих редуктора за осну висину $h = 115 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2 - Siemens-Flender, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 8a,b - Rossi – ES07, 13 - Bonfiglioli C, предл.1 – предложено решење за основну варијанту – $T_N = 450 \text{ Nm}$, предл.2 – предложено решење за слабију варијанту – $T_N = 300 \text{ Nm}$)

Поређењем јединичних показатеља може се видети да је предложено решење двостепеног редуктора (сл. 7.11) једнако решењу редуктора SEW према носивости, а одмах после редуктора Siemens-Flender, док је према преносним односима предложено решење боље од редуктора произвођача SEW, али са нешто мањим преносним односима од редуктора произвођача Nord – NORDBLOC и Siemens-Flender. Поређењем јединичних показатеља тростепених редуктора (сл. 7.12) предложено решење тростепеног зупчастог редуктора обезбеђује највећи преносни однос, док је према носивостима једнако са носивостима редуктора произвођача SEW и Siemens-Flender, а веома близу највећим носивостима редуктора Rossi и Leroy Somer.

Увођењем комплексних показатеља добија се још јаснија слика о квалитету предложених решења.

**Сл. 7.12.**

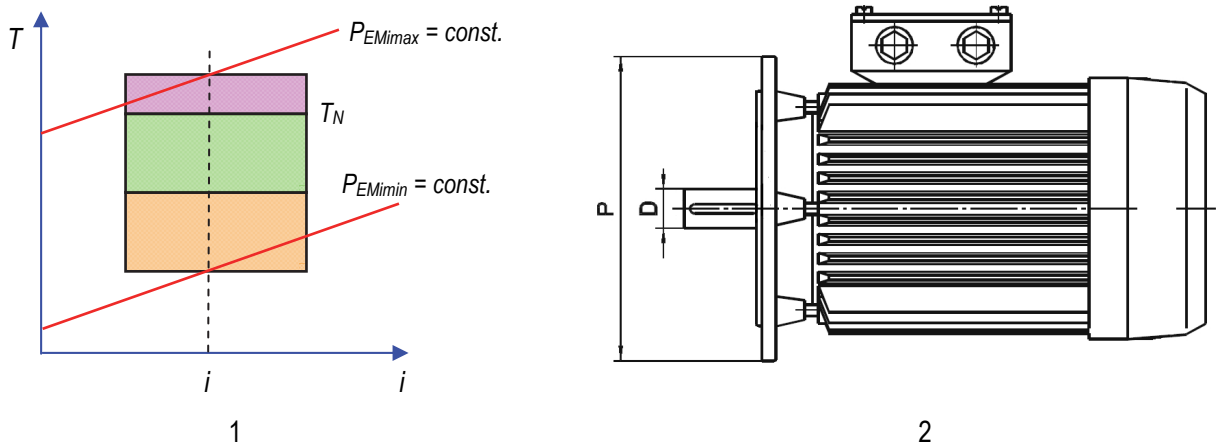
Дијаграм јединичних показатеља (а, б) квалитета тростепених зупчастих редуктора за осну висину $h = 115 \text{ mm}$ (1a,b - SEW, 2 - Siemens-Flender, 4a,b - Nord – NORDBLOC, 8a,b - Rossi – ES07, 13 - Bonfiglioli C, 15 - Leroy Somer, предл.1 – предложено решење за основну варијанту – $T_N = 450 \text{ Nm}$, предл.2 – предложено решење за слабију варијанту – $T_N = 300 \text{ Nm}$)

7.4. Препоруке за избор снаге мотора

При дефинисању потребне снаге мотора разматраће се само стандардни IEC четворополни (трофазни асинхрони) мотори, с обзиром на то да они имају најповољније полазне карактеристике и због тога што се најједноставније и најбрже набављају. За погон моторних редуктора могу се испоручити и другачији мотори, али обично по нешто вишој цени.

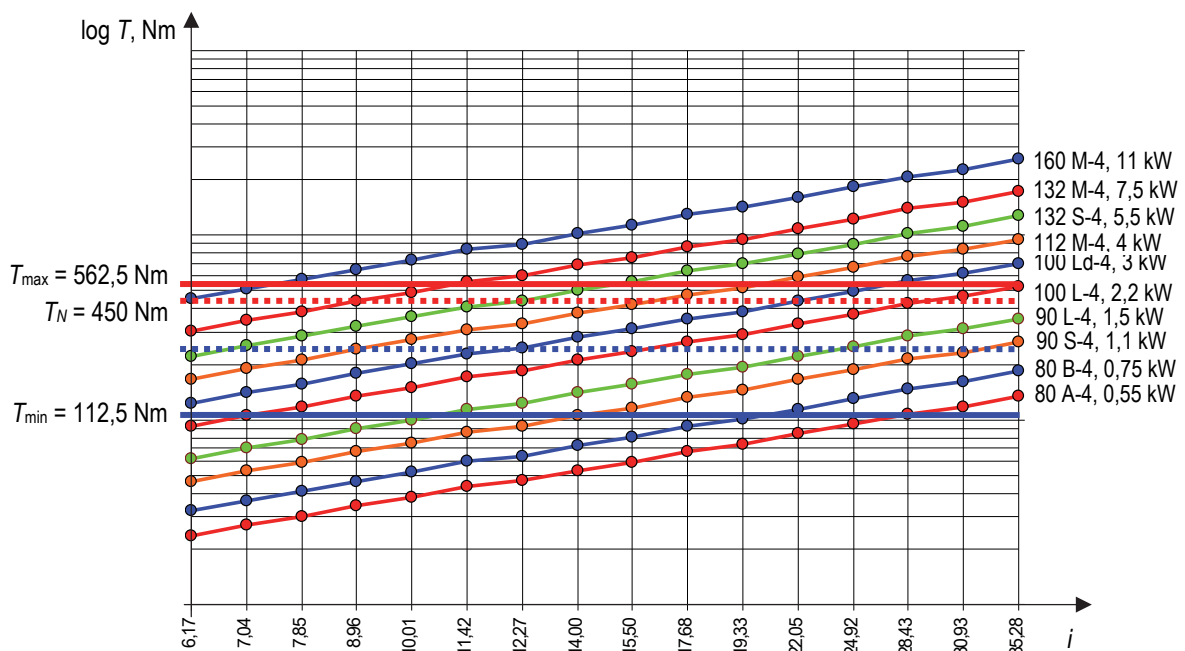
Вредност називног обртног момента, за сваку величину преносног односа, дефинише се посебно у зависности од носивости зупчаника, клинова, вратила, лежајева и кућишта. Непостојање стандарда из ове области дозвољава да се у оквиру појединих величина (осних висина) редуктора врши мало „померање” обртних момената навише, или наниже, од пројектоване вредности, ако је то могуће са становишта чврстоће, тако да се при коначном дефинисању овог параметра морају узети у обзир и карактеристике конкурентских решења, како би се постигла што већа узајамна заменљивост редуктора.

Поступак одређивања потребног броја величина (снага) мотора, адаптера и броја потребних вратила зависи од величине називног обртног момента. Наиме, на основу дијаграма снаге (сл. 7.13-1) одређује се са којим моторима би било оправдано да се повезује дотични редуктор, односно, на основу тог дијаграма дефинишу се пречници рупа у вратилу адаптера (D), ако се користи адаптер са тзв. крутом спојницом, и потребни пречници (P) адаптера (сл. 7.13-2). Одређивање потребног броја мотора, адаптера и броја потребних вратила са различитим пречницима рупа у њима, у оквиру истог преносног односа, врши се према дијаграмима на сл. 7.14, 7.15, 7.16 и 7.17, а конкретне вредности дате су у табелама 7.8, 7.9, 7.10 и 7.11.



Сл. 7.13.

Графички приказ промене излазног обртног момента у зависности од величине преносног односа редуктора (1), прикључне димензије мотора битне за облик редуктора (2)

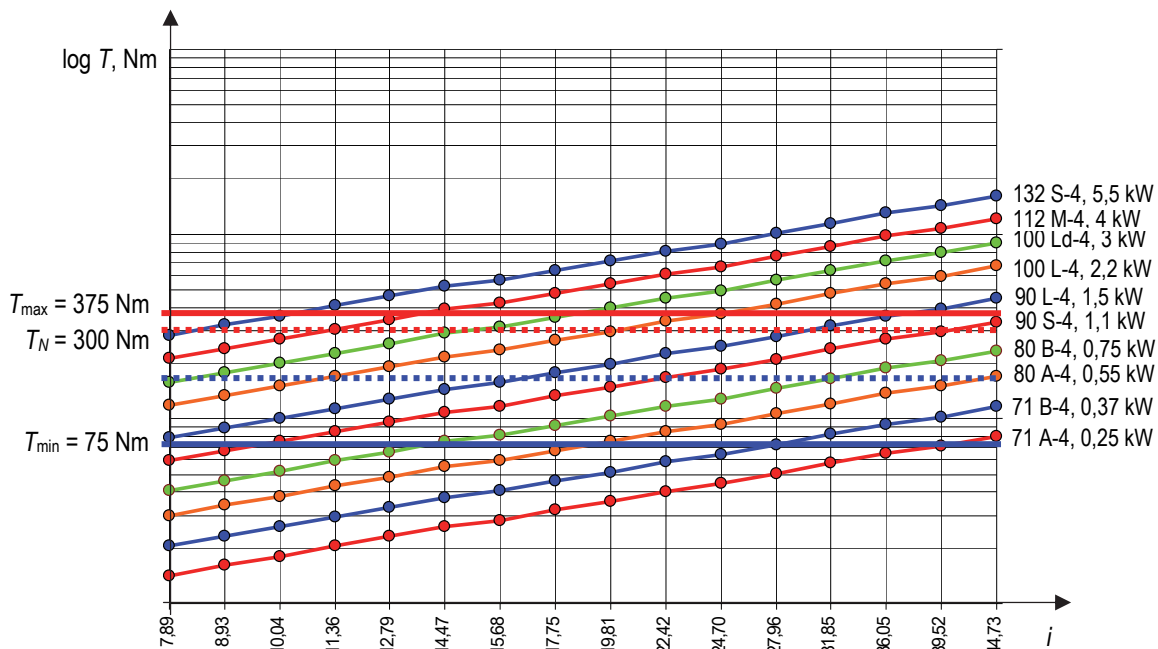


Сл. 7.14.

Одређивање потребних величина електромотора у зависности од преносних односа и пречника вратила мотора за усвојено решење двостепеног зупчастог редуктора са адаптером за IEC мотор са првим сетом зупчаника ($T_N = 450 \text{ Nm}$)

Таб. 7.8. Обртни моменти на излазу из двостепеног редуктора (основна варијанта, $T_N = 450 \text{ Nm}$) при номиналној вредности обртног момента електромотора T_N , Nm

i	$T_{\min} - T_N - T_{\max}$	71 A-4	71 B-4	80 A-4	80 B-4	90 S-4	90 L-4	100 L-4	100 Ld-4	112 M-4	132 S-4	132 M-4	160 M-4
		0,25 kW 1,8 Nm d=14mm P=160mm	0,37 kW 2,6 Nm d=14mm P=160mm	0,55 kW 3,8 Nm d=19mm P=200mm	0,75 kW 5,2 Nm d=19mm P=200mm	1,1 kW 7,5 Nm d=24mm P=200mm	1,5 kW 10 Nm d=24mm P=200mm	2,2 kW 15 Nm d=28mm P=250mm	3 kW 20 Nm d=28mm P=250mm	4 kW 27 Nm d=28mm P=250mm	5,5 kW 36 Nm d=38mm P=300mm	7,5 kW 49 Nm d=38mm P=300mm	11 kW 73 Nm d=42mm P=350mm
35,28				134,06	183,46	264,60	352,80	529,20					
30,93				117,52	160,82	231,95	309,27	463,91					
28,43					147,84	213,23	284,31	426,46					
24,92					129,60	186,92	249,23	373,85	498,46				
22,05					114,66	165,38	220,50	330,75	441,00				
19,33						144,97	193,30	289,94	386,59	521,90			
17,68						132,63	176,84	265,26	353,68	477,47			
15,50						116,27	155,02	232,54	310,05	418,56	558,09		
14,00							140,00	210,00	280,00	378,00	504,00		
12,27							122,73	184,09	245,45	331,36	441,82		
11,42							114,15	171,23	228,31	308,22	410,95	559,35	
10,01								150,10	200,14	270,19	360,25	490,34	
8,96								134,40	179,20	241,92	322,56	439,04	
7,85								117,82	157,09	212,07	282,76	384,87	
7,04									140,80	190,08	253,44	344,96	513,92
6,17									123,43	166,63	222,17	302,40	450,51



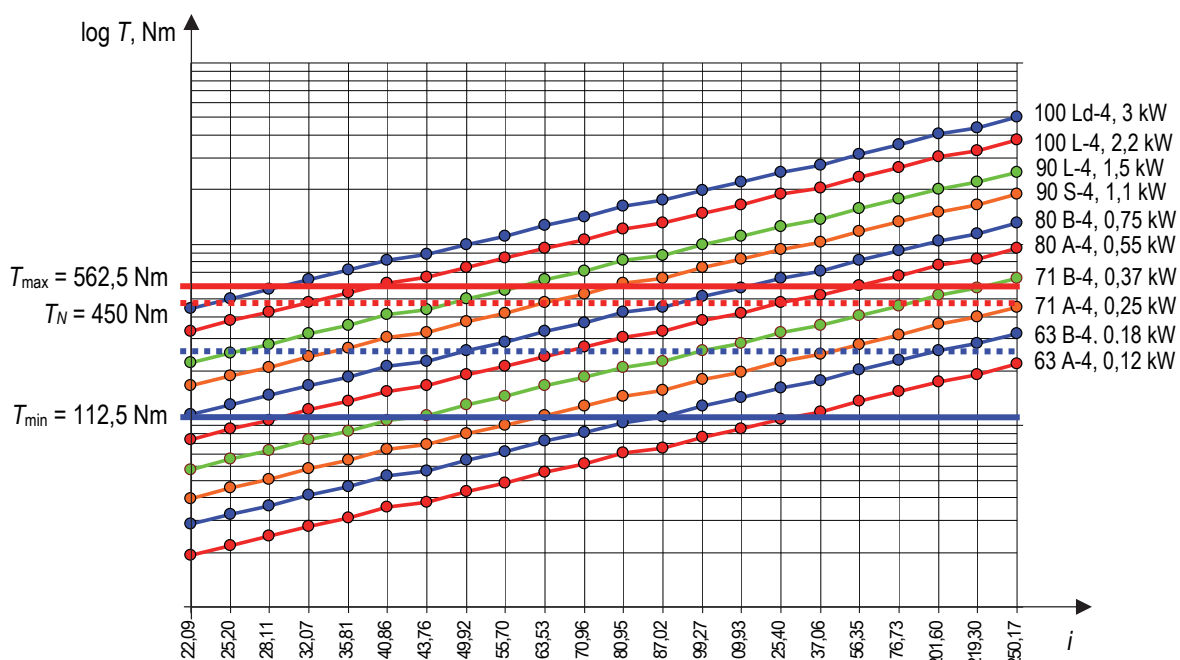
Сл. 7.15.

Одређивање потребних величина електромотора у зависности од преносних односа и пречника вратила мотора за усвојено решење двостепеног зупчастог редуктора са адаптером за IEC мотор са другим слабијим сетом зупчаника ($T_N = 300 \text{ Nm}$)

Таб. 7.9. Обртни моменти на излазу из двостепеног редуктора (слабија варијанта, $T_N = 300 \text{ Nm}$) при номиналној вредности обртног момента електромотора $T_N, \text{ Nm}$

i	$T_{\min} - T_N - T_{\max}$	71 A-4	71 B-4	80 A-4	80 B-4	90 S-4	90 L-4	100 L-4	100 Ld-4	112 M-4	132 S-4	132 M-4	160 M-4
		0,25 kW 1,8 Nm d=14mm P=160mm	0,37 kW 2,6 Nm d=14mm P=160mm	0,55 kW 3,8 Nm d=19mm P=200mm	0,75 kW 5,2 Nm d=19mm P=200mm	1,1 kW 7,5 Nm d=24mm P=200mm	1,5 kW 10 Nm d=24mm P=200mm	2,2 kW 15 Nm d=28mm P=250mm	3 kW 20 Nm d=28mm P=250mm	4 kW 27 Nm d=28mm P=250mm	5,5 kW 36 Nm d=38mm P=300mm	7,5 kW 49 Nm d=38mm P=300mm	11 kW 73 Nm d=42mm P=350mm
44,73		80,51	116,30	169,97	232,60	335,48							
39,52			102,75	150,17	205,49	296,39							
36,05			93,72	136,98	187,44	270,35	360,46						
31,85			82,80	121,02	165,60	238,85	318,46						
27,96				106,23	145,37	209,67	279,56						
24,70				93,86	128,43	185,24	246,99	370,48					
22,42				85,20	116,59	168,16	224,21	336,32					
19,81				75,27	103,00	148,56	198,09	297,13					
17,75					92,30	133,13	177,50	266,25	355,00				
15,68					81,55	117,61	156,82	235,23	313,64				
14,47					75,26	108,55	144,73	217,10	289,46				
12,79						95,90	127,87	191,80	255,73	345,24			
11,36						85,20	113,60	170,40	227,20	306,72			
10,04						75,27	100,36	150,55	200,73	270,98	361,31		
8,93							89,26	133,89	178,51	240,99	321,33		
7,89							78,86	118,29	157,71	212,91	283,89		

Веома је важно покрити што више преносних односа са што мање зупчаника у циљу што рационалнијег искоришћења зупчаника и смањења трошкова производње. Пречници зупчаника у овом случају не зависе од пречника вратила мотора, јер се вратило мотора монтира у отвор вратила адаптера, тако да се сваки зупчаник може прикључити на било који мотор.

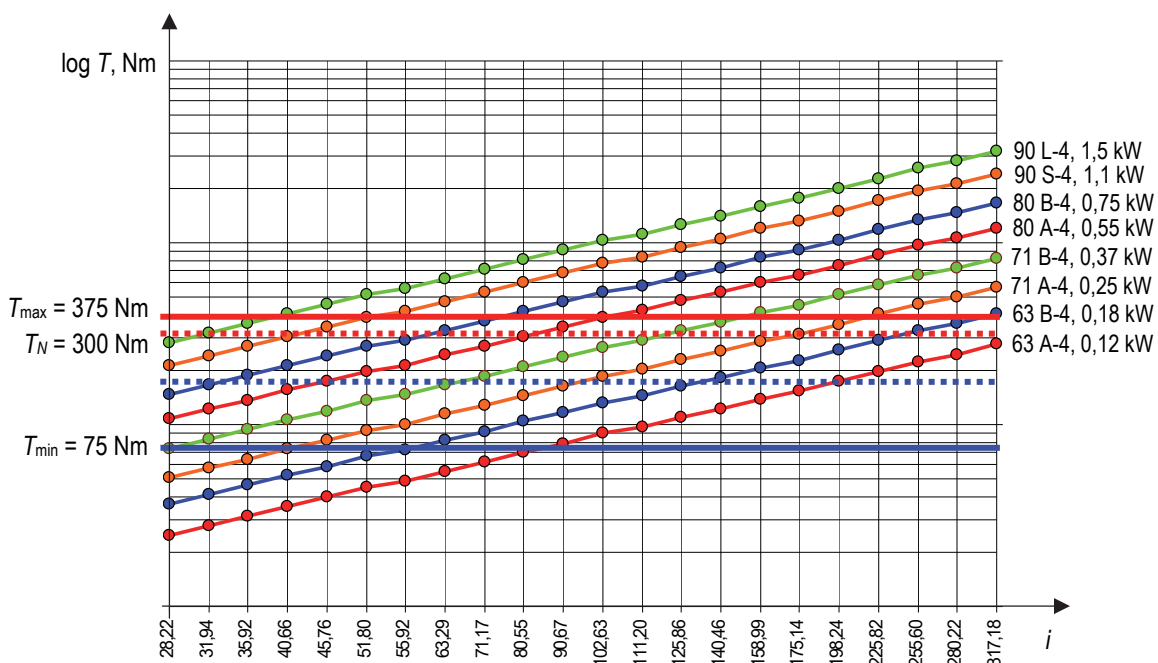


Сл. 7.16.

Одређивање потребних величина електромотора у зависности од преносних односа и пречника вратила мотора за усвојено решење тростепеног зупчастог редуктора са адаптером за IEC мотор са првим сетом зупчаника ($T_N = 450 \text{ Nm}$)

Таб. 7.10. Обртни моменти на излазу из тростепеног редуктора (основна варијанта, $T_N = 450 \text{ Nm}$) при номиналној вредности обртног момента електромотора T_N , Nm

i	$T_{min} - T_N - T_{max}$	63 A-4	63 B-4	71 A-4	71 B-4	80 A-4	80 B-4	90 S-4	90 L-4	100 L-4	100 Ld-4
		0,12 kW 0,87 Nm $d = 11 \text{ mm}$ $P=140\text{mm}$	0,18 kW 1,29 Nm $d = 11 \text{ mm}$ $P=140\text{mm}$	0,25 kW 1,8 Nm $d=14\text{mm}$ $P=160\text{mm}$	0,37 kW 2,6 Nm $d=14\text{mm}$ $P=160\text{mm}$	0,55 kW 3,8 Nm $d=19\text{mm}$ $P=200\text{mm}$	0,75 kW 5,2 Nm $d=19\text{mm}$ $P=200\text{mm}$	1,1 kW 7,5 Nm $d=24\text{mm}$ $P=200\text{mm}$	1,5 kW 10 Nm $d=24\text{mm}$ $P=200\text{mm}$	2,2 kW 15 Nm $d=28\text{mm}$ $P=250\text{mm}$	3 kW 20 Nm $d=28\text{mm}$ $P=250\text{mm}$
250,17	112,5 Nm – 450 Nm – 562,5 Nm	217,65	322,72	450,30							
219,30		190,79	282,90	394,74							
201,60		175,39	260,06	362,88	524,16						
176,73		153,75	227,98	318,11	459,49						
156,35		136,03	201,70	281,44	406,52						
137,06		119,25	176,81	246,72	356,37	520,84					
125,40			161,76	225,71	326,03	476,51					
109,93			141,80	197,87	285,81	417,72					
99,27			128,06	178,69	258,11	377,24	516,22				
87,02				156,64	226,26	330,69	452,53				
80,95				145,70	210,46	307,59	420,92				
70,96				127,73	184,49	269,64	368,99	532,19			
63,53				114,36	165,19	241,43	330,38	476,51			
55,70					144,81	211,64	289,62	417,72	556,96		
49,92					129,79	189,70	259,58	374,40	499,20		
43,76					113,78	166,29	227,56	328,21	437,61		
40,86						155,25	212,45	306,41	408,55		
35,81						136,10	186,24	268,61	358,15	537,22	
32,07						121,86	166,75	240,51	320,67	481,01	
28,11							146,18	210,83	281,11	421,67	562,22
25,20						131,02	188,97	251,96	377,94	503,92	
22,09						114,85	165,65	220,87	331,31	441,74	



Сл. 7.17.

Одређивање потребних величина електромотора у зависности од преносних односа и пречника вратила мотора за усвојено решење тростепеног зупчастог редуктора са адаптером за IEC мотор са другим слабијим сетом зупчаника ($T_N = 300 \text{ Nm}$)

Таб. 7.11. Обртни моменти на излазу из тростепеног редуктора (слабија варијанта, $T_N = 300 \text{ Nm}$) при номиналној вредности обртног момента електромотора T_N , Nm

i	$T_{min} - T_N - T_{max}$	63 A-4	63 B-4	71 A-4	71 B-4	80 A-4	80 B-4	90 S-4	90 L-4	100 L-4	100 Ld-4
		0,12 kW 0,87 Nm $d = 11 \text{ mm}$ $P = 140 \text{ mm}$	0,18 kW 1,29 Nm $d = 11 \text{ mm}$ $P = 140 \text{ mm}$	0,25 kW 1,8 Nm $d = 14 \text{ mm}$ $P = 160 \text{ mm}$	0,37 kW 2,6 Nm $d = 14 \text{ mm}$ $P = 160 \text{ mm}$	0,55 kW 3,8 Nm $d = 19 \text{ mm}$ $P = 200 \text{ mm}$	0,75 kW 5,2 Nm $d = 19 \text{ mm}$ $P = 200 \text{ mm}$	1,1 kW 7,5 Nm $d = 24 \text{ mm}$ $P = 200 \text{ mm}$	1,5 kW 10 Nm $d = 24 \text{ mm}$ $P = 200 \text{ mm}$	2,2 kW 15 Nm $d = 28 \text{ mm}$ $P = 250 \text{ mm}$	3 kW 20 Nm $d = 28 \text{ mm}$ $P = 250 \text{ mm}$
317,18	75 Nm – 300 Nm – 375 Nm	275,94									
280,22		243,79	361,48								
255,60		222,37	329,72								
225,82		196,46	291,31								
198,24		172,46	255,72	356,82							
175,14		152,37	225,93	315,25							
158,99		138,32	205,09	286,17							
140,46		122,20	181,19	252,83	365,20						
125,86		109,50	162,36	226,55	327,25						
111,20		96,74	143,45	200,16	289,12						
102,63		89,29	132,39	184,73	266,83	389,98					
90,67			116,96	163,20	235,74	344,54					
80,55			103,91	144,99	209,44	306,10					
71,17			91,81	128,10	185,03	270,43	370,07				
63,29			81,65	113,92	164,56	240,51	329,12				
55,92				100,65	145,38	212,48	290,77				
51,80				93,24	134,68	196,83	269,35				
45,76				82,37	118,98	173,90	237,97	343,22			
40,66					105,71	154,50	211,42	304,93			
35,92					93,39	136,49	186,78	269,40	359,20		
31,94					83,06	121,39	166,11	239,58	319,45		
28,22						107,25	146,76	211,67	282,23		

На основу табеле 7.8 и 7.9 и сл. 7.14 и 7.15 за двостепене редукторе усвајају се мотори величине од 80 A-4 до 132 M-4. Мањи мотори се не усвајају јер нема потребе за њима. То подручје носивости покрива се мањом величином редуктора. Такође, не усвајају се ни већи мотори јер је тада редуктор сувише слаб. На основу табеле 7.10 и 7.11 и сл. 7.16 и 7.17 за тростепене редукторе усвајају се мотори од 63 A-4 до 90 L-4. Препоручено је да се адаптери израђују као дводелни, састављени од међуплоче и кућишта адаптера са прирубницом. На основу усвојених величина електромотора израђује се шест кућишта адаптера са прирубницом пречника 140, 160, 200 (за електромотор пречника вратила 19 mm), 200 (за електромотор пречника вратила 24 mm), 250 и 300 mm (таб. 7.12).

Таб. 7.12. Одређивање потребних величина електромотора за двостепене и тростепене редукторе

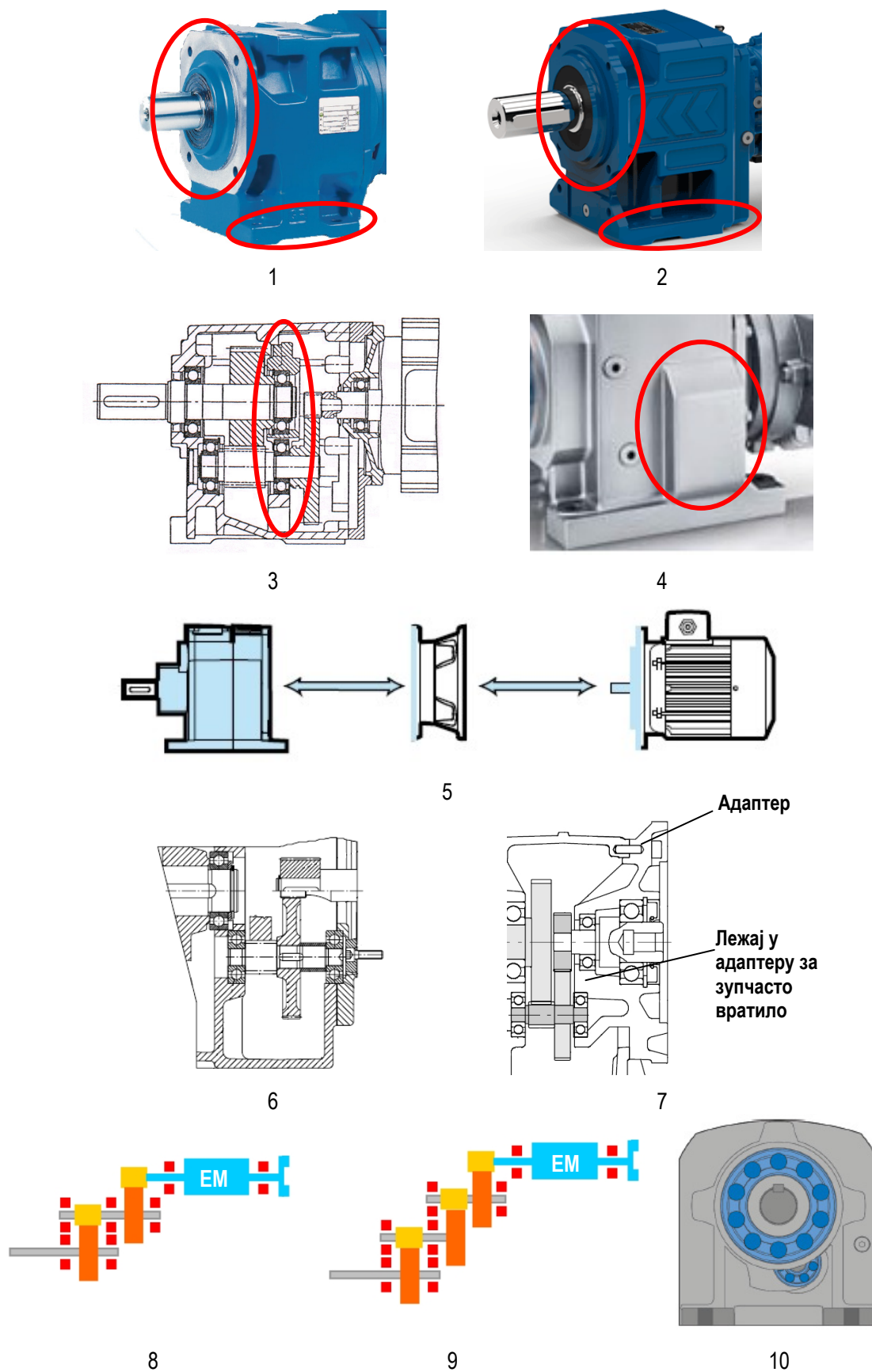
Мотор	$P = 140 \text{ mm}$		$P = 160 \text{ mm}$		$P = 200 \text{ mm}$				$P = 250 \text{ mm}$			$P = 300 \text{ mm}$		$P = 350 \text{ mm}$
	$D = 11 \text{ mm}$		$D = 14 \text{ mm}$		$D = 19 \text{ mm}$		$D = 24 \text{ mm}$		$D = 28 \text{ mm}$			$D = 38 \text{ mm}$		$D = 42 \text{ mm}$
	63 A-4 0,12 kW	63 B-4 0,18 kW	71 A-4 0,25 kW	71 B-4 0,37 kW	80 A-4 0,55 kW	80 B-4 0,75 kW	90 S-4 1,1 kW	90 L-4 1,5 kW	100 L-4 2,2 kW	100 Ld-4 3 kW	112 M-4 4 kW	132 S-4 5,5 kW	132 M-4 7,5 kW	160 M-4 11 kW
Дво-степени редуктори						✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
Тро-степени редуктори	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓						

7.5. Основне карактеристике предложеног решења

Потребно је спровести следеће мере код универзалних зупчастих редуктора намењених за производњу код мањих прозвођача:

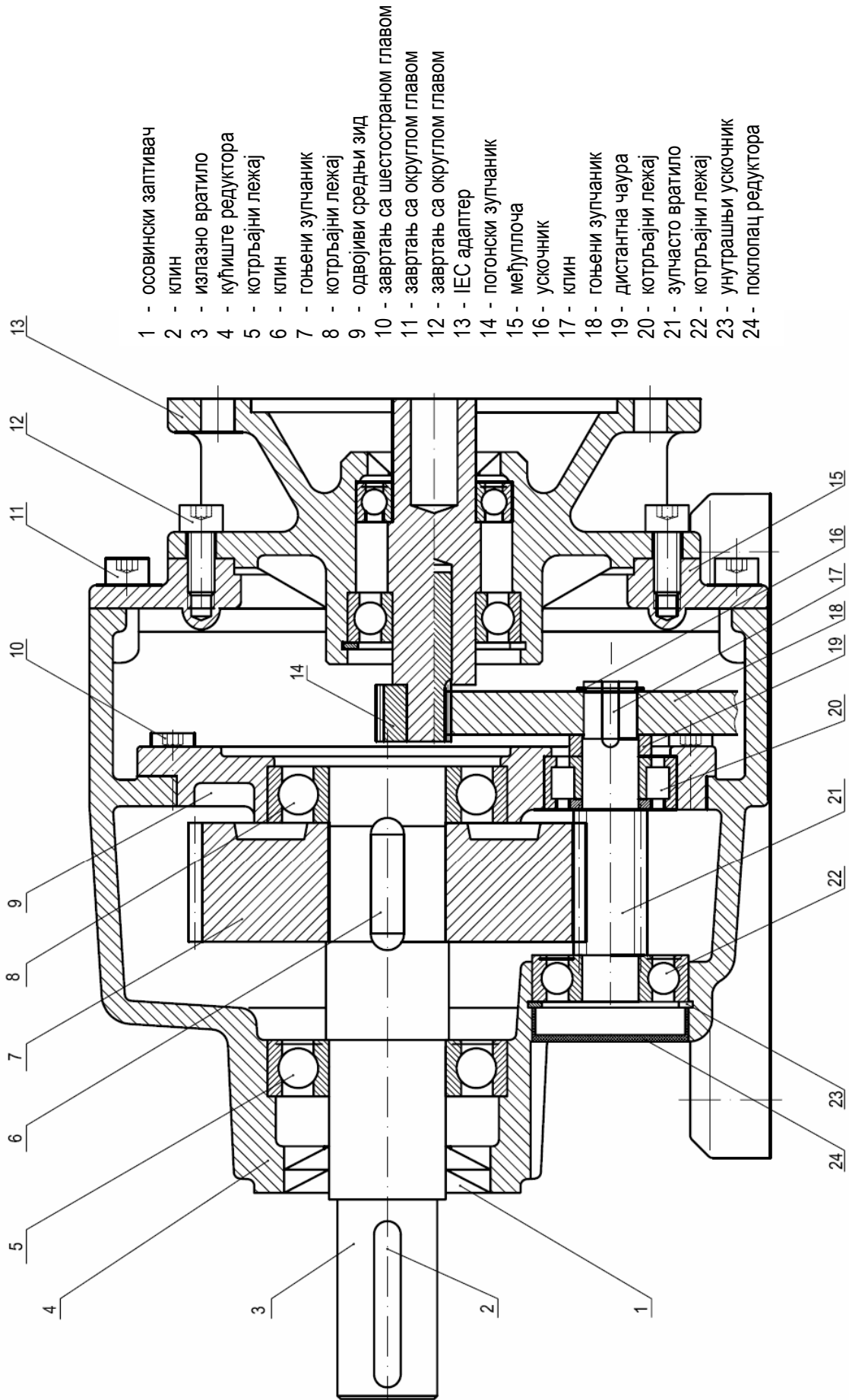
- производња једностепених редуктора обично није исплатива, па би мањи произвођачи редуктора требало да производе само двостепене и тростепене редукторе;
- због мањих серија потребно је користити универзално кућиште за двостепене и тростепене редукторе, израђено од сивог лива;
- потребно је израђивати кућиште са стопалима и једном врстом прирубнице, што знатно смањује асортиман кућишта (слично решењу произвођача Rossi, сл. 7.18-1 и Watt, сл. 7.18-2);
- код редуктора мањих осних висина, препоручује се аксијална монтажа зупчаника, тако да је потребно отворити спороходну комору, преко одвојивог (демонтажног) средњег зида кућишта, чиме се омогућава једноставна уградња великих зупчаника и тиме постизање великих преносних односа (сл. 7.18-3);
- препоручује се напуштање концепције саосних редуктора, чиме се омогућава постизање већих преносних односа;
- да би се остварили већи преносни односи потребно је повећати међуосна растојања, тј. потребно је проширити кућиште са тзв. „стомачићима” да би се омогућила уградња великих зупчаника, на начин као што је то урадила компанија SEW (сл. 3.3) или још боље Siemens-Flender (сл. 7.18-4);
- будући да мали произвођачи немају сопствену производњу мотора, препоручује се израда таквог кућишта редуктора, на који се поставља адаптер за стандардне IEC моторе (сл. 7.18-5), при чему је лежај трећег зупчастог вратила ослоњен у међуплочу, односно у адаптеру мотора (сл. 7.18-6,7);
- да би се скратила дужина редуктора, препоручује се коришћење што краћих адаптера за IEC моторе;
- применом адаптера са шупљим вратилом омогућује се монтажа малих зупчаника (који су упресовани у вратило адаптера) чиме се постижу велики преносни односи на првом зупчастом пару (сл. 7.18-3);
- применом адаптера са шупљим вратилом, које се директно везује са вратилом мотора, знатно се смањује број мотора које је потребно лагеровати у складишту. Применом вратила са различитим пречницима рупа омогућава се монтажа мотора на више величина редуктора, што директно утиче на број потребних мотора;
- препоручује се аксијална монтажа зупчаника ван кућишта редуктора, при чему се други, трећи, пети и шести зупчаник постављају између лежајева, а четврти зупчаник на препусту (сл. 7.18-8,9);
- потребно је поставити већи лежај на излазном вратилу како би се могле пренети веће аксијалне силе. Ово се може постићи уколико се лежајеви који се налазе у предњем делу кућишта поставе у две различите вертикалне равни (сл. 7.18-10);
- препоручује се смањење шума и вибрација редуктора применом зупчаника са повишеним степеном спрезања.

На сл. 7.19 приказани су делови предложеног решења двостепеног универзалног зупчастог редуктора са адаптером за IEC мотор. У прилогу 4 дат је приказ предложеног решења двостепеног и тростепеног универзалног зупчастог редуктора са адаптером за IEC мотор.



Сл. 7.18.

Препоруке различитих анализираних зупчastих редуктора које би требало усвојити при конструисању зупчastог редуктора у средњесеријској производњи



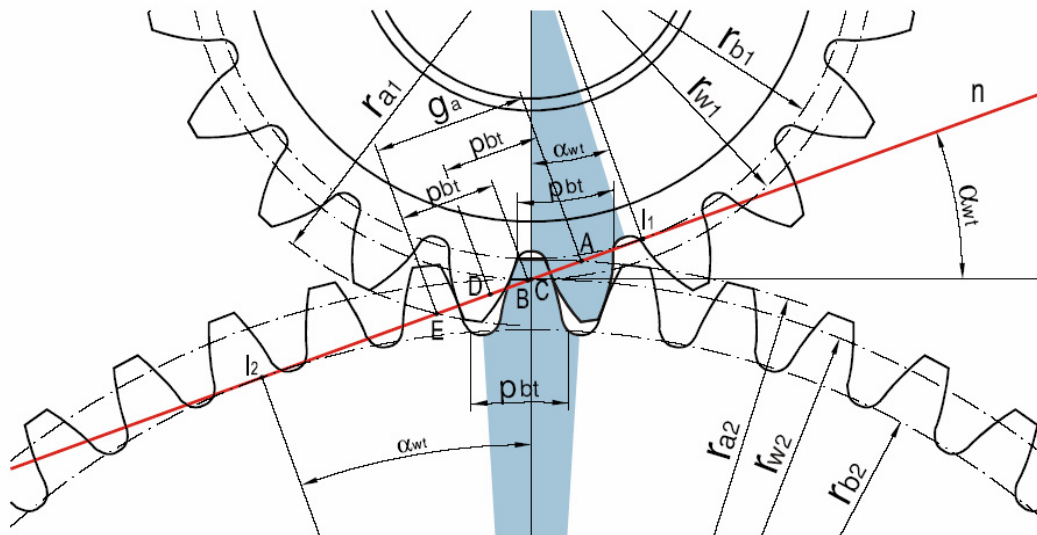
Сл. 7.19. Предложено решење двостепеног универзалног зупчастог редуктора са адаптером за IES мотор

7.6. Предлог начина смањења шума и вибрација зупчастих редуктора

Поред израде зупчаника са већим степеном тачности и коришћењем зупчаника са косим зупцима, смањење шума и вибрација може се постићи и коришћењем зупчаника са повећаним степеном спрезања. Степен спрезања представља просечан број зубаца који је у контакту са зупцима другог зупчаника. Активна дужина додирнице почиње и завршава се у пресеку додирнице са теменим кружницама (тачке А и Е, сл. 7.20). Пре и после ових тачака нема међусобног контакта зубаца. Корак на кинематској кружници мора бити мањи од активне дужине додирнице како би дошло до даљег преношења обртања, тако да однос активне дужине додирнице и корака на основној кружници дефинише степен спрезања профила зубаца (сл. 7.20):

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{g_a}{p_{bt}} \quad (7.1)$$

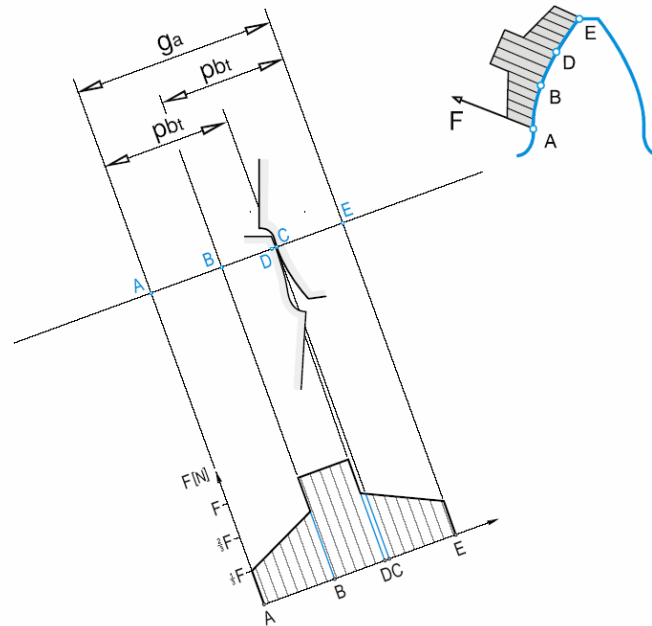
где је: g_a - активна дужина додирнице
 p_{bt} - корак на основној кружници



Сл. 7.20.

Геометријске карактеристике стандардног зупчастог пара [61]

Бокови зубаца стандардног спрегнутог зупчастог пара додирују се у току спрезања дуж активног дела додирнице \overline{AE} . У тренутку додира једног пара профила зубаца у тачки А, на растојању p_{bt} од те тачке дуж додирнице, тј. у тачки D налази се у захвату претходни пар зубаца (сл. 7.20). Претходни пар зубаца излази из захвата у тачки Е додирнице и у том тренутку посматрани пар спрегнутих зубаца налази се у тачки В. Према томе, у подручју спрезања између тачака А и В, односно D и Е налазиће се истовремено у захвату два пара спрегнутих профила зубаца, па је то период двоструке спреге (сл. 7.21). Тачка В је тачка почетка једноструке спреге јер је претходни пар у том тренутку изашао из захвата, а наредни пар спрегнутих профила још увек није ушао у захват. Он ће ући у захват тек онда када тачка додира буде удаљена од тачке А за величину основног корака p_{bt} , а то је тачка D на додирници. Дуж додирнице између тачака В и D у захвату биће само један пар зубаца, па је то период једноструке спреге [62].

**Сл. 7.21.**

Расподела оптерећења дуж додирнице код стандардног зупчастог пара [61]

Стандардни зупчasti парови имају степен спрезања између 1 и 2, што значи да ће оптерећење некад преносити само један пар зубаца, а једним делом ће се оно поделити и на два пара зубаца. Минимално прихватљив степен спрезања не сме бити мањи од 1,2 [63], јер услед нетачности при изради и монтажи може још доћи до смањења степена спрезања и тиме до повећаних удара и буке зупчастог пара. Да би спрезање било континуално и што равномерније, степен спрезања мора бити што већи, али њега, нажалост, ограничавају разни фактори. Најбоље би било да степен спрезања буде између 1,4 и 1,6 [63]. На сл. 7.21 дијаграмом је приказана теоријска носивост зупца при једнострукој и двострукој спреси, која у стварности, због разних одступања, изгледа другачије.

Посебна врста зупчastих парова је она са повећаним степеном спрезања код кога су бар два пара зубаца у спреси ($\varepsilon_\alpha \geq 2$), односно два или три. Зупчasti парови са повећаним степеном спрезања добијају се када се повећа активна дужина додирнице или се смањи корак на основној кружници. Пошто је корак на основној кружници константан, степен спрезања ће се повећати повећањем активне дужине додирнице:

$$g_\alpha = \sqrt{r_{a1}^2 - r_{b1}^2} + \sqrt{r_{a2}^2 - r_{b2}^2} - a_w \sin \alpha_{wt} \quad (7.2)$$

где се пречници темених кружница погонског и гоњеног зупчаника израчунавају на следећи начин:

$$r_{a1} = r_1 + (h_a + x_1 \cdot m_n) \quad (7.3)$$

$$r_{a2} = r_2 + (h_a + x_2 \cdot m_n) \quad (7.4)$$

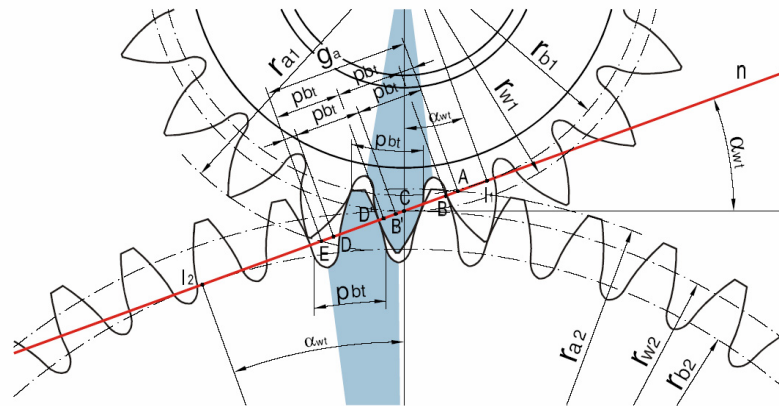
Из претходне две једначине (7.3) и (7.4) види се да је активна дужина додирнице директно зависна од висина теменог дела зупца h_{a1} и h_{a2} и коефицијената померања профила x_1 и x_2 . Где је:

$$h_{a1} = h_{a1}^* \cdot m_n \quad (7.5)$$

$$h_{a2} = h_{a2}^* \cdot m_n \quad (7.6)$$

Због тога се висина теменог дела зупца повећава, тј. висина зупца не износи више $h_a^* = 1$, већ је она сад $h_a^* > 1$. Оптимизацијом висина теменог дела зупца погонског и гоњеног зупчаника h_{a1} и h_{a2}

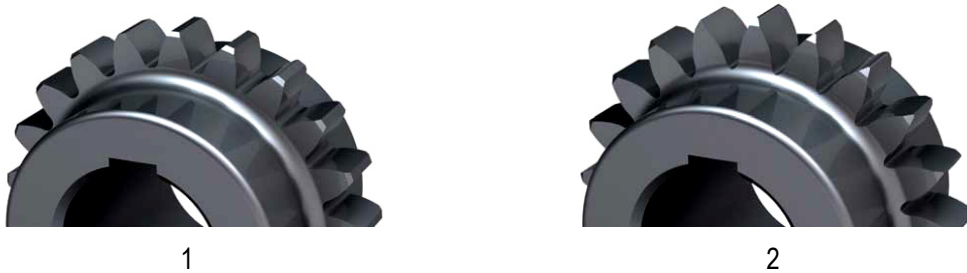
и коефицијента померања профила зубаца погонског и гоњеног зупчаника x_1 и x_2 , може се добити већа активна дужина додирнице, односно одговарајући степен спрезања, $\varepsilon_\alpha \geq 2$ (сл. 7.22).



Сл. 7.22.

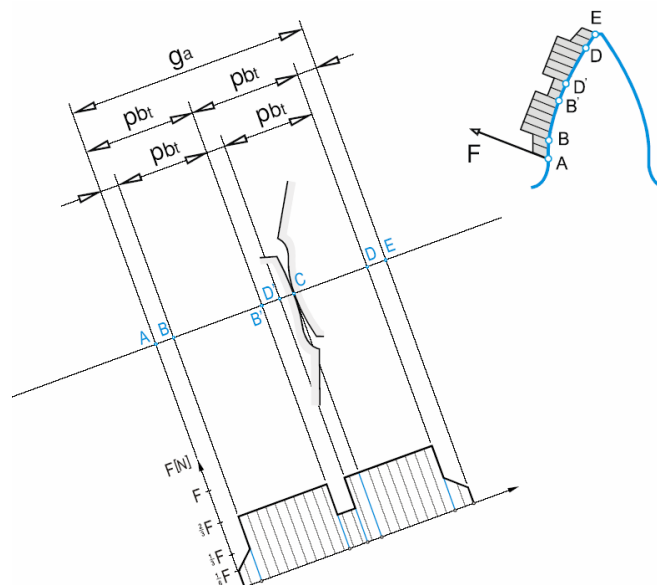
Геометријске карактеристике зупчастог пара са повећаним степеном спрезања [61]

На сл. 7.23 приказани су стандардни зупчасти пар и зупчасти пар са повећаним степеном спрезања код кога се види већа висина зупца. Међутим, повећана висина зупца не значи аутоматски и да ће степен спрезања бити већи од два, већ то дефинишу и остала геометријска ограничења која су у вези са израдом и спрезањем зубаца.



Сл. 7.23.

Стандардни зупчасти пар, $h_a^* = 1$ (1) и зупчасти пар са повећаним степеном спрезања, $h_a^* = 1,3$ (2), $z = 21$, $m_n = 4 \text{ mm}$, $\alpha_n = 20^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $x = 0,4$

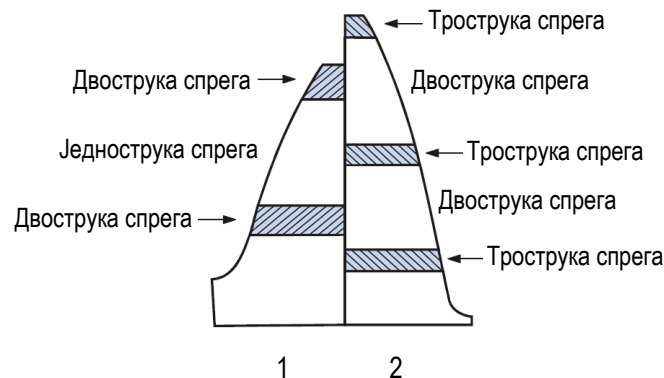


Сл. 7.24.

Расподела оптерећења дуж додирнице код зупчастог пара са повећаним степеном спрезања [61]

При коришћењу зупчастог пара са повећаним степеном спрезања не постиже се увек знатно већа носивост, али се добија много равномернији рад зупчастог пара, са много мањим шумом и без појаве већих динамичких сила на зупцима. Нажалост, због повећане висине зупца, зупчасти парови са повећаним степеном спрезања подложнији су појави подсецања и условљени су различитим ограничењима, што понекад и онемогућава израду зупчастих парова са повећаним степеном спрезања.

Када се пореди стандардни и зупчасти пар са повећаним степеном спрезања (сл. 7.25), јасно је да код стандардног зупчастог пара један зубац преноси целу силу код једноструке спреге (између тачака B и D , сл. 7.21). Највећа сила коју преносе зупци зупчаника са повећаним степеном спрезања (између тачака B и B' , односно D и D' , сл. 7.24) теоријски се сматра да је једнака половини укупне силе код једноструке спреге, иако је стварна сила нешто већа. Исто тако, расподела оптерећења је још мања када су три зупца у захвату. Због равномерније расподеле сила, мање су и деформације и појаве динамичких удара [64], што све утиче на повећање отпорности на појаву замора код зупчаника са бар два пара зубаца у контакту. Такође, увођењем зупчаника са повећаним степеном спрезања, зупчасти парови могу бити мање осетљиви на грешке настале током израде зубаца [65]. Експериментално је утврђено да је целобројна вредност степена спрезања ($\varepsilon_\alpha = 2$) најбоља за динамичко понашање зубаца и смањење буке [66], јер су тада све време два пара зубаца у захвату и оптерећење зупца је исто током целог спрезања.



Сл. 7.25.

Поређење стандардног зупца (1) и зупца са повећаном висином (2) [61]

7.6.1. Геометријска ограничења која постоје при дефинисању повећаног степена спрезања профила зубаца

Да би се повећао степен спрезања потребно је повећати активну дужину додирнице, при чему постоје многа геометријска и производна ограничења која условљавају појаву повећаног степена спрезања (ε_α). Оптимизацијом израза (7.1) односно (7.2) потребно је наћи одговарајуће јединичне висине теменог дела погонског (h_{a1}^*) и гоњеног зупчаника (h_{a2}^*) и коефицијенте померања зупчаника (x_1 и x_2):

$$\varepsilon_\alpha = f(h_{a1}^*, h_{a2}^*, x_1, x_2) = \max \quad (7.7)$$

при чему се јављају следећа ограничења:

- подсецање које се може јавити током производње,
- интерференца која се може јавити при спрезању,
- минимална ширина зупца на теменој кружници.

■ Ограничење услед подсецања које се може јавити током производње

Ова интерференца може се појавити у току формирања озубљења, када алат за израду озубљења пресеца профил добијеног зупца стварајући на тај начин подсечени профил. Ово подсецање је типично када се као алат користи зупчаста летва и јавља се када је број зубаца $z_g < 17$ ако се не изврши позитивно померање профила.

Овде долази до спрезања дела главе зупчастог алата са прелазним делом подножја зупца изван активног дела бока зупца, па се онда додир дешава ван додирнице. До интерференце неће доћи ако се тачка F_{Z1} нађе између тачака I_1 и C (сл. 7.26), па пошто се положај тачке F_{Z1} може дефинисати као:

$$g_{F_{Z1}} = I_1C - F_{Z1}C \tag{7.8}$$

ово растојање треба да буде позитивно:

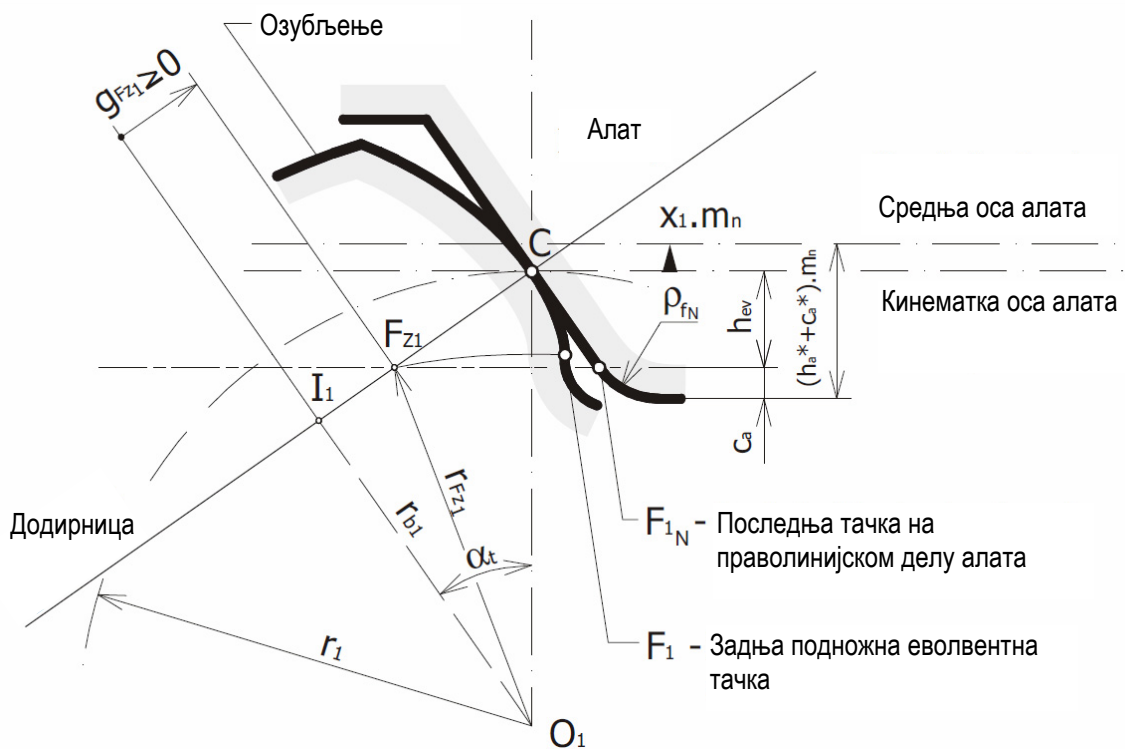
$$g_{F_{Z1}} = r_{b1} \cdot \tan \alpha_t - \frac{h_{ev1}}{\sin \alpha_t} \geq 0 \tag{7.9}$$

Пошто висина профила алата без заобљења при врху износи:

$$h_{ev1} = m_n \cdot (h_{a1}^* - x_1) \tag{7.10}$$

добијају се изрази за јединичне висине теменог дела погонског и гоњеног зупчаника [61]:

$$h_{a1}^* \leq \frac{r_{b1} \cdot \sin^2 \alpha_t}{m_n \cdot \cos \alpha_t} + x_1 ; \quad h_{a2}^* \leq \frac{r_{b2} \cdot \sin^2 \alpha_t}{m_n \cdot \cos \alpha_t} + x_2 \tag{7.11a,б}$$

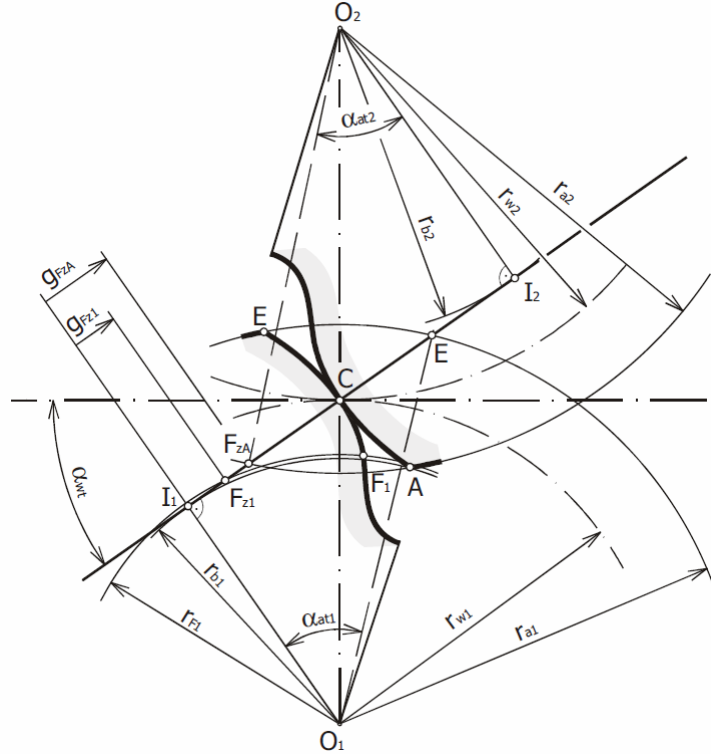


Сл. 7.26.

Спрезање које се јавља између алата у облику зупчасте летве и зупца зупчаника [61]

■ Ограничење услед подсецања које се може јавити приликом спрезања два зупчаника

Ова интерференца може се појавити приликом спрезања два зупчаника (односно при изради зупчаника алатом у облику зупчаника, методом Fellows) када део главе зупца погонског (гоњеног) зупчаника подсеца прелазни део подножја зупца гоњеног (погонског) зупчаника.



Сл. 7.27.

Спрезање које се јавља између зубаца два зупчаника или алатног зупчаника и зупца зупчаника [61]

Према сл. 7.27 могуће је дефинисати спрезање тако да не дође до интерференце између главе зупца гоњеног зупчаника и прелазног дела профила зупца погонског зупчаника. До подсецања профила зупца погонског зупчаника неће доћи само ако глава зупца гоњеног зупчаника дође у захват на додирници са зупцем погонског зупчаника пре задње подножне еволвентне тачке (тачке F_{z1}), односно ако је:

$$g_{F_{ZA}} \geq g_{F_{z1}} \tag{7.12}$$

Положај тачке F_{z1} дефинисан је једначином (7.9), а положај тачке F_{ZA} је:

$$g_{F_{ZA}} = a_w \cdot \sin \alpha_{wt} - r_{a2} \cdot \sin \alpha_{at2} \tag{7.13}$$

На основу услова (7.12) добија се услов:

$$a_w \cdot \sin \alpha_{wt} - r_{a2} \cdot \sin \alpha_{at2} \geq r_{b1} \cdot \tan \alpha_t - \frac{m_n}{\sin \alpha_t} (h_{a1}^* - x_1) \tag{7.14}$$

одакле се добијају изрази за јединичне висине теменог дела погонског и гоњеног зупчаника [61]:

$$h_{a1}^* \leq \frac{1}{2m_n} \left[a_w \frac{\sin \alpha_{wt}}{\sin \alpha_{at1}} - r_{b2} \frac{\tan \alpha_t}{\sin \alpha_{at1}} + \frac{m_n}{\sin \alpha_t \cdot \sin \alpha_{at1}} (h_{a2}^* - x_2) - r_1 \right] - x_1 \tag{7.15a}$$

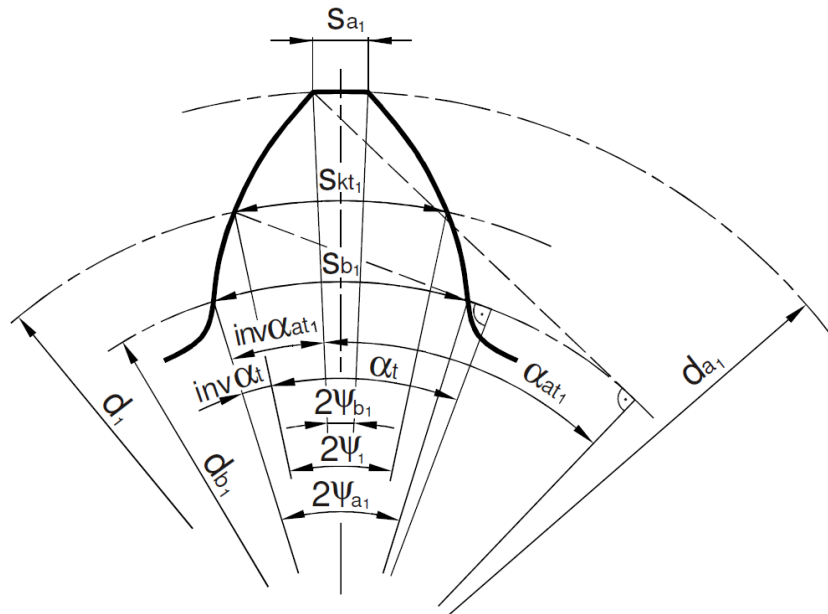
$$h_{a2}^* \leq \frac{1}{2m_n} \left[a_w \frac{\sin \alpha_{wt}}{\sin \alpha_{at2}} - r_{b1} \frac{\tan \alpha_t}{\sin \alpha_{at2}} + \frac{m_n}{\sin \alpha_t \cdot \sin \alpha_{at2}} (h_{a1}^* - x_1) - r_2 \right] - x_2 \tag{7.15b}$$

■ Ограничење услед минималне дебљине зупца на теменој кружници

Повећање висине зупца свакако утиче и на дебљину зупца на теменој кружници, нарочито још ако дође и до позитивног померања профила зупца.

Минимална дебљина зупца износи $s_a \geq (0,25-0,4) m_n$, али се за каљене зупчанике усваја вредност $s_a \geq 0,4 m_n$ [61]. Дебљина зупца на теменој кружници може се израчунати на следећи начин:

$$s_{a1} = d_{a1} \left(\frac{s_{kt1}}{d_1} + \text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_{at1} \right) \quad (7.16)$$



Сл. 7.28.

Одређивање дебљине зупца на теменој кружници [61]

С обзиром на то да је дебљина зупца на кинематској кружници:

$$s_{kt1} = \frac{p_t}{2} + 2 \cdot x_1 \cdot m_n \cdot \tan \alpha_t \quad (7.17)$$

добија се израз за дебљину зупца на теменој кружници:

$$s_{a1} = d_{a1} \left(\frac{p_t + 4 x_1 m_n \tan \alpha_t}{2 d_1} + \text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_{at1} \right) \quad (7.18)$$

Пошто је ова дебљина ограничена, добијају се изрази за јединичне висине теменог дела погонског и гоњеног зупчаника [61]:

$$h_{a1}^* \leq \frac{0.2}{\frac{p_t + 4 x_1 m_n \tan \alpha_t}{d_1} + 2 \cdot (\text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_{at1})} - \frac{d_1}{2 m_n} - x_1 \quad (7.19a)$$

$$h_{a2}^* \leq \frac{0.2}{\frac{p_t + 4 x_2 m_n \tan \alpha_t}{d_2} + 2 \cdot (\text{inv} \alpha_t - \text{inv} \alpha_{at2})} - \frac{d_2}{2 m_n} - x_2 \quad (7.19b)$$

7.6.2. Експериментална провера пара зупчастог пара са повећаним степеном спрезања

На основу експерименталних истраживања [66], извршена је оптимизација степена спрезања тако да он износи два ($\varepsilon_\alpha = 2$), јер се тада добија најбоље динамичко понашање зубаца и смањење буке, што се веома често користи у преносницима, а посебно у аутомобилској индустрији.

■ Опис опреме

Испитивања су вршена на стандардном уређају са затвореним током снаге за одређивање критичног напона на боковима зубаца. Извршено је експериментално испитивање зупчаника са степеном спрезања два ($\varepsilon_\alpha = 2$), да би се утврдило да ли зупчаници са параметрима добијеним оптимизацијом при номиналном оптерећењу могу да раде без појаве питинга, односно да се провери њихова трајна динамичка издржљивост σ_{Hlim} .

Појава питинга на зупцима зупчаника са повећаним степеном спрезања донекле се разликује него на зупцима редовних зупчаника. Ово је пре свега због појаве већих брзина клизања, веће дужине спрезања и појаве различитих расподела напона дуж зупца. Питинг који се јавља је углавном прогресиван и захвата веће површине него на зупцима обичних зупчаника [67].

Пошто је осно растојање овог уређаја унапред дефинисано и не може се мењати, експериментално испитивање није могло бити обављено са неким од зупчастих парова редуктора, већ је коришћен зупчасти пар са следећим подацима:

- број зубаца погонског зупчаника – $z_1 = 21$
- број зубаца гоњеног зупчаника – $z_2 = 51$
- модул – $m_n = 4 \text{ mm}$
- осно растојање – $a_w = 144 \text{ mm}$
- угао основног профила – $\alpha_n = 20^\circ$
- угао нагиба бочне линије – $\beta = 0^\circ$

Према претходно дефинисаним геометријским ограничењима, оптимизацијом [68, 69, 70] добијена су решења за јединичне висине теменог дела погонског (h_{a1}^*) и гоњеног зупчаника (h_{a2}^*) и коефицијенте померања погонског (x_1) и гоњеног (x_2) зупчаника који обезбеђују да степен спрезања износи два ($\varepsilon_\alpha = 2$):

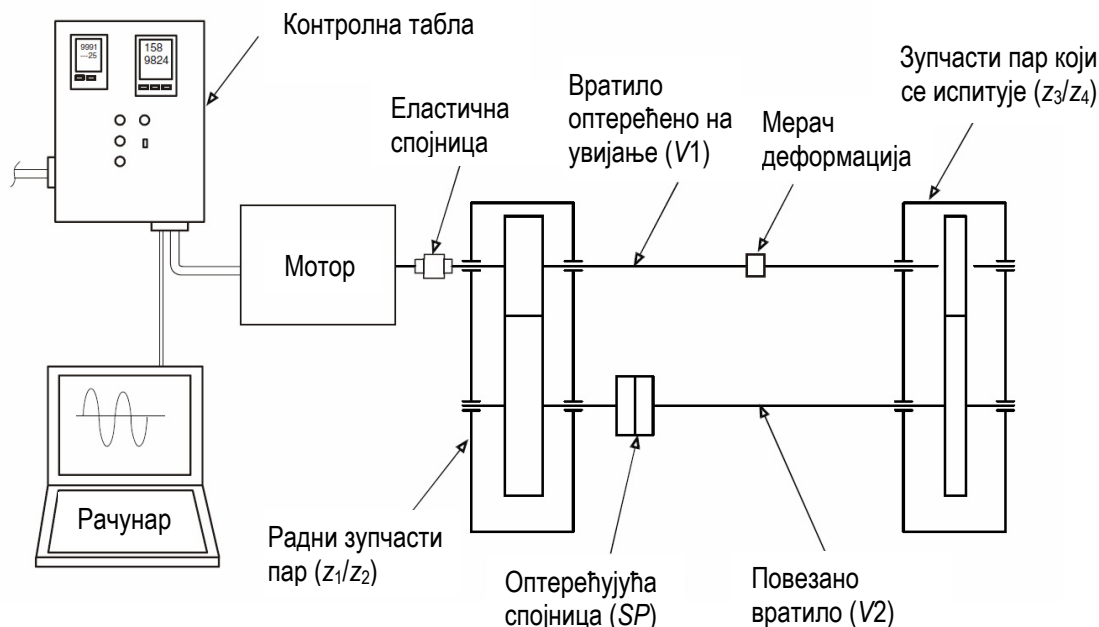
- јединична висина теменог дела погонског зупчаника – $h_{a1}^* = 1,3$
- јединична висина теменог дела гоњеног зупчаника – $h_{a2}^* = 1,29$
- коефицијент померања погонског зупчаника – $x_1 = 0,4$
- коефицијент померања гоњеног зупчаника – $x_2 = -0,4$

На основу тако добијених параметара израђени су зупчаници, и то два пара зупчаника, радни зупчасти пар и зупчасти пар који се испитује (сл. 7.29).

Да би се експериментално одредила трајна динамичка издржљивост зупчаника σ_{Hlim} , као и провера параметара зубаца добијених оптимизацијом за $\varepsilon_\alpha = 2$, користи се уређај за испитивање са затвореним током снаге (сл. 7.29) сходно стандарду DIN 3990/51354.

Опрема се састоји од погонског дела, преносног механизма, механизма који дефинише оптерећење и контролне јединице која је повезана са уређајем за мерење увијања, односно обртног момента (сл. 7.29). Излазни део овог уређаја је рачунар који обрађује и приказује сигнале добијене од сензора.

Принцип рада овог уређаја заснива се на преносу одговарајућег оптерећења са једног зупчастог пара z_1/z_2 (радни зупчasti пар) на други зупчasti пар z_3/z_4 (зупчasti пар који се испитује) и назад. Добијено оптерећење се преноси вратилом V_2 (које се састоји из два дела спојена крутом спојницом) на друго вратило V_1 . Величина увијања вратила V_1 дефинише оптерећење оба зупчаста пара. Оптерећење се остварује еластичним деформисањем вратила V_2 на увијање уз помоћ калибрисаних тегова. После притезања круте спојнице SP и уклањања тегова, вратило је оптерећено одговарајућим обртним моментом који даље оптерећује цео механизам.



Сл. 7.29.

Схематски приказ уређаја са затвореним током снаге [70]

Зупчаници и вратила повезани су крутим везама, тако да заједно чине механизам са затвореним током снаге. Кроз овај затворени механизам циркулише снага, односно обртни моменат, са једног зупчастог пара на други и назад.

Кућишта зупчастих редуктора чврсто су постављена на равну хоризонталну површину, тако да је обезбеђена саосност вратила. Услови саосности овде су нарочито важни јер то може утицати на тачност читавања података. Овај уређај конструисан је на тај начин да се могу монтирати зупчаници различитих пречника, али са истим осним растојањем $a_w = 144$ mm.

Уређај са затвореним током снаге погодан је јер се могу применити велика оптерећења. Да би се створило то велико оптерећење зупчаника, потребно је користити велике обртне моменте. Основна предност уређаја са затвореним током снаге је да треба уложити много мању енергију да би се добило одговарајуће оптерећење. Недостатак уређаја је што примена тока снаге захтева најмање два зупчаста пара. У пракси се ова врста уређаја често зове и Ниманов сто. Развијен је на Департману за машинске елементе Техничког универзитета у Минхену и постао је стандардни уређај за испитивање зупчаника и мазива – стандард DIN 51354 [70].

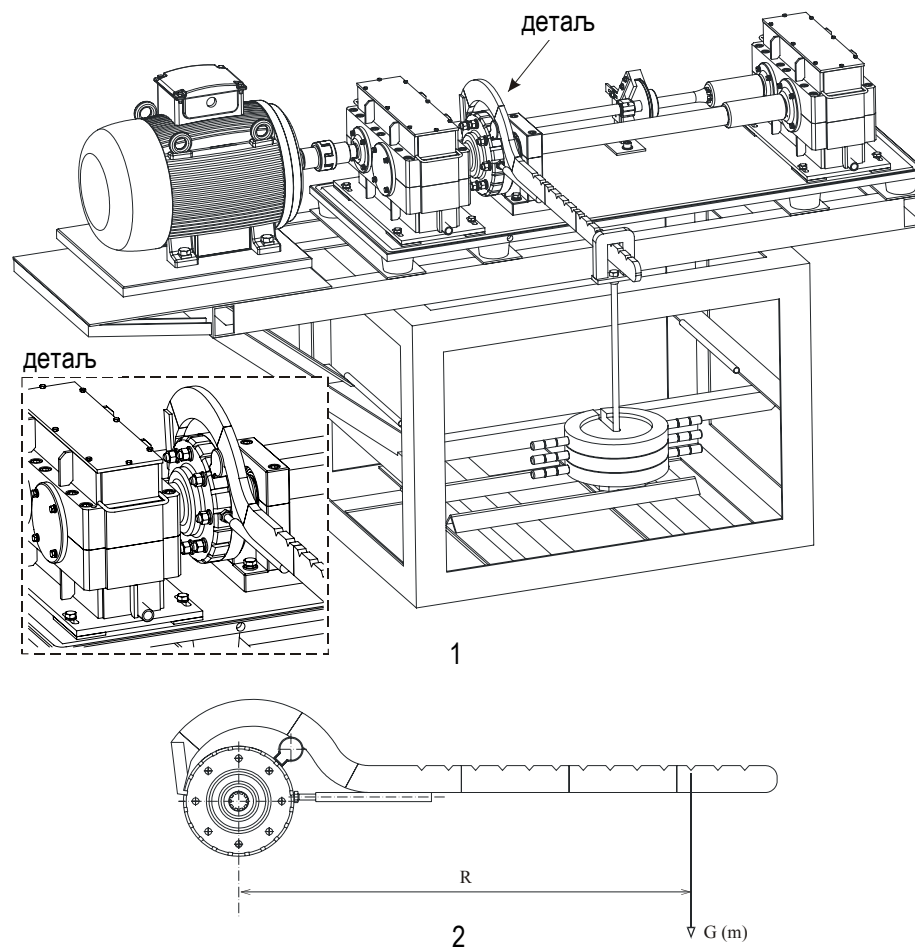
Уређај погони трофазни електромотор снаге 11 kW. Пошто у систему постоји губитак снаге (у лежајевима, на зупцима приликом спрезања, у зависности од типа мазива), предност овог уређаја са затвореним током снаге је што мотор покрива само губитке снаге и отпоре трења настале у механизму, а укупна снага (која кружи) много је већа. Континуалну регулацију улазног броја обртаја врши фреквентни инвертер (Vektor E82EV112S-4C). Зупчasti парови се међусобно оптерећују по принципу акције и реакције, тј. ствара се привид да снага циркулише у круг (затворен ток снаге). Снага мотора од 11 kW сасвим је довољна да надокнади губитке снаге, док

кроз уређај може да циркулише много већа снага до чак око 100 kW која обезбеђује одговарајуће оптерећења зубаца зупчаника.

Добијање и преношење обртног момента у механизму постиже се закретањем једне половине спојнице и вратила и затим притезањем завртњева за другу половину спојнице, при чему се као резултат услед преднапрегнутости вратила добија обртни момент унутар механизма (сл. 7.30).

Механизам за оптерећивање састоји се из полуге и калибрисаних тегова и круте спојнице SP (сл. 7.30) којом се врши притезање преднапрегнутог вратила $V2$. Закретање спојнице постиже се помоћу полуге и тегова приказаних на сл. 7.30.

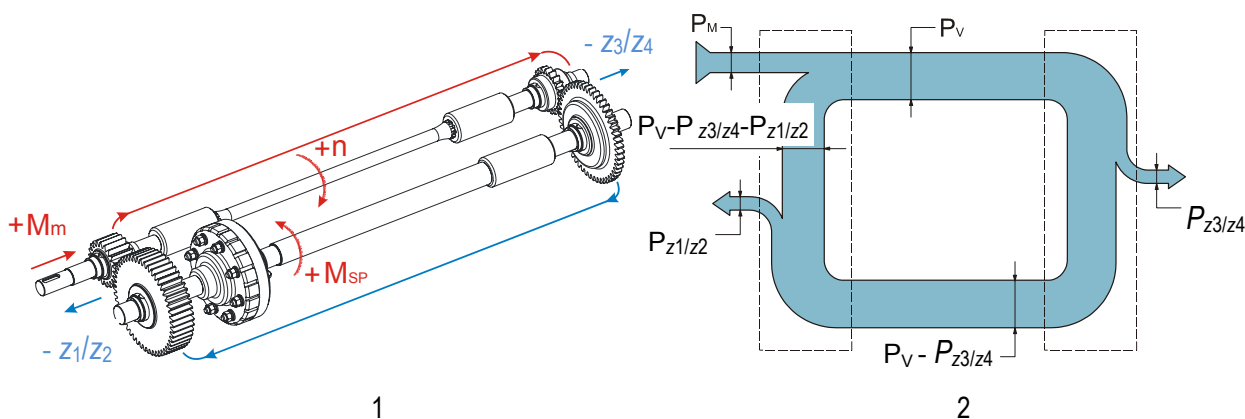
Комбинацијом растојања и тежина тегова механизам се може оптеретити било којим обртним моментом. Без обзира што се вратило $V2$ оптерећује, ефекат увијања, односно мерење обртног момента врши се на вратилу $V1$. Систем за мерење CONMES DAQ служи да се приликом испитивања зупчаника контролише обртни момент измерен на вратилу $V1$. Систем се састоји из мерних трака које на основу увијања вратила $V1$ региструју обртни момент који оптерећује механизам.



Сл. 7.30.

Изазивање предоптерећења увијањем вратила преко круте спојнице (1) и полуге механизма (2) која се оптерећује теговима [70]

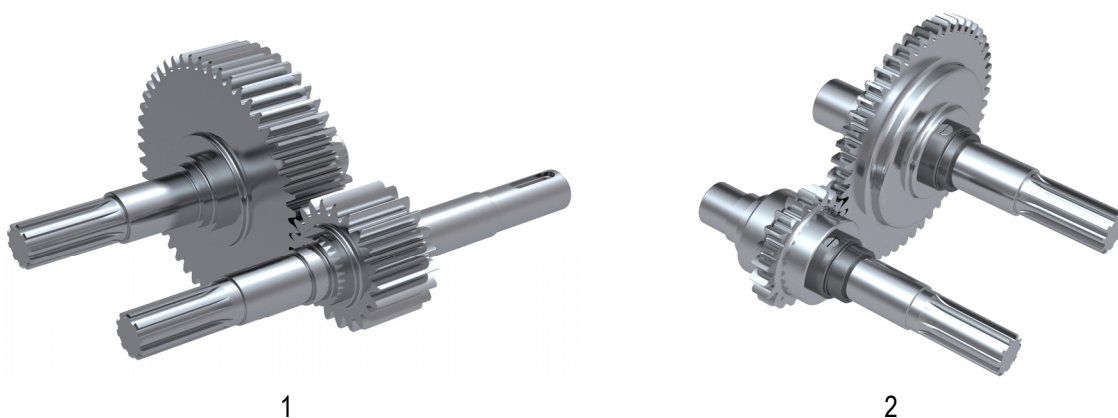
Обртни момент који циркулише унутар механизма добија се увијањем вратила преко спојнице (M_{SP} , сл. 7.31-1) и услед момента мотора (M_m), док се део снаге се губи при спрезању зупчастих парова (z_1/z_2 и z_3/z_4). Дијаграм тока снаге приказан је на сл. 7.31-2, где се улазна снага мотора (P_m) користи за надокнаду губитака снаге при спрезању зупчаника ($P_{z1/z2}$ и $P_{z3/z4}$).

**Сл. 7.31.**

Затворено механичко коло (1), дијаграм тока снаге (2) [70]

Радни зупчasti пар (сл. 7.32-1) разликује се од испитиваног пара пре свега по ширини озубљења. Ширина радног зупчастог пара ($b_p = 50 \text{ mm}$) већа је да би се добио отпорнији зупчasti пар, који је такође направљен и од челика бољег квалитета, а обрађен је каљењем и попуштањем.

Испитивани зупчasti пар (сл. 7.32-2) има ширину 15 mm , а израђен је од некаљеног угљеничног челика С60 (12061, словачки стандард). Површинска храпавост зубаца износи $R_a = 0,8 \text{ }\mu\text{m}$. Пренос обртног момента такође је обезбеђен ожлебљеним спојем.

**Сл. 7.32.**

Радни зупчasti пар (1) и зупчasti пар који се испитује (2) [70]

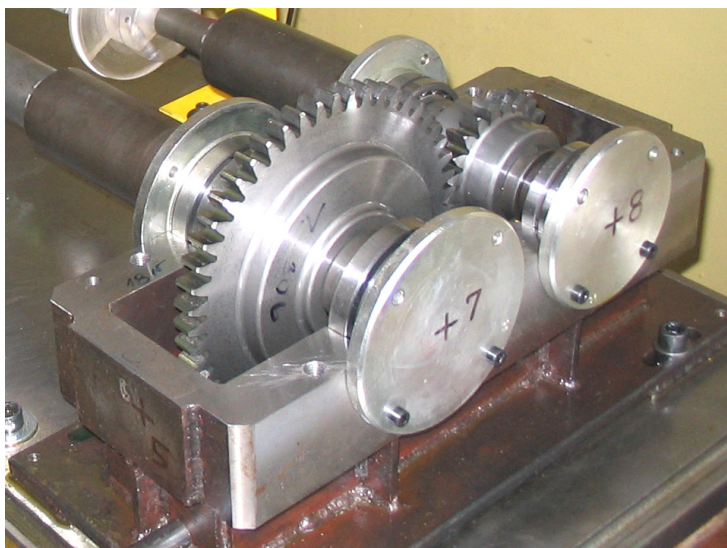
Због високих површинских притисака који се јављају између зубаца зупчаника са повећаним степеном спрезања, као први вид оштећења јављало се заривавање. Да би се спречила појава заривавања користило се хипоидно уље РР 90Н које доста добро подноси велика оптерећења и спречава појаву заривавања, тако да се као заморно оштећење јавља само питинг.

■ Методологија испитивања

Да би се обезбедило тачно мерење, као и веродостојни подаци, потребно је систематске и случајне грешке при мерењу свести на минимум. Због тога се користи стандардни испитни сто према DIN 51 354 (сл. 7.33) и постепена промена оптерећења зупчастог преносника уз стално мерење броја циклуса оптерећења до њиховог отказа, тј. до појаве замора, односно питинга.

Да би се извршило испитивање, кориштена су четири пара зупчаника и извршено је осам мерења јер је вршено оптерећивање оба бока зубаца зупчаника. Да би се конструисала Велерова крива за испитиван материјал зупчаника, мерење је извршено за три различите величине обртног момента (три мерења за највеће и средње оптерећење и два мерења за најмање оптерећење).

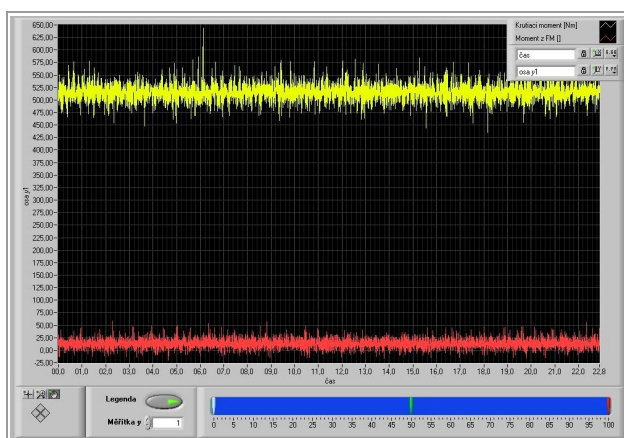
Креће се од највећег обртног момента који се постепено смањује, тако што се полугом и теговима оптерети вратило и изазове одговарајући обртни моменат у механизму. На вратилу V1 мери се увијање преко бежичних мерних трака распоређених на вратилу. На основу измереног увијања израчунава се момент који оптерећује елементе механизма и који се оčitава на екрану (сл. 7.34).



Сл. 7.33.

Начин монтаже зупчастог пара који се испитује у кућиште [70]

У овом случају највећи обртни момент је $M_{k(A)} = 265 \text{ Nm}$, средњи обртни момент износи $M_{k(B)} = 185 \text{ Nm}$ и најмањи обртни момент на коме се врши мерење је $M_{k(C)} = 125 \text{ Nm}$. Број циклуса $N_{Hlim} = 5 \cdot 10^7$ одговара трајној динамичкој издржљивости σ_{Hlim} при вероватноћи отказа 50%, што одговара стандардима ISO и DIN [71].



1

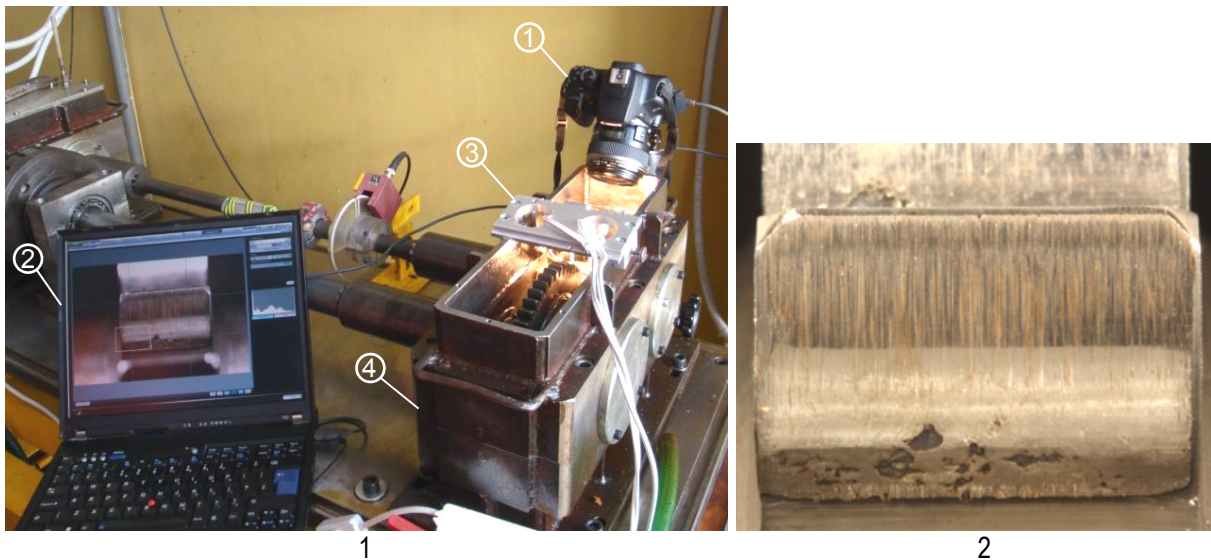


2

Сл. 7.34.

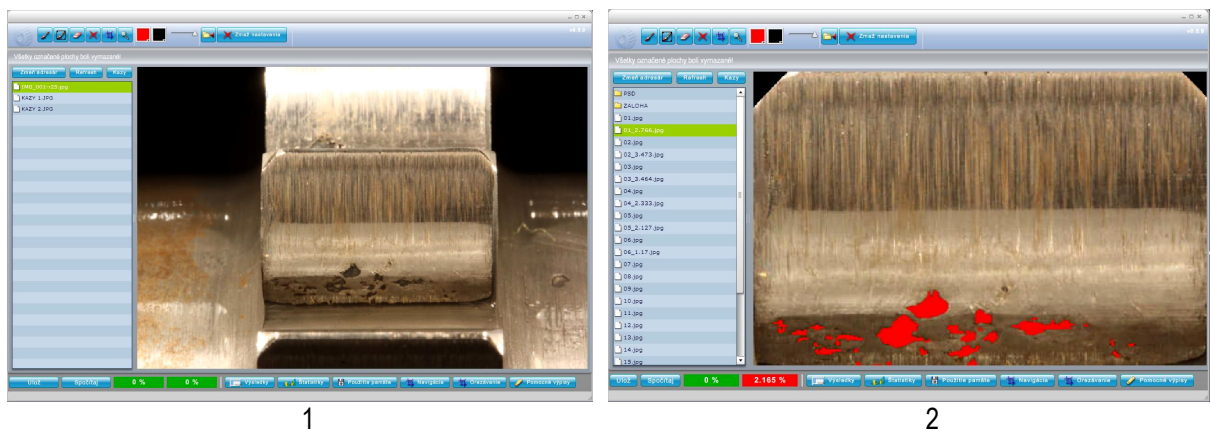
Запис деформације увијања који се добија на екрану коришћењем програма CONMES DAQ (1) и мерење обртног момента на вратилу V1 (2) [70]

Отказ, услед замора на питинг, настаје када укупна површина оштећења свих бокова зубаца, услед питинга погонског и гоњеног зупчника, пређе 2%, односно када оштећење услед питинга на једном боку зупца пређе 8%. За сврху оцењивања стања бока зупца и процене отказа услед питинга, на Департману за машинске елементе Машинског факултета у Братислави развијен је метод процене отказа (сл. 7.35-1) који заједно са софтвером (тзв. Pitting-Check) утврђује преко дигиталних фотографија стање површине сваког бока зупца. Оштећење бокова зубаца прати се после сваких 100000 обртаја (око два сата), када се прекида рад механизма са циљем да се утврди ниво оштећења, што подразумева сликање сваког бока појединачно (сл. 7.35-2).

**Сл. 7.35.**

1 – Опрема за испитивање оштећења бокова зубаца зупчаника (1 – дигитални апарат, 2 – рачунар, 3 – осветљење бокова зубаца, 4 – кућиште зупчастог пара); 2 – фотографија бока зупца [70]

Свака фотографија бока зупца обрађује се поменутиим софтвером Pitting-Check који препознаје оштећења и означава их (сл. 7.36). Програм прорачунава проценат оштећења сваког бока, односно укупно оштећење целог зупчастог пара и на основу тога доноси се закључак о наставку испитивања, или о прекиду рада, уколико је дошло до оштећења.

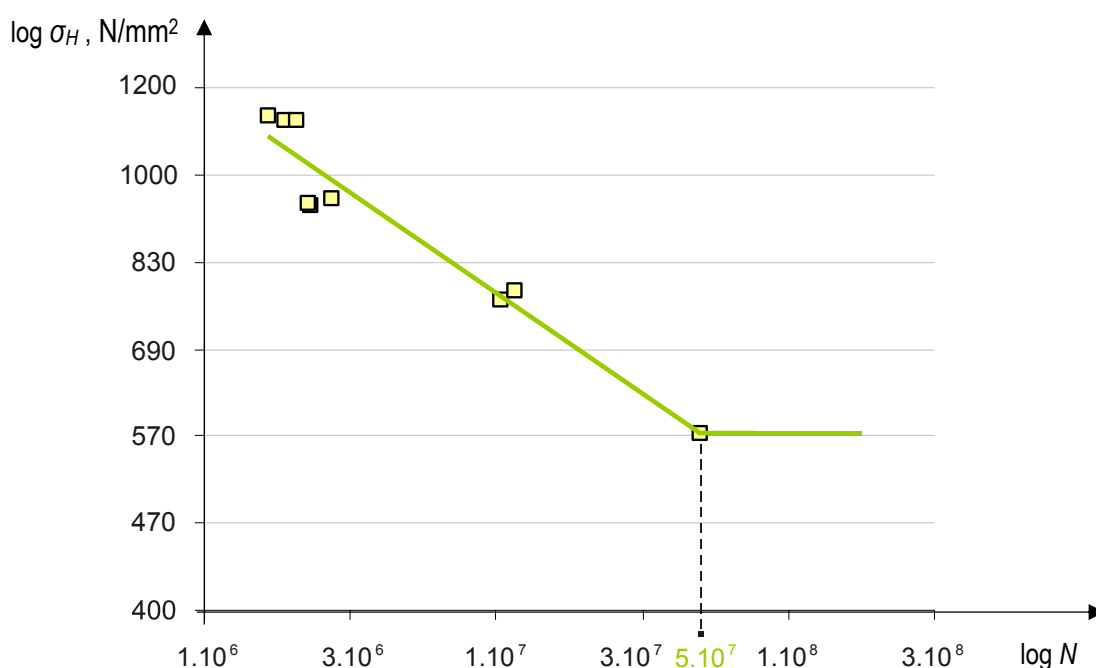
**Сл. 7.36.**

1 – Фотографија бока зупца у програму Pitting-Check; 2 – оштећења услед питинга означена у програму Pitting-Check [70]

Измерени резултати приказани су у таб. 7.13 према измереним обртним моментима. Дат је број циклуса после ког је дошло до отказа и израчунат је напон на боку зупца. Уношењем добијених вредности у дијаграм $\log \sigma_H - \log N$ добија се нагнути део Велерове криве, а у пресеку са бројем циклуса $5 \cdot 10^7$ добија се трајна динамичка издржљивост, у овом случају, $\sigma_{Hlim} = 578,15 \text{ N/mm}^2$ (сл. 7.37). Поређењем са карактеристикама материјала зупчаника $\sigma_{Hlim} = 520 \text{ N/mm}^2$ добија се нешто већа динамичка издржљивост, што одговара грешки при мерењу, тако да се може закључити да зупчаници са повећаним степеном спрезања могу да остваре пројектовану трајну динамичку издржљивост, отуда се уз примену квалитетнијих уља могу успешно применити код зупчастих парова. Пошто је трајна динамичка издржљивост σ_{Hlim} у овом случају вредност носивости једног пара зубаца, произилази да је ситуација код зупчастих парова са повећаним степеном спрезања много боља, јер је код њих оптерећење зубаца мање, па је с тога и њихова носивост већа.

Таб. 7.13. Измерене вредности на основу којих се конструише Велерова крива

Ред. бр. мерења	M_k, Nm	$\sigma_H, \text{N/mm}^2$	$\log \sigma_H$	Број циклуса до отказа, N_i	$\log N_i$
1	267,71	1134,82	3,055	1 650 000	6,217
2	262,32	1123,34	3,051	1 890 000	6,276
3	261,01	1120,53	3,049	2 050 000	6,312
4	185,34	944,23	2,975	2 240 000	6,350
5	182,30	936,46	2,971	2 310 000	6,364
6	189,12	953,82	2,979	2 730 000	6,436
7	122,28	766,96	2,885	10 370 000	7,016
8	127,11	781,96	2,893	11 510 000	7,061
Екстраполација	-	578,15	2,762	50 000 000	7,699

**Сл. 7.37.**

Велерова крива добијена испитивањем зупчастог пара са повећаним степеном спрезања

7.6.3. Предности примене зупчастих парова са повећаним степеном спрезања

Анализом предложених зупчастих парова за нормалну висину зупца (таб. 7.14) види се да они имају мали степен спрезања ε_α , али захваљујући закошењу зубаца овде постоји и допунски степен спрезања бочних линија:

$$\varepsilon_\beta = \frac{b \sin \beta}{m_n \pi} \quad (7.20)$$

тако да је укупни степен спрезања:

$$\varepsilon_\gamma = \varepsilon_\alpha + \varepsilon_\beta \quad (7.21)$$

На тај начин постиже се вишеструка спрега код више пари зубаца, па се код првог зупчастог пара јавља трострука спрега, јер су овде и највећи углови закошења зубаца. Ови зупчasti парови имају много равномернији рад, са много мањим шумом и без појаве већих динамичких сила на

зупцима. Међутим, стварни утицај на равномерност рада и појаву шума има степен спрезања ε_α који је код свих предложених зупчастих парова мањи од 1,5. Код трећег зупчастог пара, због великих аксијалних сила, углови закошења зубаца су најмањи, па је и укупан степен спрезања најмањи, при чему ниједан парцијални степен спрезања није већи од један (таб. 7.14).

Применом зубаца зупчаника са повећаном висином теменог дела могу се добити зупчаници са повећаним степеном спрезања профила ε_α без повећања угла закошења зубаца (таб. 7.15). Пошто је степен спрезања бочних линија ε_β једнак за све бројеве зубаца појединог зупчастог пара, он се овде неће разматрати.

Таб. 7.14. Степен спрезања зупчастих парова предложеног решења двостепене и тростепене варијанте зупчастог редуктора осне висине 115 mm

Први пар, двостепена верзија, $a_{1/2} = 56$ mm, $\varepsilon_\beta = 1,91$								
z_1	z_2	$i_{1/2}$	$m_{1/2}$, mm	$\beta_{1/2}$, °	x_{t1}	x_{t2}	ε_α	ε_γ
11	70	6,36	1,25	30	0,04	-1,51	1,408	3,31
13	66	5,08	1,25	30	0	-0,665	1,393	3,3
16	63	3,94	1,25	30	0	-0,665	1,411	3,32
19	60	3,16	1,25	30	0	-0,665	1,425	3,33
22	55	2,50	1,25	30	0	0,304	1,331	3,24
26	53	2,04	1,25	30	0	-0,665	1,448	3,35
30	48	1,60	1,25	30	0	-0,199	1,412	3,32
35	44	1,26	1,25	30	0	-0,665	1,467	3,37
Први пар, тростепена верзија, $a_{1/2} = 46$ mm, $\varepsilon_\beta = 2,38$								
z_1	z_2	$i_{1/2}$	$m_{1/2}$, mm	$\beta_{1/2}$, °	x_{t1}	x_{t2}	ε_α	ε_γ
11	70	6,36	1	30	0,04	-0,671	1,363	3,75
13	66	5,08	1	30	0	0,345	1,294	3,68
16	63	3,94	1	30	0	0,345	1,309	3,69
19	60	3,16	1	30	0	0,345	1,32	3,7
22	55	2,50	1	30	0	1,457	1,14	3,53
26	53	2,04	1	30	0	0,345	1,335	3,72
30	48	1,60	1	30	0	0,885	1,245	3,63
35	44	1,26	1	30	0	0,345	1,339	3,72
Други пар, $a_{3/4} = 60$ mm (само у тростепеној верзији), $\varepsilon_\beta = 1,306$								
z_3	z_4	$i_{3/4}$	$m_{3/4}$, mm	$\beta_{3/4}$, °	x_{t3}	x_{t4}	ε_α	ε_γ
11	78	7,09	1,25	20	0,222	0,409	1,348	2,65
19	68	3,58	1,25	20	0	1,782	1,239	2,54
Трећи пар, основна верзија ($T_N = 450$ Nm), $a_{5/6} = 67$ mm, $\varepsilon_\beta = 0,618$								
z_5	z_6	$i_{5/6}$	$m_{5/6}$, mm	$\beta_{5/6}$, °	x_{t5}	x_{t6}	ε_α	ε_γ
10	56	5,6	2	15	0,344	-0,938	1,467	2,08
11	54	4,91	2	15	0,282	-0,421	1,454	2,07
Трећи пар, слабија верзија ($T_N = 300$ Nm), $a_{5/6} = 67$ mm, $\varepsilon_\beta = 0,824$								
z_5	z_6	$i_{5/6}$	$m_{5/6}$, mm	$\beta_{5/6}$, °	x_{t5}	x_{t6}	ε_α	ε_γ
10	71	7,1	1,5	15	0,344	2,81	0,95	1,77
11	69	6,27	1,5	15	0,282	3,56	0,805	1,63

Таб. 7.15. Повећан степен спрезања зупчастих парова предложеног решења, при повећању темене висине профила

Први пар, двостепена верзија, $a_{1/2} = 56 \text{ mm}$, $\varepsilon_{\beta} = 1,91$												
Z_1	Z_2	$i_{1/2}$	$m_{1/2}, \text{ mm}$	$\beta_{1/2}, ^\circ$	h_{a1}^*	h_{a2}^*	x_{t1}	x_{t2}	ε_{α}	Повећање %	ε_{γ}	
11	70	6,36	1,25	30	1	1	0,04	-1,51	1,408	0,0	3,318	
11	68	6,18	1,25	30	1,266	1,075	0,313	-0,977	1,599	13,6	3,509	
13	66	5,08	1,25	30	1,345	1,158	0,219	-0,883	1,754	25,9	3,664	
16	63	3,94	1,25	30	1,439	1,264	0,1	-0,765	1,938	37,3	3,848	
19	60	3,16	1,25	30	1,435	1,253	0,222	-0,886	1,927	35,2	3,837	
22	55	2,50	1,25	30	1,5	1,5	-0,407	0,711	1,921	44,3	3,831	
26	53	2,04	1,25	30	1,436	1,245	0,45	-1,115	1,922	32,7	3,832	
30	48	1,60	1,25	30	1,5	1,5	-0,423	0,223	2,07	46,6	3,98	
35	44	1,26	1,25	30	1,447	1,256	0,669	-1,334	1,938	32,1	3,848	
Први пар, тростепена верзија, $a_{1/2} = 46 \text{ mm}$, $\varepsilon_{\beta} = 2,38$												
Z_1	Z_2	$i_{1/2}$	$m_{1/2}, \text{ mm}$	$\beta_{1/2}, ^\circ$	h_{a1}^*	h_{a2}^*	x_{t1}	x_{t2}	ε_{α}	Повећање %	ε_{γ}	
11	70	6,36	1	30	1,266	1,093	0,313	-0,943	1,6	17,4	3,98	
13	66	5,08	1	30	1,345	1,5	0,219	0,126	1,726	33,4	4,106	
16	63	3,94	1	30	1,451	1,5	0,065	0,28	1,828	39,6	4,208	
19	60	3,16	1	30	1,5	1,5	-0,146	0,492	1,894	43,5	4,274	
22	55	2,50	1	30	1,488	1,407	0,165	1,292	1,669	46,4	4,049	
26	53	2,04	1	30	1,5	1,5	-0,399	0,744	1,919	43,7	4,299	
30	48	1,60	1	30	1,5	1,5	0,103	0,782	1,813	45,6	4,193	
35	44	1,26	1	30	1,5	1,5	-0,018	0,363	1,919	43,3	4,299	
Други пар, $a_{3/4} = 60 \text{ mm}$ (само у тростепеној верзији), $\varepsilon_{\beta} = 1,306$												
Z_3	Z_4	$i_{3/4}$	$m_{3/4}, \text{ mm}$	$\beta_{3/4}, ^\circ$	h_{a3}^*	h_{a4}^*	x_{t3}	x_{t4}	ε_{α}	Повећање %	ε_{γ}	
11	78	7,09	1,25	20	1,148	1,282	0,384	0,246	1,596	18,4	2,902	
19	68	3,58	1,25	20	1,4	1,27	0,105	1,677	1,8	45,3	3,106	
Трећи пар, основна верзија ($T_N = 450 \text{ Nm}$), $a_{5/6} = 67 \text{ mm}$, $\varepsilon_{\beta} = 0,618$												
Z_5	Z_6	$i_{5/6}$	$m_{5/6}, \text{ mm}$	$\beta_{5/6}, ^\circ$	h_{a5}^*	h_{a6}^*	x_{t5}	x_{t6}	ε_{α}	Повећање %	ε_{γ}	
10	56	5,6	2	15	1	1	0,344	-0,938	1,467	0,0	2,085	
10	55	5,6	2	15	1,073	1,093	0,429	-0,568	1,511	3,0	2,129	
11	54	4,91	2	15	1,11	1,139	0,402	-0,542	1,594	9,6	2,212	
Трећи пар, слабија верзија ($T_N = 300 \text{ Nm}$), $a_{5/6} = 67 \text{ mm}$, $\varepsilon_{\beta} = 0,824$												
Z_5	Z_6	$i_{5/6}$	$m_{5/6}, \text{ mm}$	$\beta_{5/6}, ^\circ$	h_{a5}^*	h_{a6}^*	x_{t5}	x_{t6}	ε_{α}	Повећање %	ε_{γ}	
10	71	7,1	1,5	15	1	1	0,344	2,81	0,95	0,0	1,774	
12	71	5,92	1,5	15	1,146	1,288	0,374	1,475	1,675	108,1	2,499	
10	73	7,3	1,5	15	1,072	1,154	0,429	1,42	1,51	58,9	2,334	
11	69	6,27	1,5	15	1	1	0,282	3,56	0,805	0,0	1,629	
14	69	4,93	1,5	15	1,213	1,278	0,313	1,536	1,734	115,4	2,558	
11	72	6,54	1,5	15	1,11	1,222	0,402	1,446	1,594	98,0	2,418	

Оптимизацијом предложених зупчастих парова омогућује се избор јединичне висине теменог дела зупца у интервалу $[1; 1,5]$ и фактора померања профила погонског зупчаника у интервалу $[-1; 1]$. Међутим, због различитих геометријских ограничења врло је тешко остварити једнако повећање степена спрезања на свим зупчастим паровима. Ово је пре свега ограничено осним растојањем које дефинише одговарајућа померања профила зубаца. На основу њих програм за оптимизацију (Матлаб) усваја одговарајуће јединичне висине теменог дела зупца који обезбеђују што већи степен спрезања [72].

Може се приметити (таб. 7.15) да повећање степена спрезања није увек једнако. Оно се, при мањем броју зубаца погонског зупчаника, креће од 10% до 20%, док за већи број зубаца ово повећање износи и преко 40%. Степен спрезања само је у једном случају повећан изнад $\varepsilon_\alpha = 2$, што обезбеђује појаву двоструке и троструке спреге зубаца, другачију расподелу сила на боку зупца и знатно равномернији и мирнији рад. У свим осталим случајевима, степен спрезања је повећан, али није већи од два. Међутим, и то је исто значајно за појаву равномернијег рада, јер се дуже време остварује двострука спрега зубаца, па тада зупци нису толико оптерећени.

Бројеви зубаца усвојени су тако да обезбеђују вредност преносног односа према стандардном реду R20 (таб. 7.4-7.7). Због тога, за дефинисана осна растојања први зупчасти пар, из двостепене верзије, са преносним односом $i_{1/2} = 6,36$, и трећи зупчасти пар из основне верзије са преносним односом $i_{5/6} = 5,6$ као и оба трећа пара, из слабије верзије, не могу постићи већи степен спрезања, а да не дође до подсецања. Овде нису разматрани случајеви када би дошло до подсецања профила. Међутим, уколико би се незнатно променио број зубаца зупчаника, променио би се и фактор померања профила и то би дало могућност да се изабере одговарајућа повећана висина теменог дела зубаца, што би обезбедило повећање степена спрезања. Тако су у таб. 7.15 црвеном бојом означене могућности повећања степена спрезања. Ово показује да је могуће постићи већи степен спрезања, али, нажалост, то није увек могуће за случај када је потребно постићи и одговарајући преносни однос и уклопити пречнике зупчаника у кућиште. Ово се, ипак, може постићи повећањем или смањењем броја зубаца оба зупчаника, што опет мења предложено решење, и што у овом случају није разматрано.

Може се закључити да је повећање степена спрезања повећањем темене висине зупца могуће и да се одговарајућом комбинацијом осног растојања и броја зубаца могу постићи значајна повећања степена спрезања, чак и изнад $\varepsilon_\alpha = 2$.

8. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведених истраживања дошло се до закључка да су универзални зупчasti редуктори изузетно усавршени механизми. Међутим, они се морају и даље непрестано усавршавати како би постали још квалитетнији, ефикаснији, универзалнији, компактнији, економичнији, еколошичнији и у том правцу треба вршити, и очекивати, њихов даљи развој. Чињеница да у свету постоји изузетно велики број произвођача универзалних зупчastих редуктора говори о значају тих производа и потреби улагања великих средстава и напора да се створе још савршенији редуктори, што је био и основни циљ ових истраживања.

Квалитет редуктора, на првом месту, одређује задовољство њихових корисника и због тога је потребно имати и повратну информацију, што у овом раду није био случај, како би се отклонили сви недостаци, које произвођач није уочио. Због тога су примедбе и захтеви купаца процењени, тако да је циљ произвођача редуктора да понуди велики распон обртних момената и преносних односа како би сваки купац могао да одабере онај редуктор који му одговара. Дobar квалитет редуктора одређен је високом поузданошћу, великом чврстоћом, крутошћу, способношћу да оствари пројектован радни век уз миран и тих рад. При томе, значајно је остварити што рационалнију конструкцију постизањем великих обртних момената, великих дозвољених радијалних и аксијалних сила на слободним крајевима вратила и великих преносних односа, уз што мању масу, односно запремину редуктора. Такође, потребно је водити рачуна и о њиховом дизајну, различитим врстама и начинима уградње, као и о другим специјалним захтевима купаца редуктора. Напредак на повећању квалитета редуктора може се остварити правилним димензионисањем, рационалнијим конструкционим решењима, применом јачих лежајева, применом квалитетнијих материјала, квалитетније обраде и буричења зупчаника, квалитетније термохемијске обраде и применом квалитетнијих мазива. У овом случају, код предложеног решења, задовољени су сви ти захтеви.

Ефикасност, тј. повећање степена искоришћења, неоспорно је основни правац даљег развоја универзалних редуктора. С обзиром на то да код појединих решења има више зупчastих парова и употребљених лежајева, постоји могућност смањења њиховог броја и тиме повећања ефикасности. Поред тога, повећање ефикасности може се постићи применом квалитетнијих мазива, тачнијом и квалитетнијом обрадом, као и применом квалитетнијих материјала и превлака. Непостојање квалитетнијих материјала представља највеће ограничење даљег развоја редуктора, тако да је будући развој редуктора, са становишта ефикасности, усмерен у правцу изналажења квалитетнијих материјала. У овом случају предложена је концепција редуктора са

минималним бројем лежајева и мањим бројем зупчаника (са релативно великим преносним односима), чиме су испуњени основни услови за добијање ефикаснијег решења.

Универзалност карактерише могућност разноврсне примене и уградње редуктора, при различитим наменама, облицима и положајима уградње, као и могућност замене редуктора са редукторима других произвођача. Поред тога, редуктори велике универзалности одликују се и високом универзалношћу компонената што омогућује бржу испоруку, односно бржу израду и лакшу уградњу њихових компонената, односно, у случају потребе, брзим сервисом и заменом оштећених делова. У будућности се може очекивати још значајнији развој универзалности, посебно моторних редуктора са IEC моторима, како би се скратили рокови испоруке. Ово је посебно значајно за мање произвођаче редуктора. У овом случају испоштовани су сви ти захтеви, јер је предвиђена примена IEC мотора.

Компактност представља основну карактеристику савремених редуктора. Усвајањем погодног концепцијског решења и одговарајућег начина монтаже компонената, може се постићи жељена компактност. На компактност у великој мери утиче усвојена концепција редуктора, усвојене техничке карактеристике и материјал који се користи за израду редуктора итд. У овом случају, применом одвојивог средњег зида, испуњени су основни захтеви за постизање компактностног решења.

Економичност редуктора испољава се преко способности постизања што бољих техничких карактеристика при што мањим трошковима израде, монтаже, уградње, експлоатације, сервисирања, ремонта и рециклаже редуктора. У овом случају економичност је постигнута применом најпогоднијег концепцијског решења са IEC мотором.

Еколошност је данас правац развоја свих производа, па према томе и универзалних зупчастих редуктора. У циљу очувања и заштите животне средине, током примене зупчастих редуктора испуњени су сви еколошки стандарди који се односе на смањење нивоа вибрација, буке, загревања, а вођено је и рачуна о одлагању и рециклажи уља из редуктора.

Посебна тема овог рада била је изналажење начина оцењивања техничких карактеристика универзалних зупчастих редуктора. У раду је, поред уобичајених јединичних показатеља квалитета, дат предлог низа комплексних показатеља квалитета којима је извршена оцена појединих решења, а затим је на основу њих одређено најпогодније решење. Дефинисањем комплексних показатеља квалитета добила се могућност потпуније оцене доброте решења.

У раду је предложено да се, као комплексни показатељи квалитета, користе односи највећег преносног односа и масе (i_{\max} / m), однос називног обртног момента и масе (T_N / m), као и показатељ $i_{\max} T_N / m$. Комплексним показатељима могу се лакше пратити елементи који говоре о рационалности изведеног решења редуктора, при чему треба имати у виду да се овим показатељима могу оцењивати само редуктори исте осне висине. Допринос овога рада је што се увођењем осне висине (h) у комплексне показатеље постиже могућност поређења показатеља квалитета изведених редуктора без обзира на њихову величину. Поред односа масе, обртног момента или преносног односа, уведени су и показатељи у којима фигурише осна висина као што су ($i_{\max} T_N / h$) и ($i_{\max} T_N / m h$). Наравно, да би добијене вредности ових показатеља биле упоредиве, потребно је посматрати кућишта израђена од истог материјала, јер у супротном предност увек имају редуктори са кућиштима од легура лаких метала, мада и то говори о предностима тих решења.

На основу закључака добијених коришћењем јединичних и комплексних показатеља анализираних решења, у раду је дат предлог сопственог концепцијског решења универзалног зупчастог редуктора. С обзиром на то да је осна висина редуктора 115 mm најчешће коришћена, у овом раду је предложено решење редуктора те осне висине, намењено за мање произвођаче.

Предложено је да се користи универзално кућиште за двостепене и тростепене редукторе. Усвојене су готово све предности анализираних решења, као што су:

- напуштена је концепција саосних редуктора, што је омогућило смањење пречника првог зупчаника и постизање већих преносних односа;
- да би се смањио потребан асортиман кућишта, препоручено је да се кућиште израђује са стопалима и једном врстом мале прирубнице, као код решења произвођача Rossi (сл. 6.1-1) и Watt (сл. 6.1-2);
- на основу анализираних предности појединих решења, оцењено је да је, са становишта носивости, најбоље решење када је излазни зупчаник постављен између лежајева и када је пето зупчasto вратило ослоњено у три лежаја. Међутим, због једноставније обраде кућишта и међуплоче, једноставније монтаже и већег степена искоришћења, предлаже се употреба петог зупчastог вратила ослоњеног у два лежаја, са четвртим зупчаником на препусту;
- са становишта преносног односа, гоњени зупчаници треба да су што већи, а њихова монтажа могућа је само уз примену међуплоче или поклопаца. При мањим осним висинама чешће се примењује аксијална монтажа са постављањем међуплоче између кућишта и мотора. На основу извршене оцене концепцијских решења и начина монтаже, за анализирану осну висину, усвојен је аксијалан начин монтаже који обезбеђује веће преносне односе. Отварањем кућишта помоћу међуплоче, која је истовремено и део адаптера за IEC мотор, постиже се могућност аксијалне уградње посредством одвојивог средњег зида, као код редуктора компаније Lenze (сл. 3.58);
- предложена је аксијална монтажа зупчаника, јер се ради о редуктору мањих осних висина, па је усвојено решење као код редуктора компаније Lenze (сл. 3.58), са одвојивим средњим зидом кућишта, помоћу кога се отвара спороходна комора. То омогућава једноставну уградњу великих зупчаника и тиме постизање великих преносних односа. Поред тога, избегава се отварање кућишта са предње стране на месту петог зупчastог вратила, чиме се додатно ојачава кућиште редуктора;
- брзоходна комора је проширена са тзв. „стомачићима” да би се могли сместити и велики зупчаници и тиме постигли велики преносни односи, као код кућишта редуктора компаније Siemens-Flender (сл. 3.8);
- предвиђено је коришћење адаптера за стандардне IEC моторе, како би се обезбедила једноставнија производња и скратили рокови, без значајнијег повећања трошкова производње;
- при великим преносним односима, погонски зупчаник поставља се утискивањем у вратило адаптера, што омогућује постизање још већих преносних односа на првом зупчastом пару него што је то случај код класичних редуктора;
- предвиђено је коришћење два сета зупчаника (већи преносни односи са мањом носивости и мањи преносни односи са већом носивости) како би се обезбедила већа конкурентност предложеног решења;
- да би се смањили трошкови производње, препоручује се производња само пет до шест величина редуктора, почев од осне висине 90 mm, 115, 130, 180, 250 и 315 mm. Тиме би се постигло задовољење најчешћих захтева тржишта, међутим, тачнији подаци би се могли добити само детаљнијим истраживањем тржишта.

Посебан додатак овог рада представља анализа могућности примене зупчаника са повећаним степеном спрезања као могућности која се до сада ретко користила код универзалних зупчastих редуктора. Применом већег степена спрезања постиже се равномернији и мирнији рад редуктора. У раду је експериментално потврђена могућност примене зупчаника са повећаном

висином теменог дела, што значи да је примена таквих зупчаника, са одговарајућим бројем зубаца и осним растојањима унутар универзалних зупчастих редуктора, могућа и остварива.

Циљ овог рада био је да се анализирају и упореде различите концепције универзалних зупчастих редуктора, да се на основу тих анализа одаберу најповољнија решења и да се дају смернице њиховог даљег развоја. На основу спроведених оцењивања дошло се до закључка да предложено решење може успешно да конкурише решењима водећих светских произвођача.

Резултати истраживања представљају теоријски и практични допринос систематизацији и развоју универзалних зупчастих редуктора, са становишта избора њихове концепције и квалитета. Са друге стране, коришћењем комплексних параметара, који су предложени у овом раду, може се извршити комплексна анализа постојећих решења зупчастих редуктора и праћење ефеката побољшања која су предложена у циљу отклањања уочених недостатака.

9. ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА

Анализирајући карактеристике савремених универзалних зупчастих редуктора може се закључити да су квалитет, ефикасност, универзалност, компактност, економичност и еколошност основни правци у ком се развијају редуктори и у том правцу ће се, највероватније, и у будућности развијати универзални зупчасти редуктори.

Посебно се мора истраживати могућност усавршавања и развоја нових материјала и нових превлака који ће утицати на побољшање карактеристика (носивости) редуктора и његовог квалитета (поузданости). Развојем нових материјала може се очекивати повећање чврстоће, тврдоће, жилавости, отпорности на хабање, заривање или питинг, тј. делови ће највероватније бити отпорнији и моћи ће се изложити већим оптерећењима. Према томе, недостатак бољих материјала основни је разлог што универзални зупчасти редуктори не могу да имају још боље карактеристике.

На сличан начин, на који је извршено оцењивање посредством комплексних показатеља квалитета универзалних зупчастих редуктора, потребно извршити оцењивање квалитета конусних, пужних, планетарних и осталих редуктора, на основу чега би се могао дати предлог побољшања тих редуктора. Било би веома интересантно посматрати и проучавати безазорне редукторе.

С обзиром на то да је у раду предложена употреба зупчаника са повећаном теменом висином, потребно је дати ново конструкционо решење (са другачијим осним растојањима и/или бројем зубаца) које ће обезбедити да степен спрезања буде што већи, по могућности да износи два ($\varepsilon_\alpha = 2$), јер се тада добија најбоље динамичко понашање зубаца и смањење буке и вибрација [66]. Због различитих ограничења ово неће увек бити могуће постићи, али ће се избором најбољег броја зубаца и осног растојања постићи што већа вредност степена спрезања. Експерименталним испитивањем зупчаника са повећаним степеном спрезања, утврђено је да се при употреби уобичајених уља за подмазивање прво јавља заривање, па тек онда питинг на боковима зубаца. Због тога је неопходно покушати утврдити параметре који ће спречити прерано оштећење бокова зубаца са становишта заривања.

Осне висине, као и све остале прикључне димензије редуктора, треба још више унифицирати и требало би предложити увођење стандарда у област универзалних зупчастих редуктора.

Литература

- [1] www.gears-manufacturers.com/gears-history.html
- [2] Gear motor Handbook, Bonfiglioli Riduttori S.p.A. (Eds.), Springer, 1995
- [3] www.bisongear.com
- [4] <http://www.nuttallgear.com/nuttall-history.asp>
- [5] <http://www.standardmachine.ca/hgear1.php>
- [6] С. Кузмановић, *Универзални зупчasti редуктори са цилиндричним зупчаницима*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2009.
- [7] С. Кузмановић, М. Рацков, *Безазорни преносници у војном машинству*, Кумулативна научнотехничка информација; 2012, Вол.47, бр.1, (101 стр.), ISSN 1820-3418, ISBN 978-86-81123-51-5, COBISS.SR-ID 191448076
- [8] С. Кузмановић, Р. Трбојевић, М. Рацков, *Анализа могућности повећања преносних односа зупчastих редуктора*, Други симпозијум о конструисању, обликовању и дизајну КОД – 2002, Факултет техничких наука, Нови Кнежевац, 22. мај 2002, стр. 159-162
- [9] Helical Geared Motors, Motovario S.p.A., H/2010/Rev.0
- [10] Bonfiglioli Riduttori, Industry Process and Automation Solutions, Bologna, Italy, 2010
- [11] Getriebebau NORD Drivesystems, Constant Speeds, G 1000, Mat. Nr. 6000099.4710, 2011
- [12] NORD Gear Corporation, Constant Speeds, NORDBLOC 1011/2000, 100200003/1103
- [13] Rossi, E04 – Coaxial Gear Reducers and Gearmotors (standard and for traverse movements), Edition December 2010, 4002BRO.ECO-en 1210 HQM
- [14] SEW Eurodrive, Catalog – Gear Units, Edition 06/2010-16997611/EN
- [15] Lenze, L-force, Getriebemotoren, de 02/2010
- [16] Siemens, MOTOX Geared Motors, Catalog D87.1-2011
- [17] В. Barišić, S. Kuzmanović M. Rackov, *Effect of External Loads at the Output Shaft End of Universal Worm Gear Reducer on Its Thermal Capacity*, The 7th International Scientific Conference RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MECHANICAL ELEMENTS AND SYSTEMS, 27-28 April, 2011, Златибор, Србија, ISBN 978-86-6055-012-7, стр. 535 – 540

- [18] В. Милтеновић, *Машински елементи – облици, прорачун примена*, Универзитет у Нишу, Машински факултет, Ниш, 2009.
- [19] S. Kuzmanović, M. Vereš, M. Rackov, *Analysis of Characteristical Mounting Ways of Gear Wheels in Universal Gear Reducers*, Budowa Maszyn i Zarzadzanie Produkcja 11 - 2009, Zeszyty Naukowe Politechniki Poznanskiej, Wydawnictwo Politechniki Poznanskiej, Poznan, Poland, 2009, ISSN 1733-1919; стр. 81-91
- [20] M. Rackov, S. Kuzmanović, *Proposal of Assessment Method for the Conceptual Design of Universal Helical Gear Reducers*, The 7th International Scientific Conference RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MECHANICAL ELEMENTS AND SYSTEMS, 27-28 April, 2011, Златибор, Србија, ISBN 978-86-6055-012-7, стр. 469 – 474
- [21] S. Kuzmanović, M. Rackov, *Evaluation of Conceptual Solutions of Universal Helical Two Stage Gear Units*, DEMI 2011 - 10th Anniversary International Conference on accomplishments in Electrical and Mechanical Engineering and Information Technology, 26-28 May, 2011, Banja Luka, B&H, ISBN 978-99938-39-36-1, стр. 151 – 158
- [22] Operating Instructions – BA G298 EN 08.98, MOTOX-N, Helical Gear Units and Gear Motors, Flender, Tübingen GmbH
- [23] Antriebstechnik – Marktübersicht 2012, Sonderausgabe der Zeitschrift antriebstechnik, Organ des FVA e.V. im VDMA, Dezember 2011
- [24] SEW Eurodrive, Uputa za uporabu, Reduktor tipske vrste R..7, F..7, K..7, S..7, Spiroplan W, Izdanje 02/2008-11691239/HR
- [25] NORD Drivesystems, The Company, Intelligent drive solutions since 1965, I8020 Part-No. 6090102/2111
- [26] NORD Drivesystems, Standard Helical Gearboxes, G 2000
- [27] NORD Drivesystems, Motors, M 7000, Mat.-Nr. 6000602/2211
- [28] NORD Drivesystems, Operating & Instruction Manuals for Gear Units, B 1000, 100200104/0909
- [29] NORD Drivesystems, NORDBLOC.1 SK072.1-SK973.1, G 1012, Mat.-Nr. 6001699/2210
- [30] NORD Drivesystems, Spare Parts catalogue NORDBLOC, PL1011, Mat.-Nr. 6001999/0611
- [31] NORD, Standard Helical Gearboxes, G2000, Mat.-Nr. 6000599/2805
- [32] Rossi, ES07 – Coaxial Gearmotors, STANDARDFIT, Edition December 2010, 4063BRO.EST-en 1210 HQM
- [33] Lenze, L-force, Geared Motors, Effizient un passgenau, 01/2012, Version 1.2 de
- [34] Lenze, L-force, Three-Phase AC Motors, Effizient un passgenau, 11/2010, Version 1.0 de
- [35] Lenze, StockGears, Geared Motors 90 W – 7.5 kW, Lenze geared motors available for fast delivery, Transdrive Engineering Services Ltd, Units 18-20 Moss Lane, Heyside, Royton, Oldham, OL2 6HR, England
- [36] Geared Units, Pujol Muntalà, Polígono Industrial La Sarreta, 2011-11, Spain
- [37] Bonfiglioli Riduttori, S series, Single Stage Gearboxes, COD. 1044 R8, 120127, Bologna, Italy
- [38] Bonfiglioli Riduttori, S series, Spare Parts List, COD. 1245 R1, 110719, Bologna, Italy
- [39] Bonfiglioli Riduttori, Industry Process and Automation Solutions, COD. 1040 R12, 101019, Bologna, Italy
- [40] Bonfiglioli Riduttori, Industry Process and Automation Solutions, 090420, Bologna, Italy

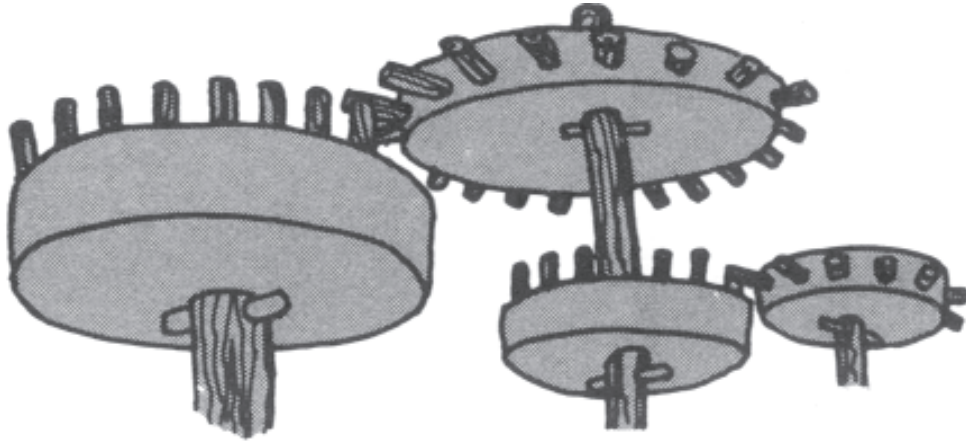
- [41] KEB Gear units & Motors, Karl E. Brinkmann GmbH, Barntrup, Germany, KEB 00.00.000-99E6 - 11-2011
- [42] Leroy Somer, Drive System, Compabloc 3000 / LS, LSES, 4787 en-2011.04/a
- [43] С. Кузмановић, *Индустријски дизајн*, Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2012.
- [44] ONDRIVES Products Manufacturing, Gear Products 2012
- [45] S. Kuzmanović, M. Rackov, *Development Tendencies of Universal Gear Reducers*, Proceedings of the 3rd International Conference Power Transmissions '09, Kallithea, Greece, 1-2. October 2009, ISBN 978-960-243-662-2; Balkan Association of Power Transmissions / Technical Chamber of Greece / Lab. of Machine Elements & Machine Design, Aristotle University of Thessaloniki, editor: prof. PhD. Athanassios Mihailidis; na strani 145-148
- [46] М. Рацков, Р. Трбојевић, С. Кузмановић, *Анализа оправданости примене зупчаника са различитим носивостима у оквиру универзалних зупчастих редуктора / Justification Analysis of Application of Gears with Different Load Capacity for Universal Spur Gear Units*, Конструисање машина / Journal of Mechanical Engineering Design – Vol. 8 No.1-2005, АДЕКО – Факултет техничких наука, Нови Сад, 2005, ISSN 1450-5401; стр. 32-35
- [47] S. Kuzmanović, M. Rackov, *Usual Possible Ways of Increasing of Speed Ratios Values of Universal Gear Reducers*, Acta Technica Napocensis (Applied Mathematics and Mechanics), No.52, Vol. III, Technical University of Cluj-Napoca, Romania, ISSN 1221-5872; стр. 221-226
- [48] S. Kuzmanović, M. Vereš, *New Development Trends of Universal Gear Reducers*, Proceedings of the 2nd International conference „Power Transmissions 2006“, 25-26. april 2006, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, ISBN 86-85211-78-6; стр. 1-6
- [49] Addendum Robus Ex of Operation and maintenance manual ROBUS, Motive s.r.l, Montirone, Italy
- [50] Helical, shaft mounted and special geared motors – TechLine 2, ABM Greiffenberger Antriebstechnik GmbH, Marktredwitz, Germany
- [51] Helical Geared Motors – MGS C, ID 442116.02-03.12, Stöber, Germany
- [52] NHL Series – Helical Inline Gearboxes, Technical & Comercial Catalogue, Siti SPA, Societa Italiana Transmisioni Industriali, 3.2008
- [53] Foshan Xingguang Transimission Machinery Co., Ltd.
- [54] www.zhejiangwangye.en.ecplaza.net
- [55] www.feilong-reducer.com
- [56] A. Miltenović, S. Kuzmanović, V. Miltenović, M. Tica, M. Rackov: *Thermal Stability of Crossed Helical Gears With Wheels Made From Sintered Steel*, Thermal Science, 2012, Vol. 16, Suppl. 2, pp. S607-S619, ISSN 0354-9836, DOI:10.2298/TSCI120503190M
- [57] S. Kuzmanović, M. Rackov, R. Trbojević, *Uticaj oblika na asortiman univerzalnih zupčastih reduktora*, Četvrti simpozijum o konstruisanju, oblikovanju i dizajnu KOD – 2006, 30. i 31. maja 2006, Palić, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 2006, ISBN 86-85211-92-1; стр. 187-190,
- [58] S. Kuzmanović, M. Rackov, R. Trbojević, *Procedure of Universal Gear Units Adoption*, Journal of Engineering, Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara, Tome V (year 2007), Fascicule 3, ISSN 1584-2673, University “Politehnica” Timișoara, Faculty of Engineering, Hunedoara, Romania, стр. 219-225
- [59] S. Kuzmanović, M. Rackov, *Design Analysis of Housings of Universal Multistage Helical Motor Gear Units*, The 5th International Symposium on Graphic Engineering and Design – GRID'10,

- University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Novi Sad, Serbia, 11-12 November 2010, ISBN 978-86-7892-294-7, str. 255-260
- [60] S. Kuzmanović, S. Ianici, M. Rackov, *Analysis of Typical Method of Connection of Electric Motor and Gear Unit in the Frame of Universal Motor Gear Reducer*, Machine Design 2010, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences / ADEKO / CEEPUS CII-RS-0304, CII-PL-0033, Novi Sad, 2010; ISSN 1821-1259; str. 141-146
- [61] M. Bošansky, M. Vereš, *Teoria čelneho rovinneho ozubenja*, Slovak University of Technology, Bratislava, 1999
- [62] В. Милтеновић, М. Огњановић, *Машински елементи II - елементи за пренос снаге*, Машински факултет Универзитета у Нишу, Машински факултет Универзитета у Београду, 1995
- [63] A. R. Hassan, *Contact Stress Analysis of Spur Gear Teeth Pair*, World Academy of Science, Engineering and Technology 58 2009
- [64] R. Kasuba, *Dynamic Loads in Normal and High Contact Ratio Spur Gearing*, International Symposium on Gearing and Power Transmissions, 1981, Tokyo, 49-55.
- [65] T. Sato, K. Umezawa, J. Ishikawa, *Effect of Contact Ratio and Profile Correction of Spur Gears on the Rotational Vibrations*, Bulletin of the JSME 26 (221) (1983) 2010-2016
- [66] A. Kahraman, G.W. Blankenship, *Effect of Involute Contact Ratio on Spur Gear Dynamics*, ASME Journal of Mechanical Design 121 (1999) 112-118.
- [67] Online Mesačník – Strojárstvo extra, v tribológii a tribotechnike 3/2007
- [68] M. Rackov, *HCR Gearing and Optimization of Its Geometry*, Written work to the professional doctoral examination, Slovak University of Technology in Bratislava, Faculty of Mechanical Engineering, April 2012
- [69] M. Rackov, M. Vereš, Ž. Kanović, S. Kuzmanović: *HCR Gearing and Optimization of Its Geometry*, *Advanced Materials Research*, Vol. 633 (2013), pp 117-132, Trans Tech Publications, Zurich, Switzerland, ISBN: 978-3-03785-585-0, doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.633.117
- [70] J. Medzihradsky, *Experimentálny a teoretický výskum HCR ozubenja z hľadiska jeho optimalizácie a odolnosti voči poškodeniu pittingom* – Dizertačná práca, Slovenska technicka univerzita v Bratislave, Strojnicka fakulta, Bratislava, Oktober 2009
- [71] M. Vereš, *Odolnosť ozubenja voči zadieraniu z hľadiska jeho tvaru*. Kandidátska dizertačná práca, SjF SVŠT Bratislava, 1987
- [72] M. Rackov, S. Kuzmanović, Ž. Kanović, M. Vereš: *Some Irregularities Which May Occur During Implementation HCR Gearing*, The First International Scientific Conference "Conference on Mechanical Engineering Technologies and Applications" COMETA, University of East Sarajevo, Faculty of Mechanical Engineering, East Sarajevo, 28-30 November, 2012, pp. 269-276, ISBN 978-99938-655-4-4
- [73] http://en.wikipedia.org/wiki/South-pointing_chariot
- [74] http://en.wikipedia.org/wiki/Antikythera_mechanism
- [75] www.insource.com
- [76] www.efunda.com/designstandards/gears/gears_history.cfm

Прилог I.

ИСТОРИЈСКИ ПРЕГЛЕД РАЗВОЈА МЕХАНИЧКИХ ПРЕНОСНИКА

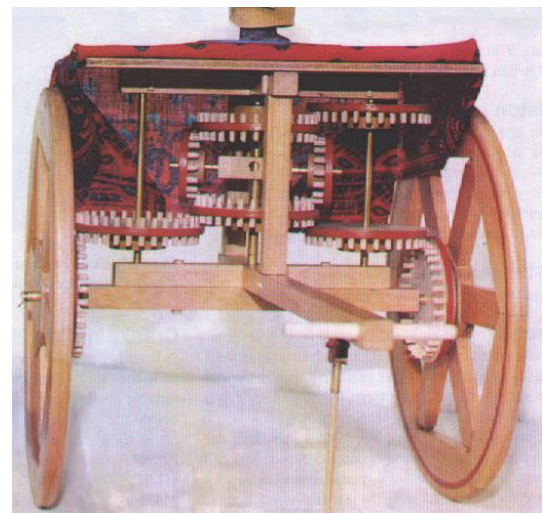
Механички преносници познати су више од 2000 година [1]. Они су у себи садржали дрвене зупчанике који су се међусобно спрезали и тако преносили обртно кретање до неке радне машине, најчешће до камена за млевење у млиновима или до пумпи за наводњавање. Ти примитивни зупчаници су, по свом ободу, имали чивије, као зупце (сл. П1.1).



Сл. П1.1.

Примитивни зупчаници направљени од дрвета [1]

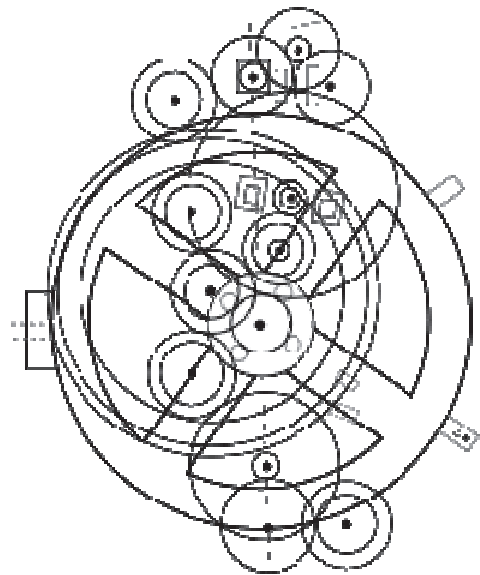
Забележен је податак да се у Старој Кини на кочијама користио механички преносник у виду механизма са дрвеним зупчаницима [73], помоћу којег је рука једне лутке стално показивала правац југа у току кретања кочије (сл. П1.2). Пре почетка кретања кочије показивач би се подесио на југ, а током кретања кочије, захваљујући зупчастом механизму који је повезан са точковима и са показивачем, а без обзира на скретање кочије, показивач је стално показивао страну југа, тако да је то коришћено као компас. Ово је и прва позната употреба диференцијалног преносника.



Сл. П1.2.

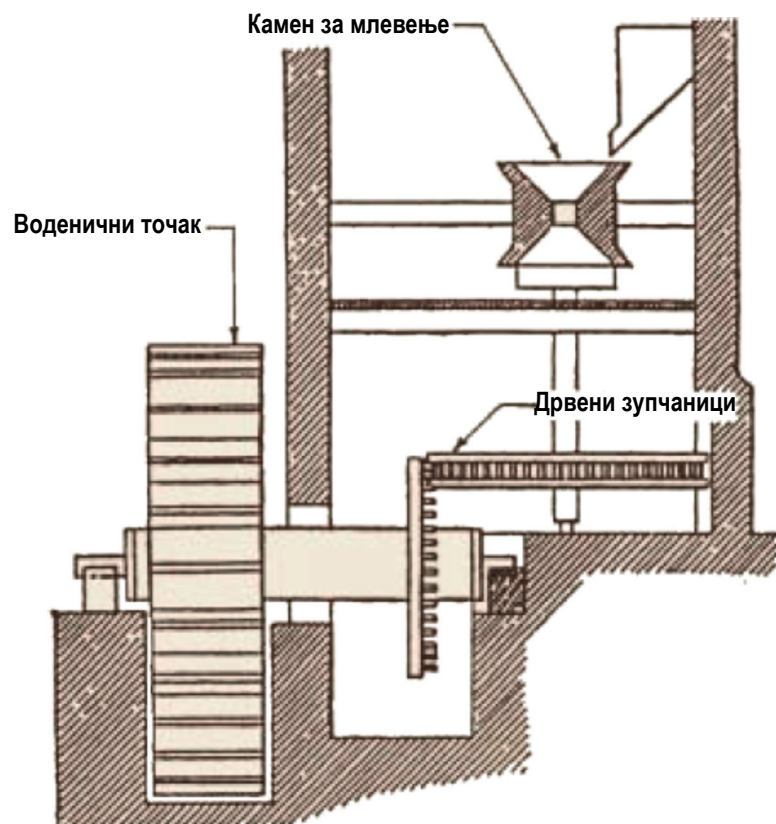
Кинеске кочије које „показују“ југ са својим механизмом са дрвеним зупчаницима из 3. века н.е. [73]

Древни грчки подаци казују да су постојали и преносници са металним зупчаницима који су имали клинасто обликоване зупце. Такође, познат је и механизам из Антикитере (сл. П1.3) који је направљен између 150. и 100. године п.н.е. и који је био кориштен као механички рачунар за израчунавање положаја Сунца, Месеца и других планета према геоцентричном систему свемира [74]. Будући да је механизам нађен у олупини брода, тако да сви делови нису пронађени, претпоставља се да је имао преко 30 прецизно израђених зупчаника са зупцима облика једнакоугаоног троугла. Прецизност овако израђеног механизма може се поредити са сатним механизмима израђеним у XIX веку.

**Сл. П1.3.**

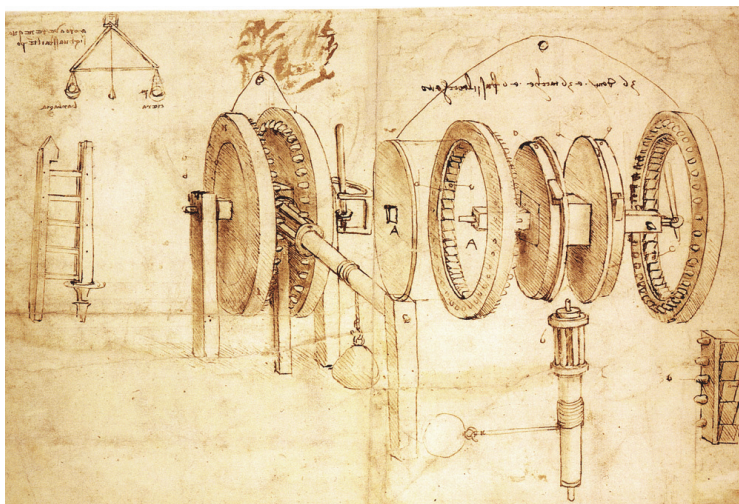
Механизам из Антикитере из II века п.н.е. [74]

У Римском царству дрвени зупчаници су се користили у млиновима (сл. П1.4), а у мањим уређајима користили су и металне зупчанике.

**Сл. П1.4.**

Шематски приказ воденичног млина код Старих Римљана из I века п.н.е. Овакви млинови имали су ограничену употребу, тако да се већи део брашна млео помоћу људске или животињске снаге [2]

Леонардо да Винчи (1452-1519) је у својим белешкама анализирао и проучавао зупчанике и пренос снаге преко зупчаника (сл. П1.5). Он је истраживао решења за више општих принципа преноса, али ове његове студије нису нашле практичну примену [75].

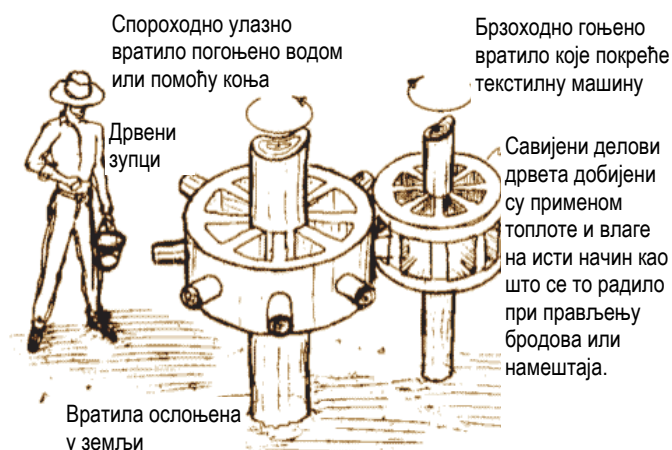
**Сл. П1.5.**

Студије зупчаника,
Леонардо да Винчи (1485) [75]

У средњем веку у воденичним млиновима су се користили једноставни преносници са дрвеним зупчаницима, а у тадашњој Шведској су се сретали и зупчаници од камена [1]. У XVIII веку све холандске ветрењаче користиле су механичке преноснике како би пумпале воду у море. У то време су се широм света још увек користили дрвени зупчаници у млиновима, текстилној и металној индустрији (сл. П1.6). Подмазивање ових зупчаника вршено је животињском машћу [76].



1



2

Сл. П1.6.

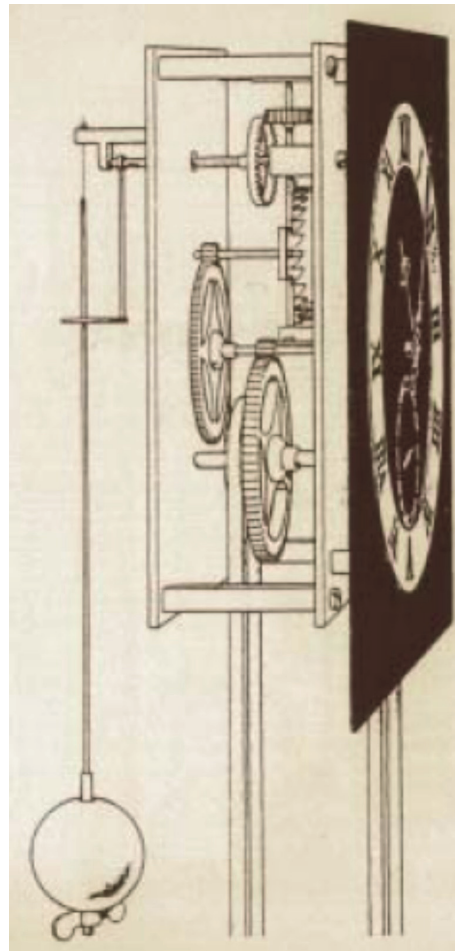
Употреба зупчаника у млиновима и текстилној индустрији у XVIII веку [76].

1 – Начин преноса енергије воде до камена за млевење,

2 – Пренос обртног момента дрвеним зупчаницима у текстилној индустрији.

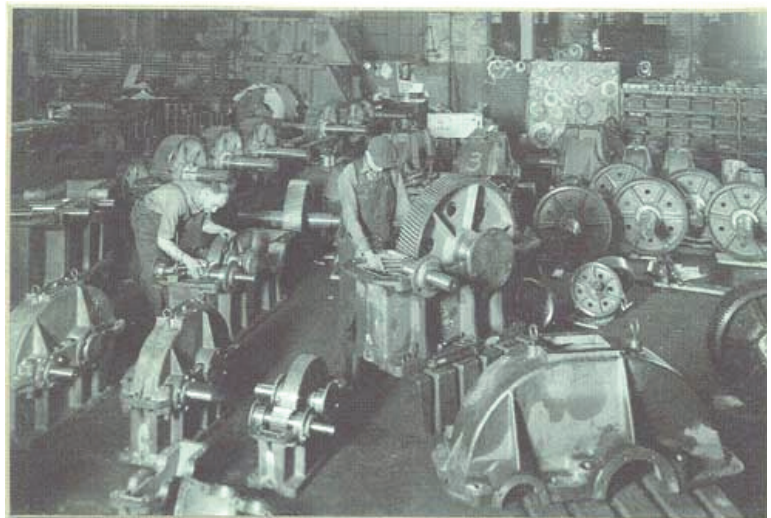
Почев од XIII века метални зупчаници су се све више почели користити и у сатним механизмима. Механички сат са зупчаницима су 1285. године изумели неки монаси, а први такав служио је за означавање целог сата, према коме су монаси усклађивали своје активности, пре свега молитве и сл. Први механички сатови имали су један отпусни механизам и један пар зупчаника. Овај примитивни сат је наредних 400 година усавршаван, да би касније имао три пара зупчаника, округли бројчаник и казаљке за сате и минуте. Ти зупчаници најчешће су били метални и имали су клинасто обликоване зупце.

Међутим, астрономима и физичарима био је потребан још тачнији сат. Холандски научник Кристијан Хајгенс је 1656. године изумео сат са клатном (сл. П1.7). Ови сатови били су убрзо усавршени и имали су велику тачност. Направљени су и веома велики сатови с клатном за јавне зграде и црквене торњева. Коришћено је и више од десет парова зупчаника, а пречници неких од њих су већи и од једног метра. Појавом сата с клатном, технологија и производња зупчаника и механичких преносника знатно су напредовале.

**Сл. П1.7.**

Скица првог сата са клатном [2]

Појава парних машина, а затим електричних мотора, у другој половини XIX века, покренула је наглу потражњу за квалитетним механичким преносницима са металним зупчаницима (сл. П1.8).

**Сл. П1.8.**

Монтажа редуктора, прва половина XX века [4]

Развој технологије производње механичких преносника

Највећи део технологије производње механичких преносника, скоро 90%, развијен је у 20. веку. Скоро сва техничка достигнућа у области израде, начина производње, употребе и развоја постигнута су од 1970. године до данас.

Велики искорак начињен је увођењем аутоматизације и компјутерског управљања у процес производње механичких преносника, тако да су CNC машине знатно повећале продуктивност и омогућиле великосеријску производњу механичких преносника.

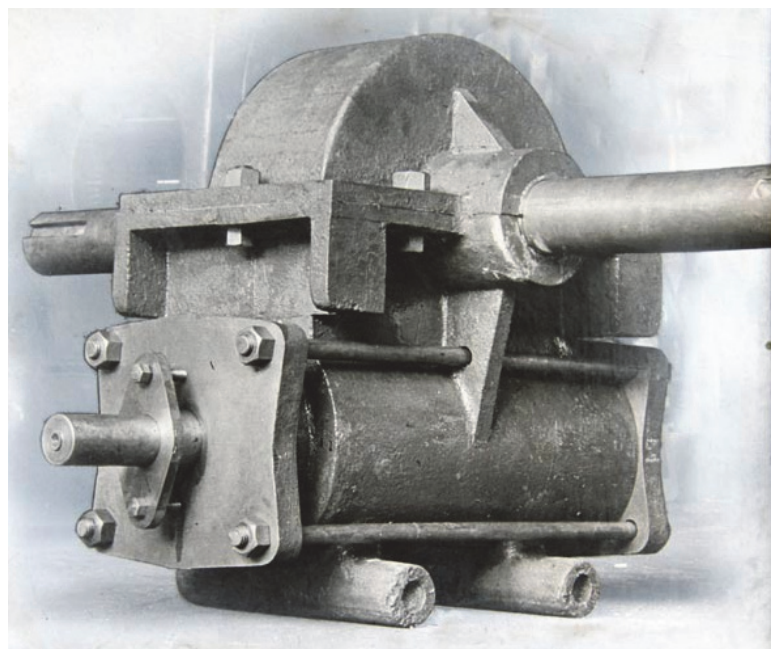
Посматрајући карактеристике и састава материјала, остварен је значајан технолошки напредак у претходном периоду, тако што је постигнут дужи век трајања, могућност рада на вишим температурама и повећана отпорност на хабање.

Прорачун зупчаника се раније базирао на одређивању „безбедних“ напона на савијање и контактних напона на боковима зубаца, док се данас прорачун заснива на вероватноћи појаве отказа у току одређеног радног века, када је механички преносник изложен различитим оптерећењима и другачијим радним условима.

Све карактеристике средства за подмазивање, као што су вискозност, садржај адитива и основна молекуларна структура уља, утичу на повећање отпорности на хабање као и на смањење губитака услед трења при спрезању зубаца и при обртању лежајева.

Развој организоване производње механичких преносника

Деведесетих година XIX века јавила се велика потреба за механичким преносницима. Тада развијен електромотор могао је да погони све сврсте брзоходних и спороходних машина само су били потребни одговарајући преносници. Бродови на мору могли су пловити много брже помоћу парних машина. Механички преносници били су и њима потребни, јер се брзина пропелера разликовала од брзине обртања на излазу из парне машине.

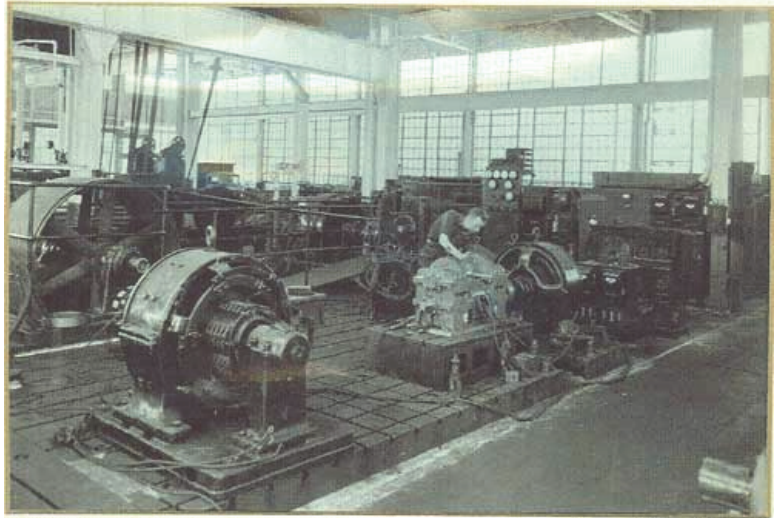


Сл. П1.9.

Први редуктор произведен
1913. год. у фабрици
"Original Hamilton" [5]

Већој употреби механичких преносника допринео је и почетак производње аутомобила и камиона почетком XX века. Велике електрокомпаније, као и велике фабрике аутомобила, схватиле су да не постоји ниједна фабрика која би их снабдевала довољном количином квалитетних преносника која је њима потребна. Уопште, постојала је снажна потреба ових компанија да оснују своју сопствену производњу механичких преносника. Упоредо са њима развијале су се и специјализоване фабрике за производњу алата за резање зупчаника, као и фабрике машина алатки за израду зупчаника. Неколико самосталних фабрика које су производиле само зупчанике или комплетне преноснике са зупчастим паровима, основано је почетком 20. века, али је већина

познатих високопродуктивних компанија за производњу преносника (као што су SEW, Flender, Rossi,) развијено у другој половини XX века (сл.П1.11).



Сл. П1.10.

Испитивање зупчастих редуктора у фабрици Nuttall Gear in Pittsburgh Pennsylvania почетком XX века [4]

Данас зупчasti преносници, спојени са електромоторима представљају једну погонску јединицу. Такви погони прилагођавају се различитим захтевима и условима рада, у зависности да ли се користе на стационарним или мобилним машинама, на бродовима, грађевинским машинама и сл.

У последње време произвођачи преносника усавршавају и неке пратеће компоненте, као што су: уређаји за ограничавање обртног момента, електромагнетне кочнице, спојнице и нарочито регулисани електромоторни погони.



Сл. П1.11.

Фабрика за производњу зупчаника и редуктора "Original Hamilton" (1965) [5]

Данас се најзначајнија усавршавања у области преносника врше у области развоја материјала. Захваљујући модерној металургији век трајања индустријских и аутомобилских преносника у великој мери се повећао, а увођењем квалитетних мазива обезбеђена је висока поузданост, миран и тих рад.

Прилог 2.

ИЗРАЧУНАВАЊЕ МОМЕНТА ИНЕРЦИЈЕ УНИВЕРЗАЛНИХ ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА

Електромотор монтиран на редуктор мора да савлада не само статичка оптерећења, услед технолошких отпора и губитака у машини, већ и силе инерције покретних маса. У општем случају, једначина полазног момента електромотора може се написати у облику

$$T_p = T_s + J_{sv} \frac{d\omega}{dt}$$

где је:

T_p - полазни момент електромотора, дефинише се преко називног обртног момента електромотора (T_N) и односа полазног и називног момента ($k_p = T_p / T_N$) којег дефинишу произвођачи електромотора за сваки мотор посебно, тако да је $T_p = k_p T_N$.

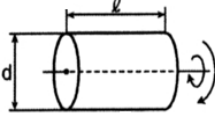
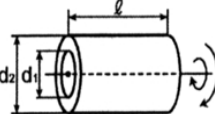
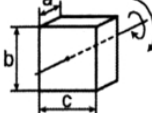
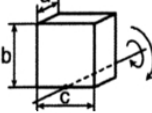
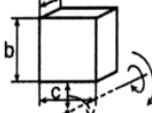
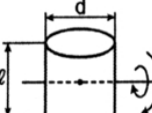
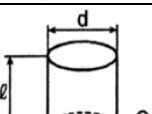
J_{sv} - момент инерције свих покретних делова сведен на вратило електромотора, при чему је, из услова једнакости кинетичке енергије, сведени момент инерције једнак

$$J_{sv} = J_{em} + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_{em}} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_{em}} \right)^2 + \dots + m_1 \left(\frac{v_1}{\omega_{em}} \right)^2 + m_2 \left(\frac{v_2}{\omega_{em}} \right)^2 + \dots$$

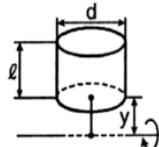
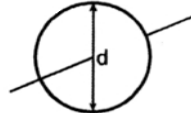
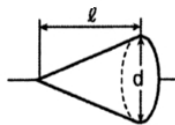
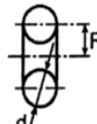
где је:

- J_{em} - момент инерције ротора електромотора,
- J_1, J_2, \dots - моменти инерције маса појединих обртних делова,
- ω_{em} - угаона брзина ротора електромотора,
- $\omega_1, \omega_2, \dots$ - угаоне брзине са којима се обрћу поједине масе,
- m_1, m_2, \dots - масе делова који врше праволинијско кретање,
- v_1, v_2, \dots - брзине маса које се праволинијски крећу.


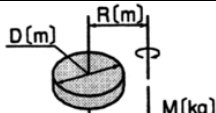
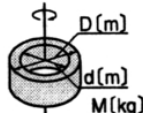
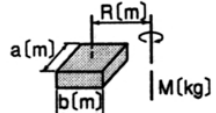
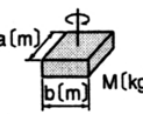
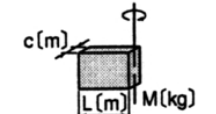
Таб. П2.1. Формуле за израчунавање момената инерције

Цилиндар		$J = \frac{1}{32} \pi d^4 l \rho$
Шупљи цилиндар		$J = \frac{1}{32} \pi (d_2^4 - d_1^4) l \rho$
Квадар		$J = \frac{a \cdot b \cdot c}{12} (b^2 + c^2) \rho$
Квадар		$J = \frac{a \cdot b \cdot c}{12} (4b^2 + c^2) \rho$
Квадар		$J = \frac{a \cdot b \cdot c}{12} (4b^2 + c^2 + 12by + 12y^2) \rho$
Цилиндар		$J = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{192} (4l + 3d^2) \rho$
Цилиндар		$J = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{192} (16l + 3d^2) \rho$

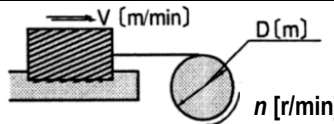
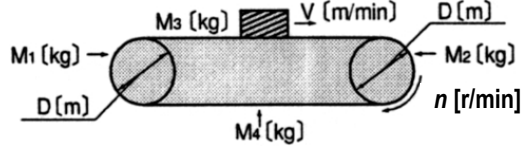
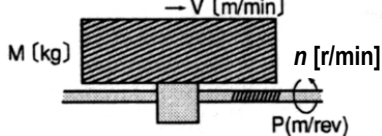
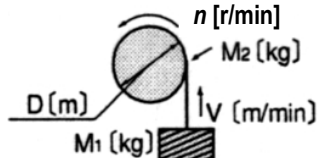
Таб. П2.1. Формуле за израчунавање момената инерције (наставак)

Цилиндар		$J = \frac{\pi \cdot d^2 \cdot l}{192} (16l^2 + 3d^2 + 48yl + 48y^2) \rho$
Сфера		$J = \frac{1}{60} \pi d^5 \rho$
Конус		$J = \frac{1}{160} \pi d^4 l \rho$
Торус		$J = \frac{\pi^2 R d^2}{8} \cdot \left(4R^2 + \frac{3d^2}{4} \right) \rho$

Таб. П2.2. Момент инерције ротирајућих тела

Оса ротације пролази кроз тежиште	Оса ротације не пролази кроз тежиште
 $J = \frac{M}{8} D^2$	 $J = \frac{M}{4} \left(\frac{D^2}{2} + 4R^2 \right)$
 $J = \frac{M}{8} (D^2 - d^2)$	 $J = \frac{M}{4} \left(\frac{a^2 + b^2}{3} + 4R^2 \right)$
 $J = \frac{M}{12} (a^2 + b^2)$	 $J = \frac{M}{12} (4L^2 + C^2)$

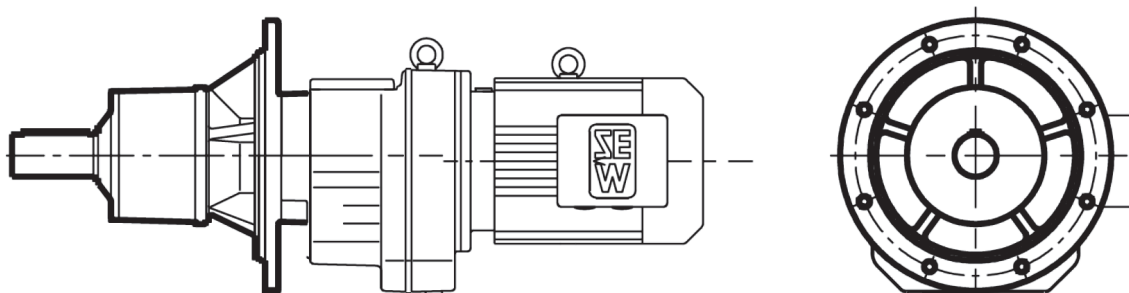
Таб. П2.3. Момент инерције при праволинијском кретању тела

Опште кретање		$J = \frac{M}{4} \left[\frac{v}{\pi n} \right]^2 = \frac{M}{4} D^2$
Хоризонтално кретање по покретној траци		$J = \frac{M}{4} \left[\frac{M_1 + M_2}{2} + M_3 + M_4 \right] \times D^2$
Хоризонтално кретање помоћу навојног преносника		$J = \frac{M}{4} \left[\frac{v}{\pi n} \right]^2 = \frac{M}{4} \left(\frac{P}{\pi} \right)^2$
Вертикално кретање помоћу катураче		$J = \frac{M_1 D^2}{4} + \frac{M_2 D^2}{8}$

Прилог 3.

**УТИЦАЈ ПОГОНСКОГ ФАКТОРА И РАДНОГ ВЕКА
ЛЕЖАЈЕВА НА ДОЗВОЉЕНЕ ВРЕДНОСТИ
РАДИЈАЛНИХ И АКСИЈАЛНИХ СИЛА НА
ИЗЛАЗНОМ ВРАТИЛУ МОТОРНОГ РЕДУКТОРА
ЗА МИКСЕРЕ ПРОИЗВОЂАЧА
SEW тип редуктора MR**

Дозвољене вредности радијалних F_{R2doz} и аксијалних сила F_{A2doz} на излазном вратилу моторног редуктора за миксере произвођача SEW, тип редуктора MR (сл.П3.1).



Сл. П3.1.

Моторни редуктор за миксере произвођача SEW, тип редуктора MR [14]

Таб. П3.1.

Дозвољене вредности радијалних и аксијалних сила на излазном вратилу моторног редуктора за миксере произвођача SEW, тип редуктора MR за $f_{Bmin} = 1,5$ и радни век лежаја 10000 сати [14]

		n_a [1/min]							
		< 16	16-25	26-40	41-60	61-100	101-160	161-250	251-400
RM57	F_{Ra} [N]	400	400	400	400	400	405	410	415
	F_{Aa} [N]	18800	15000	11500	9700	7100	5650	4450	3800
RM67	F_{Ra} [N]	575	575	575	580	575	585	590	600
	F_{Aa} [N]	19000	18900	15300	11900	9210	7470	5870	5050
RM77	F_{Ra} [N]	1200	1200	1200	1200	1200	1210	1210	1220
	F_{Aa} [N]	22000	22000	19400	15100	11400	9220	7200	6710
RM87	F_{Ra} [N]	1970	1970	1970	1970	1980	1990	2000	2010
	F_{Aa} [N]	30000	30000	23600	18000	14300	11000	8940	8030
RM97	F_{Ra} [N]	2980	2980	2980	2990	3010	3050	3060	3080
	F_{Aa} [N]	40000	36100	27300	20300	15900	12600	9640	7810
RM107	F_{Ra} [N]	4230	4230	4230	4230	4230	4230	3580	3830
	F_{Aa} [N]	48000	41000	30300	23000	18000	13100	9550	9030
RM137	F_{Ra} [N]	8710	8710	8710	8710	7220	5060	3980	6750
	F_{Aa} [N]	70000	70000	70000	57600	46900	44000	35600	32400
RM147	F_{Ra} [N]	11100	11100	11100	11100	11100	10600	8640	10800
	F_{Aa} [N]	70000	70000	69700	58400	45600	38000	32800	30800
RM167	F_{Ra} [N]	14600	14600	14600	14600	14600	14700	-	-
	F_{Aa} [N]	70000	70000	70000	60300	45300	36900	-	-

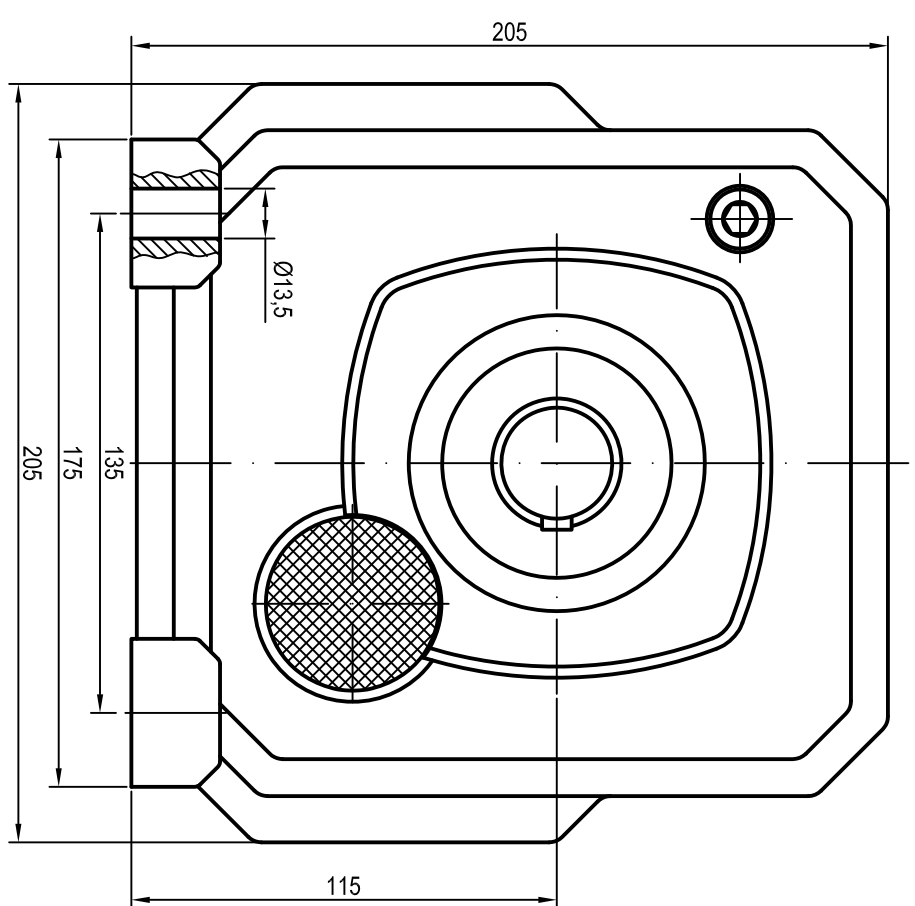
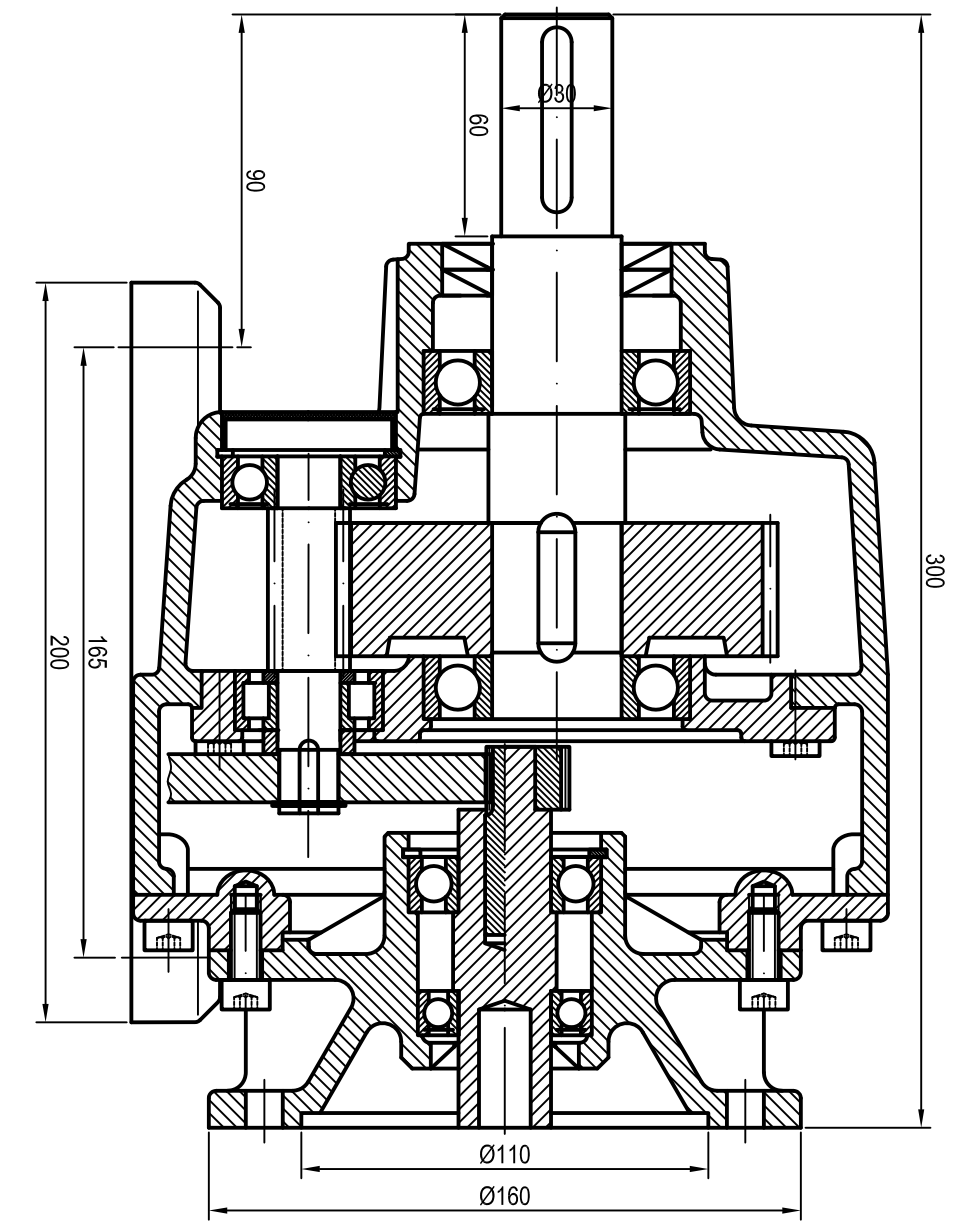
Таб. П3.2.

Дозвољене вредности радијалних и аксијалних сила на излазном вратилу моторног редуктора за миксере произвођача SEW, тип редуктора MR за $f_{Bmin} = 2$ и радни век лежаја 25000 сати [14]

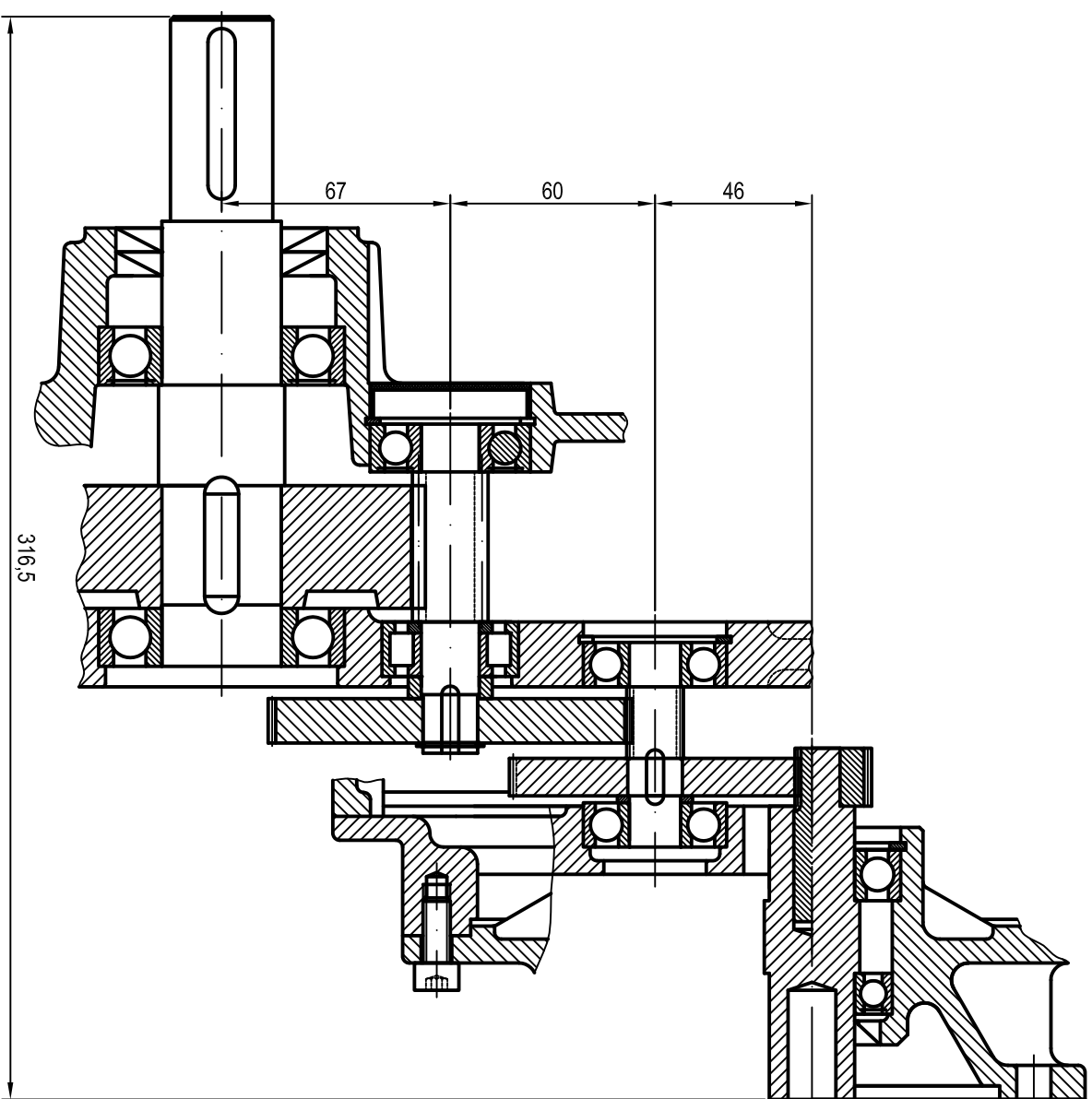
		n_a [1/min]							
		< 16	16-25	26-40	41-60	61-100	101-160	161-250	251-400
RM57	F_{Ra} [N]	410	410	410	410	410	415	415	420
	F_{Aa} [N]	12100	9600	7350	6050	4300	3350	2600	2200
RM67	F_{Ra} [N]	590	590	590	595	590	595	600	605
	F_{Aa} [N]	15800	12000	9580	7330	5580	4460	3460	2930
RM77	F_{Ra} [N]	1210	1210	1210	1210	1210	1220	1220	1220
	F_{Aa} [N]	20000	15400	11900	9070	6670	5280	4010	3700
RM87	F_{Ra} [N]	2000	2000	2000	2000	2000	1720	1690	1710
	F_{Aa} [N]	24600	19200	14300	10600	8190	6100	5490	4860
RM97	F_{Ra} [N]	3040	3040	3040	3050	3070	3080	2540	2430
	F_{Aa} [N]	28400	22000	16200	11600	8850	6840	5830	4760
RM107	F_{Ra} [N]	4330	4330	4330	4330	4330	3350	2810	2990
	F_{Aa} [N]	32300	24800	17800	13000	9780	8170	5950	5620
RM137	F_{Ra} [N]	8850	8850	8850	8830	5660	4020	3200	5240
	F_{Aa} [N]	70000	59900	48000	37900	33800	31700	25600	23300
RM147	F_{Ra} [N]	11400	11400	11400	11400	11400	8320	6850	8440
	F_{Aa} [N]	70000	60600	45900	39900	33500	27900	24100	22600
RM167	F_{Ra} [N]	15100	15100	15100	15100	15100	13100	-	-
	F_{Aa} [N]	70000	63500	51600	37800	26800	23600	-	-

Прилог 4.

ПРЕДЛОЖЕНО РЕШЕЊЕ УНИВЕРЗАЛНОГ ЗУПЧАСТОГ РЕДУКТОРА СА АДАПТЕРОМ ЗА IЕС МОТОР



СА. П4.1.
Предложено решение двостепенного универсального зубчатого редуктора с адаптером за IEC мотор (R=1:2)



Сл. П4.2.

Предложено решение простейшего универсального зубчатого редуктора с адаптером за IEC мотор (R=1:2)