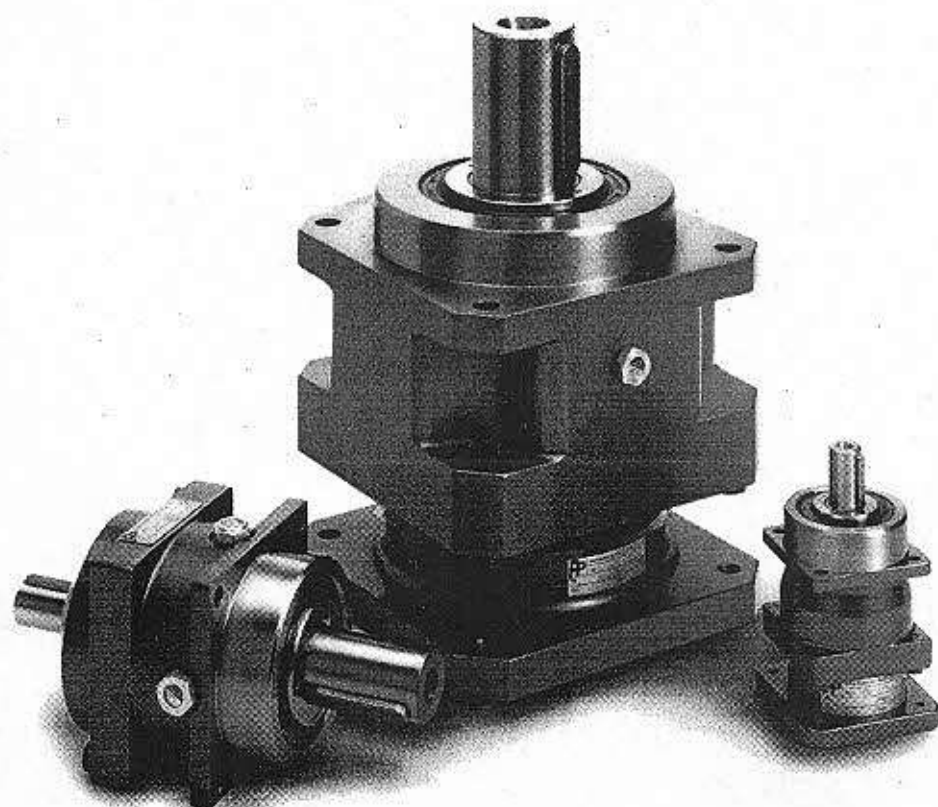


ФАКУЛТЕТ
ТЕХНИЧКИХ
НАУКА
НОВИ САД

У САРАДЊИ
СА ЈУДЕКО
БЕОГРАД



ПРВИ СКУП О КОНСТРУИСАЊУ,
ОБЛИКОВАЊУ И ДИЗАЈНУ

КОД

2000

НОВИ САД 24. МАЈ 2000.

ПОВОДОМ
40 ГОДИНА
МАШИНСТВА НА
УНИВЕРЗИТЕТУ У
НОВОМ САДУ

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
ИНСТИТУТ ЗА МЕХАНИЗАЦИЈУ
И КОНСТРУКЦИОНО МАШИНСТВО
НОВИ САД

У САРАДЊИ СА ЈУДЕКО
БЕОГРАД

ПРВИ СКУП О КОНСТРУИСАЊУ,
ОБЛИКОВАЊУ И ДИЗАЈНУ

КОД 2000

ПОВОДОМ
40 ГОДИНА
МАШИНСТВА НА
УНИВЕРЗИТЕТУ У
НОВОМ САДУ

НОВИ САД, 24.05.2000.

СПОНЗОРИ СКУПА:

1. КОНТИНЕНТАЛ БАНКА А.Д., ТРГ МЛАДЕНАЦА 1-3, НОВИ САД
2. ТРЦ ПРО, М. ПУПИНА 17, НОВИ САД

Организатор Скупа:

ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА, Институт за механизацију и конструкционо машинство,
21000 Нови Сад, Трг Д. Обрадовића бр.6, тел.: 021/350-122 локал 114

у сарадњи са:

ЈУДЕКО, 11000 БЕОГРАД, 27. Марта 80.

Председник програмског одбора:

Проф. др Синиша Кузмановић, ФТН, 21000 НОВИ САД, Трг Д. Обрадовића бр.6

Чланови програмског одбора:

Проф. др Војислав Милтеновић, МФ Ниш, председник ЈУДЕКО
Проф. др Милосав Огићановић, МФ Београд, подпретседник ЈУДЕКО
Проф. др Слободан Танасијевић, проректор, МФ Крагујевац
Проф. др Димитрије Јанковић, декан, МФ Београд
Проф. др Момир Шаренац, декан МФ, Српско Сарајево, Република Српска
Проф. др Илија Ђосић, декан, ФТН Нови Сад
Проф. др Јанко Ходолич, продекан, ФТН Нови Сад
Проф. др Радослав Булатовић, МФ Подгорица
Проф. др Никола Бабин, ФТН Нови Сад
Проф. др Радивоје Топић, МФ Београд
Проф. др Александар Вулић, МФ Ниш
Проф. др Властимир Бокић, МФ Ниш
Проф. др Видосав Мајсторовић, МФ Београд
Проф. др Светислав Јовичић, МФ Крагујевац
Проф. др Радић Мијајловић, МФ Ниш
Проф. др Миомир Јовановић, МФ Ниш
Проф. др Драгутин Станивуковић, ФТН Нови Сад
Проф. др Велимир Тодић, ФТН Нови Сад
Проф. др Миодраг Злоковић, ФТН Нови Сад
Проф. др Ристо Ковач, ФТН Нови Сад
Проф. др Сабо Бела, ФТН Нови Сад
Проф. др Богдан Сивић, ФТН Нови Сад
Проф. др Драгиша Вилотић, ФТН Нови Сад
Проф. др Мирослав Планчак, ФТН Нови Сад
Проф. др Живослав Адамовић, ТФ Зрењанин
Проф. др Сузана Салаи, ЕкФ Суботица
мр Милосав Ђурђевић, МФ Бањалука, Република Српска
Проф. др Владимир Андоновић, МФ Скопје, Македонија
Проф. др Сава Ианици, ФЕ Ресита, Румунија
Проф. др Казимир Вечеровски, Политехника Познанска, Познан, Пољска
Проф. др Пиотр Томковиак, Политехника Познанска, Познан, Пољска

Председник организационог одбора:

Проф. др Јован Владић, ФТН Нови Сад

Чланови организационог одбора:

Проф. др Милосав Георгијевић, ФТН Нови Сад
Доц. др Слободан Навалушић, ФТН Нови Сад
Доц. др Драги Радомировић, ПФ Нови Сад
Мр Јован Радаковић, дипл. инж. Директор Развоја, СЕВЕР Суботица

Технички секретари скупа:

асс. мр Ружица Трбојевић, ФТН Нови Сад
асс. мр Милан Костић, ФТН Нови Сад
асс. Велибор Васић, ФТН Нови Сад
асс. Мијомир Вуковић, ФТН Нови Сад

Дизајн корица:

Бранислав Кузмановић, ФТН Нови Сад

САДРЖАЈ:

1. Проф. др Слободан Танасијевић, МФ Крагујевац ДИЗАЈН ПРОИЗВОДА	1
2. Проф. др Сузана Салаи и Мр Иван Хегедиш, Леонард Салаи, ЕкФ Суботица МАШИНСТВО - ДИЗАЈН - МАРКЕТИНГ	7
3. Проф. др Милосав Огњановић, МФ Београд ОБЛИК МАШИНСКОГ ДЕЛА	11
4. Проф. др Војислав Милтеновић и Мр Драган Милчић, МФ Ниш МЕСТО И УЛОГА ОБЛИКОВАЊА У ПРОЦЕСУ КОНСТРУИСАЊА	17
5. Проф. др Јован Владић, проф. др Никола Бабин, Велибор Васић, ФТН Нови Сад ОБЛИКОВАЊЕ И ДИЗАЈН КАО ФАЗА АУТОМАТИЗОВАНОГ ПРОЈЕКТОВАЊА ..	23
6. Мр Миодраг Велимировић, проф. др Александар Вулић, МФ Ниш АНАЛИЗА ПРОЦЕСА РАЗВОЈА НОВОГ ПРОИЗВОДА И КРИТЕРИЈУМИ ЗА ОБЛИКОВАЊЕ ПРОИЗВОДА	29
7. Проф. др Милосав Георгијевић, Мијомир Вуковић, ФТН Нови Сад КОНСТРУИСАЊЕ И ЗАХТЕВИ ЛОГИСТИКЕ	35
8. Проф. др Ристо Ковач, Владан Бајић и Милан Ђурчић, ФТН Нови Сад ТЕХНОЛОГИЈА ЛИВЕЊА - ОБЛИКОВАЊЕ И ДИЗАЈН	41
9. Проф. др Драгиша Вилотић, Проф. др Мирослав Планчак, мр Илија Трбојевић и Д. Чупковић, ФТН, Нови Сад ОБЛИКОВАЊЕ МАШИНСКИХ ДЕЛОВА СА АСПЕКТА ПРИМЕНЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПЛАСТИЧНОГ ДЕФОРМИСАЊА	47
10. Проф. др Светислав Јовичић, МФ Крагујевац ОБЛИКОВАЊЕ МЕТАЛНИХ ПРОИЗВОДА ПОДВРГНУТИХ ТЕРМИЧКОЈ ОБРАДИ	55
11. Проф. др Илија Ћосић и мр Зоран Анишић ФТН Нови Сад и Игор Фуретнер ВТШ Суботица ПРИЛОГ РАЗВОЈУ <i>DFX</i> АЛАТА У <i>CAD</i> ОКРУЖЕЊУ	59
12. Доц. др Слободан Навалушић, Зоран Милојевић, проф. др Ратко Гатало, ФТН Нови Сад ПРОЈЕКТОВАЊЕ ЗУПЧАСТИХ ПРЕНОСНИКА И ЊЕГОВИХ ВИТАЛНИХ ЕЛЕМЕНАТА ПРИМЕНОМ СИСТЕМА <i>AutCAD</i> И <i>ObjectARX</i> ОКРУЖЕЊА	63
13. Проф. др Владета Радовић, Радослав Томовић, Боро Продановић, МФ Подгорица ПОТРЕБА ЗА АНАЛИЗОМ СМЕТЊИ ВАРИЈАНТНОСТИ РЈЕШЕЊА КАО ЕЛЕМЕНТАРНИМ РАДНИМ КОРАКОМ У ПРОЦЕСУ КОНСТРУИСАЊА ПРОИЗВОДА	67
14. Доц. Драги Радомировић, ПФ Нови Сад и проф. др Синиша Кузмановић ФТН Нови Сад УТИЦАЈА ОБЛИКА ТЕЛА ЗУПЧАНИКА НА ДЕФОРМАЦИЈУ ВРАТИЛА УНИВЕРЗАЛНОГ ЗУПЧАСТОГ РЕДУКТОРА	71
15. Проф. др Синиша Кузмановић, мр Ружица Трбојевић и Бранислав Кузмановић, ФТН Нови Сад АНАЛИЗА ФАКТОРА КОЈИ УТИЧУ НА ОБЛИК ИЗЛАЗНИХ ВРАТИЛА ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА	75
16. Проф. др Радош Булатовић, мр Јанко Јовановић, МФ Подгорица УТИЦАЈ ПРОМЈЕНЕ ДИМЕНЗИЈА НА ПОУЗДАНОСТ ЕЛЕМЕНАТА ТРАНСМИСИЈЕ МОТОРНИХ ВОЗИЛА	81
17. Мр Дарко Бајић, МФ Подгорица КОРИШЋЕЊЕ <i>FAD</i> МЕТОДЕ ПРИ ПРОЦЕНИ ПРЕОСТАЛЕ НОСИВОСТИ ЕЛЕМЕНАТА ОСЛАБЉЕНИХ ПРСЛИПОМ	85
18. Проф. др Зоран Маринковић, проф. др Миомир Јовановић, Драган Маринковић, МФ Ниш ОБЛИКОВАЊЕ ФАМИЛИЈЕ ЛАКИХ ХИДРАУЛИЧНИХ ДИЗАЛИЦА	89
19. Проф. др Синиша Кузмановић, ФТН Нови Сад, проф. др Радивоје Топић, МФ Београд АНАЛИЗА УТИЦАЈА ОБЛИКА И ПОЛОЖАЈА УГРАДЊЕ НА ЗАГРЕВАЊЕ ПУЖНИХ РЕДУКТОРА	95
20. Асс. мр Милан Костић, асс. мр Маја Чавић, проф. др Миодраг Злоколица, ФТН Нови Сад ПРИЛОГ ОБЛИКОВАЊУ КОШАРАСТЕ УЖАРИЦЕ СА СТАНОВИШТА БЕЗБЕДНОСТИ	99
21. Проф. др Миомир Јовановић, проф. др Радић Мијајловић, МФ Ниш ОБЛИКОВАЊЕ ПУТАЊА СИНТЕЗОМ КОМПЕНЗАЦИОНИХ СИСТЕМА ДИЗАЛИЦА	103

ПРЕДГОВОР

Назив Скупа КОНСТРУИСАЊЕ, ОБЛИКОВАЊЕ И ДИЗАЈН настао је на основу истоветног назива предмета, који је онедавно уведен на Факултету техничких наука у Новом Саду, на Смеру за механизацију конструкционо машинство и Смеру за механику и дизајн, а који ће се тек од 2002. године слушати на поменутом смеровима у VIII семестру са недељним фондом часова 3+3. Овај предмет је настао административним спајањем предмета Основе конструисања (који се до сада слушао на Смеру за механику и машинске конструкције у VII и VIII семестру са 2+2 и 2+2) и Обликовање конструкција (који се слуша на истом смеру у IX семестру са 2+2). Реч Дизајн је придодат називу ових предмета, највероватније, с циљем да се посебно истакне основни смисао изучавања процеса конструисања, мада је, значајним смањењем фонда часова намењених за изучавање ових дисциплина, то знатно умањено.

На појединим језицима света, под речју ДИЗАЈН подразумева се више од тридесет различитих појмова, тако да многи сматрају да та реч данас више и нема неко посебно значење.

Међутим, у нашем језику под ДИЗАЈНОМ се подразумева све оно што чини један производ ДОПАДЉИВИМ, значи његов ОБЛИК, БОЈА и ГРАФИЧКА СРЕДСТВА ИНФОРМИСАЊА, која се налазе на њему. С обзиром да је дизајн спој науке и уметности он се као научна дисциплина изучава на Факултетима примењене уметности и до сада се (нажалост) није довољно, или уопште, изучавала на техничким факултетима. Све то је утицало на недовољну допадљивост производа домаће машиноградње, што је имало, и има, изузетно велики утицај на њихов пласман, посебно на међународном тржишту.

Наиме, до сада се сматрало да производ има само три основне карактеристике:

1. квалитет,
2. цену и
3. рок испоруке.

Развојем науке и технологије, а посебно захваљујући великој примени рачунара, дошло је до изједначавања квалитета, цене и рокова испоруке производа, код готово свих водећих произвођача, тако да је ДИЗАЈН постао пресудан (четврти или чак и први) фактор од којег зависи избор и пласман производа, мада је он увек био присутан, али због, својевремено, већег значаја поменута три фактора он у машинству није био толико испољен. Треба истаћи да појединци дизајн сврстају у квалитет производа, тј. у све оно што чини купца задовољним. Међутим,

дизајн је посебна категорија јер производ може имати добар дизајн а лош квалитет и обрнуто.

Значај дизајна производа је данас постао изузетно велик, због жеље купца да истакне своју посебност, или пак савременост, тако да је скоро увек спреман да купи нови (редизајнирани) производ, са јаче или мање заобљеним ивицама, или који је нешто мало другачије обојен, без обзира што исти такав производ већ поседује, са којим је чак и задовољан, само да би задовољио своје, већ поменуте, прохтеве. Најбољи примери оваквог приступа купца може се видети у аутомобилској индустрији, индустрији домаћинских апарата, итд.

Увиђајући значај дизајна, посредством овог предмета желело се, мада доста касно, да се будућим машинским инжењерима нешто више каже о њему, а овим Скупом, да се подстакне интензивнији развој ове дисциплине у нас и њена већа примена у домаћој машиноградњи и индустрији у опште.

С обзиром да је дизајн ипак и пре свега уметност, о избору и комбинацији боја и графичких средстава информисања овде се неће моћи пуно и компетентно говорити, већ ће се основна пажња усмерити само на облик производа, на који утиче изузетно велик број фактора, пре свега:

1. Функција,
2. Намена,
3. Структура,
4. Величина,
5. Врста материјала,
6. Маса,
7. Ергономски захтеви,
8. Заштита на раду (безбедност),
9. Естетски захтеви - дизајн (композиција, композициона равнотежа, симетрија, пропорција, ритам, акценат, боја, орнамент, пластичност, сенке, графичка средства информисања итд.),
10. Величина серије (унификација),
11. Рок испоруке,
12. Квалитет (сигурност функционисања, тачност, прецизност, потпуност),
13. Поузданост,
14. Радни век (трајност),
15. Степен искоришћења (потрошња енергије),
16. Цена,
17. Начин израде и технолоичност (одливци, отпресици, отковци, заварени, лемљени, лепљени, пресовани, стезни, заковани и завртањски спојеви, везе са чивијом, клином, ожељбљеним и профилисаним вратилом, елементи предвиђени за израду стругањем, глодањем, бушењем, рендисањем, електросрозијом, брушењем, просецањем, савијањем, дубоким извлачењем, натискивањем, истискивањем, извлачењем, провлачењем, ваљањем, синтеровањем, бризгањем, елементи предвиђени за термичку обраду, галванизацију, бојење и сл.), начин стезања, мерења, итд.
18. Монтажа,
19. Означивање,
20. Испитивање,
21. Конзервација,
22. Паковање,

23. Амбалажа,
24. Складиштење,
25. Транспорт,
26. Деконзервација,
27. Уградња,
28. Руковање,
29. Експлоатација,
30. Сервис,
31. Одржавање,
32. Хигијенски захтеви,
33. Ремонт,
34. Атмосферилије,
35. Биолошки фактори,
36. Рециклажа,
37. Екологија,
38. Специјални захтеви (законски прописи, уговори, лиценце, могућност финансирања, повишена температура, ниска температура, повишене вибрације, херметичност, центричност, еластичност, крутост, једноставно растављање, експлозивна заштита, заштита од вандализма, крађе, несрећа - пожар, поплаве, земљотрес, рад у хаваријским условима, итд.).

39. Лични захтеви (укус, навике, обичаји, престиж, мода, комфор итд.).

Изучавањем свих ових фактора, њиховог значаја и утицаја на облик производа, може се пуно утицати на побољшање квалитета, смањење трошкова производње и, посебно, побољшање дизајна производа. С обзиром да се током пројектовања и конструисања машинских елемената и склопова, врши стварање конструкционог решења, па поред осталог и облика и уопште дизајна производа, тим активностима је потребно посветити највећу пажњу.

Стварању било ког производа претходи израда конструкционе документације. За њену израду данас се ангажује један тим стручњака који се састоји од: пројектаната, конструктора, технолога, ергонома, дизајнера, економиста и, у зависности од врсте производа, још од низа других специјалиста. На пример, при конструисању пољопривредних машина неопходно је ангажовање и агронома, и сл.

Израда конструкционе документације се, по правилу, врши по одређеном редоследу, којег дефинише сваки произвођач за себе, а све у зависности од врсте, сложености и намене производа. Наиме, код производа намењених за уско тржиште, његове техничке карактеристике обично дефинише купац, тј. инвеститор, док код производа намењених за широко тржиште, те карактеристике обично прописује стандард или неки други пропис или, у крајњем случају, произвођач, ако оне нису на неки други начин већ дефинисане.

Развој производа, намењених за широко тржиште, обично се одвија по следећим етапама:

1. истраживање потреба тржишта и сагледавање могућности предузећа,
2. постављање пројектног задатка,
3. оцена пројектног задатка,
4. прикупљање информација,
5. анализа информација,
6. састављање техничког предлога,
7. оцена техничког предлога,
8. израда идејног пројекта и, по потреби, макете.

9. испитивање макете и оцена идејног пројекта,
10. израда техничког пројекта и, по потреби, функционалног модела (или тзв. "узорка", ако то потенцијални купац захтева),

11. испитивање модела (или узорка) и оцена техничког пројекта,

12. израда радионичке документације за прототип и израда прототипа, којим се проверава исправност конструкционе документације,

13. испитивање и оцена прототипа,

14. израда радионичке документације за "нулту" серију и израда нулте серије, којом се проверава исправност усвојене технологије,

15. испитивање и оцена нулте серије (хомологација),

16. израда радионичке документације за пробну серију и израда пробне серије, којом се проверава освојеност технологије,

17. испитивање и оцена пробне серије,

18. израда радионичке документације за серију и израда серије,

19. испитивање и оцена серије,

20. израда оног дела техничке документације који је намењен за комерцијалну употребу,

21. оцена техничке документације намењене за комерцијалну употребу

22. промоција производа,

23. праћење производа у процесу производње и експлоатације (ауторски надзор).

У зависности од сложености конструкторских активности, тј. степена поновљивости решења, неке од ових активности могу и изостати. На пример, код типског и варијантног конструисања обично нема потребе за израдом макете, модела, па чак ни прототипа, већ се одмах иде на нулту серију. Истовремено, у зависности од врсте производње, многе од ових етапе, нажалост, морају бити изостављене, без обзира на ниво поновљивости решења и оправданост њиховог спровођења, јер их једноставно није могуће финансијски реализовати. На пример, код појединачне или малосериске производње, посебно код сложених машина и опреме, многе етапе се морају изоставити тако да је "главна серија" истовремено и прототип и нулта и пробна серија. То захтева од конструктора и, уопште, целог конструкционог бироа, велико ангажовање, одговорност и знање, јер настале грешке "није могуће накнадно исправљати", тј. њихова исправка је веома скупа и сложена и, по правилу, изводи се на месту уградње, тј. код купца, што посебно поскупљује и компликује њено спровођење а веома неповољно утиче и на реноме конструктора а посебно произвођача.

Само једним оваквим систематским и тимским радом може се постићи задовољење свих наведених захтева. Не увиђање значаја овог проблема не може се обезбедити квалитетан производ што неминуовно води ка губитку тржишта и пропасти предузећа.

Основни циљ овога Скупа је да подстакне и мотивише пројектанте и конструкторе на активније ангажовање и сарадњу са ДИЗАЈНЕРИМА, који се професионално баве овом проблематиком, на редизајнирању производа домаће машиноградње.

ДИЗАЈН ПРОИЗВОДА

Проф. др Слободан Танасијевић,
Машински факултет - Крагујевац

Резиме

Индустријски дизајн као скуп сазнања и резултата многих научних дисциплина и уметности је саставни део процеса конструисања, конструкционе креативности и квалитета новог производа.

У овом раду анализира се место и значај дизајна у конструисању, подизању квалитета новог производа и унапређењу опште културе радних људи.

Кључне речи: дизајн, конструисање, производ.

1. УВОД

У животном циклусу новог производа /технички услови, конструисање, израда, монтажа, ремонт, регенерација/ највиша тачка примене нових знања и креативности је процес конструисања. За подизање квалитета машинских система неопходно је подизање квалитета конструисања, квалитета израде и квалитета експлоатације.

Конструисање као креативно-интелектуалан рад а истовремено сложен мисаони и интердисциплинарни процес повезује све потребне радње неопходне за добијање документације потребне за технолошку разраду и радионичку израду новог производа.

Индустријски дизајн као значајан корак у процесу конструисања је истовремено саставни део техничког развоја и производног процеса у индустрији. Почео је интензивно да делује крајем деветнаестог и почетком двадесетог века као стваралачка дисциплина која је помирила многе интересе и супротности. Дизајн је помогао стварању машинских производа изварадних техничко-функционалних карактеристика али и високог нивоа естетике.

Данас се дизајну индустријског производа даје велики значај јер је он често персонификација одређеног квалитета и успостављање одређеног реда и хармоније међу извршиоцима функција машинских система. Нови производ са атрибутом доброг дизајна повећава квалитет конструисања, унапређује продуктивност рада и унапређује општу културу радних људи.

2. ИНДУСТРИЈСКИ ДИЗАЈН КАО СТВАРАЛАЧКИ ПРОЦЕС

Индустријски дизајн као скуп интердисциплинарних знања обухвата сазнања и резултате многих научних дисциплина. Он је истовремено саставни део процеса конструисања, конструкционе креативности и квалитета новог производа.

Непосредно после I светског рата /после отварања школе Werkbund и Bauhaus/ дизајнери почињу да раде заједно са инжењерима и другим стручњацима, као својим блиским партнерима у тимском раду и то се наставља све до наших дана.

Индустријски дизајн као стваралачки процес и креативна дисциплина нема много заједничког са вештачким улепшавањем или искључивом променом облика и спољњег изгледа производа. Његов резултат није само естетика производа и леп изглед. Индустријски дизајн је много шире јер је настао из облика али и из функције покушавајући током времена да ове двекомпоненте веже у чврсте релације.

Стваралачка вокација индустријског дизајна огледа се у потреби и жељи да индустријски производ буде функционалан, економичан и човеку близак. Близак у смислу естетских квалитета и ергономских захтева али и близак психолошким и социјалним захтевима човека који успоставља контакт са производом као непосредни корисник. Дизајн ствара хармоничну везу између производа,окоline у којој се користи и човека као корисника. Истовремено спаја производ са тржиштем али и са условима производње. У потврду доброг дизајна су увек финансијски услови, добит и економски успех предузећа.

Индустријски дизајн је стваралачки процес јер му је коначни циљ одређивање формалних квалитета новог производа. Ови квалитети укључују спољни изглед, облик и форму, али се првенствено везују за функционалност, технолоичност и друге показатеље квалитета израђене конструкције. Циљ је кохерентна целина како са становишта произвођача, тако и корисника.

У теорији дизајна често се срећу мишљења да је дизајн фактор "помирења" супротности и захтева производње и тржишта. Под тим треба подразумевати да дизајн помирује и изражава захтеве како производње, тако и тржишта. То није повлађивање а још мање компромис јер никако не треба заборавити да је индустријски дизајн пре свега стваралачки процес.

Глобално гледано, индустријски дизајн је често персонификација одређеног квалитета и стварање реда и хармоније. Хармоније између естетике и функционалности, произвођача и тржишта, производа и корисника, корисника и окоline. У средишту овог реда хармоније је човек са свим својим физичким, психичким, социјалним, материјалним и другим одликама.

Индустријски дизајн у свом развоју искључиво је био везан за производ серијске и масовне производње и за масовно тржиште. Временом су се оваква одредишта променила, тако да се данас дизајн користи и у малосеријској, па чак и у појединачној производњи.

Добар дизајн није константа нити се може јасно мејити тврдим препорукама и правилима.

Индустријски дизајн је и хибридна активност јер се ослања на уметност али и примењене науке. Та варјабилност која се мења са врстом производа захтева поштовање пропорционалности у испуњењу захтева. Дobar дизајн постиже се само онда ако су постављени захтеви заступљени у правој пропорцији.

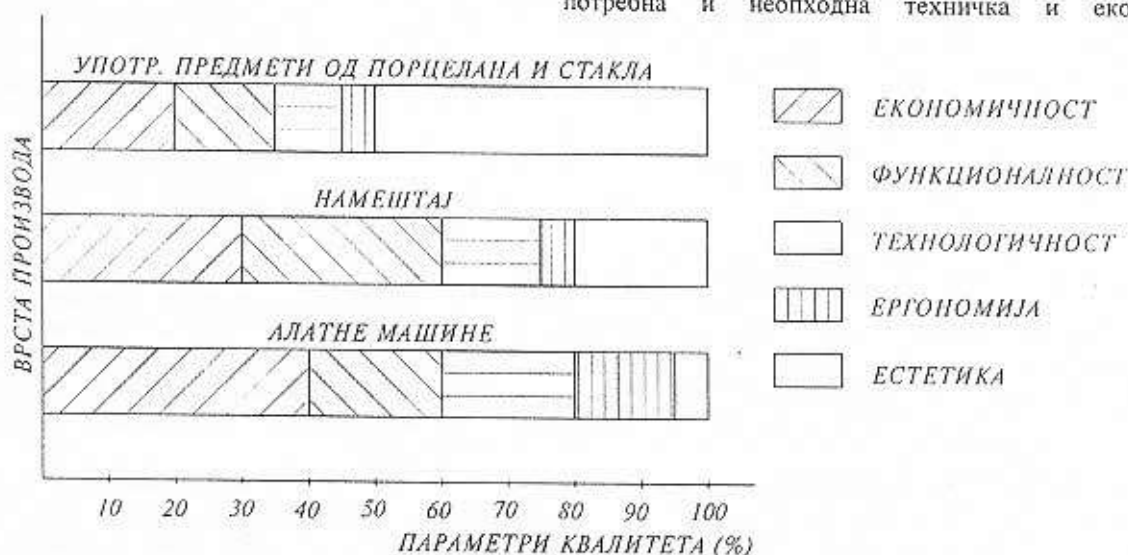
На сл.1. приказана је заступљеност естетике као значајне компоненте дизајна у конструисању и производњи различитих индустријских производа [1]. Очигледно да алатне машине захтевају најмање естетског изгледа јер су други параметри квалитета далеко значајнији. Супротно, предмети од порцелана и стакла највише пошто су функционални захтеви овде доста поједностављени. Међутим, треба се присетити да и поједини сложени технички системи (као што је аутомобил, на пр.), захтевају висок проценат заступљености естетског изгледа у конструисању и производњи (каросерија, инструмент табла, седишта).

3. ДИЗАЈН И ПРОЦЕС КОНСТРУИСАЊА

Конструисање је у најширем смислу интелектуални подухват преузет за задовољавање одређених потреба на најбољи могући начин. Истовремено то је и сложени мисаоно-интердисциплинарни процес који се може разматрати и анализирати у више међусобно повезаних

реализације. Са постављањем и разрадом задатка формирају се прве идеје будућег дизајна јер је дизајнер пре свега уметник чија је имажинација већа од имажинације већине учесника у процесу конструисања. У фази концептирања идејног решења, заснивања функционалних структура и формирања концептских варијанти формира се концепт дизајна. Очигледно да све до формирања концепта спроводи се читав низ аналитичких активности (аналитички дизајн). Врше се обимна истраживања у циљу добијања оптималних информација неопходних за дефинисање и утврђивање општих и посебно утврђених захтева али и критеријума неопходних за успешну производњу и пласирање. Свакако да у формирању структуре функција и одређивању општег концепта функционалног битисања конструкције доминантна је креација конструктура. При томе никако не треба занемарити и концепт дизајна који ствара хармонију између естетског и функционалног, али и произвођача и тржишта. Фаза концептуалног дизајна је од необично важног значаја за успешно коначно решење дизајна, али и укупног квалитета конструкције.

У фази формирања и коначног обликовања конструкције, конструктор полазећи од мање апстрактног концепта конкретизује и конкретно дефинише распоред и облик и развија производ уз сва потребна и неопходна техничка и економска



Слика 1. Заступљеност естетике у индустријском производу

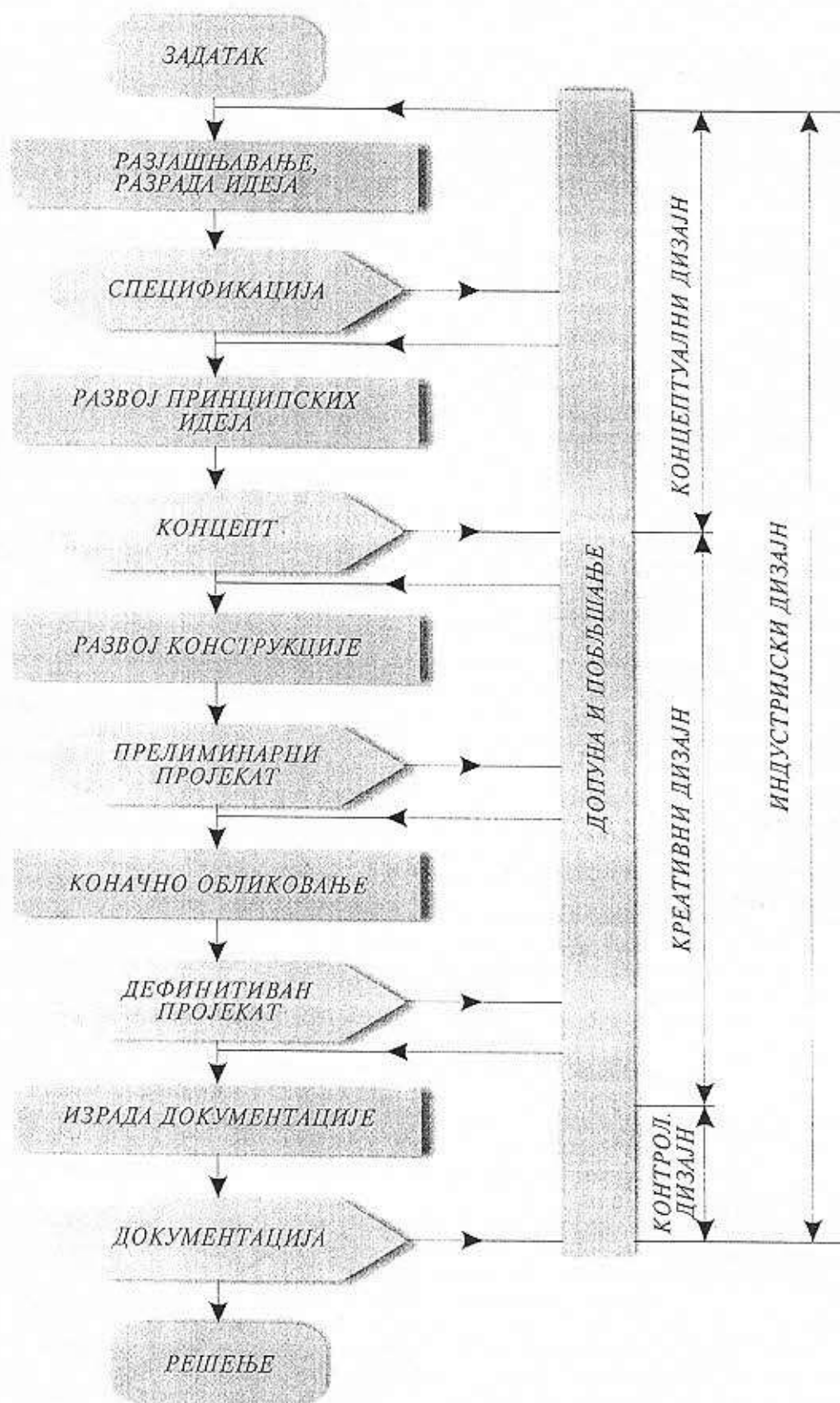
равни. Конструисање је креативна активност али и реална оптимизација делимично противуречних захтева. Конструкција је обрада и трансформација информација али и најважнија карика у ланцу: сиров материјал-нови производ.

Прихватајући конструисање као високоспецијализовану и интердисциплинарну научну област, ваља напоменути да данас у свету постоји читав низ различитих радних планова са предлогом редоследа при конструисању. Без веће потребе за анализом историје развоја теорије конструисања приказујемо место и улогу дизајна у процесу конструисања (сл.2), користећи принцип целисходне узастопности фаза конструисања.

Улога и примена дизајна у коначном уобличавању конструкције почиње још у фази прикупљања података, разраде идеја и провере могућности

разматрања. Са аспекта дизајна производа ово је фаза креативних активности (креативни дизајн). Ово је фаза потпуне креативности у којој се потпуно и коначно уобличава концепт дизајна чији је коначни циљ добијање производа високих формалних квалитета. Очигледно да је у фази креативног дизајна, дизајнер великим делом ослоњен на главног конструктора који усаглашава прорачун и облик и више пута понавља редоследом утврђене кораке све у жељи да добије оптималну конструкцију.

Присуство дизајна у коначном решавању постављених задатака продужава се и у фази израде документације у којој се коначно дограђује конструкција и снабдева свим неопходним својствима потребним за постизање жељеног квалитета. Очигледно да се у овој фази врши последња провера дизајн решења, врше последње



Слика 2. Структура дизајна у процесу конструисања

измене у дизајн креацији и последња контрола пре коначног завршетка конструкционе документације. Поред неопходне узастопности карактеристичне за

процес конструисања и улогу дизајна у том процесу, евидентна је и итеративност и могућност понављања после сваке етапе, уз обавезно коришћење критеријума

избора варијанти и допунских података из списка захтева.

Анализом процеса конструисања и улоге дизајна у тој креативној активности неопходно је констатовати да се развој конструкције и развој дизајна производа спроводе једновремено и упоредо уз истовремено учешће одговарајућих стручњака. Дизајнер има визију облика још у фази идејног дефинисања основног концепта.

При креирању дизајна, дизајнер користи: знање, имагинацију, способност и све правце индустријског дизајна познате у пракси и теорији. Због специфичности машинских конструкција и техничког производа то је најчешће интегрални дизајн. Облици производа овог правца веома су различити и могу у себи интегрисати елементе: метафоричног, рационалног, чистог и аеродинамичког дизајна или неког другог правца. Успешним коришћењем овог правца добија се производ разноврсних, уравнотежених и интегрисаних карактеристика.

Укупна креативност дизајнера и квалитет дизајна конструкције често су ограничени бројним факторима који сужавају маневарски простор у коме се одвија овај стваралачки процес. То су најчешће:

- функционално-техничке карактеристике производа,
- ниво производње и технологије,
- финансијске могућности произвођача,
- тржиште,
- правна ограничења (патентно и ауторско право и сл.),
- време реализације, итд.

Што су ограничења већа и сложенија то је слобода рада и могућност креативног изражавања мања. Понскад су ограничења толико велика да постоји само један избор и једно решење.

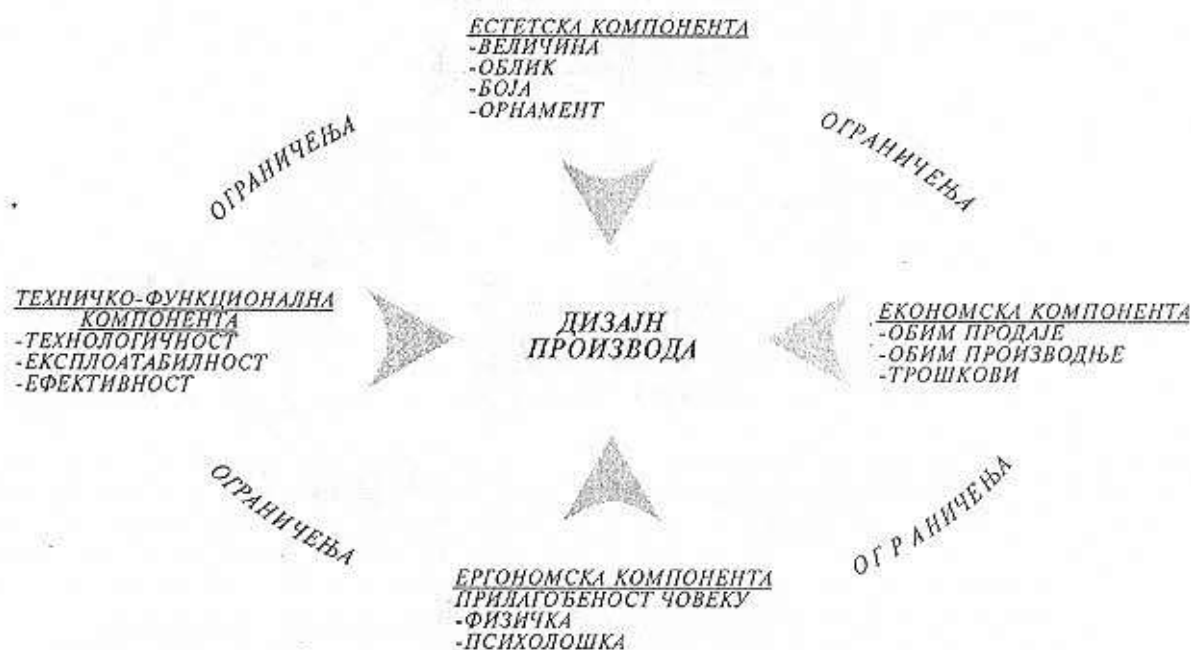
4. КВАЛИТЕТ ДИЗАЈНА

Дизајн као један од битних параметара квалитета производа је синтеза више компонената, њихових међусобних релација и заступљености. У средишту свих постављених захтева је човек са свим својим социо-економским и хуманим одликама које је наметнуо савремени начин живота и услови наше цивилизације и културе.

Квалитет производа може се анализирати на различите начине, различитим прилазима и методама. Битно је третирање квалитета као сложеног појма који обухвата низ релеватних, разноврсних особина техничког и економског карактера.

Дизајн производа као параметар квалитета се може посматрати као синтеза четири основне компоненте од којих је свака зависна од више чинилаца стохастичког или детерминистичког карактера (сл.3). Међусобни односи и зависности ових компонената су варијабилни, условљени врстом производа и захтевима постављеним на почетку конструисања.

Техничко-функционална компонента дизајна садржи оне показатеље укупног квалитета производа које конструктор креира и о којима води рачуна још у периоду развоја принципских решења. Тако посматрано ова компонента може и самостално егзистирати, независно од других компонената. Полазећи од чињенице да је процес конструисања високо-усклађени тимски рад природно је дизајнер буде укључен још у почетку процеса решавања техничко-функционалних карактеристика производа. Поштовање и потпуна примена само функционализма носи опасност да производ буде једноличан, монотон, крајње типизиран. Запостављајући остале компоненте које дизајн чине успешним, добијамо производ некурентан, нехумен и мање квалитетан. Свакако да ограничени број могућих



Слика 3. Компоненте дизајна производа

функционалних решења ограничава kreativnu aktivnost dizajnera, kao i što повећани број исто квалитетних функционалних решења шири kreativnu aktivnost и успоставља успешнију везу са осталим компонентама дизајна.

Техничко-функционални параметри квалитета производа често су скривени и недоступни човеку, посебно људским чулима. Човек најпре реагује на спољни изглед, односно естетску компоненту дизајна и производа. Зато је и естетска компонента дизајна посебно значајна јер њено уочавање изазива психолошки процес и читав низ психолошких реакција код потенцијалног купца. Посебно је ово важно за производе серијске и масовне производње, као и за масовно тржиште. Истраживања су показала да човек у комуникацији са производом својим чулима /видом или додиром/ запажа физичке и естетске елементе увек истим редоследом:

- 1/ величина,
- 2/ облик,
- 3/ боја,
- 4/ орнамент.

Величина као естетски елемент дизајна произилази из психолошке грађе људске свести да све производе упоређује са својом величином, односно људским телом. Ово његово упоређивање је и својеврсно доживљавање реалне околине али и свих предмета који окружују човека. Овај проблем се лакше решава код тзв. употребних производа који се масовно користе и где је релативно лакше успоставити усклађеност величине производа са људским телом. Већи су проблеми естетског решавања великих производа где се велики габарити, условљени функционалним карактеристикама производа, психолошки уравнотежују одговарајућим обликом, бојом и посебним орнаментима.

Облик је битан елемент естетске компоненте, суштински везан за функционалност, боју и величину. Колико је он важан најбоље говори постојање читавог правца у индустријском дизајну /аеродинамичан дизајн/ заснован на аеродинамичном облику, високих техничко-функционалних квалитета. У пракси дизајна често је присутна дилема да ли при стварању облика прво дефинисати геометријски изглед /спољни изглед/ или структурни концепт, односно принципска решења. Квалитетан дизајн подразумева да ова два процеса теку паралелно, што је понекад веома сложено али и најисправније.

У дизајну као и уметности се сматра да је природа неисцрпна инспирација облика и да се најсавршенији облици налазе у природи. Најсавршеније креације дизајна по својој величини, пропорцији и боји максимално су приближене природи. Човек је често инспирација и потреба у креацији производа. Посебно његова анатомска грађа /намештај, аутомобилска седишта/. Постоји и органска веза између облика и величине. Посебно је значајна пропорција као релација ова два естетска елемента али и као параметар естетског квалитета.

Боја производа је битан елемент естетске компоненте и моћно оружје у креацији дизајна производа. Добар избор боја подиже ниво естетског дизајна, као и што лош избор поништава добра решења облика и

величине. Не треба занемарити да поред естетске компоненте боја често има и одређену функцију /опасни делови машина, упозорење, итд./ Истовремено, боја као елемент је у уској релацији и са економском компонентом дизајна, односно тржиште.

Економска компонента дизајна је битан чинилац дизајна производа, али је и значајан показатељ укупног квалитета конструкције. Успешан дизајн подразумева раст обима производње, повећава обим продаје али и повећава курентност на тржишту које сваки даном постаје све пробирљивије. Свакако да се у одређивању места производа у општој понуди истородних производа увек на првом месту разматра његова функционалност али је врло опасно квалитет конструкције сводити само на техничко-функционалне карактеристике. Квалитетан дизајн подразумева пораст продаје али и одговарајућу цену. Очигледно да је реч о природном нескладу захтева јер су опште тежње за што вишим квалитетом производа израђеним уз што мање трошкове и у што краћем року. Али закони тржишта никад нису ни били тако једноставни.

Дизајн производа заснован је и на принципима опште прилагођености психофизичким особинама човека. Прилагођен и у физичком и у психолошком погледу, јер однос човека према материјалној околини увек је био оптимално уређен. Зато и ергономска компонента дизајна увек почива на захтевима у чијем је седишту човек са свим својим физичким и психичким одликама. Најважнији ергономски принципи на којима се гради ергономска компонента су:

- производ мора одговарати анатомској грађи човека,
- производ мора одговарати психо-физичким особинама човека,
- производ мора бити прилагођен антропометријским особинама човека.

Очигледно да није лако успоставити задовољавајуће односе између ових захтева, као и уосталом и код многих других, али смо већ и на почетку рекли да је дизајн производа високо креативан и стваралачки процес.

5. ЗАКЉУЧАК

Дизајн производа је саставни део процеса конструисања, конструкционе креативности и квалитета производа. Резултат дизајна није само естетика производа и леп изглед, него и функционалност, економичност и производ близак човеку. Његова главна карактеристика је хармонија: естетског и функционалног, производа и корисника, корисника и околине.

Улога у место дизајна у коначном уобличавању производа почиње још у фази прикупљања података и разради идеје, наставља се фазом конципирања идејног решења и завршава израдом документације. Развој конструкције и развој дизајна производа спроводе се једновременно и упоредо уз максималну сарадњу конструктора и дизајнера.

Дизајн производа као параметар квалитета је синтеза четири основне компоненте од којих је свака зависна од више чинилаца стохастичког или детерминистичког карактера. Међусобни односи и зависности ових

компонената су условљени врстом производа и захтевима постављеним на почетку процеса конструисања.

Индустријски дизајн као стваралачки процес у креирању производа је својеврсна персонификација одређеног квалитета и заузима значајно место у процесу конструисања. Нажалост, и данас је често потиснут на маргине стварања новог производа, немоћан да пуно утиче на освајање нових тржишта и општу конкурентност у све захтевнијем свету.

ЛИТЕРАТУРА

- /1/ М. Фрукт: Дизајну производњи, Научна књига, Београд, 1987.
- /2/ М. Васиљевић: Дизајн-савремени поглед, Новидани, Београд, 1999.
- /3/ С. Танасијевић: Триболошки исправно конструисање, ЈУТРИБ 99, Крагујевац, 1999.

PRODUCT DESIGN

*Prof. Dr Slobodan Tanasijević, Mašinski fakultet
Kragujevac*

Summary

Industrial design as a mixture of knowledge and results of many scientific disciplines and arts is an integral part of engineering design process, designing creativity and quality of the new product.

This work analyses the place and importance of design in engineering design process, quality improvement of the new product and upgrading of the employees culture in general.

Key words: design, product, quality.

Адреса за контакт:

Проф. др Слободан Танасијевић
Машински факултет
34000 КРАГУЈЕВАЦ
Сестре Јањић 6

MAŠINSTVO - DIZAJN - - MARKETING

Prof. dr Suzana Salai - Ekonomski fakultet u Subotici
Mr Ivan Hegediš, dipl. ing. arh.
Leonard Salai, dipl. ekonomista

Rezime

U savremenim uslovima shvatanje dizajna je mnogo kompleksnije od oblikovanja proizvoda. To je planski usmerena, kreativna aktivnost kojom se sistematizuje i unapređuje kvalitet čovekovog života i okruženja. Dizajn je u mašinstvu uključen u sve tri dimenzije (Ph.Kotler) proizvoda: suštinu proizvoda, materijalizovani proizvod i obogaćeni proizvod. Zahtevi u odnosu na dizajn polaze od očekivanja potrošača, iz pravca primene novih tehnoloških procesa i ekološko - ekonomskih ravnoteža. U tom cilju neophodno je upravljanje dizajnom.

Ključne reči: potrošač, promocija, savremeni marketing

1. UVOD

Od "craft"-a (zanat) u mašinstvu, čija je baza manufaktura i mala privreda, razvoj je tekao u pravcu "oblikovanja" (industrial design) primenjivanog u velikim sistemima. Od masovne proizvodnje, dominirajuće do danas, razvoj ide u pravcu dizajniranja proizvoda prema potrošačima-individuama.

Sušтина ove delatnosti mogla bi se pogrešno protumačiti nazivom "industrijsko modeliranje" koje zapravo ne pokriva pun smisao reči design (engleski) odnosno Gestaltung (nemački) zato što previše naglašava spoljašnji izgled. U mašinstvu suština planiranja oblika proizvoda je u proizvodno-tehničkom planiranju tj. u "proizvod sam po sebi" gde spada i "spoljni izgled". ICSID je na bazi predloga Tomaša Maldonada formulisao sledeću definiciju dizajna:

Industrijski dizajn je stvaralačka aktivnost čiji je cilj određivanje formalnih kvaliteta industrijski proizvedenih predmeta. Te formalne kvalitete obuhvataju i spoljašnje karakteristike, ali pre svega one strukturne i funkcionalne odnose, koji pretvaraju sistem u koherentnu celinu, kako sa stanovišta proizvođača, tako i korisnika (1, str. 7).

Na taj način shvaćen dizajn ima uticaja na formiranje, održavanje i menjanje image-a.

Dizajn u mašinstvu je dakle, planiranje, što daleko bolje upućuje na funkcije gotovog proizvoda i suštinu oblikovanja. Stoga ono označava:

- ♦ proces oblikovanja proizvoda odnosno proizvodnog kompleksa;

- ♦ pojavni oblik rezultata ovog procesa, dakle proizvod odnosno proizvodni kompleks.

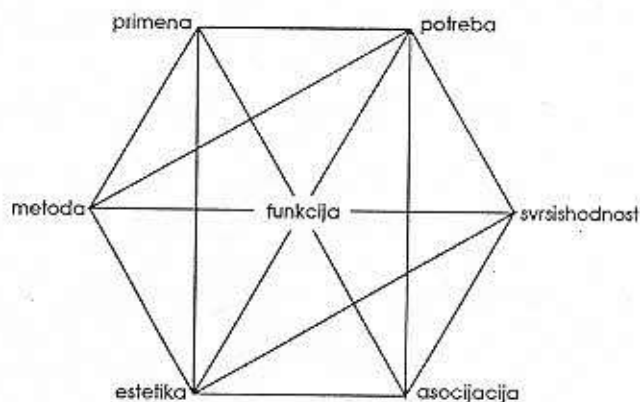
Stoga se dizajn ne odnosi samo na spoljni izgled proizvoda, već je to mnogo više, to je u mašinstvu "planski usmerena stvaralačka aktivnost (delatnost) koja doprinosi sistematizaciji, unapređenju i poboljšanju kvaliteta života i čovekovog okruženja" (2, str. 2.).

U svetu je u evoluciji oblikovanja proizvoda prihvaćen veliki broj pravaca, sistema. U našim uslovima je bilo koji primenljiv, posebno u različitim kombinacijama. Neki od značajnijih pravaca su: styling (modni), product design (planiranje proizvoda), system design (područje istraživanja i nauke), corporate design (corporate identity i product design), graphic design (corporate identity i šire, od planiranja simbola do izložbi), interior design (unutrašnje kreiranje), package design (zaštitno i komercijalno pakovanje), design research (istraživanja za razumevanje potrošačkih fizičkih i psihičkih potreba i reakcija odnosno ponašanja) i environmental design (istraživanja okruženja).

2. DIZAJN U MAŠINSTVU

U savremenim uslovima dizajn predstavlja snažno sredstvo konkurentske borbe. Za tržišni uspeh (atraktivnost) nisu više dovoljni funkcionalnost i upotrebna vrednost proizvoda već i estetika, boja i ergonomija, odnosno i simbolička svojstva proizvoda kojima se obezbeđuje satisfakcija potrošača.

V. Papanek to naziva kompleksom funkcija i prikazuje jednostavnim dijagramom (SL. 1):



Sl 1. Kompleks funkcija

Obezbeđenje satisfakcije potrošača nije više zadatak samo proizvoda široke potrošnje već je vezana za sve segmente proizvoda. U tržišnim uslovima to više nije luksuz već osnovno egzistencijalno pitanje (uslov) opstanka među konkurentima i pomoć pri uvođenju novog proizvoda, dok je redizajniranje (ponovno planiranje) sredstvo produženja životnog ciklusa proizvoda. Dizajn predstavlja i ključ prepoznatljivosti i diferenciranja kako proizvoda (Product Design) tako i organizacije (Corporate Design).

Stoga, dizajn u konceptu marketinga nije samo oblikovanje proizvoda funkcionalne perfekcije već je oblikovanje sistema i procesa zadovoljavanja potrošačkih potreba, želja i preferencija, tako da u kreativni proces stvaranja životnog i radnog okruženja bude uključen i sam korisnik

tog prostora. U tom kontekstu, simplificirano, uključena su sledeća načela dizajna (3, str. 36-39.):

- ♦ ekonomičnost (sredstava i materijala koji ne umanjuju funkcionalnu vrednost, kvalitet i lepotu primene),
- ♦ adaptibilnost i funkcionalna vrednost,
- ♦ jedinstvo i kompozicija,
- ♦ harmonija spoljašnjosti i upotreba,
- ♦ stil (normalne trajnosti bez modnih uticaja i artificijelnosti),
- ♦ evolucija i relativnost (dizajn nema karaktere definitivnosti već usklađenost sa razvojem tehnologije),
- ♦ ukus,
- ♦ satisfakcija,
- ♦ pokret,
- ♦ hijerarhija,
- ♦ komercijalnost,
- ♦ poštenost (iskrenost),
- ♦ implicirana umetnost (dizajn nije aplikativna već je implikativna umetnost).

Ova načela obezbeđuju takav dizajn proizvoda mašinstva koji nije dodatni kvalitet već bitno svojstvo proizvoda u savremeno organizovanoj proizvodnji. Načela omogućavaju zadovoljenje područja zahteva menadžment dizajna, a ona se manifestuju u:

- ♦ očekivanjima potrošača,
- ♦ orijentaciji na uvođenje novih tehnoloških postupaka, i
- ♦ uvažavanju privredne ravnoteže i uloge očuvanja čovekovog okruženja.

Stoga u mašinstvu upravljanje dizajnom (design management) zahteva sinhronizaciju odnosa i komuniciranja potrošača, preduzetništva i dizajnera.

3. DIZAJN U NOVOJ PARADIGMI MARKETINGA

Marketing kao sinhronizovan i koordiniran pristup celokupnom poslovanju usmeren na potrošača prolazio je kroz evoluciju veoma dinamičnog karaktera. Tradicionalni, tzv. masovni marketing dominirao je skoro osam decada, u kome su instrumenti marketinga i njihov mix bili usmereni na zadovoljenje *potreba* što većeg broja "prosečnih" potrošača. Proizvod je bio stalan-nepromenjen, promocija je primenjivala masovne medije i standardizovane promotivne poruke, cene takvih proizvoda su bile skoro ujednačene a marketing kanali prilagođeni zahtevima prosečnih potrošača. Stoga su i informacije istraživanja tržišta (čiji je cilj prodaja) bile agregiranog karaktera.

Savremene tendencije koje se manifestuju u globalizaciji ali fragmentaciji tržišta i stvaranju alijansi, dolazi do promene i u filozofiji marketinga. Nova paradigma marketinga ili logika novog pristupa usmerena je takode na potrošača, ali sada na zadovoljenje *želja* individualnih potrošača. Potrošačima pojedincima se po novom pristupu usmerava tzv. usmereni, prilagođeni (customized), ciljni ("one to one") marketing. Marketing napor je usmeren na "brižljivo" odabrane potrošače pojedince kojima se na bazi informacija marketing istraživanja prilagođava ne samo proizvod već i ostali instrumenti marketinga. Informacije marketing istraživanja (čiji je cilj anticipiranje promena a stoga i instrumenata marketinga) su sada individualizirane

odnoseći se na pojedine ciljne segmente potrošača, koji se međusobno diferenciraju po željama, iskustvu, kupovnoj moći i dr. Marketeri sada nude adaptirane ("cust-made" - po porudžbi) proizvode u različitim segmentima od hotelskog smeštaja, preko kupovine automobila, nameštaja, odevanja do bicikala. Nema dva ista proizvoda, postoji osnovni model i svaki potrošač "kreira" svoj proizvod prema sopstvenim željama. Internet i telemarketing tj. "on-line" kupovina uz dva dana čekanja na "svoj" proizvod, potrošačima obezbeđuje potpunu satisfakciju a preduzećima potrebu za negovanjem svojih potrošača (Relationship marketing).

Ovakve promene nisu evidentne samo na području proizvoda široke potrošnje već i na području tržišta proizvodne potrošnje primenom "Business-to-business" marketing. Na ovom segmentu tržišta takode dolazi do primene nove paradigme marketinga. Na primer, kupac ima mogućnosti da odluku o kupovini donese na bazi ličnog komuniciranja sa dobavljačima, a može da istu realizuje samo isključivo putem pretraživanja preko Interneta.

U ovom drugom slučaju je odluka manje pod uticajem ponuđača, njegova odgovornost je veća a njegova kreativnost i sposobnost više dolaze do izražaja. U takvim uslovima i uloga dizajna proizvoda još više dobija na značaju. Sa jedne strane dizajn predstavlja "celinu" proizvoda, a sa druge, promotivnu aktivnost.

4. ZAHTEVI POTROŠAČA U ODNOSU NA DIZAJN

Potrebe odnosno zahtevi potrošača prema predmetima i instrumentima odnosno dizajnu istih manifestuju se u nekoliko aspekata.

Potreba *prilagođavanja proizvoda mehanizmu života potrošača* i njegovoj strukturi, čime se obezbeđuje više prostora izboru potrošača, je jedan od aspekta zahteva prema dizajnu.

Biološko prilagođavanje, odnosno zahtev da funkcije proizvoda ne dovode do smetnji u životu potrošača.

Potreba *zaštite od povrede* potrošača je zahtev u odnosu na svaki proizvod odnosno njegov dizajn.

Psihološki zahtevi se manifestuju u dva aspekta: osnovni i specijalni. Osnovni psihološki zahtevi se odnose na sklad između oblika proizvoda i nivoa i zahteva kulture; i sklada između kvaliteta proizvoda i okruženja. Specijalni psihološki zahtevi vezani su za kvalitet intelektualnih zahteva kao što su napr. stil življenja, potrošačka kultura i dr.

Sa aspekta dizajna psihološki zahtevi (šire shvaćeno humani zahtevi) su od prvorazrednog značaja. Tu je neophodno napomenuti dve važne činjenice. Jedna se odnosi na apsolutni kvalitet proizvoda a druga na vizuelni (formalno-estetska pojava proizvoda) aspekt odnosno doživljaj proizvoda od strane potrošača. Prvi se odnosi na "jedinstvenost sadržaja i forme", što znači da dobro oblikovan proizvod nije u suprotnosti sa svojom osnovnom svrhom. Jedinstvo fizičkih, upotrebnih i simboličkih svojstava proizvoda je odlučujuće pri odluci o kupovini. Drugi ima presudnu ulogu u marketing komuniciranju, odnosno promociji i u marketing kanalima. Dobar dizajn ima sposobnost da u potrošaču izazove prijatan osećaj, satisfakciju ili radost i pri svemu tome motiviše na određeno ponašanje.

5. EKONOMSKI ASPEKTI DIZAJNA

Iako je dizajn bitna determinanta ekonomskog (dobit) i komunikacionog (image) cilja i efekta preduzeća, postoje i takva viđenja uglavnom tehničkih eksperata, koja prednosti dizajna vide samo u "ulepšavanju" proizvoda i iz toga rezultirajuće veće kompetitivnosti, dok ekonomisanje dizajnom i istraživanja ekonomičnosti¹ potiskuju u drugi plan.

Ekonomski zahtevi u odnosu na dizajn proizvoda u mašinstvu mogu se sumirati u:

- ♦ eksploataciji povoljnijih izvora snabdevanja,
- ♦ simplifikaciji proizvodnje, ubrzanju procesa,
- ♦ smanjenju cene proizvodnje proizvoda,
- ♦ smanjenju troškova transporta i uskladištenja posredstvom minimiziranja prostora i težine,
- ♦ povećanju vrednosti proizvoda,
- ♦ poboljšanju stepena vrednovanja proizvoda,
- ♦ poštovanju zahteva ponovne upotrebe,
- ♦ posebnim zahtevima čije zadovoljenje obezbeđuje realizaciju na ciljnim segmentima tržišta ali povećava troškove proizvodnje (vremenske prilike, potreba za klima uređajima); postizanje boljeg efekta vrednovanja proizvoda (proizvod malog obima smešten u veću kutiju, da bi se za proizvod odredila veća cena).

Poboljšanje ekonomičnosti dizajna u mašinstvu može se postići pravovremenim integrisanjem dizajnera u proces razvoja proizvoda sve do momenta lansiranja proizvoda na tržište. Zatim se u fazi zrelosti životnog ciklusa proizvoda ponovno uključuje invencijom u inovaciju proizvoda sa ciljem diferenciranja (stvarnog ili prividnog) proizvoda.

6. DIZAJN KAO PROMOTIVNA AKTIVNOST

U tradicionalnom (masovnom ili tzv. off-line) marketingu dizajn je posmatran sa dva aspekta. Prvi aspekt je vezan za industrijsko oblikovanje (primarna funkcija), a drugi za promociju (sekundarna aktivnost). U ovom kontekstu dizajn je onaj elemenat proizvoda koji komunicira sa potrošačem. Primena Interneta u konceptu marketinga (Internet Marketing) označava prihvatanje specifičnosti koje donosi online pristup. Suština marketinga usmerena je na "stvaranje vrednosti za potrošače, postizanje konkurentne ili posebne prednosti i usmeravanje i fokusiranje ciljeva, resursa i napora firme na strateškoj osnovi" (4, str. 67.). Fenomen Interneta sa stanovišta njegove primene u okvirima organizacija u mašinstvu pre predstavlja revoluciju u komuniciranju nego što je to u tehnološkom kontekstu. Naime, marketinško shvatanje o korisnosti

¹ Rezultati jednog istraživanja sprovedenog u Velikoj Britaniji na uzorku od 179 projekata dizajna ukazali su da je od 120 realizovanih projekata 89% bilo uspešno, i to zahvaljujući dobrom dizajnu realizacija je povećana za 41%, u 38% dizajnirani proizvodi su doprineli osvajanju novih tržišta, a vreme amortizacije troškova dizajna iznosilo je 14,5 meseci. (Sándor I.: *A Marketing-kommunikáció kézikönyve*, BKE - Marketing tanszék, Budapest, 1999, str.280.)

Interneta (i u mašinstvu) polazi od toga da se radi o svremenoj tehnologiji koja omogućava prenos informacija na specifičan način, a ne pristup (poznat pre 3-4 godine) poznat kao "tu sam i oni će doći" ("build it and they will come approach"). Stoga je Internet trenutno najsavremeniji medij promocije kojim se realizuju promotivne aktivnosti, on-line prodaja kao i online veze i pogodnosti za posetioce ili one kojima je namenjeno Internet angažovanje. Bitna je izgradnja sopstvene online mreže i tom cilju služe aplikacije od primene e-mail programa za elektronsku poštu i e-mailing lista, pripremu sopstvenih elektronskih izdanja (newsletters) pa sve do formiranja ili okupljanja raznih interesnih grupa (newsgroups).

Međutim, Internet je primenljiv ne samo za komunikacione svrhe već i online prodaje (e-commerce), ponudu različitih usluga drugima (content site) i omogućavanje funkcionisanja mreže (ISP, portal site). Ipak, značajan izazov komuniciranju, posebno promociji, pružio je Internet. Taj izazov je u slučaju proizvoda široke potrošnje više izražen dok je to u slučaju mašinstva ipak manji. Naime, karakteristike potrošača (ekspertnost ili veća tehnička sofisticiranost) i specifičnosti proizvoda koje zahtevaju tehnička znanja, dominiraju pri odluci o kupovini, pri čemu Internet obezbeđuje skoro kompletan izvor informacija (tekst, sliku, virtuelno izlaganje) pored ličnog (interpersonalnog) komuniciranja.

Međutim, dizajn nije prisutan samo u promotivnim aktivnostima (ekonomski publicitet, lična prodaja, unapređenje prodaje, ekonomska propaganda i marketing public relations; i oblikovanju audio-vizuelnih promotivnih poruka) već je nezamenljiv i u stvaranju, održavanju ili menjanju imagea proizvoda i proizvođača. U tom cilju je usmerena umetničko-grafički i tehnički dizajn (vizuelna komunikacija sa likovnom, tekstualnom, tipografskom, arhitektonskom obradom) unutar i izvan organizacije kojom se gradi tzv. Corporate identity.

7. TEHNIČKI ZAHTEVI U ODNOSU NA DIZAJN

Kada se zna da se proizvodi različitih ponuđača međusobno malo razlikuju tada je jasno da jedan od osnovnih zahteva usmeren na mogućnost primene proizvoda u skladu sa definisanim ciljem, što podrazumeva da se sa bušilicom buši, a na stolici sedi, i dr.

Odgovor na pitanje "kako" tj. pokazatelj kvaliteta i funkcionalnosti proizvoda je stepen funkcionalnog uticaja. Savremena struktura predstavlja odraz verifikacije naučnih i tehničkih rezultata u proizvodu.

Pouzdanost u granicama moguće funkcionalne upotrebe proizvoda. Pored pouzdanosti tu se ubraja i izdržljivost proizvoda i sl.

Zahtev u odnosu na formu proizvoda obuhvata i kvalitet kulture proizvodnje, odnosno primenjeni nivo razvoja tehnologije.

Kvalitet načina predaje proizvoda na područje distribucije tj. pakovanje (zaštitno i komercijalno), zaštita od povrede i korozije i sl., je takode od značaja za ovo područje.

8. MENADŽMENT DIZAJNA

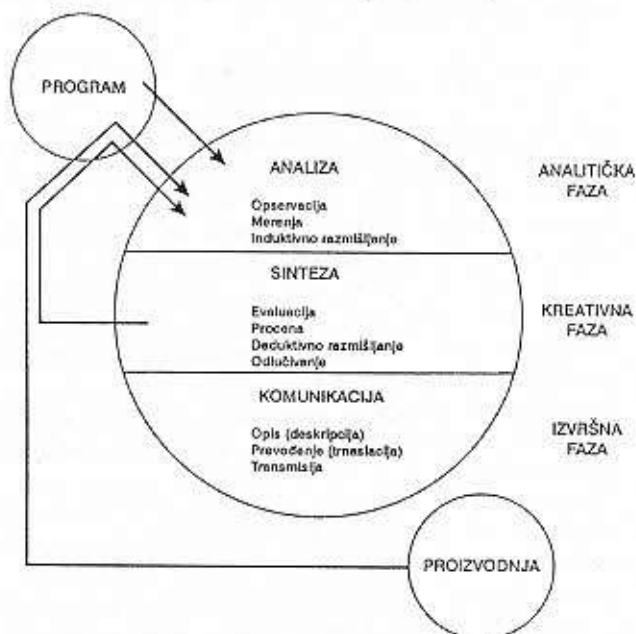
Pretpostavke menadžment dizajna mogu se sumirati u sledećim:

- ♦ poznavanje potreba, želja i mogućnosti potrošača tj. informacije marketing istraživanja u funkciji planiranja i razvoja proizvoda,
- ♦ racionalna, ekonomična i sigurna proizvodnja koja se zasniva na uslovima izbora materijala, tehnološki korektna izrada i vrhunskih kadrova,
- ♦ obezbeđenje lakog, pouzdanog i sigurnog rukovanja, održavanja i odlaganja,
- ♦ lakom uskladištenju, pakovanju i transportu proizvoda,
- ♦ usklađivanju svih elemenata koji prate proizvod od proizvođača do prodavca odnosno potrošača: transportna i komercijalna ambalaža, promotivna sredstva u promotivnom mix-u, vizuelno oblikovanje propagandnih konstanti (ime preduzeća, zaštitni znak, ime proizvoda, kućna boja, promotivni stil) i ostalih prenosnika i sredstava usluga potrošačima kao što su uputstvo za upotrebu, garantni list ili knjižica i sl.
- ♦ sinhronizacija grafičkog, tehničkog i marketinškog dizajna u cilju formiranja corporate identity i image proizvoda i preduzeća,
- ♦ usklađenost spoljnog izgleda proizvoda sa zahtevima kulture, što znači da za potrošače bude privlačan, svrsishodan i lep,
- ♦ diferenciranost u odnosu na proizvode konkurencije,
- ♦ usklađenost proizvoda sa propisima i zakonskim odredbama.

Opšti proces upravljanja primenljiv je i u procesu oblikovanja proizvoda. Faze upravljanja u menadžmentu dizajna su:

- ♦ analiza - informisanje,
- ♦ planiranje - predlaganje,
- ♦ realizacija - izvedba dizajna, i
- ♦ kontrolni testovi.

Opšti postupak (1, str. 161) dizajna prikazuje slika 2.



Sl. 2. Proces dizajna

U procesu dizajna zahtevi koji se postavljaju u odnosu na metode koje se primenjuju su:

- ♦ akceptiranje svih relevantnih činjenica,
- ♦ racionalizacija vremena i napora, i
- ♦ eliminacija svih mogućih grešaka dizajna.

Metode dizajna koje su primenljive u procesu su mnogobrojne i diferencirane a zasnovane su na interdisciplinarnom pristupu u skladu sa pristupom i metodama pojedinih disciplina koje se primenjuju u adekvatnim fazama procesa dizajna.

LITERATURA

1. G. Keller: *Dizajn*, Vijesnik, Zagreb, 1974.
2. Wirtschaftskammer Österreich, WIF: *Design bringt Produkt in Form*, Design Offensive, Wien, 1994.
3. Sándor I.: *A Marketing-Kommunikáció kézikönyve*, BKE Marketing tanszék, Budapest, 1999.
4. Huisman D., Patix G.: *L'esthétique industrielle*, Presses universitaires de France, Paris, 1961,
5. 4. Jović M.: *Internet marketing strategija*, "Marketing" Časopis za marketing teoriju i praksu, Beograd, Godina 30, Broj 2-3/1999.

MECHANICAL ENGINEERING - DESIGN - MARKETING

S. Salai, I. Hegediš, L. Salai

Summary

The modern approach of the design is much more complex than product-shaping. Being a planned and creative activity, design makes a systemizing and develops human life quality and his environment. The design in mechanical engineering is involved into all three product's dimensions (Ph. Kotler): to the essence of the product, to an embodied, materialized product and to an enriched product. The expectations towards design focus consumer's expectations from the aspect of the application of new technologies and ecological and economic hallmarks. Therefore, design management proves to be a claim.

Key words: consumer, promotion, modern marketing

Adresa za kontakt:

Prof. dr Suzana Salai
Ekonomski fakultet
24000 Subotica

OBLIK MAŠINSKOG DELA

Prof. dr Milosav Ognjanović, Mašinski fakultet Beograd

Rezime

Oblik mašinskog dela nije samo njegova forma. To je rezultat uskladjivanja svih činilaca koji su u vezi sa eksploatacijom, izradom, tržištem i sa uslovima razvoja. Genetski fenomen, nivo tehnologije i ekonomsko i stanje u društvu su veoma prisutni u definisanju oblika koji je rezultat procesa konstruisanja. Osim toga oblik je rezultat uskladjivanja čitavog niza svojstava vezanih za funkciju, za materijal i za način izrade. S tim u vezi oblik je kumulativna i apstraktna kategorija i nije rezultat jedne operacije u konstruisanju već je odraz stanja.

Ključne reči: Oblik, Tehnologičnost, Konstruisanje

1. UVOD

U obliku se ogleda geneza razvoja, tehnologija, uslovi eksploatacije, tržište, stepen društvenog razvoja. Oblik se stvara postepenim razvojem. To nije rezultat zanatske ili umetničke aktivnosti. Kovanjem, rezanjem ili vajanjem se materijal oblikuje. Već formirani oblik na crtežu ili u svesti umetnika oblikovanjem se prenosi na materijal. Oblikovanje je radnja kojom se materijalu menja oblik. Razvoj (formiranje) oblika mašinskog dela nije njegovo crtanje ili modeliranje da bi se obuhvatio glagolom "oblikovanje". To je misaoni proces, proces odlučivanja, genetički proces, proces transformacije dostignutog nivoa znanja, dostignutog nivoa tehnologije, dostignutog ekonomskog nivoa proizvođača i društva u celini. Oblik ili u žargonu stranog jezika "dizajn" je vrlo kompleksan i u visokom stepenu apstraktan pojam. Zbog njegove kompleksnosti moguće je i jednostrano shvatanje ili sužavanje značenja ovog pojma. U ovom smislu razvijeni su i specifični pristupi za formiranje oblika mašinskog dela. To su na primer konstruisanje sa aspekta zadovoljenja funkcije (Design for function) ili konstruisanje sa aspekta pogodnosti za izradu (Design for manufacturing). Noviji pristup podrazumeva simultani razvoj oblika i tehnologije (Concurrent Engineering) i td. Cilj ovih razmatranja da se na široj osnovi definiše pojam i smisao oblika mašinskog dela i da se sagledaju ključni problemi i mogućnosti odnosno pristupi u razvoju oblika.

Prema Polazeći od	FUNKCIJI	OBLIKU	MATERIJALU	POSTUPKU IZRADE
FUNKCIJE	Odluke	1 Heuristika oblika, pravci opterećenja, kretanja i sl.	2 Čvrstoća, težina, korozivne osobine, osetljivost na uticanje i sl.	3 Ograničenja funkcije korišćenim metodom
OBLIKA	10 Eksploatacija Proveriti da li oblik, materijal i postupak izrade zadovoljavaju funkciju		4 Dimenzije, kompleksnost, površine koje će se dobiti	5 Kompleksnost, simetričnost, zaobljenost, dimenzije, tačnost
MATERIJALA		7 Heuristika oblika, karakteristike materijala i korišćenog oblika	Tehnologičnost	6 Metod izrade odgovora primenjenom materijalu
POSTUPKA IZRADE		8 Karakteristike postupka izrade	9 Pogodnost za oblikovanje u delove	

Slika 1.

Korelacija funkcije, oblika, materijala i načina izrade mašinskog dela

2. POJAM I SMISAO OBLIKA

2.1. Korelacija svojstava mašinskog dela

Mašinski deo je definisan skupom svojstava. Prema teoriji tehničkih sistema u svojstva se svrstavaju sve fizičke veličine, osobine i druge karakteristike koje definišu mašinski deo. Ona se mogu svrstati u četiri grupe, a to su svojstva vezana za funkciju, svojstva u vezi sa oblikom, svojstva u vezi sa materijalom i svojstva u vezi sa načinom izrade. Mašinski deo je u potpunosti definisan ako su definisana sva ova svojstva. Osim toga između svojstava unutar jedne grupe i između grupa mora postojati potpuna korelacija. To znači da se jedno svojstvo ne može izabrati nezavisno od drugih. To takođe znači da je svako od svojstava određeno drugim svojstvima koja su već izabrana odnosno koja su poznata.

Korelacija funkcije, oblika, materijala i načina izrade mašinskog dela prikazana je na slici 1. Funkcija, oblik, materijal i način izrade uređeni su kao vrste i kolone u matrici. Polazeći od funkcije mašinskog dela treba doneti odluku o obliku (1), odluku o materijalu (2) i odluku o načinu izrade (3). Polazeći od oblika mašinskog dela treba izabrati materijal (4) i način izrade (5). Na kraju polazeći od materijala treba odabrati način izrade (6). Područje iznad dijagonale matrice je područje odluka 1-6. Izbor oblika mašinskog dela (1) ostvaruje se heurističkim pristupom (veštinom pronalaženja) tako da se u prvom redu zadovolji funkcija zavisno od opterećenja, kretanja i dr. Ova se odluka ne može doneti nezavisno od odluke koja se odnosi na izbor materijala (4) i na načina izrade (5). Od materijala i od dimenzija koje se mogu očekivati zavisi oblik. Način izrade takođe u visokom stepenu utiče na oblik koji treba odabrati. Izbor materijala mašinskog dela (2) realizuje se u prvom redu na osnovu potrebne čvrstoće, specifične težine (gustine), osetljivosti na uticaje kao što su povišena i visoka temperatura, koroziona svojstva, koncentracija napona, otpornost na širenje naprslina i dr., sve u cilju da se u što većem stepenu zadovolji funkcija. Pri tom je oblik (odluka 4) i način izrade (odluka 6) u neposrednoj vezi sa izborom materijala. Izbor načina izrade mašinskog dela (3) realizuje se tako da se najpre zadovolje ekonomski uslovi, a da se pri tom ne ugrozi funkcija ali u skladu sa oblikom (5) i sa materijalom (6). Iz ovog pregleda može se zaključiti sledeće. Mašinski deo je definisan funkcijom, oblikom i načinom izrade. Funkcija je definisana u operaciji (fazi) koncipiranja. Pri tom je formirana struktura delova na osnovu strukture funkcija. Svakoj funkciji je dodeljen skup delova za njeno izvršavanje, odnosno svakom mašinskom delu je dodeljena funkcija. U ovoj operaciji treba doneti odluku o obliku koji je u fazi (operaciji) koncipiranja samo idejno naznačen. Treba izabrati materijal i način izrade. Odluke su spregnute i ne mogu se donositi nezavisno jedna od druge. Heuristika kao veština pronalaženja tehničkih rešenja ovde dolazi do punog izražaja. Ove odluke se donose na osnovu pravila (uobičajenih pristupa), iskustva, intuicije i sl.

Proces izbora materijala, oblika, dimenzija i načina izrade je iteracionog i parcijalnog karaktera. Odvija se uz naizmenično smenjivanje delimičnih proračuna i odlučivanja o parametrima, karakteristikama materijala, oblika i dr. Jednom usvojena veličina ili svojstvo može biti

promenjeno ako se nakon proračuna ili na drugi način utvrdi da prethodna odluka, kada nije bilo dovoljno podataka, nije bila u potpunosti korektna. Veština i iskustvo omogućuju da broj iteracija tj. da broj ponavljanja proračuna i korigovanja odluke bude manji. U nekim slučajevima iteracioni pristup nije moguće izbeći. Na primer dimenzije mašinskog dela zavise od dinamičke izdržljivosti koja zavisi od veličine i odnosa dimenzija. Ovaj spregnuti problem se rešava tako što se u prvoj iteraciji dinamička izdržljivost bira orijentaciono. Kada se na osnovu nje izračunaju dimenzije, dinamička izdržljivost se koriguje i proračun dimenzija ponavlja. Postupak se ponavlja sve do potpune konvergencije rešenja. Zahvaljujući iskustvu odnosno prethodno stečenim znanjima, broj iteracija je po pravilu mali.

U iteraciono ponavljanje može se svrstati i provera korektnosti usvojenog oblika sa aspekta pogodnosti za izradu – tehnološkičnosti. Moguće je izraditi mašinske delove veoma složenih oblika. Pitanje je samo po kojoj ceni tj. sa koliko alata, za koje vreme i sa kojom potrošnjom energije i materijala. Tehnološkičnost uključuje i ekonomski aspekt u razvoju oblika i otklanjanje svih propusta koji nepotrebno komplikuju izradu. U matrici na slici 1, područje tehnološkičnosti je ispod dijagonale označeno brojevima 7, 8 i 9. To su odgovori na pitanja "Da li izabranom materijalu odgovara izabrani oblik" (7) odnosno "Da li izabranom postupku izrade odgovara oblik, odnosno materijal" (8) i (9). To je proveravanje donesenih odluka 1-6 u toku izrade mašinskog dela. Uočeni nedostaci se ispravljaju, s tim da se ne poremeti već uspostavljena korelacija. Treba proveriti i ponašanje mašinskih delova i u toku eksploatacije. Proračunima, simulacijama, ispitivanjima i td. treba utvrditi ispravnost izvršavanja funkcije, sigurnost i pouzdanost u radu, proveriti eventualne nepovoljne efekte kao što su vibracije i buka i dr. Na slici 1 brojem 10 je označeno područje koje podrazumeva proveravanje da li oblik i dimenzije, materijal i način izrade zadovoljavaju predviđenu funkciju. Svaki uočeni propust ili nedostatak podrazumeva povratnu korekciju parametara, oblika, materijala ili dimenzija.

2.2. Korelacija tehničkih i ekonomskih činilaca

Oblik mašinskog dela je odraz stanja dostignutog nivoa nauke, tehnike i tehnologije kao i ekonomskog nivoa društva, kreativnosti pojedinaca, primenjenih metoda i tehničkih sredstava. Na slici 2 prikazana je korelacija nauke i tehnologije, na jednoj strani i društvenih tendencija počev od socioloških aspekata do umetnosti, na drugoj strani. Proces konstruisanja tj. proces stvaranja novih proizvoda objedinjuje ova područja i omogućuje pokretanje svih oblasti napred. Novi proizvodi omogućuju da se dostignuti nivo nauke i tehnologije transformišu u oblik (proizvod) kroz koji se znanje i tehnologija stavlja na raspolaganje korisnicima. Ova transformacija može biti ostvarena samo u odgovarajućem društvenom okruženju. Nije dovoljno raspolagati samo znanjem. Potrebno je posedovati i određeni ekonomski potencijal, potrebno je i povoljno političko odnosno društveno okruženje. Primenom odgovarajućih metoda, znanja i tehnologije se transformišu u proizvode konstruisanjem. Korak bliže ka umetnosti je industrijski, a zatim umetnički dizajn. Sve to čini okruženje



Slika 2

Novi proizvod (oblik) je odraz dostignutog nivoa nauke i tehnologije i društvenog okruženja

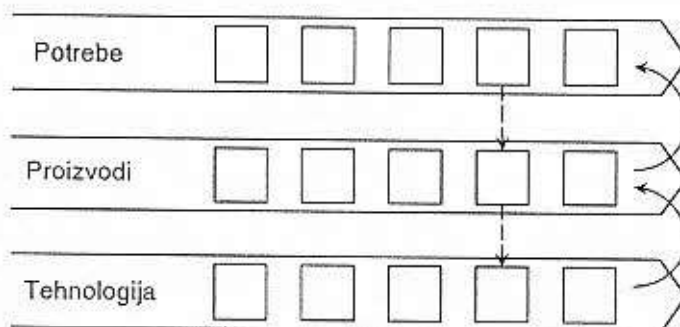
u kojem se razvija novi proizvod. Oblik mašinskih delova je svakako podložan uticaju trenutnih pravaca i stremljenja u umetnosti, dizajnu, a naročito ekonomskog stanja. S tim u vezi kroz oblik proizvoda, automobila na primer može se sagledati svi ovi aspekti vremena u kojem je taj automobil realizovan i korišćen. Ista korelacija postoji i kod drugih proizvoda kao što su alatne mašine, prenosnici i sl.

Razvoj novih proizvoda predstavlja izuzetno značajnu društvenu i tehničku aktivnost iz sledećih nekoliko razloga. Već je navedeno da se preko novih proizvoda dostignuti nivo znanja i tehnologije stavlja na raspolaganje korisnicima odnosno društvu. Osim toga razvoj novih proizvoda je izuzetno sredstvo za ekonomski opstanak proizvođača na tržištu. Pošto na tržištu novi proizvodi istiskuju starije, proizvođači su prinudjeni da još u vreme dok njihovi proizvodi dobro prolaze na tržištu da razvijaju nove koji će zameniti starije kad ovi budu potisnuti. Ovaj ekonomski podsticaj nameće potrebu kod proizvođača da istražuje potrebe korisnika, da podstiče razvoj tehnologije, kako bi se došlo do ideje za novi proizvod i pristupilo njegovom razvoju. U ovom smislu moguća su dva pristupa. Postoji tehnička potreba za koju se razvija (konstruiše) proizvod, a zatim razrađuje tehnologija za njegovu realizaciju. Drugi pristup je da proizvođač iskoristi novu tehnologiju, transformiše je u proizvod, a zatim razvojem tržišta, marketingom nameće korisnicima novu potrebu.

Ovaj drugi pristup je znatno češći. Sva tri navedena segmenta razvoja ostvaravaju se na uskladjen način. Iskorak u jednoj od njih povlači razvoj drugih. Iskorak u novoj tehnologiji iz ekonomskih razloga biće pretočen u novi proizvod, a proizvod nametnut korisnicima. Konstrukcijsko rešenje, a time i oblik mašinskih delova je uskladjen i predstavlja odraz tehnološkog nivoa i potreba koje su u tom vremenu prisutne ili mogu da budu razrađene i nametnute korisnicima.

2.3. Nasledna svojstva oblika mašinskog dela

Iz generacije u generaciju novih mašinskih sistema, većina mašinskih delova po obliku se ponavlja. Za ponovljenu funkciju u osnovi ostaje isti ili sličan oblik. Materijal i način izrade u skladu sa razvojem tehnologije se usavršavaju te povratno utiču na promenu oblika i dimenzija. Utvrđeni nedostaci delova prethodne generacije otklanjaju se kod naredne. Zadržavaju se pozitivna svojstva, otklanjaju negativna te se može govoriti o naslednim svojstvima koja se prenose iz generacije u generaciju mašinskih delova. Zupčanik na primer, u prvobitnoj verziji bio je točak sa radijalnim ispuštima koji su omogućavali siguran zahvat i transformaciju obrtnog momenta i ugaone brzine. Ovo svojstvo je zadržano, usavršavanjem oblika profila zubaca povećavana je ravnomernost kretanja i



Slika 3

Uskladjeni razvoj potreba, proizvoda i tehnologija

nosivost. Usavršavanjem materijala, termičke i mehaničke obrade, tačnosti i td., dimenzije zupčanika su postepeno smanjivane. Tome je doprinelo i značajno povećanje ugaone brzine kod savremenih mašina. Kada se uporedi zupčanik iz vremena prvih parnih mašina sa današnjim zupčanikom za istu snagu, dimenzije (prečnik i širina) su na desetine puta manji. U prvom slučaju je sopstvena težina zupčanika bila sličnog reda veličine sa opterećenjem koje je prenosio, a u drugom, sopstvena težina je zanemariva. Oblik je u skladu sa veličinom, materijalom, i tehnološkim uslovima promenjen. U prvom slučaju to je bio isključivo liveni oblik, tokom vremena usklađivan je sa tehnološkim, ekonomskim i drugim društvenim uslovima, da bi u današnje vreme odgovarao trenutnom stanju. Razlikuju se zupčanici proizvedeni u različitim firmama, zemljama i regionima u svetu, još uvek. Osnovna svojstva se analogno genetskim principima prenose na sve zupčanike, verovatno sve dok se zupčanici budu primenjivali. Tome pogoduju i savremeni, softverski pristupi za razvoj mašinskih sistema gde su najvažnija svojstva uključena u softver, parametrizovana su i prenose se na svaki novi mašinski deo u prilagodjenom vidu kao određeni vid mutacije u biološkoj genetici.

Genetska svojstva pri konstruisanju mogu biti prenesena iz bioloških sistema. Jedan od važnih izvora znanja u konstruisanju odnosno novih principa su biološki sistemi. Ovi principi su razvijani tokom evolucije i predstavljaju vrlo savršena rešenja. Kopiranjem se nasledna svojstva oblika prenose na tehničke sisteme odnosno na mašinske delove. Mnoge noseće strukture formirane su kopiranjem ljuskara, kostura riba i drugih bioloških tvorevina. Sistemi automatike i bioautomatike su takodje transformisani na ovaj način.

3. RAZVOJ OBLIKA MAŠINSKIH DELOVA

Oblik mašinskog dela se razvija u okviru razvoja strukture mašinskog sistema u celini, uzimajući u obzir sve činioce kojim je on određen. Razvoj počinje u okviru faze koncipiranja gde se razrađuju osnovni principi rada. U okviru faze razvoja oblika i dimenzija definišu se detalji oblika, dimenzije, materijal, način izrade i dr. Iza toga sledi analiza stanja, na primer napona i optimizacija dimenzija odnosno oblika do definitivnog uobličavanja. U fazi konstrukcijske razrade optimira se geometrija i tolerancije.

Dakle, razvoj oblika je podproces u okviru procesa konstruisanja koji se proteže kroz sve njegove faze. Na slici 4 prikazana je blok šema postepenog uvećavanja nivoa definisanosti oblika mašinskog dela kroz proces konstruisanja. Prvi, najniži nivo je matematički koji podrazumeva uspostavljanje matematičkih relacija transformacija sile, kretanja, energije i sl. Drugi nivo je fizički i podrazumeva definisanost fizičkog principa na kojem se transformacija zasniva. Treći strukturni nivo odnosi se na formiranje osnovne strukture oblika, materijala i dimenzija. Kriterijumi za određivanje dimenzija su funkcija, čvrstoća, krutost i druga ograničenja i principi razvoja. Četvrti nivo podrazumeva definitivno uobličavanje posle analize stanja napona, vibracija, pouzdanosti, tolerancija i dr. Prikazani nivoi definisanosti podrazumevaju postepeno uspostavljanje napred naznačenih korelacija i genetskih svojstava kroz prethodna iskustva i oslanjanjem na postojeća rešenja.

3.1. Optimizacija napona i mase

Naponi i deformacije mašinskih delova definišu ograničenja koja vode ka optimalnom obliku i dimenzijama koji zadovoljavaju uslove funkcionisanja u eksploataciji. Idejni oblik je određen koncepcijom mašinskog dela. Oblik poprečnog preseka i konstrukcijskih detalja bira se tako da raspodela napona po zapremini bude približno ujednačena. Tako se postiže i racionalno iskorišćenje mase mašinskog dela tj. povećava se nosivost po jedinici mase mašinskog dela. Iz uslova čvrstoće ili krutosti izračunavaju se glavne mere poprečnog preseka. Prelazi, žlebovi, otvori i drugi konstrukcijski detalji za vezu sa drugim delovima određuju se na osnovu konstrukcijskih odnosa ili proračuna veza. Primenom metode konačnih elemenata (MKE) izračunavaju se ekstremne vrednosti napona, koriguje oblik i iteraciono ponavlja proračun do dostizanja optimalnog odnosa oblika i raspodele napona. Optimiranje oblika primenom metode konačnih elemenata je jedan od novijih pristupa i aktivnosti u razvoju oblika. Radi minimizacije mase i dimenzija, veličine napona na kritičnim mestima mogu se dovesti do nivoa usled kojih nastupa rizik od razaranja. Proračun na bazi rizika od razaranja (pouzdanosti), oblik i dimenzije mašinskih delova dovodi u spregu sa još jednom značajnom oblašću za funkcionisanje sistema. Dozvoljene veličine radnih napona određene primenom MKE dovode se na nivo koji odgovara prihvaćenom riziku. Time kompaktnost može biti znatno uvećana, a masa smanjena.



Slika 4

Nivoi definisanosti mašinskog dela (izvršilaca funkcija) kroz proces konstruisanja

3.2. Optimizacija geometrije i tolerancija

Značajna aktivnost u razvoju oblika mašinskog dela je analiza geometrijskih odnosa delova u sklopu iz koje se dolazi do odgovarajućih graničnih odstupanja odnosno do ograničenja koja vode ka izboru odgovarajućih tolerancija dužinskih mera, tolerancija oblika i tolerancija hrapavosti površina. Analiza geometrije se zasniva na uspostavljanju veze između dodirnih površina pomoću lanca mera – mernog lanca. Odnos dodirnih površina mora biti takav da se uspostave odredjen zazor, preklop ili drugi odnos položaja kako bi se realizovala funkcija. Budući da su odstupanja oblika i dimenzija stolastička, postoji realna opasnost da funkcija bude ugrožena ako su ovi odnosi neodgovarajući. Merni lanci omogućuju da se u okviru varijacije dozvoljenih odstupanja (tolerancija) provere međusobni odnosi tj. da se uspostavi optimalan sklad odstupanja dužinskih mera i izračuna odgovarajuće odstupanje. Da se uspostavi veza između konstrukcijske i tehnološke baze ako se one razlikuju. Da se uspostavi veza između učesnika u proizvodnom sistemu (položaja alata, elastičnih deformacija i zazora i sl.), na rezultat obrade. Da se jedna mera sa odstupanjem zameni drugom, radi kontrole ili zbog drugih potreba. Sve to pokazuje da je uloga mernih lanaca vrlo široka, a analiza geometrije mašinskih delova uključujući konstrukcione i tehnološke aspekte, vrlo kompleksna.

3.3. Tehnologičnost oblika mašinskih delova

Jednostavna realizacija (izrada) mašinskog dela je moguća ako se oblik prilagodi načinu izrade. Konstrukcijski detalji treba da su takvi da ne otežavaju izradu već da je čine efikasnijom. Uslovi koji treba da budu zadovoljeni proizilaze iz osnovnih ograničenja svake od primenjenih tehnologija. Iz ovih razloga oblici mašinskih delova za istu funkciju razlikuju se u visokom stepenu pri korišćenju različitih tehnologija za izradu. Oblikovanje mašinskog dela može se ostvariti livenjem, kovanjem, zavarivanjem i rezanjem. Livenjem se izrađuju delovi manje čvrstoće, složenog oblika i većeg broja komada. Kovanjem se izrađuju delovi visoke čvrstoće, složenijeg oblika i u vrlo velikom broju komada. Zavarivanjem se izrađuju delovi visoke čvrstoće, složenog oblika i malog broja komada. Rezanjem se izrađuju delovi veće čvrstoće, složenog oblika i manjeg broja komada. Svaka od tehnologija odlikuje se odredjenim prednostima i ograničenjima. Livenje se može ostvariti u pesku, u kokilama, pod pritiskom, centrifugalnim postupkom i primenom specijalnih postupaka. Livenje u pesku je najstarije, a zbog usporenog odvođenja toplote pri hlađenju liva, problemi pri livenju dolaze do izražaja u najmanjoj meri. Oblik livenog dela mora biti pogodan za izradu kalupa u pesku, mora biti pogodan za lako isticanje gasovitih i nemetalnih materijala, pogodan za ravnomerno hlađenje, a spojevi zidova i rebara treba da su izvedeni tako da ne pouspešuju pojavu naprslina i šupljina u livu.

Oblici kovanih mašinskih delova treba da su takvi da materijal lako klizi kroz kalup sa što manje habanja i uz što manji otpor deformisanju. Rebra mogu biti samo u ravni razdvajanja kalupa, a otvori u rebrima mogu se izraditi samo naknadno rezanjem. Za eventualno slobodno kovanje oblik mora biti bez rebara, bez nagnutih i zaobljenih

površina. Na ovaj način mogu biti izradjeni pojedinačni delovi u remontnim uslovima.

Zavarivanjem se izrađuju mašinski delovi čija je specifična nosivost (nosivost po jedinici mase) najveća. To se postiže najpogodnijim raspoređivanjem ploča, rebara i profila od čelika. U ovom pogledu ne postoje ograničenja te se noseće površine mogu rasporediti tamo gde će biti najbolje iskorišćeni. Nosivost zavarenih šavova je znatno manja u odnosu na ovaj osnovni materijal. Izborom odgovarajućeg konstrukcijskog rešenja, nosivost šava mora biti dovedena na nivo nosivosti osnovnog materijala. To se postiže izborom oblika i kvaliteta šava, povećavanjem konture šava, dodavanjem rebara i td. Na ovaj način se povećava gustina šavova i povećava nivo zaostalih napona, čak do loma delova. Zaostali naponi se otklanjaju žarenjem koje je kod mašinskih delova obavezno posle zavarivanja. Ovi delovi, za razliku od drugih zavarenih konstrukcija, su kompaktni i mogu se uneti u peć za žarenje. Posle hlađenja, pukotine koje nastanu prelaskom elastičnih deformacija u plastične, uklanjaju se brušenjem i naknadnim zavarivanjem. Posle žarenja mašinski delovi su oslobođeni zaostalih napona i normalizovani za obradu skidanjem strugotine sa površina koje se dodiruju sa drugim delovima.

Prethodno oblikovanje mašinskih delova rezanjem ostvaruje se skidanjem viška materijala sa valjanih polufabrikata. Ovaj materijal se pretvara u strugotinu i nije pogodan za dalje korišćenje. Pri tom se troše alati, mašine, vreme rada ljudi. Iz toga sledi da je tehnološki prihvatljiviji mašinski deo sa manje skidanja strugotine. Cilindrični oblici u vidu diskova treba da su bez bočnih udubljenja i otvora. Dugački cilindrični delovi kao što su vratila treba da su sa što manjim razlikama u prečniku. Veće razlike u prečniku ili u visini kod masivnijih delova treba rešiti dodatnim delovima za ovu svrhu kako bi se smanjila količina skinute strugotine.

Pri završnom oblikovanju mašinskih delova najsloženija aktivnost je podešavanje alata za tačnu obradu. Tehnološki je pogodniji onaj mašinski deo kod kojeg je potrebno manje podešavanja alata. Što više površina treba da je u istom nivou kako bi se obradile u istom prolazu alata. Alat mora imati izlaz kako se ne bi oštetio pri obradi. Pristup alata površini koja se obrađuje mora biti slobodan i upravan na ovu površinu. Površine koje se obrađuju u završnoj fazi moraju biti izdvojene po nivou od onih koje se ne obrađuju.

4. MODELIRANJE OBLIKA

Model oblika mašinskog dela je virtuelna prostorna predstava ostvarena pomoću skupa vidljivih i nevidljivih tačaka. Ovaj model omogućuje stvaranje prostorne predstave, njenu promenu, rotaciju i translaciju, razvoj, korišćenje i čuvanje oblika. U osnovi se koriste sledeći modeli oblika: ivični model, površinski model i solid model koji može biti granični model i model zasnovan na konstruktivnoj geometriji. Ivični model je definisan skupom tačaka na ivicama. Površinski i granični model su definisani skupom tačaka na površinama. Solid modeli zasnovani na konstruktivnoj geometriji definisani su skupom tačaka na površinama i u unutrašnjosti mašinskog dela.

Modeli se formiraju kombinacijama osnovnih oblika linija koje su unapred pripremljeni entiteti za ovu svrhu, a postupak predstavlja imitaciju crtanja pomoću kompjutera. Osim toga kombinuju se i osnovni (elementarni) oblici geometrijskih tela pri čemu formiranje oblika predstavlja imitaciju vajanja. Položaj tačaka u prostornom koordinatnom sistemu određen je vektorom $p(u)=AUT$, gde je A -matrica oblika, U -matrica kolona nezavisno promenljivih $u \in (0,1)$ i T -matrica transformacije oblika. CAD-softer je alat za modeliranje u kojem su osnovne linije i tela pripremljeni kao osnovni oblici, a odgovarajuće matrice uključene u naredbe za formiranje i manipulacije oblikom.

Ivični modeli se formiraju imitacijom postupka crtanja i predstavljaju prvi korak u formiranju površinskih i graničnih modela. Linije mogu biti izabrane iz menija gotovih entiteta ili formirane kao splajnovi pomoću kontrolnih tačaka. Površinski i granični modeli se dobijaju od ivičnih tako što se zatvorene konture formirane linijama prevode u skupove tačaka koje leže unutar ovih kontura. Tačke na površinama omogućavaju senčenje, bojenje, presecanje, zaklanjanje nevidljivih linija i sl. Solid modeli zasnovani na konstruktivnoj geometriji su u zapremini gusto podeljeni na kocke čija su temena tačke u skupu koji ispunjava unutrašnjost mašinskog dela. Ove tačke pored ostalog koriste se za formiranje mreže konačnih elemenata i za proračune napona, deformacija i drugih svojstava mašinskih delova. Osnovni (elementarni - primitivni) oblici su skupovi tačaka koji se pri modeliranju sabiraju, oduzimaju, presecaju. Primenom Bulovih operacija nad skupovima tačaka vija se oblik mašinskog dela.

Modeliranje mašinskih delova realizuje se na osnovu određenih principa koji proizilaze iz uslova korišćenja modela i ciljeva zbog kojih se model formira. Jedan od pristupa je da se model formira da bi se zadovoljila funkcija (Design for function). Po ovoj proceduri kao bazni oblici formirani su oblici koji se u funkcionalnom smislu često javljaju, kao što su na primer prelazna zaobljenja, žlebovi, klinovi, prstenovi, glavčine i podglavci vratila, ozubljenja i td. Oblici mašinskih delova i sklopova formiraju se kombinacijama ovih već formiranih karakterističnih oblika. Osim toga ovi osnovni oblici mogu biti formirani tako da se za njih razvije i procedura za tehnološku realizaciju. U tom slučaju formira se oblik mašinskog dela može realizovati u CAM sistemu. Ovaj pristup u konstruisanju je korišćen pod nazivom Design for manufacturing. Usavršavanjem CAD i CAM softvera ova ograničenja koja sputavaju kreativnost postala su manje značajna.

Parametarsko modeliranje omogućuje da se ovi oblici ili kompletni mašinski delovi definišu pomoću parametara čijom promenom se menja odnos mera i dimenzije prema potrebi. Za svaki od oblika treba razviti matricu za povezivanje veličina koje definišu topologiju oblika. Ovaj problem je razrešen kod najnovijih softvera za modeliranje oblika. Kod ovih softvera ostaje u memoriji redosled unošenja osnovnih oblika (linija i tela) i njihovih parametara. Ako se kasnije neki od njih promeni, softer menja sve veličine i entitete koji su uneti posle onog koji je promenjen. Ovi oblici se čuvaju u vidu programa za njihovo formiranje.

Razvoj softvera za modeliranje oblika mašinskih delova je u intenzivnom razvoju u sprezi sa inteligentnim sistemima, simulacijama i drugim vrstama upotrebe.

5. ZAKLJUČAK

1. Oblik mašinskog dela je rezultat uskladjanih činilaca u određenoj konstrukciji (funkcija, materijal i način izrade), uskladjanih činilaca koji definišu stepen društvenog razvoja (ekonomski, naučni, tehnološki i drugi) i rezultat nasledjenih genetskih karakteristika prethodnih generacija proizvoda. Oblik mašinskog dela je kompleksan skup informacija i izvor podataka o tehnologiji, potrebama i o stepenu društvenog razvoja u kojem je nastao.

2. Oblik mašinskog dela nije rezultat jedne aktivnosti, kao što je crtanje na primer. To je rezultat postepenog uvećavanja nivoa definisanosti oblika mašinskih delova kroz proces konstruisanja.

3. Oblik mašinskog dela je skup topoloških i matematičkih informacija koje se mogu transformisati, menjati, uobličavati i koristiti za analize i za dalji razvoj oblika.

LITERATURA

- /1/ Hubka V., Eder W.E.: Theory of Technical Systems, Springer-Verlag, 1984.
- /2/ Pahl G., Beitz W.: Engineering Design - A Systematic Approach, - Springer-Verlag 1988.
- /3/ Jakobsen K.: The Interrelation between product shape, material and production method, -Proceedings of an International Conference on Engineering Design, ICED-89, Harrogate 1989, 775-784.
- /4/ Ognjanović M.: Modeliranje mašinskih elemenata, - Mašinski fakultet Beograd 1992.
- /5/ Ognjanović M., Subić A.: Some Approaches in Machine Parts Modelling using CAD-Software, - Journal of Engineering Design, No 2, Vol.4, 1993, (107-116).

THE SHAPE OF MACHINE PART

Prof. dr Milosav Ognjanović,
Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade

Summary

The shape of machine part is not only his form. It is a result of harmonization all of the facts which are in connection with exploitation area, with production, with market, with design etc. Genetic phenomena, technology level and economy limitations are very present in shape definition, which is a result of design process. Apart from that, the shape is a result of harmonization of a big collection of features in connection with function, material and with production method. In that view, the shape is cumulative and abstract category and is not a result of one activity in the design process. It is a reflection of the science, technology and society state.

Key words: Shape, Technologicality, Engineering Design

Adresa za kontakt: Prof dr Milosav Ognjanović,
Mašinski fakultet, ul. 27.marta 80, 11000 Beograd

МЕСТО И УЛОГА ОБЛИКОВАЊА У ПРОЦЕСУ КОНСТРУИСАЊА

Проф. др Војислав Милтеновић
мр Драган Милчић
Машински факултет Ниш

Резиме

Доминантну улогу и значај у процесу конструисања има део који се односи на обликовање. Односи се на прећу фазу процеса конструисања где се дефинишу извршиоци принципских решења основних и парцијалних функција машинских система. У раду је ова фаза процеса конструисања разматрана са различитих аспеката. Конкретни примери односе се на обликовање вратила и зупчаника.

Кључне речи: конструисање, обликовање

1. УВОД

Конструисање је кретивни процес који се одвија по узастопним етапама при чему се полази од идеје а на крају се добија конструкционо технолошка документација за производњу машинског система. То је процес трансформације идеје у пројекат као основе за производњу. Циљ конструисања је да за техничке проблеме налази оптимална решења, односно да испуни све захтеве везане за производњу, експлоатацију и рециклажу, а да при томе машински систем (производ, конструкција) буде конкурентан на тржишту.

Оптимална производња машинског система обезбеђена је уколико су сви његови делови тако обликовани, да са минималном ценом и за минимално време могу бити израђени и уграђени. За обезбеђење квалитета код великих серија неопходна је и одговарајућа контрола мера и функционалности делова.

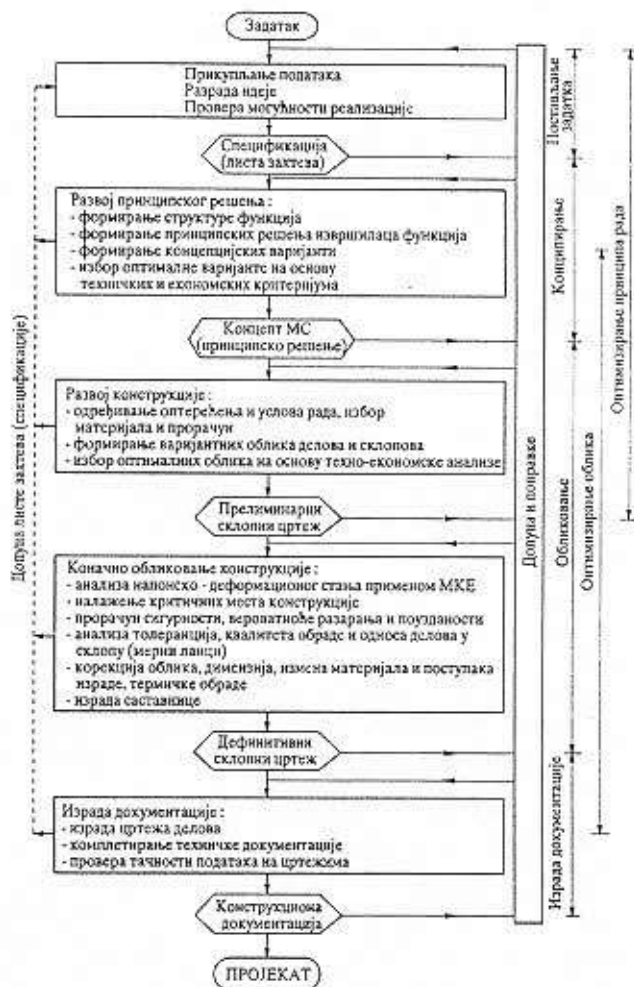
Оптимално функционисање машинског система обезбеђено је уколико он успешно испуњава предвиђену функцију за задате услове експлоатације, уз минимални утрошак енергије и минимална оптерећења везана за разне врсте отпора (ваздух, вода, отпори трења, итд.)

По завршеном радном веку производ се избацује из употребе. У том смислу оптимална рециклажа састоји се у минималним трошковима везаним за прераду и поновну употребу саставних делова система.

2. МЕСТО ОБЛИКОВАЊА У ПРОЦЕСУ КОНСТРУИСАЊА

2.1. Процес конструисања

Процес конструисања се одвија по тачно дефинисаним корацима и фазама (сл. 1). Да би конструктор дошао до оптималног решења, врло је важно да на самом почетку процеса конструисања буде прецизно постављен конструкциони задатак и по могућности свеобухватно анализиран. Као резултат ове фазе добија се листа захтева (спецификација) које машински систем треба да испуни. Захтеви могу бити веома различити, те их по приоритету треба разврстати на захтеве који морају бити обавезно испуњени, захтеве који минимално морају бити испуњени и на жељене захтеве.



Сл. 1. Структура процеса конструисања
машинских система

Друга фаза је конципирање идејног решења. Формирањем структуре функција, дефинише се општа (глобална) функција на парцијалне и елементарне функције. Ове функције углавном се свде на трансформацију енергије (силе, моменти, кретање), преношење енергије, итд. За дефинисање извршилаца елементарних функција полази се од математичког описа наведене трансформације. Трансформација се може остварити на основу механичког принципа, хидрауличног принципа,

пнеуматског, електричног, магнетног, термичког, хемијског, итд. принципа. Најчешће је у примени механички принцип који се базира на основним физичким законима. Комбинацијом појединих принципских решења добија се већи број концепционих варијанти. Оценом ових варијанти са техничког аспекта бира се оптимална варијанта.

Трећа фаза је фаза обликовања у којој се дефинишу извршиоци принципских решења. Први део ове фазе (развој конструкције) обухвата претходни прорачун, где се најпре дефинишу полазне димензије а затим и облик дела. Бира се материјал и поступак израде и утврђују основне димензије дела. У овој фази поред креативности неопходно је извршити већи број итерационих корака, чиме се увек иде ка вишем нивоу у погледу дефинисања конструкционог решења. Ово је јако компликована фаза јер захтева комбинацију прорачуна и дефинисање облика и често више пута понављање истих корака уз одговарајуће измене.

Други део фазе обликовања обухвата разраду нацрта и коначно обликовање конструкције. То значи не само израду склопног цртежа на основу почетних нацрта, већ и оптимизацију облика делова, дефинисање квалитета обраде површина, захтева у погледу тачности израде, итд.

Четврта фаза обухвата израду документације у којој се раде цртежи делова, комплетира техничка документација и проверава тачност података на цртежима.

2.2. Обликовање

Обликовање елемената и система је оптимизациони процес који садржи већи број итерационих корака. У фази налажења извршилаца основних функција система увек се изнова проверава у којој мери је задовољена листа захтева. У процесу димензионисања и обликовања делова узима се у обзир и начин израде делова, монтажа, експлоатација, одржавање и каснија рециклажа система.

Основне смернице за обликовање обухваћене су основним захтевима које конструкција треба да испуни и према [3] садржани су у три основна појма: једнозначност, једноставност, сигурност.

Једнозначност подразумева да се деловање и понашање структуре система поуздано може да предвиди.

Једноставност означава економично конструкционо решење, реализовано са мањим бројем делова и са једноставном системском структуром. При томе се поставља и питање да ли су све тачке из листе захтева заиста неопходне, јер свака додатна функција поскупљује цену производа. **Сигурност** означава да је потребно обезбедити носивост (сигурност делова), поузданост (сигурност функционисања), безбедност (сигурност рада) и заштиту околине (сигурност околине).

2.2.1. Обликовање са аспекта функционисања

Основни задатак сваке конструкције је испуњење функције задате листом захтева. Листу захтева саставља купац односно корисник, а конструктор проверава реалне техничке могућности за њено

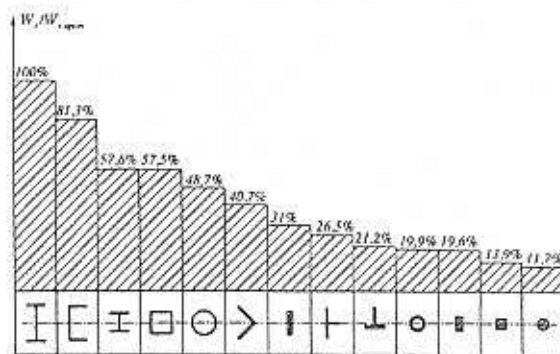
испуњење. Нереални захтеви јако негативно утичу на сам процес конструисања.

Захтеве треба поређати по степену приоритета, тако да се најпре решавају захтеви 1 степена приоритета које конструкција треба да испуни. Захтеви међутим могу бити специфични и везани за технолошки процес који систем испуњава у раду, што процесу конструисања даје интердисциплинарни карактер и намеће потребу тимског рада. При састављању листе захтева, конструктор мора кориснику да стави до знања да сваки додатни захтев поскупљује конструкцију. Другим речима с тачке гледишта економичности производа треба конструкционо решење извести не толико компликовано колико је могуће, већ тако једноставно колико је неопходно за испуњење предвиђене функције.

2.2.2. Обликовање са аспекта напрезања

Највећи утицај на носивост и радни век машинског дела има употребљени материјал и облик самог дела. Обликовање обухвата утврђивање облика и димензија дела. Квалитативно утврђивање геометрије дела дефинише се као обликовање са аспекта напрезања. При томе је циљ да се постигне оптимална носивост са минималним утроском материјала. Облик као материјал бира конструктор. На носивост делова битан утицај има попречни пресек, а он пак зависи од врсте напрезања.

За прорачун делова меродаван је максимални напон, и код делова напрегнутих на савијање и на увијање то је напон у површинским слојевима. Остали слојеви материјала су мање напрегнути, односно недовољно искоришћени. Искоришћење материјала зависи од отпорног момента односно облика попречног пресека. То треба имати у виду при обликовању машинских делова с обзиром на њихово напрезање.

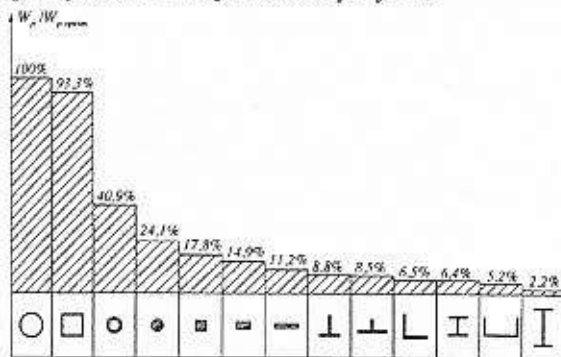


Сл. 2. Релативни аксијални отпорни momenti за различите облике пресека исте површине

За прорачун нормалних напона од савијања меродаван је аксијални отпорни момент пресека W . На сл. 2. приказани су релативни аксијални отпорни momenti различитих попречних пресека у односу на I профил као оптимални са аспекта савијања. Са слике јасно може да се уочи утицај облика попречног пресека на напрезање на савијање. За прорачун тангентних напона од увијања меродаван је поларни отпорни момент пресека W_p .

На сл. 3. приказани су релативни поларни отпорни моменти различитих попречних пресека у односу на прстенасти попречни пресек са танким зидом, као оптимални са аспекта увијања. Са слике јасно може да се уочи утицај облика попречног пресека на напрезање на увијање.

Напред наведене слике могу да послуже као смернице за обликовање машинских делова напрегнутих на савијање и на увијање.



Сл. 3. Релативни поларни отпорни моменти за различите облике пресека исте површине

2.2.3. Обликовање са аспекта носивости (димензионисање)

Док се код обликовања с обзиром на напрезање дела, квалитативно дефинише његова геометрија, код обликовања с обзиром на носивост квантитативно се утврђује његова геометрија, односно врши се његово димензионисање. Елементи морају бити тако димензионисани да без појаве граничних стања могу да пренесу задата оптерећења у експлоатационим условима. За прорачун носивости од битног значаја су радно оптерећење, геометријски облик и изабрани материјал. Ток прорачуна носивости приказан је на сл. 4.



Сл. 4. Ток прорачуна носивости

2.2.4. Обликовање с обзиром на материјал

Избор одговарајућег материјала за израду делова има веома важну улогу на успешно обликовање машинских делова. Избор материјала пре свега зависи од врсте напрезања, функције и начина израде делова. Према новим стандардима и могућност рециклаже машинских система игра веома битну улогу на избор материјала.

Напрезање. При димензионисању машинског дела потребно је познавати карактеристике издржљивости (критични напони), које зависе од материјала, врсте напрезања и карактера промене у току времена. У многим случајевима крутост, односно еластичност материјала такође играју важну улогу.

Функција. На функцију делова утичу различите карактеристике материјала, на пример способност пригушења вибрационих оптерећења, специфична тежина материјала, квалитет обрађене површине, антифрикционе карактеристике, и др.

Израда. Облик делова у великој мери зависи од употребљеног материјала. На пример ливени и заварени делови имају различит геометријски облик за идентичне радне услове. Поступак израде и врста материјала бирају се зависно од потребног степена сигурности и цене.

Рециклажа. По завршеном радном веку машинског система, потребно је извршити поновну прераду и употребу истог материјала. У том смислу рециклажа има важну улогу, што намеће потребу коришћења мањег броја различитих материјала.

2.2.5. Обликовање са аспекта израде (технологичност)

У току обликовања производа конструктор дефинише све битне параметре везане за његову цену (облик, материјал, поступак израде, толеранције, квалитет обраде површина, монтажу). Највећи утицај на цену производа има технологија израде. Процес производње може се поделити на израду појединих делова и монтажу машинског система. Обликовање делова, а и система у целини у великој мери зависи од поступка израде.

На сл. 5 приказани су могући поступци израде. За сваки од ових поступака постоје одговарајућа правила и смернице за обликовање делова. На пример поступак израде ливењем погодан је за делове компикованијег облика, које је врло тешко изградити на неки други начин. На овај начин могу се израђивати делови и малих и великих димензија, од различитих материјала, али је израда модела за ливење врло скупа, па се овај поступак исплати само за веће серије. При обликовању делова за израду ливењем конструктор се мора држати одређених правила и смерница везаних за облик делова, за технолошки процес, за напрезање делова у експлоатационим условима, предвиђање додатка за завршну обраду, итд.

Дакле сваки од поступака наведених на сл.5 захтева од конструктора одређена специфична знања, да би могао извршити обликовање делова с обзиром на њихову технологичност. Технологичност конструкције је мера прилагођености облика конструкције и њених делова процесу технологије израде.



Сл. 5. Поступци израде према DIN 8580

Монтажа такође има велики утицај на облик и цену производа. Трошкови монтаже машинских система са врло великим бројем делова, са компликованим спајањем и подешавањима могу бити врло високи. У том смислу треба се држати следећих смерница:

- ♦ број саставних делова система треба бити мањи;
- ♦ операције додатне обраде у току монтаже по могућству смањити;
- ♦ подешавања у току монтаже поједноставити;
- ♦ монтажа делова мора бити једнозначно дефинисана.

Због тога при обликовању производа треба узети у обзир следеће:

- ♦ одговарајуће машинске спојеве бирати;
- ♦ прецизно дефинисати толеранције делова;
- ♦ једнозначно одредити положај појединих делова у склопу;
- ♦ предвидети довољно простора на конструкцији за алат при монтажи;
- ♦ испунити захтеве са аспекта теротехнолоичности.

2.2.6. Обликовање с обзиром на рециклажу

Ограничени ресурси у погледу расположивих конструкционих материјала као и заштита околине условљавају да се по завршеном радном веку употребљени материјали поново користе. У том смислу конструктор мора да зна у којој мери се употребљени материјали могу поново да употребе и рециклирају. Разликује се:

- ♦ рециклажа у току израде производа,
- ♦ рециклажа у току експлоатације
- ♦ рециклажа по завршеном радном веку производа.

Рециклажа у току израде производа подразумева да се све отпадне материје настале у току израде прераде и поново употребе. Рециклажа у току експлоатације значи да се сва средства потребна за опслуживање и регенерацију радне исправности производа, као и замењени делови поново прераде и употребе. По завршетку радног века машински систем треба демонтirati, а делове, подсклопове и склопове поново прерадити и рециклирати.

За испуњење напред наведених захтева конструктор се при обликовању мора држати следећих правила: **Економична демонтиража.** Треба предвидети да се машина и њени склопови могу ефикасно да демонтiraју, тако да се на крају саставни делови (склопови, делови, материјали) могу без проблема поново да прераде. По правилу само исте врсте материјала могу бити ефикасно рециклиране, што подразумева да је саставне делове и склопове могуће на тај начин разврстати.

Минимизирајти број различитих материјала и делова. Што је број различитих материјала и делова мањи, рециклажа је лакша.

Упошребљене материјале јачно означити. Ово нарочито важи код примене делова од пластичних маса, јер је њихова рециклажа немогућа уколико материјал није једнозначно означен.

Треба водити рачуна и о утрошку енергије потребне за рециклажу.

2.2.7. Обликовање са аспекта естетике и ергономије

За продају производа врло битну улогу игра његов изглед. У том погледу без обзира што се на овај начин повећава његова цена, треба задовољити и естетске услове. Међутим, док код осталих критеријума за обликовање постоје јасне препоруке и правила, код обликовања с обзиром на естетику такве препоруке су јако променљиве и непредвидиве.

Конструкција треба да задовољи и ергономске захтеве (захтеви човек-машина). Руковање и опслуживање машина мора бити без великих напора. У том смислу конструктор мора да води рачуна о следећим захтевима:

- ♦ максимална сила на ручицама за управљање,
- ♦ дозвољени пут,
- ♦ простор дохвата,
- ♦ начин активирања (притисни, вучни),
- ♦ уградња сигналних и дијагностичких уређаја разних боја, итд.

Обликовање са естетске и ергономске тачке гледишта је веома широка област те су зато набројани само основни елементи.

3. ОБЛИКОВАЊЕ ВРАТИЛА И ОСОВИНА

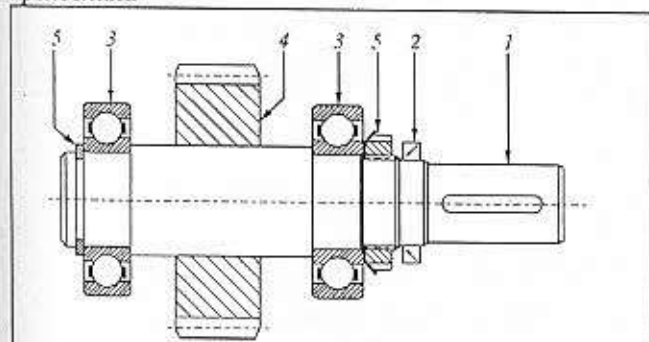
Вратила и осовине треба тако обликовати да задовоље захтеве у погледу њихове функције и цене. Цена у највећој мери зависи од израде односно поступка обраде самог вратила, а у мањој мери од избора материјала (код вратила већих димензија). Другим речима, трошкови обраде самог вратила вишеструко превазилазе трошкове материјала. Дакле цена вратила се може смањити уколико је мањи број површина са фином завршном обрадом и уколико је нижи квалитет толеранција. Међутим, ни у ком случају не сме бити угрожена радна сигурност и поузданост вратила, односно циљ обликовања је оптимално испуњење захтева уз минималну цену. Захтеви које вратило треба да испуни садржани су у следећем:

- испуњење захтева функције;
- постизање потребне носивости;
- обезбеђење дозвољене крутости.

Испуњење захтева у погледу носивости и крутости вратила добија се на основу прорачуна.

У погледу функције коју треба да испуне, вратила могу бити подељена на поједине зоне - зависно од везе са осталим деловима у склопу. Поступак разматрања биће приказан на примеру вратила зупчастог преносника (таблица 1). Функција довођења обртног момента везана је за уградњу полутке спојнице на вратилу. Дакле вратило треба обликовати тако да се оствари веза са полутком спојнице, што условљава израду подужног жлеба на вратилу са одговарајућим квалитетом обраде и толеранцијама за везу клином. Практично сваки од елемената са којим се вратило везује захтева одговарајући облик належаће површине или пресек вратила, квалитет обраде и толеранције.

Таблица 1. Обликовање вратила зупчастих преношника



Нр.	Функција	Уграђени машински део	Функциони облик вратила	Захтеви	
				Толеранци	Храпавост
1	Довод обртног момента	Полутка спојнице	Веза вратило - главчина (жлеб за клин)	± 0.016	$R_a = 4 \dots 10 \mu m$
2	Заптивње	Радијални заптивач	Седиште заптивача	h11	$R_a = 1 \dots 4 \mu m$ (брушено)
3	Пријем и пренос сила	Котрљајни лежај	Седиште лежаја	± 0.016	$R_a = 4 \dots 10 \mu m$
4	Одвод обртног момента	Зупчаник	Веза вратило - главчина (пресовани слој)	± 0.008	$R_a = 4 \dots 10 \mu m$
5	Аксијално чвршћивање лежаја	Еластични усковник односно напруга	Жлеб односно навој	-	-

4. ОБЛИКОВАЊЕ ЗУПЧАНИКА

Зупчаници су машински делови које чини озубљени венац, гл. авчина и тело зупчаника. Зупчаници су намењени за непосредно извршење функције преношења и трансформације механичке енергије. Тело зупчаника може бити израђено обрадом резањем, ковањем, заваривањем, ливењем, или пак да се тело зупчаника и венац израђују засебно, а да се веза оствари пресованим спојем или завртњима.

Облик тела зупчаника непосредно је у функцији димензија главчине зупчаника, а димензије главчине нису у непосредној зависности од димензија озубљеног венца, већ зависе само од пречника вратила d_v . С обзиром на независност параметара озубљеног венца и главчине, то њихов однос може бити врло различит. Због тога облик зупчаника може бити веома различит. Дакле, облик зупчаника зависи од: величине оптерећења, употребљеног материјала, начина израде, термичке обраде, предвиђеног радног века, предвиђене тачности и броја комада.

Код цилиндричних зупчаника, мали зупчаник се најчешће ради изједна са вратилом (сл. 6.а). Уколико је услов $d_v - d_z > 4 \cdot m$ испуњен, зупчаник се ради засебно, а како је у том случају разлика димензија главчине и димензија венца мала, то се зупчаник ради у виду равне плоче (сл. 6.б,ц). Конструкционо извођење из пуне или издубљене плоче примењује се за мале и средње зупчанике. Овакав облик је могуће користити и у случају високо напрегнутих зупчаника и код већих димензија.

На слици 6.е,ф су дати облици зупчаника који се раде ковањем. Облик тела зупчаника 6.е се користи у случајевима већих обимних брзина па је из тог

разлога тело зупчаника завршно обрађено резањем.

Заварене конструкције (сл. 6. г,х,и) примењују се углавном за зупчанике великих димензија ($d_v > 700 \text{ mm}$). За израду заваривањем могу се употребити и легирани челици са тврдоћом до 340 НВ уз специјални поступак жарења и контроле. Ради ојачања конструкције користе се бочна ребра или две плоче спојене цевима.

Ливени зупчаници (сл. 6. ј,к,л,м) примењују се за мања напрезања. Ливењем се раде зупчаници свих димензија, али пре свега се израђују зупчаници великих пречника. За израду се користе SL, CL, NL и CTeL.

Код зупчаника већих пречника примењују се такође облици дати на сл. 6. п.у. То је извођење где се венац израђује од квалитетног материјала, а тело зупчаника од мање квалитетног материјала (SL, NL или конструкциони челик). Веза тела зупчаника и озубљеног венца остварује се пресованим спојем који се осигурава чивијама или завртњима, или се веза остварује завртањском везом.

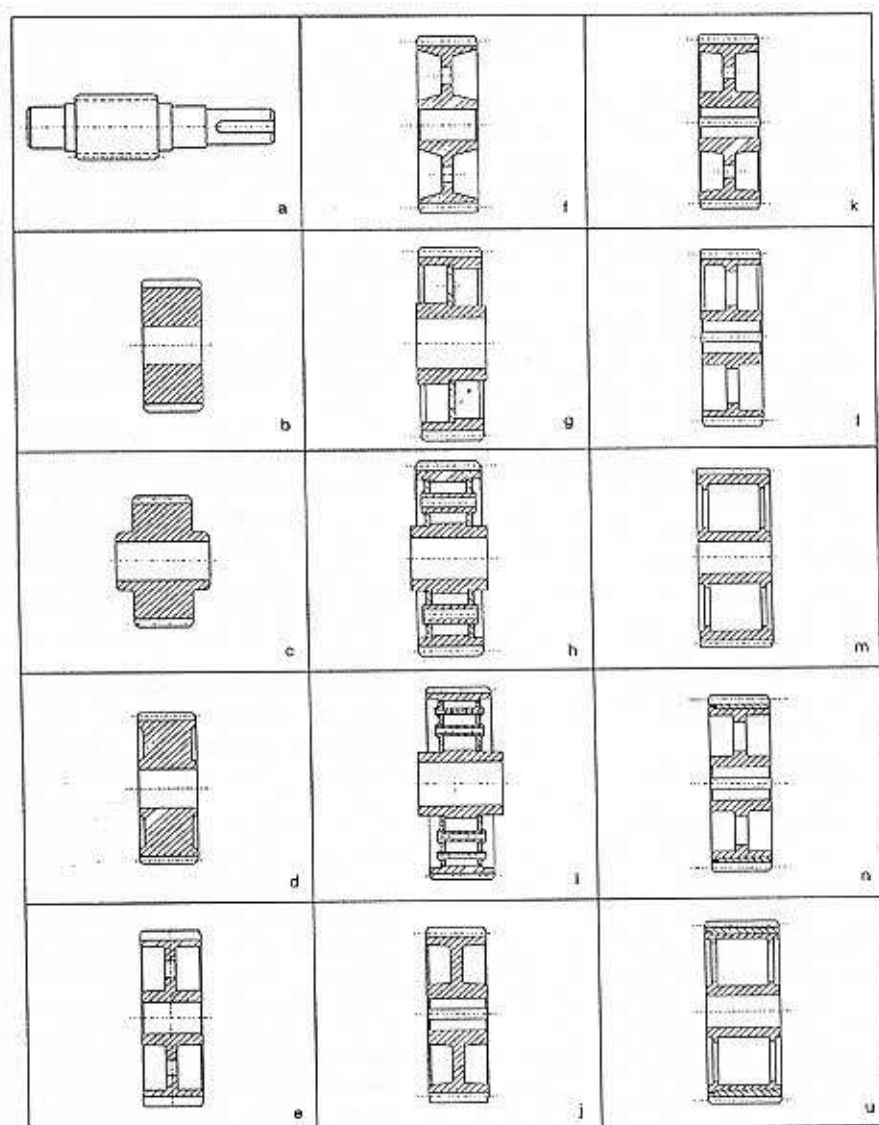
Код пужних парова, пуж се најчешће ради изједна са вратилом, чиме се постиже компактна конструкција и већа крутост. Само у случајевима мањих снага, пуж се ради засебно. Што се тиче пужног зупчаника, у случају мањих димензија, и тело и венац се раде од истог материјала ливењем. Међутим, најчешће се венац и тело раде засебно па се пресованим спојем или завртањском везом врши њихово спајање.

Конусни зупчаници, као и цилиндрични зупчаници израђују се резањем, ковањем, ливењем или заваривањем. Мали зупчаник се углавном ради изједна са вратилом, а конусни зупчаници већих димензија у зависности од технологије израде могу имати различите облике. Слично цилиндричним зупчаницима и код конусних зупчаника великих димензија примењује се конструкционо извођење, где су венац и тело зупчаника рађени засебно, а затим спојени завртњима.

5. ЗАКЉУЧАК

На основу свега напред изложеног може се закључити следеће:

- Просец конструисања, као креативни процес трансформације идеје за реализацију производа у пројекат, најважнија је фаза у процесу развоја нових производа.
- Обликовање је пак најважнија стапа процеса конструисања, јер се тада решавају сви релевантни параметри извршилаца елементарних и парцијалних функција меродавних за успешно функционисање производа.
- Приступ обликовању извршилаца елементарних и парцијалних функција са различитих аспеката основни је предуслов свеобухватног и успешног развоја производа.



Сл. 6. Иницијални облици цилиндричних зупчаника

ЛИТЕРАТУРА

- /1/ Милтеновић, В., Милчић, Д.: Савремене методе развоја извршилаца елементарних функција. Часопис - КОНСТРУИСАЊЕ МАШИНА - JOURNAL OF MECHANICAL ENGINEERING DESIGN, No 1, 1998. с.13-22.
- /2/ Кузмановић, С.: Обликовање машинских конструкција применом рачунара, "ПРИМЕНА CAD СИСТЕМА У КОНСТРУИСАЊУ" CAD'96, Ниш, 1996.
- /3/ Pahl, G., Beitz, W.: Konstruktionslehre, 2 Aufgabe, Berlin, Springer, 1992.
- /4/ Милтеновић, В.: Машински елементи-облици, прорачун, примена. Машински факултет Ниш, 1999.

Адреса за контакт:
Проф. др Војислав Милтеновић
Машински факултет Ниш
18000 Ниш
Београдска 14

PLACE AND ROLE OF EMBODIMENT DESIGN IN DESIGN PROCESS

Prof. dr Vojislav Miltenović, Mašinski fakultet Niš
mr Dragan Milčić, Mašinski fakultet Niš

Summary

Dominant role and importance in design process has a part of design that refers to embodiment design. Refers to third phase in design process, here we define performers of principal solutions, basic and particle function of mechanical systems. In this paper phase of design has been considered from a different aspects. Here we have a concrete examples of embodiment design of shaft and gear.

Keywords: design, embodiment.

OBLIKOVANJE I DIZAJN KAO FAZE AUTOMATIZOVANOG PROJEKTOVANJA

Prof. dr Jovan Vladić, FTN - Novi Sad
Prof. dr Nikola Babin, FTN - Novi Sad
Dipl. ing. Velibor Vasić, FTN - Novi Sad

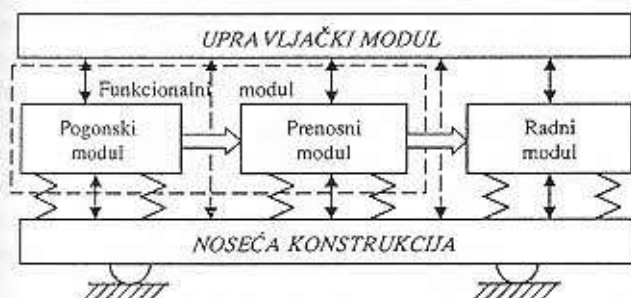
Rezime

Sušinski napredak projektovanja je ostvaren automatizacijom procesa primenom računara. Na osnovu karakteristika konvencionalnog projektovanja dat je pregled mogućnosti automatizacije pojedinih faza i postupaka pri čemu je posebna pažnja posvećena postupcima geometrijskog modeliranja odnosno oblikovanja. U radu je dat pregled problematike automatizovanog projektovanja mašina iz područja transportne mehanizacije.

Ključne reči: automatizovano projektovanje, oblikovanje, transportna mehanizacija

1. UVOD

Globalna struktura mašina iz oblasti transportne mehanizacije se može predstaviti kao skup osnovnih modula prikazanih na sl.1.



Slika 1. Globalna struktura mašine

Kod velikog broja mobilnih mašina (dizalice, transporter, manipulatori,...) se kao pogonski modul koristi elektromotor. On je najčešće povezan u jedinstvenu celinu sa prenosnim modulom - reduktorom u tzv. funkcionalni modul u praksi poznat pod nazivom moto-reduktor. Pri projektovanju mašina najčešće se prema određenim parametrima (snaga, potreban broj obrtaja, pogonski

faktor...) vrši samo izbor ovog modula koji se integriše u jedinstvenu celinu sa radnim modulom i nosećom konstrukcijom koje predstavljaju najčešće novu konstrukciju prilagođenu konkretnim zahtevima iz projektnog zadatka.

Pod pojmovima projektovanja i konstruisanja u mašinstvu se podrazumeva transformacija misaonog procesa u tehničku dokumentaciju na osnovu koje je moguće realizovati realnu i naučno zasnovanu inženjersku konstrukciju koja zadovoljava unapred, najčešće projektnim zadatkom, definisane uslove i ograničenja.

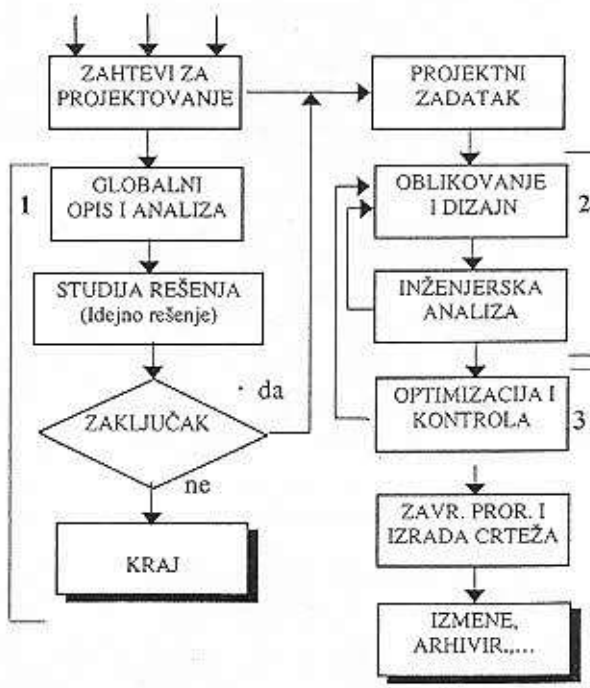
Kako se u naučno - stručnim krugovima i savremenoj literaturi na različit način koriste pojmovi projektovanja i konstruisanja u ovom radu će se projektovanje i konstruisanje, shodno [5] i [11], posmatrati kao jedinstven proces sa fazama:

- koncepciono projektovanje,
- konstruisanje, i
- konstrukciona razrada.



Slika 2. Faze projektovanja

Rezultat prve faze (koncepcionog projektovanja) je tzv. idejni projekt a druge i treće faze je glavni projekt. Prema ovom konceptu tok "klasičnog" procesa projektovanja mašina iz područja mehanizacije, sa osnovnom karakteristikom pojedinačne i maloserijske proizvodnje, je dat na sl.3.



Slika 3. Tok procesa "klasičnog" projektovanja

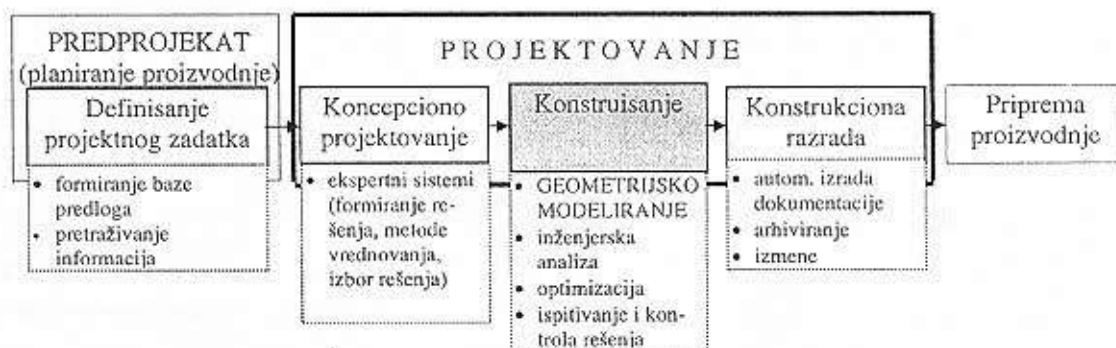
2. AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE MAŠINA

Za područje mašinske tehnike 60-te godine ovog veka su bile karakteristične po izraženom neskladu u mogućnostima proizvodnje i projektovanja. Sa jedne strane se javlja visoka efektivnost opreme za proizvodnju, ostvarena njihovom zavidnom automatizacijom, a sa druge strane niska produktivnost procesa projektovanja tako da je ono postalo "usko grlo" u procesu realizacije proizvoda. Da bi se razrešio ovaj problem čine se prvi sistematizovani pokušaji da se tradicionalan način projektovanja, baziran na empiriji i intuiciji, zameni savremenijim i efikasnijim - metodski zasnovanim procesom projektovanja, sl.3.

Suštinski napredak u oblasti projektovanja se ostvario pojavom mogućnosti automatizacije određenih postupaka

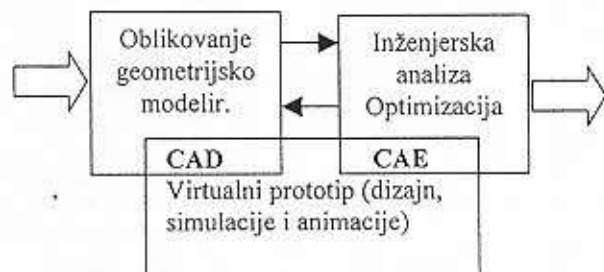
projektovanja primenom računara. Paralelno sa razvojem računara pojavili su se programi namenjeni za inženjerske proračune koji su našli veliku primenu pri projektovanju. Međutim pravi početak automatizovanog projektovanja se vezuje za 60-te godine ovog veka odnosno za pojavu računarske grafike koja je donela pravu revoluciju upravo u domenu oblikovanja proizvoda.

Posmatrajući osnovne faze i tok procesa projektovanja, prikazane na sl.1 i 3, može se zaključiti da je na današnjem nivou primena računara, istina različitog intenziteta, moguća u svim njegovim fazama. Istaknuto mesto i ulogu u sklopu faze konstruisanja ima oblikovanje za koju se najčešće, u okviru najznačajnijih CAD softvera., koristi termin geometrijsko modeliranje (GEOMOD).



Slika 4. Faze projektovanja i mogućnosti automatizacije

Oblikovanje pri projektovanju se može razvrstati na nivoe prema složenosti mašine odnosno mašinskog sistema. Prvi nivo obuhvata oblikovanje mašinskih elemenata, drugi se odnosi na područje sklopova i podsklopova (asembliiranje) dok treći nivo, kao najkompleksniji, obuhvata oblikovanje mašinskih sistema (mašina, mašinsko postrojenje, sistem). Na sl.5 je prikazana interakcija postupaka automatizovanog projektovanja u fazi konstruisanja pri čemu se kao ulaz javlja koncept rešenja a kao izlaz podloge za automatsku izradu crteža i pripremu proizvodnje. Integracijom CAD-CAE programskih paketa moguća je realizacija virtualnog prototipa mašine a u sklopu toga optimalno projektovanje oblika i dizajna proizvoda.



Slika 5. Oblikovanje i dizajn kao faze automatizovanog projektovanja

Ovde će se, kroz primere realizovanih projekata, prikazati problematika vezana za geometrijsko modeliranje i inženjersku analizu mašinskih sistema (složeni transportni sistemi i uređaji)

2.1 Specifičnosti projektovanja transportne mehanizacije

Projektovanje sredstava transportne mehanizacije je specifično prvenstveno zbog raznorodnosti funkcionalno-geometrijskih karakteristika i uslova rada ovih uređaja. Specifičnost ovih uređaja se ogleda prvenstveno u sledećem:

- kod nekih uređaja zbog prevoza putnika se posebno zahteva velika sigurnost i pouzdanost rada tako da postoji veliki broj propisa i preporuka koje su sa jedne strane smernice a sa druge ograničenja pri projektovanju
- zahtevi za projektovanjem ovih uređaja su relativno retki pa se projekti najčešće tretiraju kao investicioni koji pripadaju pojedinačnoj proizvodnji (problemi sa unifikacijom i formiranjem baze znanja za ovu oblast)
- veliki gabariti, mase i opterećenja (lučke dizalice, žičare, transporter, kabl-kranovi,...)
- problem modeliranja specifičnih elemenata (čelično užice, transportna traka, lanac, transportni materijal,...)
- stohastički oblik osnovnog opterećenja, veliki dinamički uticaji itd.

Sa stanovišta automatizacije postupaka projektovanja moguće je formirati tri osnovne grupe ovih uređaja. Prvu grupu uređaja bi činili uređaji kompaktne konstrukcije sa malom brzinom kretanja izvršnih elemenata za koje je merodavna statička analiza (KKS grupa) i geometrijsko modeliranje. Druga grupa bi obuhvatala takođe uređaje kompaktne konstrukcije ali sa izraženim dinamičkim pojavama kod kojih je moguća direktna primena postojećih CAD-CAE programskih paketa (KKD grupa). U treću grupu bi spadali transportni uređaji ekstremnih

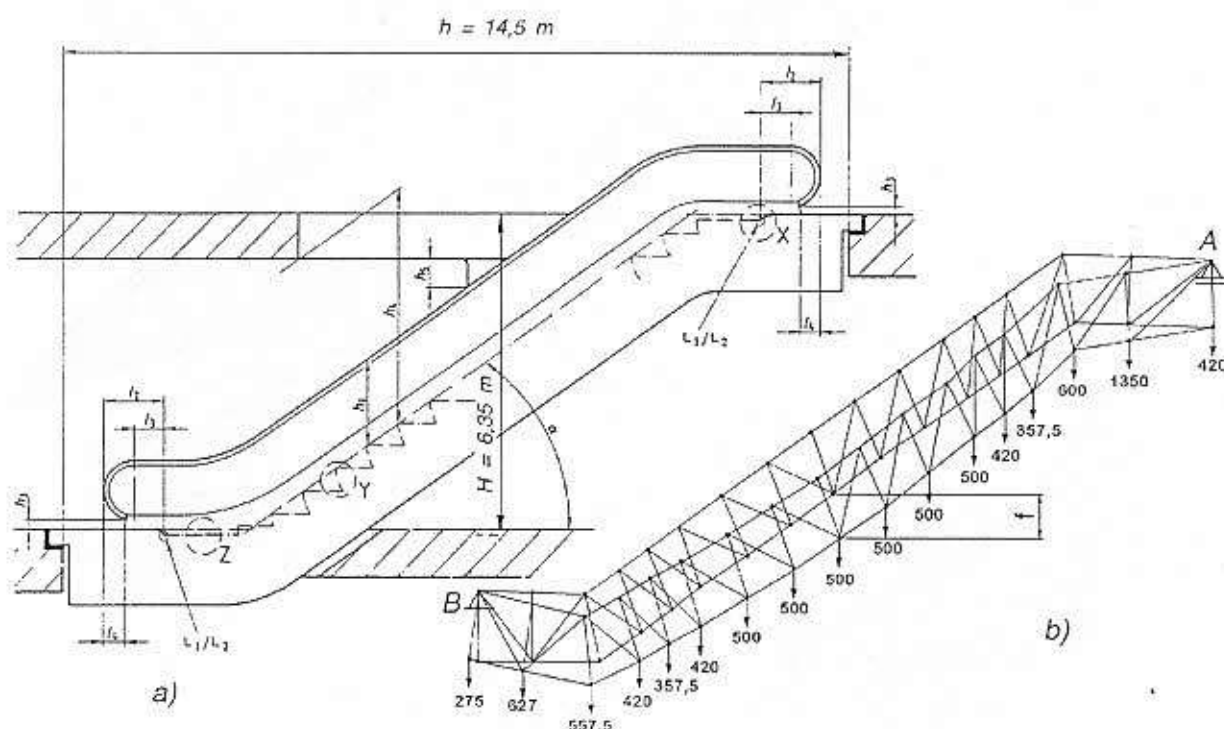
geometrijskih parametara (dužina i do 10 km., visina do 100m- nekompatne konstrukcije) sa posebno izraženim dinamičkim uticajima i dominantnom ulogom specifičnih elemenata (NKD grupa). U ovom poslednjem slučaju automatizacija postupaka projektovanja vezana je za probleme razvoja odgovarajućih aplikativnih računarsko-grafičkih programskih paketa specifične namene ili za problematiku matematičkog modeliranja čime se obezbeđuje transformisanje specifičnih parametara u opšte koji su podržani postojećim CAD modulima. Ilustracija ove problematike biće prikazana na primerima projektovanja pokretnih stepenica, manipulatora automatskog skladišta, i žičara primenom programskih paketa I-DEAS, ADAMS, ANSYS, Mechanical Desktop i MathCAD pomoću kojih je realizovan veći broj projekata u okviru saradnje Instituta za mehanizaciju FTN u Novom Sadu sa privrednim organizacijama.

Karakteristike projektovanja KKS grupe (primer pokretnih stepenica)

U ovu grupu mašina i uređaja spadaju praktično svi lančasti transporteri i dizalice sa malim brzinama kretanja a kao karakterističan primer se prikazuje problematika projektovanja pokretnih stepenica.

Na osnovu uslova definisanih u projektnom zadatku i odgovarajućih propisa i preporuka pripremni deo za geometrijsko modeliranje se izvodi na klasičan način i obuhvata: analizu i sintezu postojećih rešenja, usvajanje koncepcije, prethodni proračun (izbor i definisanje osnovnih karakterističnih elemenata).

Nakon ove faze prelazi se na geometrijsko modeliranje elemenata i sklopova koji se u potpunosti može izvesti na računaru korišćenjem geometrijskog modelera I-DEAS programskog sistema (GEOMOD) odnosno Mechanics Desktop-a. Svi elementi pokretnih stepenica modelirani su primenom kombinacije raspoloživih metoda za kreiranje objekata (solid modeling). Deo bočne kutije balustrada u krivini kreiran je pomoću specijalnih funkcija u I-DEAS-a tzv. "skin-grupe". Pri projektovanju ovakvog tipa mašinskih konstrukcija pokazuje se u pravom svetlu prednosti prostorne vizuelizacije tj. pogleda sa "raznih" strana, senčenja i prikaza elemenata u različitim bojama. Što se tiče proračuna u okviru postupka inženjerske analize zbog male brzine kretanja ($v < 0,75$ m/s) i uslova definisanih propisima merodavan je približni statički proračun (metod obilaska konture) koji se izvodi na "klasičan" način jer je neefikasna izrada posebnih programa. Jedini deo koji je interesantan za automatizaciju je proračun noseće konstrukcije. Na sl.6b. je prikazana šerna noseća konstrukcija u nedeformisanom i deformisanom stanju.



Slika 6. Šematski prikaz pokretnih stepenica i proračuna noseće konstrukcije

Treba napomenuti da mogućnost korišćenja raspoloživih proračunskih metoda, posebno onih na bazi konačnih elemenata, stvara kvalitetnu podlogu za reviziju važećih propisa koji su bazirani na primeni velikih stepena sigurnosti.

Postupak kontrole i ocene rešenja primenom I-DEAS-a, pored uobičajenih mogućnosti provera dimenzija, rastojanja i tolerancija sklopova, do punog izražaja dolazi mogućnost

korišćenja kinematske simulacije pri kontroli propisanih zazora između susednih stepenika pri kretanju (posebno u krivinama) odnosno formiranje virtualnog prototipa uređaja.

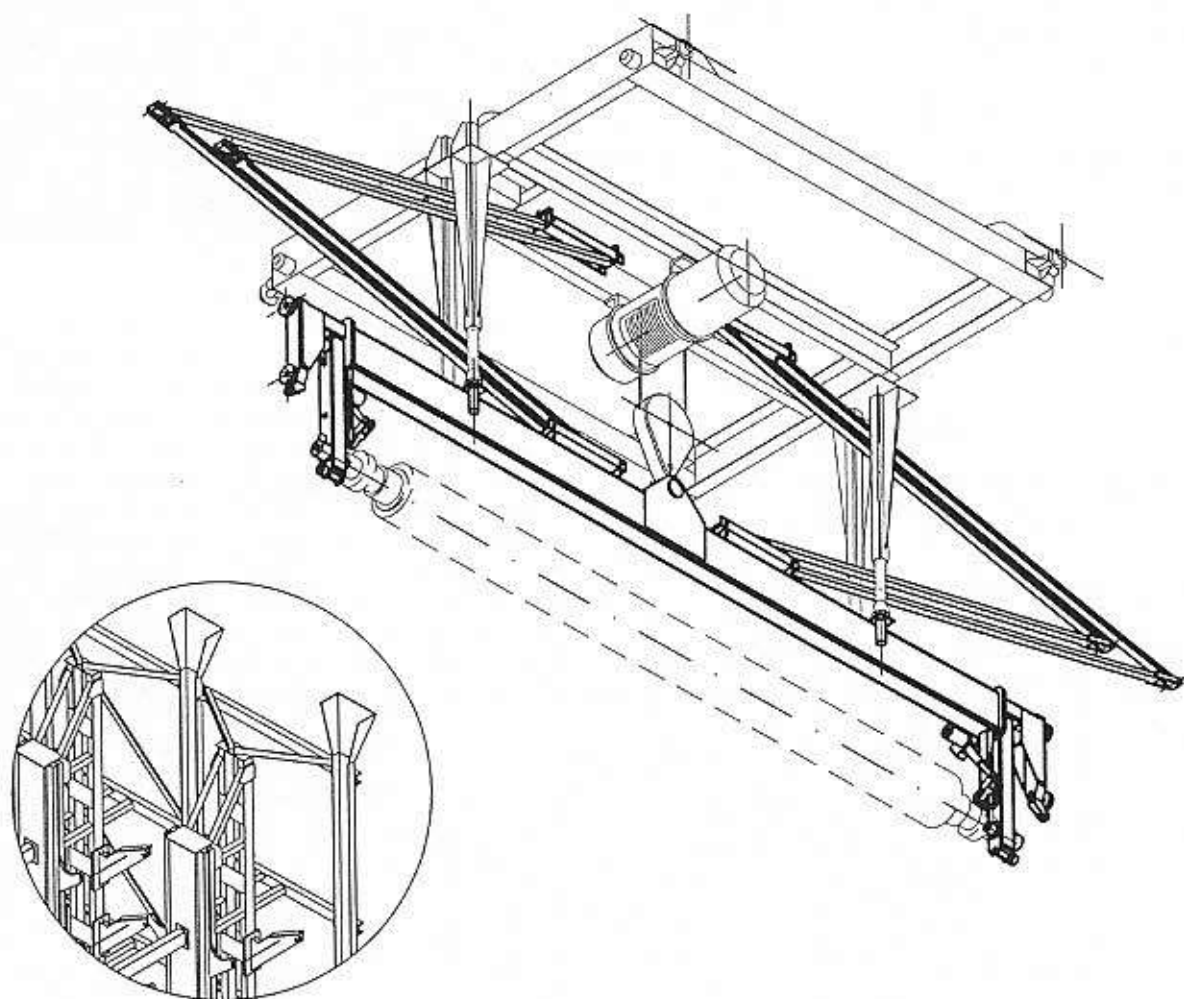
O prednostima korišćenja računara pri automatskoj izradi tehničke dokumentacije, umnožavanju, arhiviranju i izmenama ovde neće biti govora jer nema posebnih

specifičnosti u odnosu na automatizovano projektovanje "opštih" mašinskih konstrukcija.

Karakteristike projektovanja KKD grupe (primer manipulatora automatskog skladišta)

Ova grupa uređaja po svojim karakteristikama odgovara opštim mašinskim konstrukcijama pa je najpodesnija za direktnu primenu postojećih programskih paketa praktično u svim fazama projektovanja nakon definisanja projektnog zadatka. Za realizaciju automatizovanog projektovanja ravnopravna je uloga geometrijskog modeliranja, inženjeerske analize i optimizacije. U ovu grupu spadaju manipulatori, automatski dodavači, većina dizalica, vibracioni transporteri itd. Kako je problematika

automatizovanog projektovanja za područje opšteg mašinstva šire razmatrana na više različitih nivoa, ovde se daje, bez detaljnijeg obrazloženja, primer projektovanog manipulatora automatskog skladišta dezen valjaka korišćenjem softverskog paketa Mechanical Desktop pri geometrijskom modeliranju. Potrebno je istaći da, kod ove grupe mašina, imamo tzv. direktno formiranje dinamičkog modela (ADAMS) gde se elementi uređaja predstavljaju odgovarajućim geometrijskim modelima a mehaničke karakteristike reološkim modelima materijala. Matematički model predstavlja sistem običnih diferencijalnih jednačina (diskretni sistemi) što znatno olakšava računsku analizu odnosno određivanje realnih opterećenja. Na sl.7 je prikazan geometrijski model manipulatora u kosoj projekciji.



Sl.7 Manipulator i detalj regala automatskog skladišta

Karakteristike projektovanja NKD grupe (primer dvoužne žičare)

Za razliku od prethodnih grupa, gde je geometrijski modeler programskih paketa bio od izuzetne koristi, pri

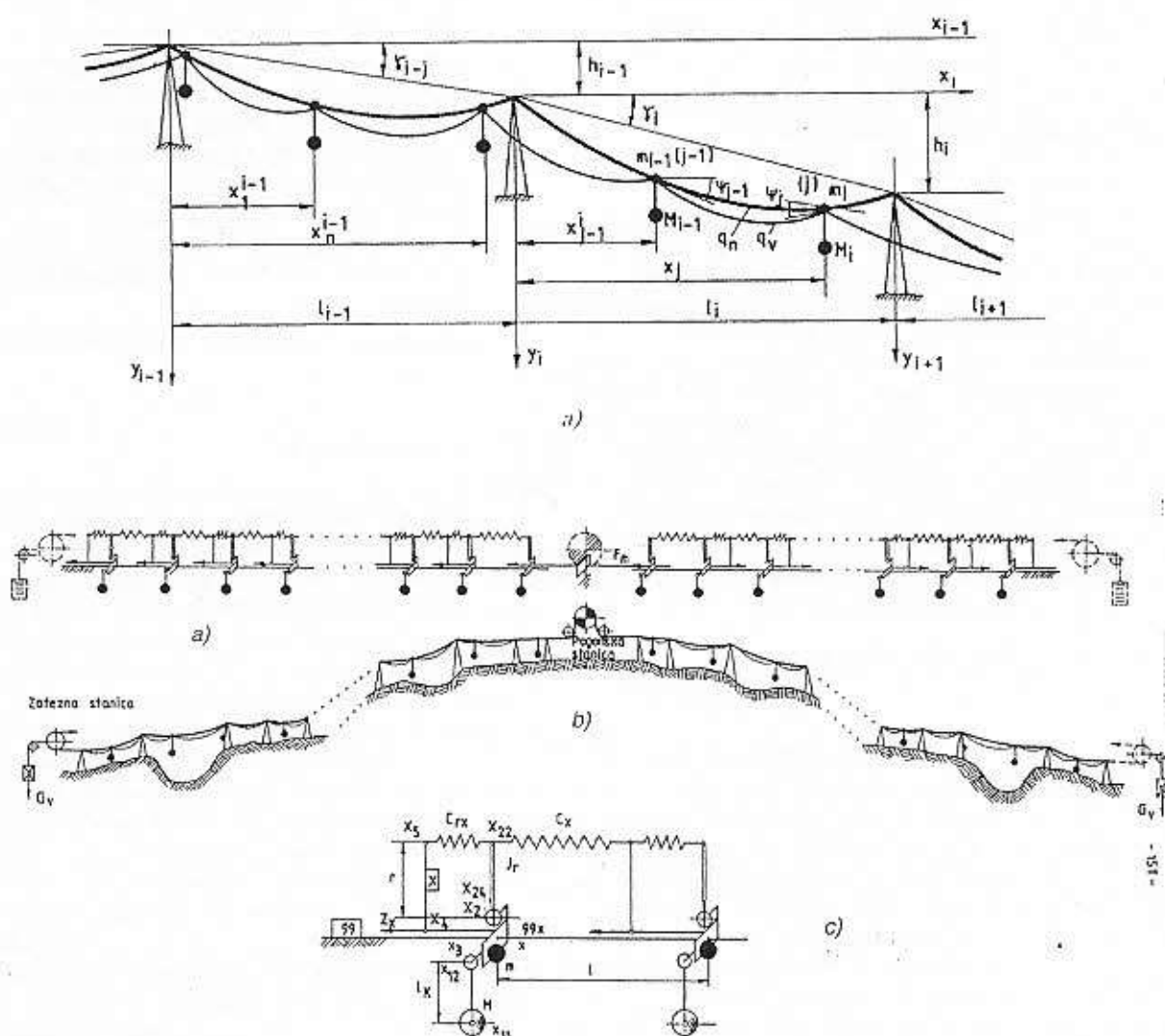
projektovanju uređaja iz NKD grupe ovaj modul CAD paketa ima znatno manji značaj. Ovoj grupi pripadaju trakasti transporteri, žičare, lučke dizalice, kontejnerske dizalice itd. Kao karakterističan primer biće dat prikaz problematike projektovanja dvoužne žičare. Kako žičare

predstavljaju mehaničke sisteme sa izraženim dinamičkim pojavama dominantnu ulogu pri njihovom projektovanju ima prvenstveno određivanje realnih opterećenja. U ovom slučaju osnovni problem predstavlja dinamičko modeliranje žičare kao celine zbog izuzetno velikog broja sastavnih elemenata (samo broj vozila može biti preko 200) i problematike definisanja dinamičkog ponašanja "horizontalnog" užeta oslonjenog na veliki broj stubova.

Formiranjem sistema od četiri parcijalne diferencijalne jednačine koji opisuje dinamičko ponašanje čeličnog užeta oslonjenog na dva oslonca i njegovim uopštavanjem za celu žičaru dobija se sistem od $N=4n-1$ parcijalnih diferencijalnih jednačina gde je (n) broj vozila. Ovaj "ogroman" sistem nije moguće rešiti na osnovu raspoloživog matematičkog aparata i postojećih proračunskih programa. Jedina prihvatljiva mogućnost je da se određenim uprošćenjima kontinualni sistem prevede u

diskretni, čime bi se parcijalne diferencijalne jednačine zamenile običnim. Ovakav matematički model bi zahtevao korišćenje numeričkog postupka posebne efikasnosti u pogledu optimizacije retkih matrica. Upravo jedan od takvih programskih paketa je, svetski poznat i verifikovan, programski paket ADAMS koji omogućuje efikasnu Automatsku Dinamičku Analizu Mehaničkih Sistema sa velikim brojem stepeni slobode kretanja

Na osnovu analize realnih parametara i uslova rada žičare moguće je izvršiti znatna uprošćenja osnovnog sistema jednačina, zanemarivanjem malih veličina višeg reda, što omogućuje formiranje tzv. "jediničnog modela" sl.8c. Proširivanjem na celu žičaru dobija se dinamički model prikazan na sl.8b, sa "jediničnim modelom" u formi pogodnoj za analizu pomoću ADAMS-a.



Slika 8. Model žičare u celini i "jedinični model",

3. ZAKLJUČAK

Korišćenjem računara pri projektovanju a posebno imajući u vidu mogućnosti računarske grafike (bojenje, renderovanje, prostorna vizuelizacija, animacija,...) obezbeđen je

efikasan alat za oblikovanje mašinskih delova. Pored toga primenom savremenih programskih sistema direktno ili njihovom integracijom moguće je formirati tzv. virtualni prototip mašine još u fazi njenog projektovanja što sa stanovišta dizajna proizvoda pruža izuzetno široke mogu-

čnosti za optimalno projektovanje mašina i mašinskih sistema.

Analiza u ovom radu ukazuje na specifičnost automatizacije postupaka projektovanja transportne mehanizacije u smislu primene postojećih programskih paketa. U nekim slučajevima je moguća direktna primena CAD-CAE programskih paketa (uređaji iz grupe KKD), kod drugih je u domenu oblikovanja moguća direktna primena samo CAD paketa dok se inženjerska analiza izvodi najčešće na "klasičan" način (uređaji iz grupe KKS), dok je kod NKD grupe neophodna značajna transformacija primenom metoda kako geometrijskog tako i matematičkog modeliranja u oblike koje je tek nakon toga moguće rešavati nekim od postojećih programskih sistema.

LITERATURA

- /1/ Atrek E., Gallagher R.H. Ragsdell K.M., Zeinkiewicz O.C: New directions in optimum structural design, John Wiley & Sons, Chichester, 1984.
- /2/ Gruver M., Zimmers E.: SAPR i avtomatizacija proizvoda, "Mir", Moskva, 1987.
- /3/ Jovanović M.: Teorija projektovanja konstrukcija računarom, Mašinski fakultet Niš 1994.
- /4/ Kos M.: Konstrukcioni biro, Gospodarski vestnik, Ljubljana, 1985.
- /5/ Milačić V.: Teorija projektovanja tehnoloških sistema, Proizvodni sistemi III, Mašinski fakultet, Beograd, 1987.
- /6/ Oberšmit E.: Osnove konstruisanja, Zagreb, 1983.
- /7/ Ognjanović M.: Metodika konstruisanja mašina, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- /8/ Špur G., Krauze F.: Avtomatizirovanoe projektirovanie v mašinostroenii, Mašinostroenie, Moskva, 1988.
- /9/ Vladić J., Babin N.: Automatizacija postupaka projektovanja pokretnih stepenica korišćenjem I-DEAS programskog paketa, Zbornik radova "Teška mašinogradnja", Kruševac-Vrnjačka Banja, 1993.
- /10/ Vladić J., Malešev P.: CAD u funkciji automatizacije projektovanja transportnih i građevinskih mašina, Zbornik radova, CAD forum, Novi Sad, 1995.

/11/ Vladić J., Jovanović M., Babin N.: Realne mogućnosti, izazovi i problemi automatizovanog projektovanja mašina, "Monografija Mašinstvo za XXI vek", Novi Sad, 1995.

EMBODIMENT AS THE PHASE OF AUTOMATED DESIGN

Prof. dr Jovan Vladić, FTN - Novi Sad

Prof. dr Nikola Babin, FTN - Novi Sad

Dipl. ing. Velibor Vasić, FTN - Novi Sad

Summary

The essential enterprise of the design process was achieved through the automation of the process under the application of computers. Based on the characteristics of conventional design process, an overview of automation possibilities of separate design phases and procedures was given, whereby special attention was paid to the embodiment. In the paper an overview of automated design in the field of transport devices and machines was introduced.

Key words: automated design, embodiment, transport devices

Adresa za kontakt:

Prof. dr Jovan Vladić

Fakultet tehničkih nauka

21000 NOVI SAD

Trg Dositeja Obradovića 6

ANALIZA PROCESA RAZVOJA NOVOG PROIZVODA I KRITERIJUMA ZA OBLIKOVANJE PROIZVODA

mr Miodrag Velimirović, MF- Niš
prof. dr. Aleksandar Vulčić, MF- Niš

Rezime

U radu je razmatrana struktura razvoja novog proizvoda sa stanovišta utvrđivanja relacija između projektovanja, konstruisanja i oblikovanja. Konstruktori i projektanti moraju da odrede kriterijume koje nameću procesi proizvodnje i eksploatacije. U radu je razmatran problem definisanja sistema kriterijuma. Dat je i primer varijantnog oblikovanja proizvoda u funkciji od definisanih kriterijuma.

Ključne reči: kriterijumi, proizvodnja, eksploatacija

1. UVOD

Za neposredno korišćenje rezultata naučno-istraživačkog rada najbitnije karike su projektovanje i konstruisanje. Mora se ukazati da između istraživanja, projektovanja i konstruisanja nema oštih granica. Savremena etapa razvoja nauke i tehnike karakteriše se uzajamnim prožimanjem ovih oblasti. Na sl.1 je prikazan položaj procesa projektovanja i konstruisanja u okviru istraživanja, proizvodnje i primene tehničkih sredstava. U oblasti projektovanja i konstruisanja javile su se teškoće karakterisane sledećim tendencijama:

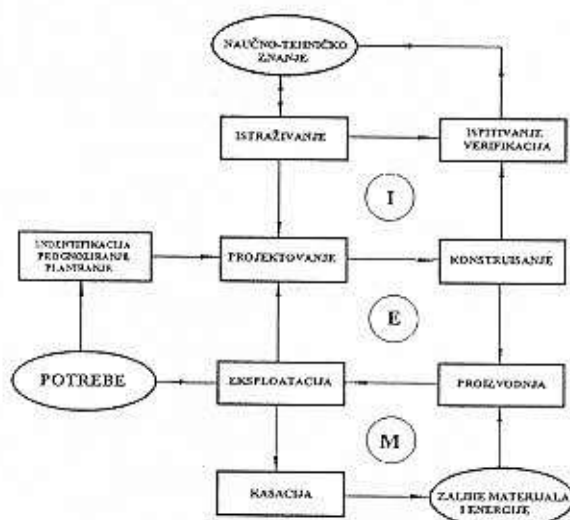
1. Povećani stepen povezivanja između različitih oblasti ljudske delatnosti dovodi do porasta broja osoba koje učestvuju u rešavanju projektno-konstrukcijskih problema. To omogućuje svestranije sagledavanje problema, ali dovodi do poteškoća u koordinaciji i usaglašavanju.

2. Ograničenost materijalnih i energetske zaliha i finansijskih sredstava u sve većoj meri utiču na projektno-konstrukcijska rešenja.

3. Porast naučnih znanja i tehničkih mogućnosti dovodi do rasta broja rešenja koje je moguće realizovati. Smanjena je mogućnost korišćenja iskustva. Vrlo često se pojavljuje potreba iznalaženja rešenja za koje je teško naći primer u prošlosti.

4. Aktuelna rešenja relativno brzo podležu dezaktuelizaciji i moralnom starenju, jer se struktura potreba i sistem vrednovanja intenzivno menjaju.

4. Vreme koje stoji na raspolaganju projektantu i konstruktoru za razradu novih konstrukcija sve je kraće. Može se zaključiti da intenzivan razvoj dovodi do porasta projektno-konstrukcijskih zadataka sa sve većim stepenom komplikovanosti, pri jednovremenoj specijalizaciji i integraciji znanja. Tradicionalne metode



sl.1 Položaj procesa projektovanja i konstruisanja

projektovanja i konstruisanja zasnovane na empiriji i intuiciji ne dozvoljavaju uspešno praćenje razvoja ostalih oblasti ljudske delatnosti.

Početkom ovog veka pojavili su se prvi radovi koji su imali karakter naučne analize procesa projektovanja, bazirane na opštoj teoriji sistema. Teorija projektovanja sistema uslovljava je pojavu prvih radova iz oblasti nauke o projektovanju i konstruisanju. Intenzivna istraživanja u ovoj oblasti se odnose na istraživanja strukture procesa projektovanja i konstruisanja, istraživanja univerzalnih metoda ali i specijalnih primenljivih samo za određenu klasu zadataka.

3. STRUKTURA PROCESA RAZVOJA NOVOG PROIZVODA

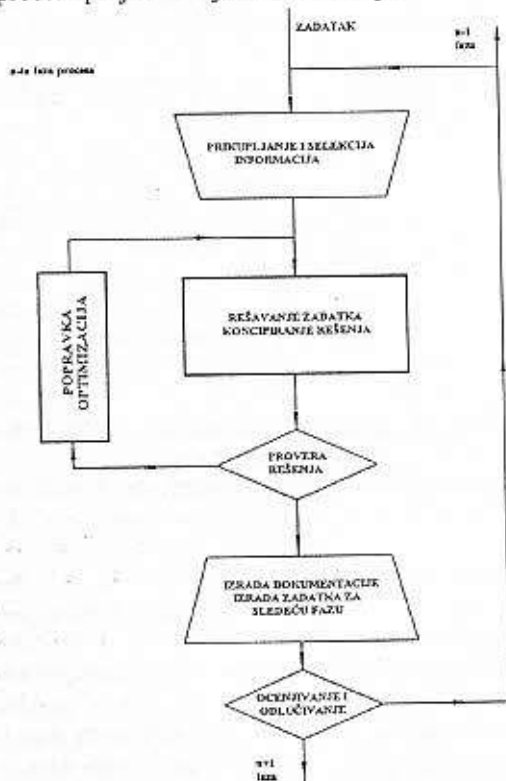
Struktura procesa projektovanja i konstruisanja u velikoj meri zavisi od vrste projektog zadatka, kompleksnosti tehničkog objekta, količine informacija o već postojećim rešenjima i uslova u kojima se vrši projektovanje (broj ljudi, kvalifikaciona struktura, tradicija, finansijska i vremenska ograničenja itd.). Ne negirajući postojeće razlike, a u cilju iznalaženja opštih metoda na osnovu sprovedene analize [6] može se tvrditi da:

- Predmet procesa projektovanja nije samo tehnički sistem koji treba da se proizvede saglasno projektu već i njegova proizvodnja i eksploatacija.

- Jedan ciklus projektno-konstrukcijskog procesa započinje identifikacijom potreba, a završava se ispitivanjem prototipa ili nulte serije. Može se započeti i novi ciklus koji ima za cilj usavršavanje datog sistema ili projektovanje novog za iste potrebe.

- Podela procesa projektovanja i konstruisanja na faze je moguća, samo ukoliko obezbeđuje dovoljno informacija za ocenjivanje i odlučivanje.

- Svaka faza mora se završiti odlukom koja vodi do sledeće, prekida rada na projektu ili vraćanja na doradu.
- Iterativni tok informacija ne postoji samo između faza već se javlja i unutar svake faze procesa projektovanja i konstruisanja. Na bazi velikog broja često protivurečnih zahteva ne može se u jednom koraku naći optimalno rešenje, pa su neophodne povratne veze.
- Neosnovano je koncipiranje, optimizaciju i izradu dokumentacije odvojiti u zasebne faze, jer se one kao aktivnosti u većoj ili manjoj meri javljaju u svakoj fazi procesa projektovanja i konstruisanja.



sl.1.2 Mikrostruktura procesa razvoja proizvoda

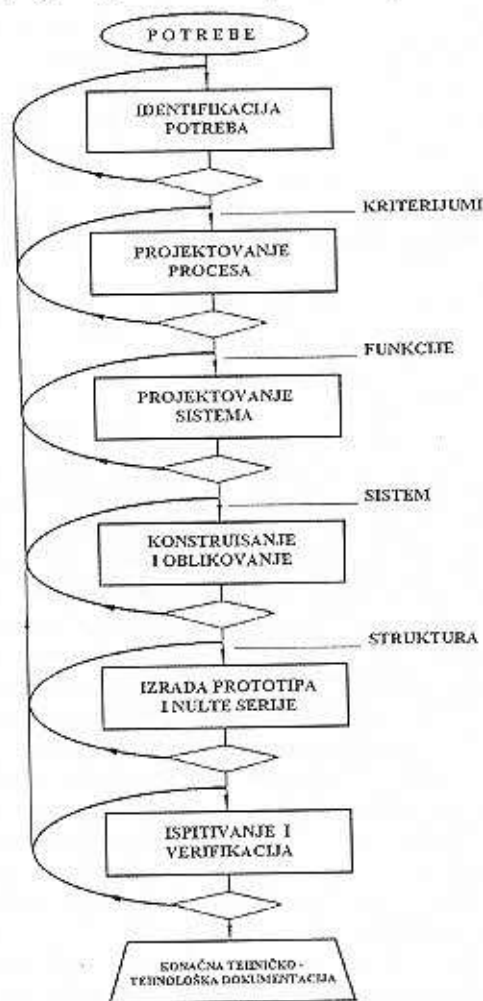
Skup aktivnosti koje se odvijaju u okviru svake faze procesa projektovanja i konstruisanja nazovimo mikrostrukturu procesa projektovanja i konstruisanja (sl.2). Svaka faza procesa započinje prikupljanjem informacija potrebnih za rešavanje određenog problema. U sledećem koraku se za postavljeni zadatak, a na osnovu prikupljenih informacija i raspoloživih metoda nalazi rešenje, odnosno koncept rešenja. Provera rešenja vodi ka izradi potrebne dokumentacije ili ka popravci datog rešenja. Prema tome, u svakoj fazi procesa projektovanja i konstruisanja se odvija niz aktivnosti koje u sve većoj meri definišu buduće tehničko sredstvo. Rezultati jedne faze predstavljaju osnovni ulaz u narednu fazu, odnosno zadatak koji u okviru te naredne faze treba rešiti. U većini slučajeva zadatak nije jednoznačno definisan, tako da se dolazi do više varijanti rešenja, pa se uvođenjem kriterijuma i ocenjivanjem dolazi do jednog optimalnog rešenja. Ukoliko nijedno rešenje ne zadovolji definisan sistem kriterijuma zadatak se vraća na ponovno rešavanje od nižih ka višim fazama procesa projektovanja. Pod makrostrukturu procesa projektovanja i konstruisanja podrazumevamo redosled postupaka koji počinju identifikovanjem potrebe, a završavaju se formiranjem potrebnih informacija za proizvodnju i

eksploataciju. Na sl.3 dat je šematski prikaz makro strukture procesa projektovanja i konstruisanja.

U zavisnosti od vrste projektno-konstruktorskog zadatka proces ne mora da sadrži sve navedene faze.

Prva faza procesa obuhvata identifikovanje potreba, analizu raspoloživih resursa i tehničko-tehnoloških mogućnosti. Ovo mora biti praćeno prognoziranjem, planiranjem i programiranjem. Potreba mora posle ove faze biti kvantitativno i kvalitativno određena i vremenski terminirana. Moraju biti i precizno određeni uslovi u kojima će se ona realizovati. Kao izlaz iz ove faze javlja se sistem kriterijuma, dat u obliku funkcije cilja i funkcije ograničenja, neophodnih za ocenu varijantnih rešenja u svim fazama projektovanja i konstruisanja.

U drugoj fazi vrši se projektovanje procesa. Svaki tehničko-tehnološki proces ostvaruje se antropotehničkim sistemom, tako da je u ovoj fazi neophodno definisati koje aktivnosti u okviru procesa obavlja čovek, a koje su funkcije namenjene tehničkom sistemu. Kao izlaz iz ove faze javlja se globalna funkcija tehničkog sistema.



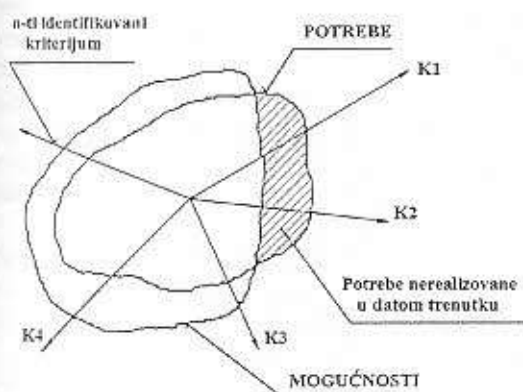
sl.1.3 Makrostruktura razvoja novog proizvoda

U trećoj fazi vrši se projektovanje sistema. U okviru ove faze izražene su sledeće aktivnosti:

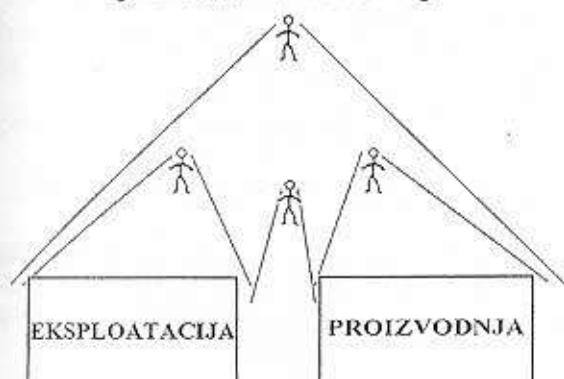
- dekomponovanje generalne funkcije sistema na parcijalne funkcije,
- pretraživanje i definisanje rešenja za realizaciju parcijalnih funkcija i
- komponovanje podsistema u sistem.

Izlaz iz ove faze je tehnički sistem odnosno elementi sistema i njihove relacije. U okviru ove faze se ne

definiše struktura elemenata (oblik, dimenzija, materijal) osim u slučajevima kada se na tim parametrima zasniva funkcija sistema.



sl. 4 Prikaz odnosa potreba, mogućnosti i kriterijuma



sl. 5 Šema integralnog sagledavanja kriterijuma

U fazi konstruisanja i oblikovanja definiše se spoljašnja i unutrašnja mikro i makro struktura elemenata. Određuju se oblik, dimenzije i materijal kao parametri makro strukture. Kvalitet površine, tolerancije dimenzija, oblika i položaja mogu se posmatrati kao parametri mikrostrukture. U fazi konstruisanja prvo se definišu oni parametri strukture koji obezbeđuju zahtevanu trajnost sistema. U narednom koraku vrši se oblikovanje, dimenzionisanje i međusobno komponovanje elemenata do nalaženja optimalnog konstrukcijskog rešenja. U ovoj fazi se vrši oblikovanje na osnovu definisanog sistema kriterijuma.

U ovoj fazi značajna je aktivnost na izradi tehničko-tehnološke dokumentacije, tako da se ova aktivnost po nekim autorima odvaja u posebnu fazu. Izlaz iz ove faze je potpuna dokumentacija, na kojoj se posle izrade i ispitivanja prototipa vrši eventualna korekcija.

4. ANALIZA RELACIJA IZMEĐU MOGUĆNOSTI POTREBA I KRITERIJUMA

Jedno od centralnih pitanja metodologije projektovanja i konstruisanja je kvantitativna ocena alternativnih rešenja, zbog čega je veoma važan odgovarajući izbor kriterijuma. Izbor kriterijuma treba shvatiti kao osnovu kompleksnog delovanja čijom primenom dobijamo:

- osnovu formalnog opisa problema,

- osnovu ocene u zadacima optimizacije sistema i konstrukcija i

- osnovu za upravljanje projektno-konstrukcijskim procesom.

Mnogo investicionih i uopšte privredno-tehničkih nesporazuma proizilazi iz nedostatka odgovarajućeg sistema racionalno odabranih kriterijuma. Tehnički sistem koji je ostvaren na bazi kriterijuma može imati, između ostalih i sledeće alternative:

- tehnički sistem koji ne odgovara racionalno odabranim kriterijumima i
- tehnički sistem koji odgovara loše odabranim kriterijumima.

Lako se može pokazati da je promena loše odabranih kriterijuma složenija od promene loše izrađenih tehničkih sistema. U tom smislu konstatuje se da je izbor kriterijuma važnije pitanje od kasnijeg projektno-konstrukcijskog postupka.

Stalan rast potreba je razlog stvaranja novih tehničkih sistema, koji omogućuju, uz postojanje materijalnih zaliha, proizvodnih kapaciteta i teoretskog i praktičnog znanja, zadovoljenje tih potreba. Potrebe su inicijalni faktor tehničke inovacije, a zalihe materije, energije i informacije ograničavajući faktor tog procesa.

Svaki čovek i svako društvo ima svoja načela, potrebe i mogućnosti na osnovu kojih formira kriterijume. Lična i društvena potreba inicira kriterijume, a načela i mogućnosti kvantificiraju granične vrednosti utvrđenih kriterijuma. Na sl. 4 se može uočiti da kod određenih kriterijuma (simbolično označenih sa K1 i K2) potrebe prevazilaze mogućnosti, odnosno da primarna potreba izaziva sekundarnu potrebu. Izrada primarnog potrebnog tehničkog sredstva izaziva potrebu za sekundarnim sredstvima i opremom. Ni potrebe ni mogućnosti ne treba smatrati statičkim, već promenljivim u zavisnosti od vremena, prostora i razvoja čovekove svesti.

Potrebe i mogućnosti proizvodnje i eksploatacije mogu imati aktuelni i perspektivni karakter. Mogućnosti odražavaju dostignuti nivo razvoja nauke i tehnike i treba ih kao takve uzimati u obzir samo pri projektovanju i konstruisanju tehničkih sredstava koja će se uskoro proizvoditi i koristiti. Pri projektovanju i konstruisanju mašina čija se izrada planira za izvesno vreme treba prognozirati razvoj uslova proizvodnje i eksploatacije. Ukoliko se pri projektovanju uzmu u obzir samo ograničenja koja važe u trenutku projektovanja, konstrukcija mašine brzo podleže zastarevanju.

5. PROIZVODNJA I EKSPLOATACIJA KAO OSNOVE ZA FORMIRANJE KRITERIJUMA

Svaki industrijski proizvod egzistira u dve oblasti:

- oblast proizvodnje i
- oblast rada, eksploatacije.

U obe oblasti nastajanja i rada tehničko sredstvo, treba da zadovolji formirani sistem kriterijuma. Konstruktori i projektanti moraju da odrede sve kriterijume koje nameću procesi proizvodnje i eksploatacije da bi efikasno (optimalno) zadovoljili uočenu potrebu. Svi kriterijumi se mogu odrediti samo na osnovu integralnog polja viđenja koje obuhvata više partikularnih (sl. 4).

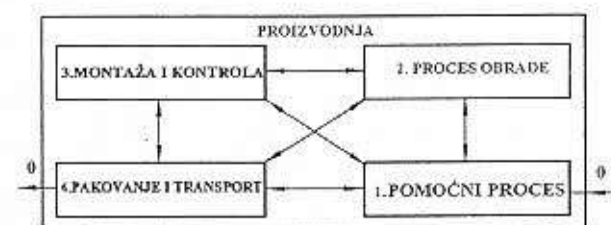
Velika raznolikost inženjerskih zadataka otežava opštu klasifikaciju kriterijuma. Uzimajući etape zadovoljenja potrebe kao osnovu za klasifikacije, mogu se podeliti na:

- kriterijume proizvodnje i
- kriterijume eksploatacije.

Kriterijumi proizvodnje su promenljivi u prostoru i vremenu i u velikoj meri zavise od obima proizvodnje, odnosno od toga da li se proizvodnja planira kao pojedinačna, serijska ili masovna. Osnova tih kriterijuma je pre svega u mogućnosti proizvodnje. U procesu proizvodnje razlikovaćemo 4 potprocesa (sl.6). Objašnjenje zahteva samo pomoćni proces, koji treba shvatiti kao skup operacija uslužno-nabavnih koje omogućuju realizaciju procesa proizvodnje. On obezbeđuje ostale procese, između ostalog: materijalom, energijom, tipskim elementima, alatima itd.

Pomoćni proces je u vezi sa okruženjem i iz te veze proizilazi kriterijum:

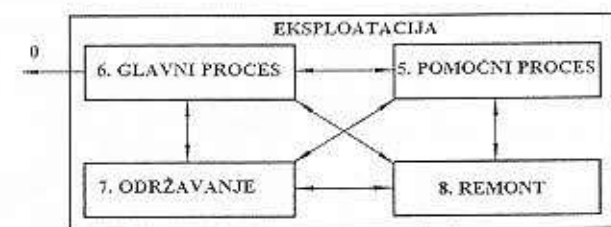
0-1 nivo standardizacije materijala, poluproizvoda itd.



sl. 6 Proces proizvodnje

Iz uzajamnog uticaja potprocesa proizilaze sledeći kriterijumi:

- 1-2 nivo unifikacije i standardizacije oblika i dimenzija elemenata, stepen konstruktivno-tehnološkog nasleđa,
 - 1-3 stepen primene standardnih uređaja za montažu,
 - 1-4 ujednačenost oblika i mera s obzirom na transport i montažu,
 - 2-3 pogodnosti za obradu i montažu,
 - 2-4 pogodnosti oblika, mera i težina s obzirom na pakovanje i transport i
 - 3-4 racionalne podele na elemente s obzirom na transport.
- Proces eksploatacije raščlanjen je, analogno procesu proizvodnje, na 4 potprocesa (sl.7). Objašnjenja



sl. 7 Proces eksploatacije

zahtevaju pomoćni proces i glavni proces. Glavni proces, posredno ili neposredno zadovoljava potrebu delovanjem sistema. Pomoćni proces je skup operacija, koje omogućuju realizaciju glavnog procesa i čine ga uglavnom kontrola i upravljanje, tj. operacije koje uglavnom obavlja operater. Prvi korak u određivanju kriterijuma se sastoji u sprovođenju analize potreba sredine za koju je sistem namenjen. Kako su svi sistemi podsystemi drugih većih sistema, ova analiza počinje određivanjem dveju funkcionalnih granica i to: granice koja odvaja konkretan problem od ostalih problema i

granice između sistema i okoline, odnosno šta smatramo delom sistema, a šta čini okolinu u kojoj ovaj sistem treba da radi.

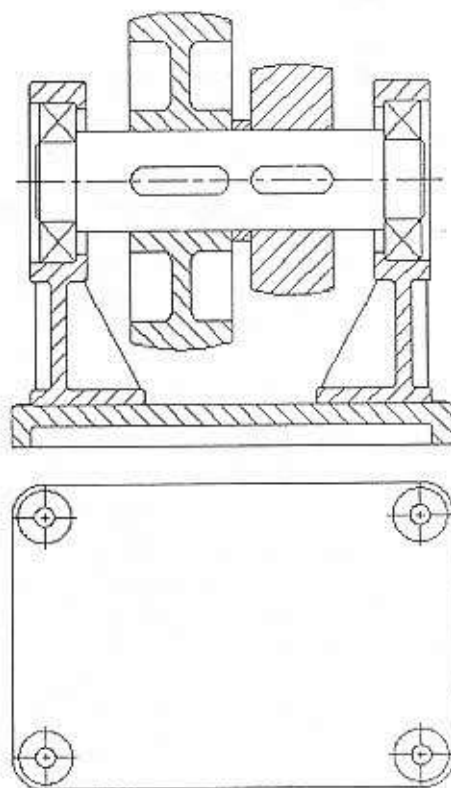
Kriterijumi delovanja treba da budu tačan odraz ciljeva i zadataka sistema i predstavljaju kvantitativnu identifikaciju suštine delovanja tehničkog sistema. Na primer, kod transportnih sredstava 120 km/h i 50 osoba. Načelni kriterijum koji proizilazi iz odnosa tehničkog sistema i okoline je kriterijum fleksibilnosti u smislu mogućnosti prilagođavanja novim uslovima, zahtevima i potrebama okoline. Na primer, novim putnim i klimatskim uslovima.

Iz uzajamnih uticaja potprocesa eksploatacije proizilaze sledeći kriterijumi (oznake su saglasne slici 7):

- (5-6) ergonomske (bezbednost, pogodnost upravljanja i opsluživanja), estetski, nivo automatizacije,
- (5-7) pogodnost kontrole ispravnosti tehničkog sistema,
- (5-8) antihavarijnost,
- (6-7) pogodnost održavanja, mogućnost održavanja u periodu realizacije delovanja, pouzdanost i trajnost,
- (6-8) ujednačenost veka trajanja elemenata, minimalnog vremena remonta, zamenljivost i naslednost, mogućnost regeneracije sklopova i elemenata,
- (7-8) mogućnost primene sistema ugradnih jedinica.

6. PRIMER OBLIKOVANJA PROIZVODA

Oblikovanje konstrukcije na osnovu definisanih kriterijuma je prikazano na primeru međuvratila sa kaišnicima čije je uobičajeno rešenje prikazano na skici 8.



sl. 8 Skica međuvratila sa kaišnicima

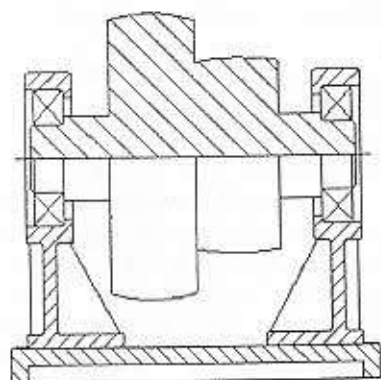
Dato rešenje u potpunosti ispunjava osnovnu funkciju sklopa. Kriterijumi za oblikovanje su selektovani i u konkretnom slučaju su svedeni na sledeće relevantne kriterijume:

- minimalni troškovi obrade elemenata sklopa,

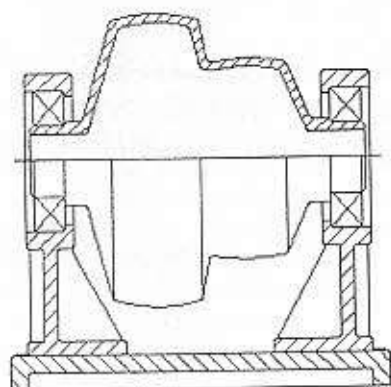
- minimalni troškovi za materijal, minimalna težina elemenata,
- minimalno vreme montaže sklopa,
- minimalno vreme zamene kaiševa i
- ujednačenost trajnosti elemenata sklopa.

Smanjenje troškova montaže može se realizovati korišćenjem metode sinergije koje vodi ka rešenju prikazanom na skici 9. Ovo rešenje smanjuje broj elemenata u razmatranom sklopu ali je očigledno da je težina elemenata znatno veća u odnosu na početno rešenje.

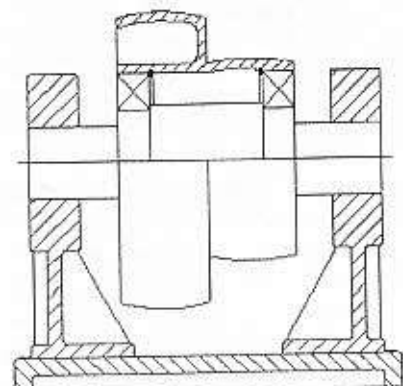
Kriterijum minimalne težine elemenata vodi ka rešenju sklopa datog na skici 10. Do rešenja se dolazi primenom metode inverzije (pun presek-prstenasti presek kaišnika). Dalje smanjenje troškova izrade i montaže moguće je



sl 9 Varijanta sklopa sa minimalnim brojem elemenata



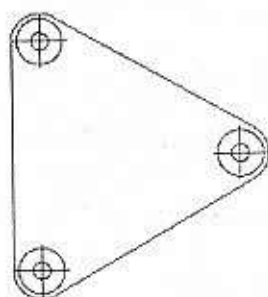
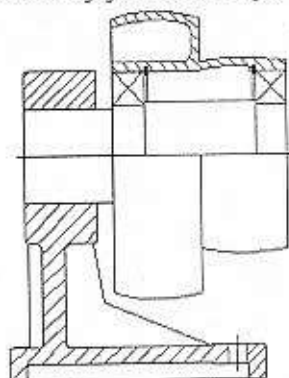
sl 10 Varijanta sklopa sa minimalnom težinom



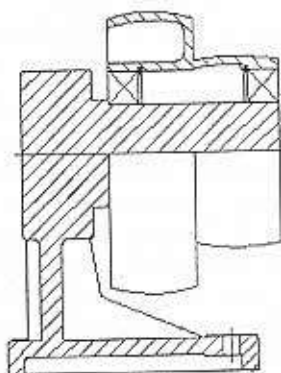
sl. 11 Varijanta sa podsklopom (osovina, ležaj i kaišnici)

realizovati primenom metode ugradnih jedinica odnosno izdvajanjem pojedinih elemenata u zasebne celine podsklopove u konkretnom slučaju u podsklop osovine, ležajevi i kaišnici, kao što je prikazano na skici 11.

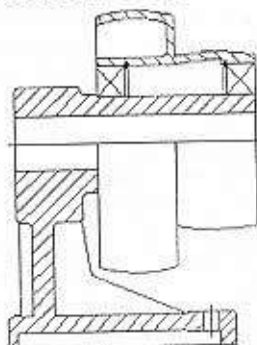
Uklanjanjem jednog oslonca i odgovarajućom rekonstrukcijom dolazi se do rešenja koje obezbeđuje jednostavnu i brzu zamenu kaiševa sl 12. Istovremeno se kao suvišna uklanja osnovna ploča. Baza vertikalnog oslonca je trougaonog oblika. Broj zavrtnjeva za vezu sa fundamentom se smanjuje na 3 zavrtnja.



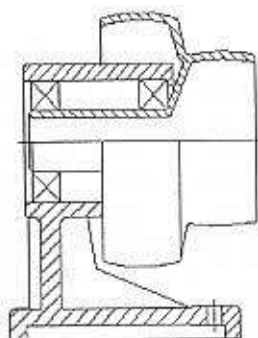
Sl. 12 Varijanta sa min. vremenom zamene kaiševa



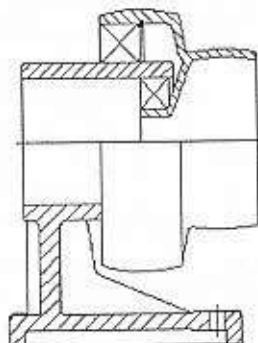
Sl. 13 Varijanta sa objedinjenim nosašem i osovinom



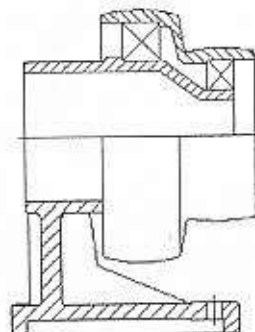
Sl. 14 Poboľjšana varijantna sa sl 13



Sl. 15 Varijanta sa objedinjenom osovinom i kaišnicima



Sl. 16 Varijanta sa smanjenom dužinom osovine



Sl. 17 Varijanta sa ujednačenom trajnošću ležajeva

Korišćenjem metode sinergije i inverzije dolazi se do varijantnih rešenja prikazanih na skicama 13, 14 i 15. Rešenje prikazano na sl. 13 je sa objedinjenim nosačem i osovinom. Kod ovog rešenja su troškovi montaže manji u odnosu na prethodnu varijantu ali su troškovi obrade veći. Kod ove varijante moguće je dalje poboljšanje koje je prikazano sl. 14. Poboljšanja se svode na smanjenje težine noseće konstrukcije primenom prstenastog preseka osovine. Inverzno rešenje je sa objedinjenom osovinom i kaišnicima sl. 15. Kod ovog rešenja su umanjeni troškovi obrade i težina sklopa. Ležaj bliži kaišnicima je opterećeniji što dovodi do neujednačenosti veka trajanja ležajeva. Iz prikazanog skupa varijantnih rešenja mogu se izdvojiti rešenja prikazana na skicama 14, 15 i 17 kao moguća rešenja datog sklopa. Bez detaljne analize troškova proizvodnje i održavanja nije moguće definisati optimalno rešenje. Optimalno rešenje je moguće definisati samo za konkretne uslove proizvodnje.

ZAKLJUČAK

Vrsta projektnog zadatka, kompleksnost tehničkog objekta, količina informacija i uslova u kojima se vrši projektovanje uslovljavaju veliku raznolikost inženjerskih

zadataka. Ne negirajući postojeće razlike a na osnovu sprovedenih analiza može se zaključiti:

1. Neophodno je oblikovanje tretirati kao potproces u okviru konstruisanja. Pored opštih metoda pri oblikovanju se koristi i niz specifičnih koje treba dalje istraživati.
2. Izbor kriterijuma treba shvatiti kao osnovu kompleksnog delovanja čijom primenom dobijamo: osnovu formalnog opisa problema, osnovu ocene u zadacima optimizacije i osnovu za upravljanje projektno-konstrukcijskim procesom.
3. Kriterijume oblikovanja treba da obuhvate sve zahteve proizvodnje i eksploatacije tehničkog sredstva. Kao osnovu za formiranje kriterijuma treba iskoristiti relacije između odgovarajućih potprocesa proizvodnje i eksploatacije.

LITERATURA

- /1/ J. Dietrych, System i konstrukcija, Wydawnictwa naukowo-techniczne, Varšava, 1978
- /2/ V. Hubka, Theorie des Konstruktionsprozesses, Springer Verlag, Berlin, 1978
- /3/ R. Koller, Konstruktionsmethode fur den Maschinen. Gerate und Apparatebau, Springer Verlag, Berlin, 1978
- /4/ Roth K, Konstruieren mit Lesungskatalogen, Springer Verlag, Berlin, 1981
- /5/ M. Velimirović, R. Knosala, Wytwarzanie i eksploatacja a układ kryteriów, Problemy postępu technicznego No 2/81 str 7-11, Katowice, 1981
- /6/ M. Velimirović, Prilog analizi procesa projektovanja i konstruisanja i prikaz metoda projektovanja. II- Međunarodni CIM-seminar str. 239-262, Niš, 1989.

PROCESS ANALYSIS OF NEW PRODUCT DEVELOPMENT AND CRITERIA FOR PRODUCT FORMING

mr Miodrag Velimirović, MF- Niš
prof. dr. Aleksandar Vulčić, MF- Niš

Summary

In this paper the structure of new product development is considered with the purpose of establishing the relations between planning design, engineering design and forming. Designers determine the criteria required by the manufacturing process and the field services. The paper describes the problem of defining criteria system. An example of variant product forming is given in a function of defined criteria.

Key words: criteria, manufacturing, field services.

mr. Miodrag Velimirović
Mašinski fakultet u Nišu
18000 Niš
Beogradska 14

KONSTRUISANJE I ZAHTEVI LOGISTIKE - transporta, pretovara, skladištenja i upotrebe

Dr. ing. Milosav Georgijević, v.prof.
Dipl. ing. Mijomir Vuković, saradnik
Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Rezime

Rad analizira zahteve koji se postavljaju pred konstruktora i naglašava da konstruisanje nije samo zadovoljiti funkcionalnost, dizajn, tehnološkičnost i cenu mašine ili uređaja, već da postoje između ostalog i logistički zahtevi, dakle zahtevi za n transportnih i pretovatnih operacija kao i skladištenje svih komponenata i proizvoda kao celine, moraju stalno biti prisutni u svim fazama razvoja proizvoda, da bi se zadovoljili zahtevi sveukupnog (totalnog) kvaliteta i održala konkurentnost na tržištu.

Pripremljenost ili pogodnost svih komponenata (koji će dati neku novu konstrukciju) za manipulisanje sa njima, a da se pri tome ne ugrožavaju osnove funkcije, bilo je poznato i pre nametanja zahteva tržišta privrede. Paleta raznih vrsta u upotrebi su već više od sto godina.

Posebno se naglašava ovakav pristup kod masovnih proizvoda kao npr. bela tehnika, gde se konstrukcijom omogućava lakša promena položaja mašina ili opreme, što svakako ima marketinški značaj.

Ključne reči: Konstruisanje, logistika

1. UVOD

Nemilosrdna utakmica na tržištu, koja u evropskim prostorima traje od ~ 1960. godine (kada se posle obnove pojavljuje veća ponuda od tražnje) u više etapa nameće prema zakonitostima razvoja nove elemente koji uvek imaju direktne posledice i uticaj na procese konstruisanja. Otkriće mikro čipa (1972. godine) i PC-a (1983. godine) uneli su revolucionarne promene u pristupu i filozofiji rada (i života), tako da se već godinama ciklus promena održava na nivou od oko 5 godina. Pošto se za najveći deo industrijskih proizvoda vreme proizvodnje meri minutima, vreme pretovara i transporta satima, a vreme mirovanja u skladištima svih vrsta mesecima, logistika je aktuelna tema u svim razvijenim zemljama. Pri tome se misli na njeno značenje najbliže izvornom¹. Sa racionalizacijom procesa

transporta, pretovara i skladištenje mora se početi od samog početka nastanka nekog proizvoda, što konstruktorima nameće i logistiku kao nezaobilaznu komponentu, ako je cilj stvaranje novog proizvoda koji će naći svoje mesto na tržištu.

Ako se proces konstruisanja razloži kao na algoritmu sa slike 1, gde se verovatno može uvek dodati (ili detaljnije razvrstati) neki od koraka, zahtevi logistike su ti koji u načelu ne bi trebali biti direktno vezani za funkcionalnost, ali i te kako imaju uticaja na to da li će konačna cena za korisnika, kao i mera svega, biti prihvatljiva na tržištu ili ne.



Slika 1. Zahtevi za konstruktora

2. PREDMET I CILJ

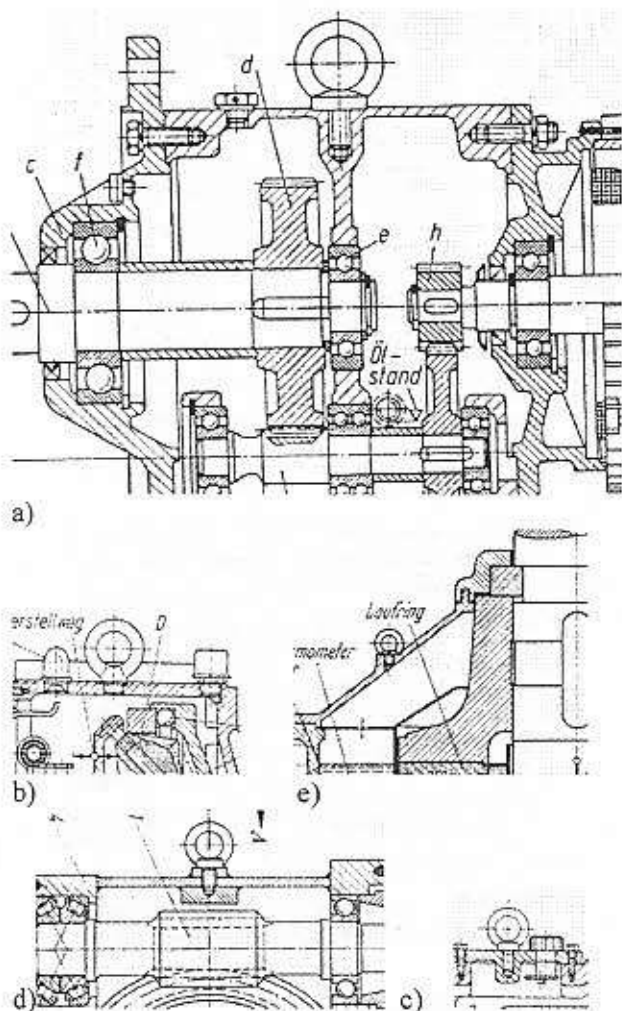
Ako se kao predmet rada odrede logistički aspekti konstruisanja, onda je cilj primerima pokazati kako konstruktor može rešavati ovakve zahteve, koji ne smeju negativno uticati na primarne performanse mašine.

¹ Logisti su u staroj Grčkoj planirali državne potrebe

3. KONSTRUKCIONI ZAHVATI NA MAŠINAMA ILI SKLOPOVIMA KOJI OMOGUĆAVAJU LAKŠI ZAHVAT ILI PRENOŠENJE

Na serijski proizvodima kao što su elektromotori ili manji reduktori odavno su u upotrebi vijci sa prstenastom glavom ili prstenaste navrtke (JUS M. B1. 210).

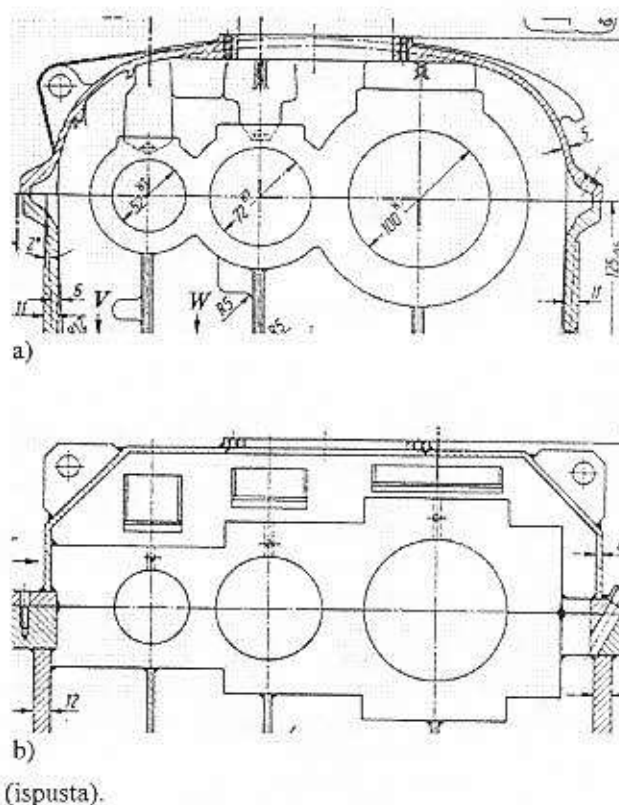
Na slici 2 dat je detalj u konstrukciji motornog reduktora sa ojačanjem za ove namene. Na istoj slici pokazan je i aktuelni ležaj (npr. vodene turbine), gde se na isti način rukuje sa njim. Primena prstenastih vijaka je pogodna, jer se uz pomoć skoro bilo koje priveznice (sa ili bez škopca) može teret (mašina, uređaj, sklop, ...) okačiti na kuke dizalica. Pri tome se ne sme izgubiti iz vida da se ovde zahteva bušenje rupa, urezivanje navoja i naravno prstenasti vijak.



Slika 2. Položaj prstenastog vijka (a - na poprečnom zidu livenog kućišta, b i c - na ojačanom delu livenog kućišta, d - na ojačanom delu zavarenog kućišta, e) - na poklopcu aksijalnog ležaja

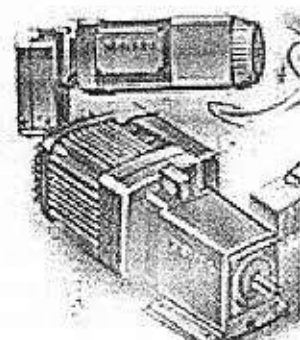
Za teže prenosnike (ili mašine) kućišta moraju imati posebne dodatke, koji se koriste i za tehnološki transport,

montažu i sve pretovare. Na slici 3. dat je primer livenog i zavarenog kućišta. Ako su ispusti sa otvorima (slika 3.a levo i slika 3.b), za zahvat koriste se priveznice sa škopcima ili kukama, a ako je samo odliven izdanak na kućištu, moraju se koristiti priveznice od užadi gde se omče kače na kuku, a srednji deo zahvata ispod izdanka



Slika 3. Livena i zavarena konstrukcija kućišta reduktora sa mestima za zahvat

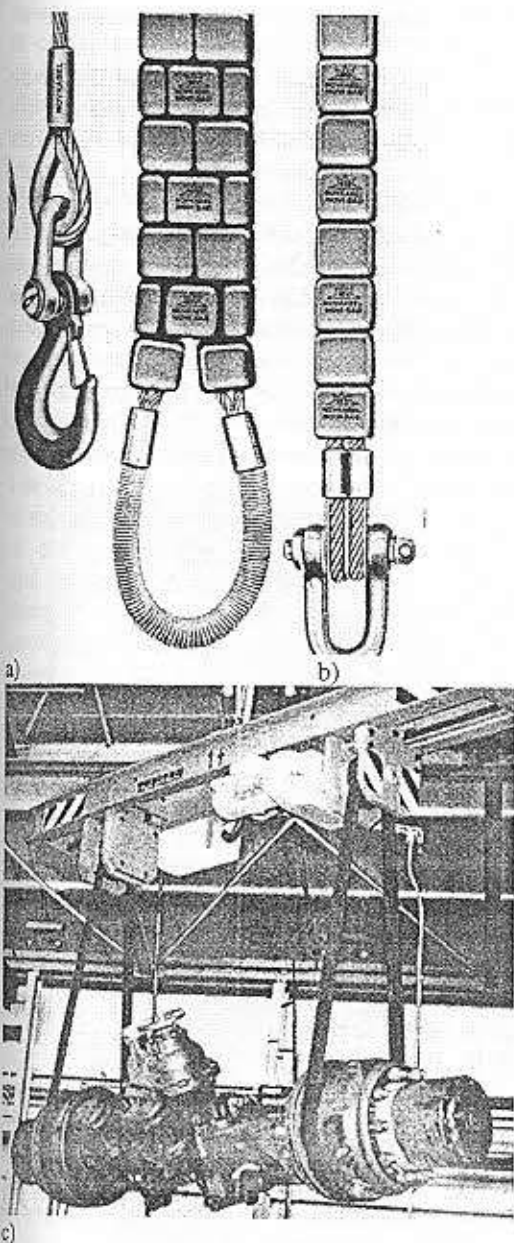
Primena elemenata logistike u svim domenima, uslovlila je detaljne analize svih mesta za racionalizaciju. Kao rezultat proizilazi da je za velik broj namena nepotrebna upotreba npr. prstenastih vijaka, već da je dovoljno ojačati neko već postojeće rebro, ili dodati novo, kako je to pokazano na slici 4. U ovom slučaju nema nikakvih dodatnih mašinskih obrada, već je dovoljan otvor na odlivku. Sva dalja manipulacija nakon montaže sklopa obavlja se standardnim priborima na dizaličkim mašinama.



Slika 4. Liveni izdanak na kućištu reduktora sa mestom za zahvat

Za rotacione delove (vretena, zupčanici ...) ne važi prethodni pristup. Zahvaljujući priveznicama sa gumenim segmentima i priveznicama od tekstilnih traka, moguće je obavljati tehnološki transport i montažu osetljivih fino obradjenih delova.

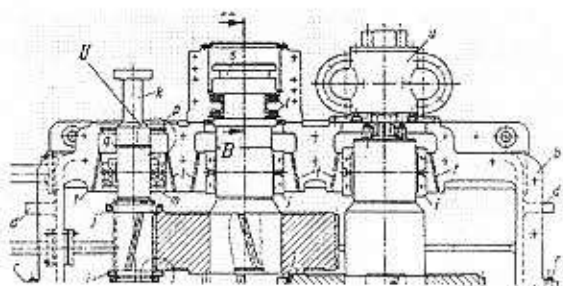
Na slici 5 data je priveznica od čeličnih užadi sa gumenim segmentima čije su nosivosti standardnih izvedbi i do 20 t, kao i od tekstilnih traka (slika 5.c), uz napomenu da su i priveznice sa gumenim segmentima kao i od tekstilnih traka višestruko skuplje od običnih priveznica (slika 6.a).



Slika 5. Priveznica sa: a - škopcem i kukom, b - sa gumenim ulascima, c - tekstilnim trakama sa rotacijom tereta

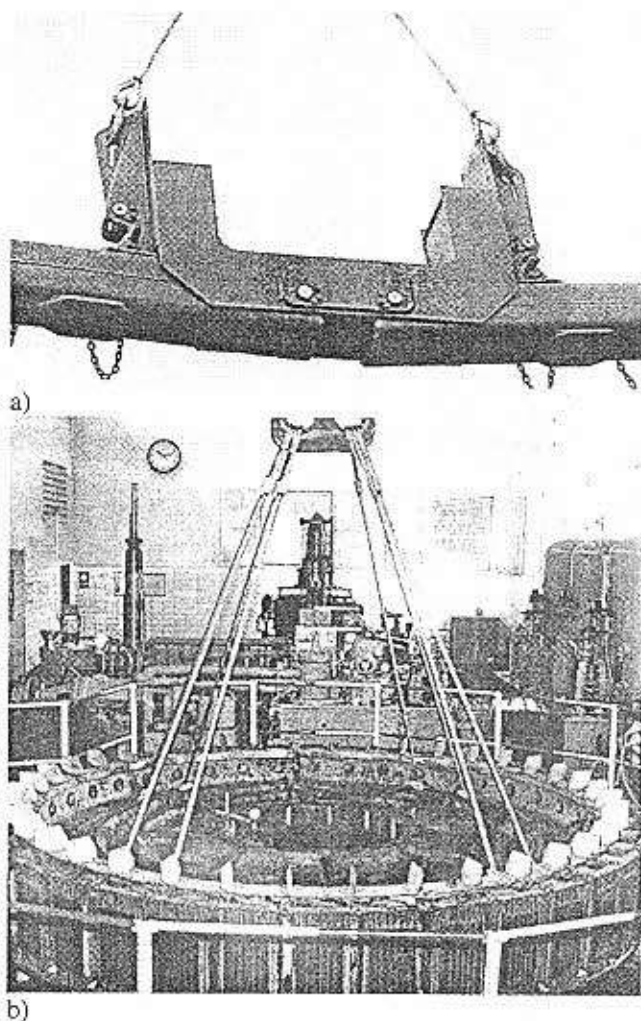
Ako iz konstrukcionih razloga nije moguća primena priveznica kod npr. sklopa vratila i zupčanika, tada se npr.

dodaju ispusti na rukavcu vratila koji sadrže žljebove za zahvat priveznice (slika 6).



Slika 6. Žljeb na vratilu (s) za zahvat priveznice

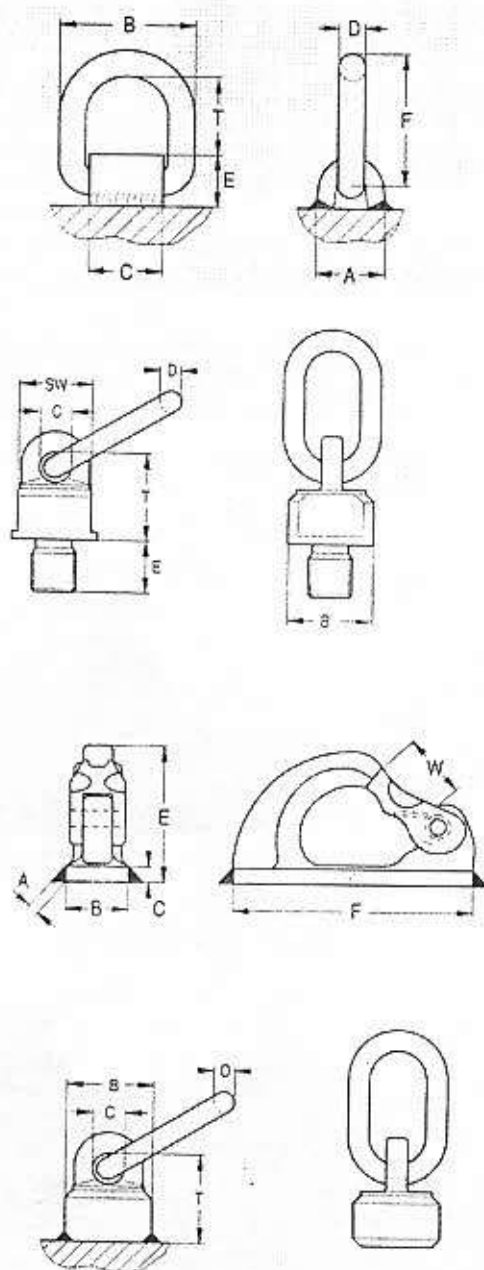
Kod sklopova mašina ili delova konstrukcija dodaju se posebni elementi (slično kao kod kućišta slika 3.b), koji služe za zahvat priveznice. Primer pokazuje slika 6.



Slika 7. Dodatni delovi za zahvat priveznice

Da nisu prethodni primeri jedini koji rešavaju zahvat i manipulaciju sa mašinama i opremom, daje slika 8, sa nekoliko tipiziranih dodatnih pomoćnih sredstava (ispitani i sa certifikatom kvaliteta i nosivosti) koja se zavaruju ili

uvrću u kućišta ili delove opreme. Tipizirana sredstva mogu da imaju nosivosti i do 15 t, a uvek se prema zahtevu mogu izraditi i veća ili neka druga sredstva za zahvat. Cena je svakako prednost kod primene tipiziranih dodatnih pomoćnih sredstava.



Slika 8. Pomoćna sredstva za zahvat

4. SKLADIŠTENJE

Kao zakonitost mora se prihvatiti da se sva roba može paletizovati, što se potkrepljuje činjenicom da postoje palete standardnih nosivosti do 5 t i dužine do 6 m. Analizom proizvodnog programa svetskih proizvođača paleta raznih vrsta (ravne, boks, itd.) i dimenzija, konstatuje se da ih ima više stotina tipiziranih paleta po obliku, dimenzijama i nosivosti.

Paleta kao lako prenosiva platforma ili sanduk u upotrebi je više od 150 godina i potekla je od Britanskih željeznica. Pošto predstavlja dodatni trošak koji opterećuje proizvod, mora se tražiti takva paleta koja će kroz jednu ili "n" upotreba najmanje troškovno opteretiti proizvod (robu) u njoj i višestruko se isplatiti kroz bržu manipulaciju s teretima. Poseban naglasak mora se staviti na zaštitu tereta - robe na paleti. Kod tehnoloških paleta čija cena može biti i više stotina DEM, uobičajena je dodatna nadgradnja da bi se prihvatili npr. zupčanci ili vratila ili neki sklopovi, tako da se ne dodiruju međusobno, ne oštećuju i da se pogodno sa rukom, zahvatnim alatom ili manipulacionim robotom mogu odložiti ili uzeti. Prethodno najčešće zahteva da deo ili proizvod ima stope ili posebne izdanke ili površine, koje služe za oslanjanje na uloške paleta, koji mogu biti npr. i od plastičnih masa, da ne bi nastalo oštećenje pri transportu.

Projektant je svakako dužan da u grubom sagledavanju tehnološnosti i tehnologije izrade svih delova koji se konstruišu, vidi ili predvidi moguće načine za manipulaciju koji će dati najracionalnije tokove materijala. Ovakav pristup olakšava razradu tehnologije, i može se smatrati obavezan za slučajeve kada se zna gde će se delovi izradjivati (npr. u sopstvenim pogonima).

Paletizovana roba može se brzo i sigurno pretovariti i skladištiti sa za to prilagodjenim transportnim sredstvima. Za proizvode masovne upotrebe kao npr. kućni aparati i uređaji koji najčešće imaju plastična kućišta, skoro da je uobičajeno da konstruktori prave dodatne ispuste ili rukohvate koji su čak oblikom skriveni, a koji omogućavaju ručni zahvat tokom prenošenja pri upotrebi. Ovo se je uočljivo kod većeg broja npr. televizora, monitora računara itd. gde je projektant olakšao korisniku prenos i manipulaciju, što je parametar sofisticiranosti konstrukcije.

5. AMBALAŽA

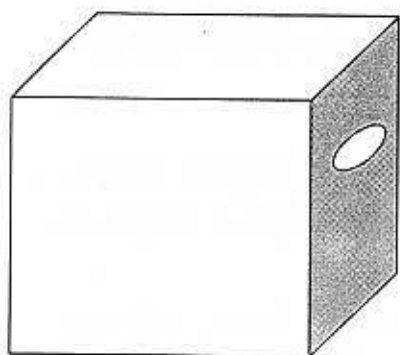
Ako je paleta eventualno namenjena za višekratnu upotrebu, ambalaža je praktično uvek za jednokratnu upotrebu i predstavlja dodatni trošak.

Ambalaža sa paletom i eventualno kontenerom, treba da omogući da korisnik dobije proizvod neoštećen, čist, suv, dakle onakav kakav je izašao iz ruku završne kontrole i pakeraja kod proizvođača.

Za proizvode manjeg gabarita (od palete) i manjih masa koristi se najčešće kartonska ambalaža koja je standardizovana u većini država, sa osnovnom idejom kako razne dimenzije ambalaže složiti na paletu. Za komisioniranja u skladištima značajna je i mogućnost slaganja ambalaže raznih (standardnih) dimenzija, a da se pri tome najbolje iskoristi površina (i zapremina) palete. Npr. poznato je da palete sa ležajima koji imaju posebnu ambalažu, imaju zapreminsko iskorišćenje 0,5+0,7, što se čak može smatrati izuzetno veliko u odnosu na proizvode koji se npr. komisioniranjem u skladištima dostavljaju kupcu.

Ako su proizvodi kabasti, kao olakšanje za korisnika je da ambalaža ima rukohvate na predviđenim pogodnim

mestima koji omogućavaju ako ne bržu, ono barem lakšu - komforniju manipulaciju (slika 9).



Slika 9. Rukohvati na npr. kartonskoj ambalaži proizvoda za kućnu upotrebu

Izuzetno je važno napomenuti da je ambalaža najčešći nosilac identifikacione oznake (čitati barcoda), bez čega je nezamislivo brzo utvrđivanje da li je pronađena paleta i roba baš koja se traži. Skeniranjem coda robe i unošenjem (u računar) količine koja se unosi ili iznosi iz skladišta, automatski je ažurirano stanje zaliha, koje generiše signale da je npr. potrebna nova nabavka.

Na slici 10 daje se primer kao se odgovarajućim konstrukcionim detaljima shodno tipu problema može olakšati manipulacija sa teretom.

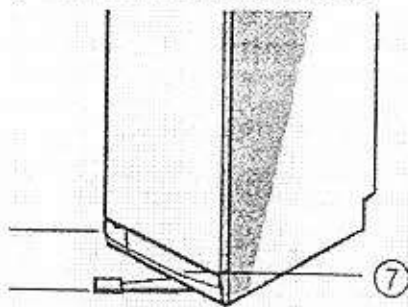


Slika 10. Primeri konstrukcionih detalja koji olakšavaju manipulaciju sa teretom

6. O ČEMU JOŠ KONSTRUKTOR MORA RAZMIŠLJATI ?

Ako se konstruiše mašina (aparat, uređaj,...) koja se ne ugrađuje na jedno mesto za svo vreme eksploatacije, pitanje je da li i o ovome konstruktor mora voditi računa. Npr. kućna bela tehnika koristi se u milionima stanova. U ovoj oblasti konkurencija na tržištu je veoma velika. Kako staviti kupcu do znanja da vi mislite i na pomeranje ili premeštanje mašine ili uređaja, kad u stanu ili u kući nema paletnih kolica, viljuškara ili dizalice?

Konstruktor da bi stavio kupcu do znanja da je o svemu razmišljao i da se u ovaj proizvod može verovati, predviđa dodatne točkice, koji naravno ne smeju omogućavati da se npr. već mašina sama vozi po kupatilu tokom rada. Na slici 11 pokazana je poluga 7 koja kada se povuče (kao na slici) ekscentrom izdiže mašinu, tj. spušta točkice i ona je lako pokretna. Posle pomeranja mašine poluga se vraća nazad, tako da se skoro i ne vidi (nesme da štrči izvan gabarita), točkici se podižu gore i mašina je na osloncima sa gumom, dakle nepokretna pri upotrebi. Ovo je svakako dodatni trošak (3 ili 4 točkice, polužni sistem i sl.), ali može biti razlog za kupca da oda priznanje konstruktorima i kupi mašinu.



Slika 11. Sistem za manipulaciju tokom upotrebe

7. ZAKLJUČAK

Od konstruktora sklopova, mašina ili uređaja se ne očekuje samo kvalitetan proizvod u smislu njegove funkcije, naprotiv to se podrazumeva. Tržište i njegove zakonitosti nameću niz uslovno novih aspekata koje konstruktor ne sme prenebregnuti, a koji se odnose na to kako pogodno manipulirati sa delovima dok su u procesu proizvodnje i kako ga najčešće paletom više puta pretovarati i skladištiti dok ne dodje do krajnog korisnika. To ne sme biti kraj brige o svojstvima konstrukcije. Konstruktor mora imati rešenja i za sva dalja manipulisanja s mašinom ili aparatom sve do reciklaže.

LITERATURA

- /1/ Niemann G., Winter H.: *Maschinen-elemente, Band I,II,III*, Springer Verlag, Berlin, 1985,
- /2/ Georgijević M.: *Regalna skladišta*, Mala velika knjiga, Novi Sad, 1995,
- /3/ Katalozi proizvođača:

- Novkabel,
- Pfeifer
- Dematic i dr.

DESIGNING AND LOGISTICS DEMANDS - transport, reloading, warehousing and use

*Ph.D. Milosav Georgijević, assoc.prof,
B.Sc. Mijomir Vuković, assistant
Faculty of engineering, Novi Sad*

Summary

This paper analyzes the demands concerning the constructor work and emphasizes the fact that designing doesn't mean only the meeting of standards relating to functionality, design, technology and costs of machine or devices, but that they are among all others the logistics demands, that is demands for a transportation and reloading operations as well as warehousing of all components and products as unity. These demands must permanently be present throughout all product development phases in order to satisfy the total quality demands and to be competitive at the market. Preparedness and appropriateness of all components (which would create a new construction) for manipulating with themselves, and avoiding at the same time the spoiling of the basic functions has been known even before a progressing the market economy demands. Various kinds of pallets have been in use for more than a hundred years. This approach is especially emphasized with the mass product such as for example home appliances for which case a good construction solution makes the easier position change of machine or equipment possible, what in any case has important marketing value.

Key words: Designing, logistics

Adresa za kontakt:
Dr.ing. Milosav Georgijević, v. prof
Fakultet tehničkih nauka
21000 Novi Sad
Trg D. Obradovića 6

TEHNOLOGIJA LIVENJA- OBLIKOVANJE I DIZAJN

Prof. dr Risto Kovač, FTN - Novi Sad
Asis. mr Vladimir Bajić, FTN - Novi Sad
Asis. mr Milan Ćurčić, FTN - Novi Sad

Rezime

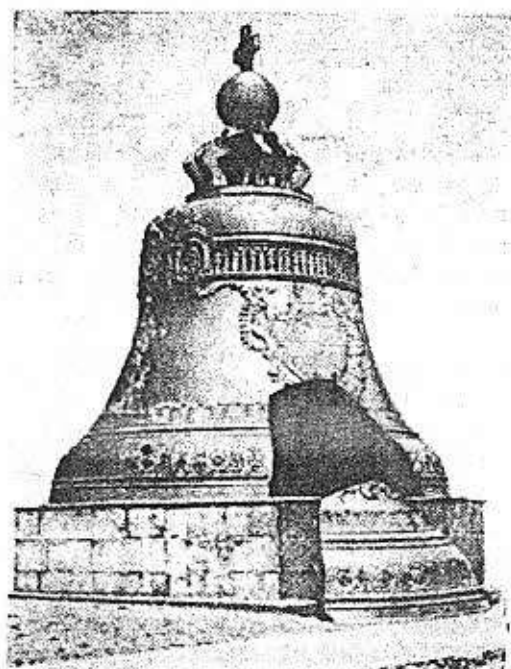
U radu je ukazano na istorijski razvoj tehnologije livenja i njene mogućnosti, prikazom livenja zvona i spomenika. Dalje su prikazane pojedine tehnologije livenja i njihove mogućnosti u pogledu oblikovanja i industrijskog dizajna. Posebno su prikazane mogućnosti livenja sa topljivim modelima i mogućnosti livenja sa visokim i niskim pritiskom, što je ilustrovano fotografijama niza mašinskih delova. Veliki broj postojećih metoda livenja i različitih vrsta metalnih materijala, otvaraju široke mogućnosti za industrijski i umetnički dizajn.

Ključne reči: tehnologija livenja, dizajn.

1. ISTORIJSKI RAZVOJ

Livenje kao postupak prerade metala u tečnom stanju najstariji je način izrade predmeta od metala i vezuje se za same početke civilizacije, nastanak prvih država i pojavu prvog (livenog) novca. Livenjem metala čovek je pre više od 5000 godina počeo da izrađuje delove oružja, oruđa za rad, posude, nakit i druge upotrebne predmete. Kasnije, kada je tehnologija livenja dostigla zanatski nivo počeli su se raditi odlivci različite namene, od onih postavljenih u urbanoj sredini i po trgovima (spomenici, kandelabri, ukrasi po parkovima), do upotrebni predmeta u domaćinstvu i upotrebni predmeta za verske potrebe među kojima zvona zauzimaju značajno mesto. Već tada najveći deo tih predmeta imao je na sebi ukrase (ornamente) koji su predmetu davali estetski izgled. Ovo ukazuje da se dizajn razvijao zajedno sa tehnologijom livenja, još dok je ova bila na zanatskom nivou. Kao primeri velikih dostignuća ove tehnologije mogu se navesti izrada "Car puške" (Car topa) 1586. godine, kalibra 730 mm i mase 39,4 tone, izrada "Car zvona" 1665 god. mase 201 tonu i spomenik Petru I iz 1782 god. (slike 1 i 2).

Ovaj period izrade odlivaka, koji se karakteriše velikom masom, složenim oblicima, i ornamentima (ukrasima), dao je tehnološku podlogu za proizvodnju odlivaka i njihov dizajn u industrijskoj eri. Jedan od primera za to je tehnologija izrade odlivaka pomoću topljivih modela.



Slika 1: Car-zvono



Slika 2: Spomenik Petru I

2. TEHNOLOGIJA LIVENJA U MAŠINOGRADNJI

Razvojem mašinogradnje u XX veku došlo je do naglog razvoja tehnologije livenja i to u oblasti automobilske industrije, industrije traktora, mašina alatki, energetskih postrojenja, hemijske industrije, naoružanja, letilica i drugih oblasti tehnike. Praktično, odlivci su postali sastavni, pa čak i osnovni delovi mašina i mehanizama. Oblikovanje metala livenjem daje mogućnosti izrade delova

najsloženijih oblika. Veliki broj mašinskih delova ne bi mogao da se proizvede drugim tehnologijama obrade metala (npr. blok, glava motora i dr.), a i izrada velikog broja delova drugim tehnologijama bila bi skupa.

Savremena oprema u oblasti tehnologije livenja omogućava izradu odlivaka vrlo složenih oblika, visokog kvaliteta površine i dimenzione tačnosti i može da ispuni sve tehničke uslove koji se postavljaju pred mašinski deo, od eksploatacionih uslova do estetskih. Tehnologija livenja kao tehnološka disciplina pogodna je za masovnu i serijsku proizvodnju.

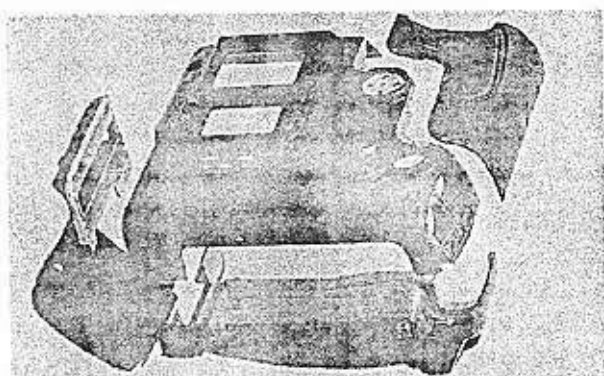
3. MOGUĆNOSTI OBLIKOVANJA I DIZAJNA

Pojam forme (oblika) u industrijskom dizajnu znači krajnji i ukupan spoljni izgled određenog proizvoda nastalog putem serijske proizvodnje. Forma je jedan od elemenata industrijskog dizajna proizvoda, a određena je materijalom, načinom izrade - tehnološkim postupkom, bojom i vrlo često ornamentom. Skup ovih elemenata forme doprinosi estetskoj vrednosti proizvoda, a ona zavisi od uspostavljenе harmonije među navedenim elementima.

Spoljni oblik - izgled nekog proizvoda predstavlja neposredan izraz vizuelnog odnosa, ali nije prvenstveni cilj industrijskog dizajna. Drugim rečima, cilj industrijskog dizajna kao stvaralačke delatnosti nije da proizvod izgleda lepo, već da zadovolji zahteve kao što su /3/:

- funkcionalnost
- ekonomičnost
- psihološka prilagodljivost čoveka i drugi zahtevi među kojima su i estetski
- industrijski dizajn treba da kreira i osigura harmoničnu vezu između proizvoda i čoveka kao korisnika.

Tehnologija livenja, može se slobodno reći s obzirom na njen današnji nivo tehničko-tehnološkog razvoja može u potpunosti da zadovolji zahteve oblikovanja i dizajna, a da pri tom zadovolji i druge zahteve koji se postavljaju pred neki proizvod. Kućište fotoaparata prikazano na slici 3 predstavlja primer jenog preciznog industrijskog proizvoda koji na visokom nivou ispunjavaa gorenavedene zahteve. Kućište je izrađeno od legure magnezijuma i zamenilo je dotadašnje od plastičnih masa, pri čemu je ceo sklop lakši za oko 120 grama.



Slika 3: Kućište fotoaparata izrađeno livenjem pod pritiskom

Danas je konstruktoru na raspolaganju veliki broj legura različite nemene, na primer, konstrukcionih vrsta sivog liva više od 100, čelika različite vrste više od 70, legura

aluminijuma više od 30, zatim veći broj legura magnezijuma, bakra (bronzа, mesing) i legura cinka. Usled toga, pri izboru legure treba imati u vidu kompleks faktora od kojih zavisi dobijanje kvalitetnog odlivka sa zadatim svojstvima i minimalnim troškovima izrade. Ti faktori su:

- tehnološkičnost konstrukcije
- tehnološkičnost legure
- serijnost
- eksploatacioni zahtevi
- mogućnost izrade dela u određenom pogonu i dr.

Tehnologijom livenja može se postići vrlo složena konfiguracija dela, a s obzirom na vizuelne zahteve, spoljni izgled može biti poboljšан izražajnim materijalom (npr. točkovi automobila izrađeni od legure aluminijuma), bojom i dimenzijama elemenata dela.

4. METODE IZRADE ODLIVAKA

Odlivci se mogu raditi korišćenjem više metoda livenja, među kojima su osnovne: livenje u kalupima od peska, livenje u školjke, precizno livenje (topljivi modeli), livenje u kokile, livenje pod visokim i niskim pritiskom i centrifugalno livenje.

4.1. Livenje u kalupe od peska

Livenje u kalupe od peska ima praktično neograničene mogućnosti livenje odlivaka najsloženije konfiguracije i velike mase, od svih livačkih legura. Ipak se najviše liju odlivci od sivog liva, nodularnog liva i čelika, a sve manje odlivci od lakih i obojenih metala, koje preuzimaju druge tehnologije livenja. Livenjem u kalupima od peska rade se čelične platforme mase 300-400 t, kućišta turbina mase do 70 t, postolja alatnih mašina dužine do 10m i velikih masa, blokovi motora SUS, klipni prstenovi (karike) od nekoliko desetina grama. Tehnologija livenja u kalupima od peska je tehnologija velikih mogućnosti, ali i tehnologija sa manama koje su tehničkog, tehnološkog i ekološkog karaktera. Tehnološki nedostatak ovog postupka izrade kalupa je veliki broj tehnoloških parametara koji karakterišu mešavinu za izradu kalupa, a koji podležu kontroli u procesu proizvodnje i često su međusobno suprotstavljeni. Drugim rečima, izrada kalupa od peska za livenje odlivaka strogo definisanih tehničkih uslova zahteva izradu kalupa sa kontrolisanom veličinom velikog broja tehnoloških parametara.

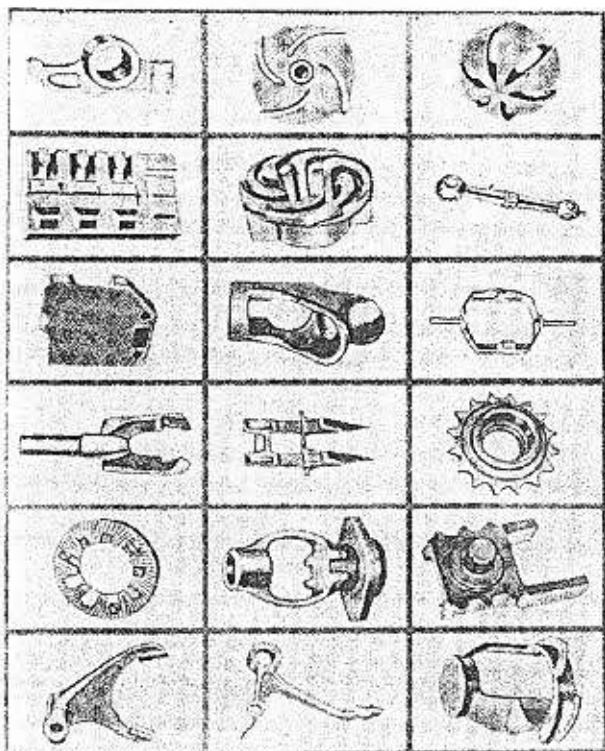
Raznovrsnost oblika i dimenzija odlivaka dobijenih u kalupima od peska ukazuje na to da postoji veliki broj metoda livenja u kalupima od peska. Prema poljskim istraživačima, postoji više od 37 metoda livenja u pesku.

4.2. Precizno livenje ili livenje sa topljivim modelima

Prethodnik savremenog procesa izrade odlivaka sa topljivim modelima je odavno poznat metod livenja sa modelima napravljenim od voska. Pri izradi odlivaka umetničke vrednosti, pri izradi nakita, zubnih proteza i drugih predmeta i danas se koristi ovaj metod izrade odlivaka. Jedan od primera visokog majstorstva u ovoj

metodi izrade odlivaka je već pomenuti spomenik Petru I, izrađen 1782 god.

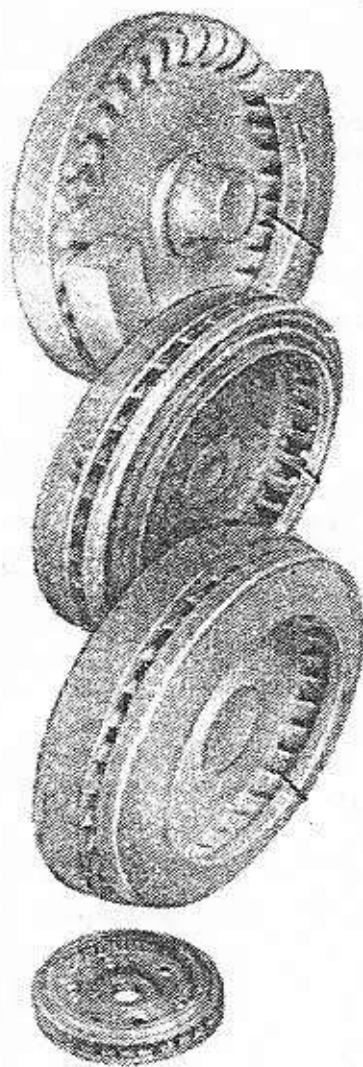
Početak industrijskog osvajanja ove metode livenja pripada 40-tim godinama ovog veka i vezan je za potrebe izrade lopatica gasnih turbina za avionske motore, koje se rade od legura postojenih na visokim temperaturama, a koje se teško obrađuju. Livenje sa topljivim modelima daje konstruktorima mogućnost da projektuju odlivke vrlo složene kokonfiguracije, sa tankim zidovima, da objedine više pojedinih delova koji čine podsklop u jednu celinu, da umanje masu i gabarite dela i da pri tom dobiju odlivak visokog kvaliteta i tačnosti dimenzija. Ovom metodom livenja mogu se dobiti odlivci kvaliteta koji se ne mogu dobiti drugim metodama. Suština ovog metoda izrade odlivaka za potrebe mašingradnje je u tome da se modeli rade od materijala nastalih na bazi naftnih derivata koji su znatno jeftiniji od voska i imaju temperaturu topljenja ispod 90°C . Takvi materijali su parafin, stearin, cerezin i dr., od kojih se pravi modelni sastav. Modelni sastav se utiskuje u metalni kalup gde se formira model, a zatim se više modela, koji su najčešće manjih dimenzija pravi modelni komplet (grozd). Uranjanjem modelnog kompleta više puta u emulziju sastavljenu od vatrostoalnog materijala (sitno mleveni kvarcni pesak, cirkonski pesak, glinica) i vezivnog sredstva (etilsilikat ili vodeno staklo) dobije se vatrostoalna školjka debljine nekoliko milimetara. Model iz školjke se vadi topljenjem u peći ili toploj vodi, nakon čega se školjka žari na temperaturama do 1000°C . Nakon toga se vrši livenje. Odlivci dobijeni ovim postupkom nemaju "šavove", jer je školjka bez podele, tj. čini celinu, usled čega nema potrebe za brušenjem šavova, što u velikoj meri poboljšava estetski izgled odlivka. Kvalitet površine ovih odlivaka je veoma visok, sa srednjom hrapavošću od 2,5 do $40\text{ }\mu\text{m}$.



Slika 4: Razni mašinski delovi izrađeni preciznim livenjem

U mnogo slučajeva izrade odlivaka ovim postupkom može se u potpunosti isključiti mehanička

obrada. Na primer, firma "Presižn metal smit" (SAD) radi 98% odlivaka koji ne zahtevaju naknadnu mehaničku obradu. Približno polovina odlivaka u SAD, dobijenih ovim postupkom, odnosi se na lopatice turbina. Ostali odlivci rade se za kosmičke letelice, za potrebe hemijske industrije i eksploatacije nafte, vojne industrije i dr. Predviđa se da će odlivci dobijeni preciznim livenjem naći veću primenu u automobilske industriji. Firma "Tital Bestwig" (Nemačka) proizvodi krupne tankozidne odlivke složene konfiguracije od legura aluminijuma i titana. To su kućišta za elektronsku opremu raketa, kućišta televizijskih kamera, blok cilindara motora sportskog automobila "Mercedes", sigurnosna vrata aviona dimenzija $1000 \times 1060\text{ mm}$ i veći broj drugih delova male debljine zidova, a velikih dimenzija. Radi povećanja kvaliteta odlivka livenje u kalupe može se obaviti pod dejstvom niskog pritiska, u vakuumu ili pod dejstvom centrifugalnih sila. Debljine zidova odlivaka kreću se od 0,5 do 5 mm, pri čemu je najčešće zastupljena debljina od oko 2 mm. Iako među odlivcima dobijenim ovom metodom preovlađuju delovi mase do 2,5 kg, zabeleženi su i slučajevi izrade odlivaka i do 450 kg. Slike 4, 5, i 6 prikazuju kompleksnost oblika koji se mogu dobiti preciznim livenjem.



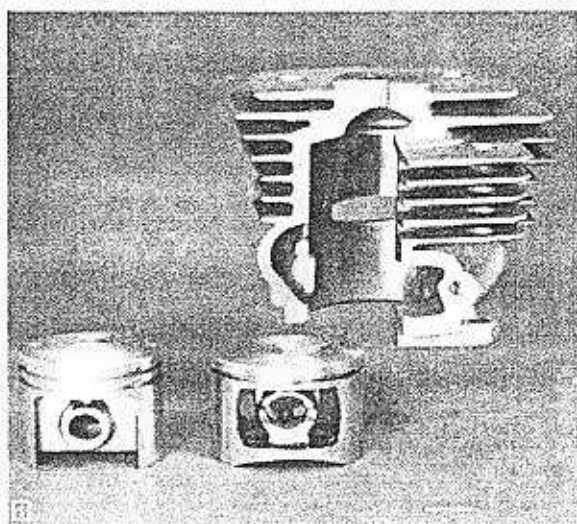
Slika 5: Delovi izrađeni preciznim livenjem

4.3. Livenje pod pritiskom

Sušтина procesa livenja pod visokim pritiskom je da se rastopljeni metal uliva u komoru za presovanje, koja je sastavni deo mašine za livenje pod pritiskom. Zatim se velikom brzinom metal iz komore klipom potiskuje u ulivni sistem i šupljinu kalupa, gde očvršćava i obrazuje odlivak.

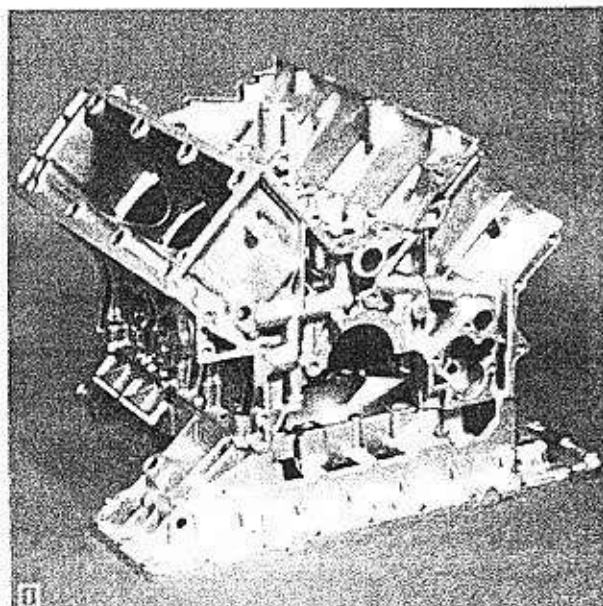
Savremene mašine za livenje pod visokim pritiskom dele se na mašine sa toplom komorom presovanja i na mašine sa hladnom komorom presovanja. Mašine sa hladnom komorom presovanja mogu biti sa vertikalnom i sa horizontalnom komorom presovanja. Mašine sa toplom komorom presovanja koriste se za livenje legura koje imaju nižu tačku topljenja i najčešće se koriste za livenje legura cinka, a ređe legura aluminijuma. Pritisci u ovim mašinama se kreću do 250 bara.

Livenje pod pritiskom zauzima jedno od vodećih mesta u livničkoj proizvodnji. Ovim postupkom liju se odlivci vrlo složenog oblika, relativno velike mase i većih dimenzija. Livenjem pod pritiskom liju se na primer glave i blokovi motora SUS, karteri, kućišta menjača, kućišta pumpi za vodu, pumpi za benzin, kućišta elektromotora i veliki broj drugih delova. (slike 6, 7, 8).

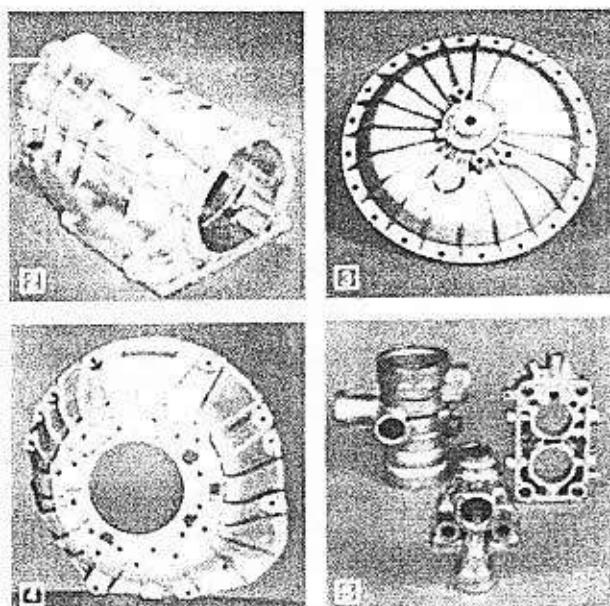


Slika 6: Livenje po visokim pritiskom
1,2,5- cilindri motora sa klipovima;
3- cilindar motora; 4-klip

Livenjem pod visokim pritiskom sve više se rade odgovorni delovi složene konfiguracije, naročito u oblasti automobilske industrije. Povišenje zahteva u pogledu kvalitete odlivaka u prvom redu velike specifične mase (gustine) koji se mogu termički obrađivati i podvrgnuti procesu dekoracije, uslovalo je razvoj različitih metoda livenja pod visokim pritiskom među kojima su: vakumiranje komore presovanja i alata za livenje pod pritiskom; "Akurad-proces" koji koristi mehanizam presovanja sa dvojnim klipom; prođuvavanje alata reaktivnim gasom.



Slika 7: Blok motora liven pod visokim pritiskom

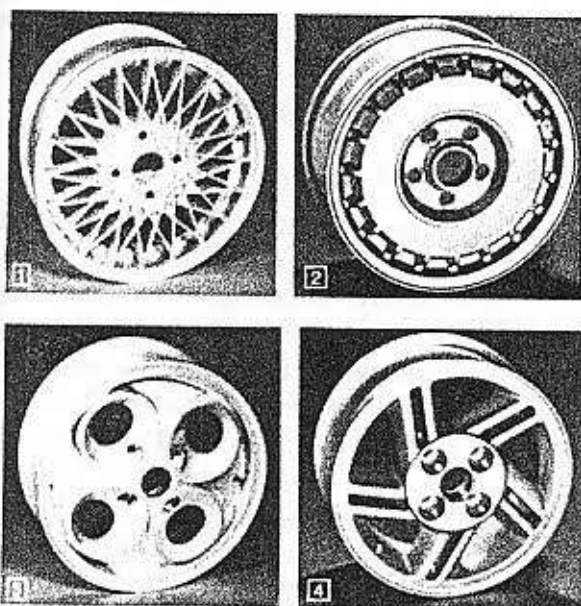


Slika 8: Livenje pod visokim pritiskom
2-kućište menjača automobila; 3-membranski poklopac;
4-kućište kvačila, 5- kućište vazdušnih kočnica

Široku primenu ima i postupak livenja pod niskim pritiskom, gde se rastopljeni metal iz lonca koji je hermetički zatvoren potiskuje u šupljinu alata pomoću pritiska vazduha ili inertnog gasa. Kod livenja pod niskim pritiskom pritisci koji se koriste u procesu su mali i iznose od 0,2 do 0,8 bara.

Livenje pod niskim pritiskom ima prednosti nad livenjem pod visokim pritiskom jer se tim postupkom mogu dobiti odlivci veće gustine, bez poroznosti koja karakteriše odlivke dobijene pod visokim pritiskom. Naročito dobri rezultati u smislupovećanja gustine odlivaka se dobijaju korišćenjem livenja sa protivpritiskom. Dobra strana livenja pod niskim pritiskom je što se mogu koristiti nemetalni kalupi, tj. kalupi izrađeni od peska i kalupi izrađeni tehnologijom koja se koristi za precizno livenje (pomoću topljivih modela). Postupak se može potpuno mehanizovati i automatizovati, ima nižu cenu opreme nego livenje pod visokim pritiskom, dostupan je svim tipovima livnica. Osnovna mana postupka je niska proizvodnost.

Livenjem pod niskim pritiskom firma "Cardiff Works of Parkfield Wheels" (Velika Britanija) proizvodi za više od 50 kupaca točkove za putničke automobile sa visokim tehničkim zahtevima i estetskim izgledom od legura aluminijuma (slika 9).



Slika 9: Točkovi od legure aluminijuma, liveni pod niskim pritiskom

Firma "Kirk Precision" (Velika Britanija) na mašinama sa toplom komorom presovanja lije od legure magneyijuma (91% Mg) ram ya trkački bicikl težine 1,95 kg. Zajedno sa firmom "Norsk Hydro Group" proizvodi 300 hiljada ramova godišnje. Livnica je opremljena mašinama sa toplom komorom presovanja firme "Oskar Frech" sa proizvodnošću od 70 odlivaka na čas /8/.

Glave blokova motora liju se na mašinama pod niskim pritiskom sa povećanom proizvodnošću, jer imaju alate za dva odlivka. Za neke tipove motora glave se liju na karuselnim kokilnim mašinama. Livenjem pod niskim pritiskom u sirovim kalupima od peska rađe se usisne cevi motora, točkovi, klipovi i niz drugih delova od legura aluminijuma.

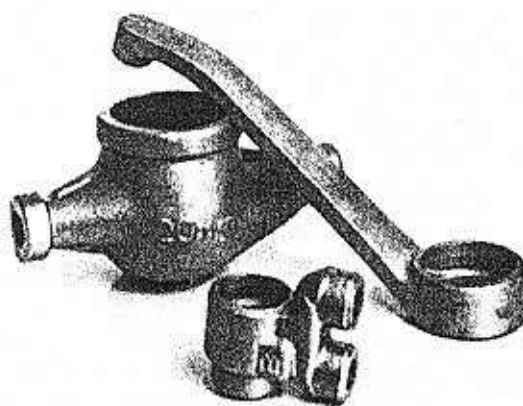
Motor je agregat velike mase, te smanjenjem njegove mase efektivno se umanjuje masa automobila. Za dobijanje blokova motora od legure aluminijuma koristi se livenje pod visokim i livenje pod niskim pritiskom. U Japanu se koristi specijalni postupak livenja vakuumskim usisavanjem.

Firma "Honda Motor" 1985. godine razradila je metod livenja pod niskim pritiskom tankozidnih kartera motora, od specijalnih legura aluminijuma za četvorocilindrične motore. Liv se u vremenu od dve sekunde ulije u kalup pod pritiskom od 20 Mpa /8/. Korišćenjem ove metode povećana je produktivnost pet puta i snižena je masa dva puta. Ista firma osvojila je 1985. godine masovnu proizvodnju klipnjača motora metodom kristalizacije pod pritiskom od legure aluminijuma ojačane vlaknima od nerđajućeg čelika.

4.4. Livenje u kokile

Tehnologija livenja u kokile najširu primenu je našla pri izradi delova iz lakih i obojenih metala i to najčešće od legura aluminijuma. Masa odlivaka od ovih legura kreće se u širokim granicama, najčešće od 0,2 do 50 kg, ali ne retko i mase 100 kg, pa i 350 kg. Dimenzije odlivaka kreću se do 1500 mm. Liju se delovi kao što su poklopac glave traktorskih motora, klip motora SUS, kućište pumpe za gorivo dizel motora, kao i cevne armature, slavine, razne vrste ručica. (slika 10).

U kokilama sa oblogom liju se kolenasta vratila i bregaste osovine motora SUS, kućišta većih elektromotora, kućišta reduktora od sivog i nodularnog liva i drugi delovi. Firma "Burton and Josep" (Velika Britanija) izradila je kokilu za 12-to cilindrični blok motora V-oblika za model "Jaguar". Šupljine za vođeno hlađenje dobijaju se pomoću 7 jezgara.



Slika 10. Delovi odliveni u kokili

5. ZAKLJUČAK

Iz izloženog u radu može se izvesti zaključak da tehnologija livenja ima praktično neograničene mogućnosti proizvodnje odlivaka vrlo složenog oblika i da pri tom koristi sve metalne materijale. U nekim slučajevima, nove legure za livenje zamenjuju čak i delove od plastičnih materijala. Koristeći široke mogućnosti ova dva fundamentalna dizajnerska elementa (materijala i metoda izrade), bilo da je u pitanju industrijski ili umetnički dizajn, tehnologija livenja u velikom broju slučajeva predstavlja pravi, a često i jedini izbor koji omogućuje ostvarenje

početne ideje dizajnera. Delovi izrađeni tehnologijom livenja mogu se dodatno podvrgnuti tehnologijama površinske obrade radi dekoracije livenog dela, što dodatno pojačava ukupan estetski utisak.

SHAPING AND DESIGN IN CASTING TECHNOLOGIES

Prof. dr Risto Kovač, FTN - Novi Sad
Asis. mr Vladimir Bajić, FTN - Novi Sad
Asis. mr Milan Ćurčić, FTN - Novi Sad

LITERATURA

- /1/ Petričenko, A.M.: *Iskustvo litja*, Znanie, Moskva, 1975.
- /2/ Vladimirov, L.P.: *Čto takoe litje?*, Mašinstrojenje, Moskva, 1981.
- /3/ Fruht, M.Č.: *Teorija dizajna za likovnu struku*, Zavod za izdavanje udžbenika, Novi Sad, 1991.
- /4/ Galtin, N.M.: *Otljivki v točnom mašinstrojeniji*, Mašinstrojenje, Moskva, 1983.
- /5/ Ivanov, V.N., Kazenov, S.A. i dr.: *Litje po viplavljanjem modeljam*, Mašinstrojenje, Moskva, 1984.
- /6/ Belopuhov, A.K., Bekker, M.B. i dr.: *Litje pod davljenijem*, Mašinstrojenje, Moskva, 1975.
- /7/ Kovač, R.: *Stanje i perspektive livničke proizvodnje*, Naučna konferencija sa međunarodnim učešćem Mašinstvo za XXI vek, Novi Sad, 1995.
- /8/ Šestopal, V.M., Šumachin, V.S. i dr.: *Litejnoe proizvodstvo za rubežom*, Kiev, 1983.
- /9/ Ičimura, X.: *Napravljenija razvitija litejnoga proizvodstva v avtomobilestroeniji*, Litejnoe proizvodstvo, 1991. No.7

Summary

A history of casting design goes back in past times, proving its presence and power through everlasting church bells and monuments. The new casting technologies, such as permanent mould casting, pressure die-casting and investment casting, enlarge the possibilities of industrial and artistic design. Together with advanced metal materials, large number of casting technologies and methods serve as powerful means for designer's idea come true. Several pictures are presented in this paper to illustrate the possibilities of casting technologies through variety of castings.

Keywords: casting technologies, design.

Adresa za kontakt:

Prof. dr Risto Kovač
Fakultet tehničkih nauka
21000 Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 6

OBLIKOVANJE MAŠINSKIH DELOVA SA ASPEKTA PRIMENE TEHNOLOGIJE PLASTIČNOG DEFORMISANJA

Prof. dr Dragiša Vilotić, FTN Novi Sad

Prof. dr Miroslav Plančak, FTN Novi Sad

Mr Ilija Trbojević, FTN Novi Sad

Dipl. ing. Đorđe Čupković, FTN Novi Sad

Rezime

Obrada deformisanjem pruža velike mogućnosti u izradi delova širokog asortimana, koji nalaze primenu, praktično, u svim segmentima mašinogradnje. Obrada deformisanjem ima prednosti u odnosu na alternativne tehnologije, jer omogućuje uštedu materijala, vremena izrade i smanjenje ukupnih troškova proizvodnje, uz poboljšanje početnih mehaničkih svojstava materijala.

Međutim, racionalna primena obrade deformisanjem zahteva, između ostalog, pravilno konstruisanje delova, odnosno, oblikovanje konstrukcija koje će biti pogodno za obradu ovom tehnologijom.

U ovom radu biće obrađena problematika tehnološkog konstruisanja delova s obzirom na mogućnost primene određenih metoda obrade deformisanjem.

Ključne reči: konstruisanje, deformisanje, tehnološkičnost

1. UVOD

Tehnologija obrade deformisanjem spada u najstarije metode prerade metala, a prema nekim podacima datira još iz perioda 5000 god. p.n. ere. Na današnjem nivou prerade metala, gotovo da nema grane (oblasti) mašinske tehnike u kojoj nisu prisutni bar neki elementi dobijeni obradom deformisanjem. Metode obrade deformisanjem načelno se mogu podeliti na: 1) metode primarne obrade; 2) metode sekundarne obrade. U prvu grupu spadaju metode kojima se izrađuju poluproizvodi (lim, profili, ploče ...). U metode sekundarne obrade spadaju postupci čiji je cilj izrada gotovih delova, po pravilu ugradbeno spremnih ili približno spremnih za ugradnju u mašine, uređaje, aparate. Delovi sekundarne tehnologije nalaze svoju primenu u:

- Motornim vozilima,
- Šinskim vozilima
- Aviotehnici
- Brodogradnji
- Elektrotehnici
- Procesnoj tehnici
- Energetici
- Poljoprivrednoj tehnici, itd.

U pogledu dimenzija, obradom deformisanjem se proizvode delovi čije dimenzije se mere delovima milimetra pa do dimenzija izraženih metrima. Tačnost izrade zavisi od primenjene tehnološke metode, a načelno se može reći da metode hladne deformacije obezbeđuju višu tačnost (reda veličine 0,01mm) u odnosu na postupke tople obrade, gde je tačnost reda veličine 1mm.

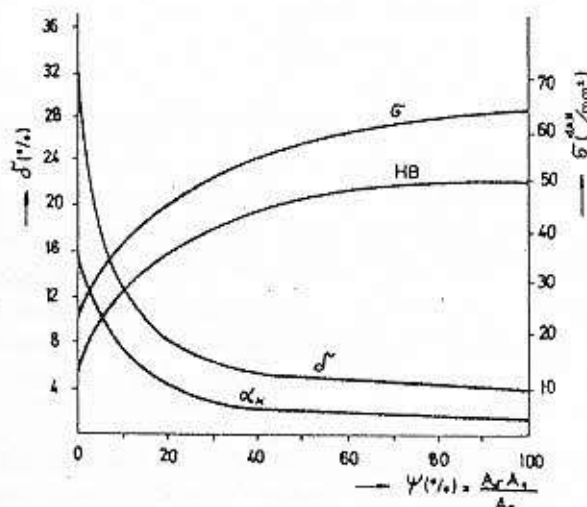
U pogledu asortimana materijala, od kojih se izrađuju delovi metodama obrade deformisanjem, treba naglasiti da su za ovu obradu, pogotovo za obradu u hladnom stanju, povoljniji materijali sa nižim mehaničkim osobinama, tj. materijali koji poseduju viša plastična svojstva, u koje spada većina niskolegiranih i niskolegiranih konstrukcionih čelika. Kada je u pitanju obrada na povišenim temperaturama, npr. kovanje, tada je moguća obrada i visokolegiranih čelika. Međutim, postoje specijalne metode obrade deformisanjem koje omogućuju izradu delova u hladnom stanju od tzv. teškodeformabilnih materijala. U teškodeformabilne materijale spadaju npr. legure na bazi Ti, Al, Mg; i visokolegirani čelici koje se koriste u avio, kosmičkoj i nuklearnoj tehnici, čija obrada se vrši primenom hidrostatičke obrade, VBO postupaka, superplastične obrade itd.

Kada je u pitanju projektovanje i konstruisanje delova koji će se proizvoditi metodama obrade deformisanjem, treba uvažavati karakteristike i mogućnosti ove tehnologije, te na taj način iskoristiti njene komparativne prednosti u odnosu na druge metode obrade metala. U ovom radu analizirana su dva aspekta OMD: aspekt promene osobina materijala usled plastične deformacije i aspekt pravilnog oblikovanja konstrukcije s obzirom na mogućnosti obrade metala deformisanjem, tj. aspekt tehnološkičnosti konstrukcije.

2. OJAČAVANJE MATERIJALA

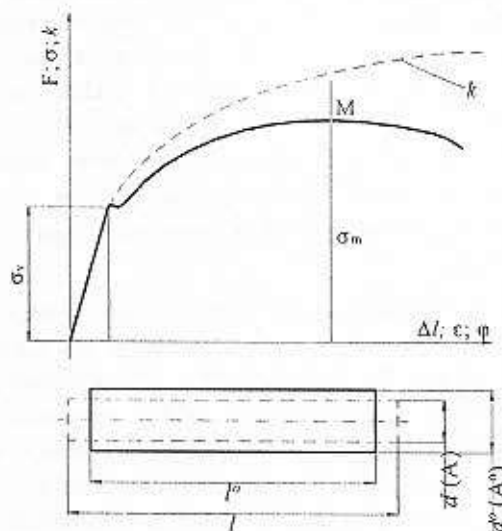
Tokom plastične deformacije neprekidno se menja struktura materijala u odnosu na početno stanje, što za posledicu ima promenu mehaničkih svojstava. Ova pojava izraženija je kod procesa koji se odvijaju na temperaturama ispod temperature rekristalizacije (hladna obrada) u odnosu na obradu u toplom stanju kada je $T > T_r$. Po pravilu, porastom stepena deformacije dolazi do povećanja granice razvlačenja (σ_r), čvrstoće

(σ_m) i tvrdoće materijala (HB), dok istovremeno materijal gubi plastična svojstva, odnosno, opada žilavost materijala i izduženje (sl. 1). Ova pojava poznata je pod nazivom ojačavanje i u potpunosti se



Sl. 1.- Promena mehaničkih svojstava materijala [1]

može definisati eksperimentalnim ispitivanjem. U tom smislu najjednostavnije je analizirati rezultate koji su dobijeni standardnim ispitivanjem na zatezanje (sl. 2).



Sl. 2.- Ispitivanje zatezanjem

Naime, standardnim ispitivanjem na zatezanje dobijaju se osnovni podaci, tj. osnovne mehaničke karakteristike materijala, kao što su:

- granica razvlačenja $\sigma_v = \frac{F_v}{A_0}$
- čvrstoća materijala $\sigma_m = \frac{F_m}{A_0}$

koje predstavljaju nominalno opterećenje epruvete u datom trenutku, tj. naprezanje koje se dobija kao rezultat svođenja sile u odnosu na početni poprečni

presek. Međutim, stvarni napon u epruveti je veći od nominalnog, jer pri izduživanju epruvete dolazi do smanjenja njenog prečnika, odnosno, preseka, pa je na osnovu toga:

$$k = \frac{F}{A} > \sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

Kako je zapremina mernog dela epruvete konstantna ($V_0 = V$), to je $A_0 \cdot l_0 = A \cdot l$

$$k = \frac{F}{A} \cdot \frac{A_0}{A_0} = \frac{F}{A_0} \cdot \left(\frac{A_0}{A} \right) = \sigma \cdot \left(\frac{A_0}{A} \right) = \sigma(1 + \epsilon) \quad (2)$$

gde je:

$$\epsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{l}{l_0} - 1$$

Iz jednačine (2) proizilazi da je stvarni napon (k) uvek veći od nominalnog (σ). Stvarni napon se može definisati kao odgovarajući nivo napona tečenja, odnosno, granice razvlačenja za dostignuti nivo deformacije, a u suštini predstavlja trenutni deformacioni otpor, koji se neprekidno povećava sa porastom stepena deformacije. Relacija (2) važi do tačke M u dijagramu zatezanja, koja predstavlja trenutak pojave lokalizacije deformacije, tj trenutak kada dolazi do promene naponske šeme u vratu epruvete, kada jednoosno zatezanje prelazi u troosno. Međutim, stvarni napon raste i dalje od tačke M ali se više ne može definisati relacijom (2). Zbog toga se za praktično određivanje krive ojačavanja primenjuju druge metode, npr. metoda Rastegajeva, [6] koja omogućuje da se kriva ojačavanja odredi u znatno većem dijapazonu stepena deformacije.

Na osnovu iznetog, proizilazi da prilikom konstruisanja mašinskih delova, namenjenih za izradu metodama obrade deformisanjem, treba imati u vidu konačnu vrednost granice razvlačenja koja će uslediti nakon izrade posmatranog dela. Efekat ojačavanja materijala kod hladne deformacije ima za posledicu viši kvalitet proizvoda s obzirom na nosivost u odnosu na alternativne metode obrade.

3. TEHNOLOGIČNOST KONSTRUKCIJE

Analiza tehnologičnosti konstrukcije predstavlja analizu posmatranog elementa sa stanovišta mogućnosti njegove izrade određenom tehnološkom metodom. Po pravilu, analiza tehnologičnosti konstrukcije predstavlja prvu tačku u projektovanju tehnologije izrade. Pri tome, analiza tehnologičnosti obuhvata analizu tri segmenta: 1.-geometriju konstrukcije dela; 2.-analizu materijala; 3.-analizu moguće veličine serije. Svaka tehnološka metoda obrade deformisanjem ima određene zahteve u pogledu analize tehnologičnosti konstrukcije, čije

zadovoljenje u mnogome olakšava izradu posmatranog proizvoda sa minimalnim troškovima proizvodnje.

Broj metoda obrade deformisanjem prilično je velik, međutim, u ovom radu analiza tehnologičnosti konstrukcije, prikazana je samo za neke karakteristične postupke oblikovanja delova od lima i neke od metoda zapreminskog deformisanja.

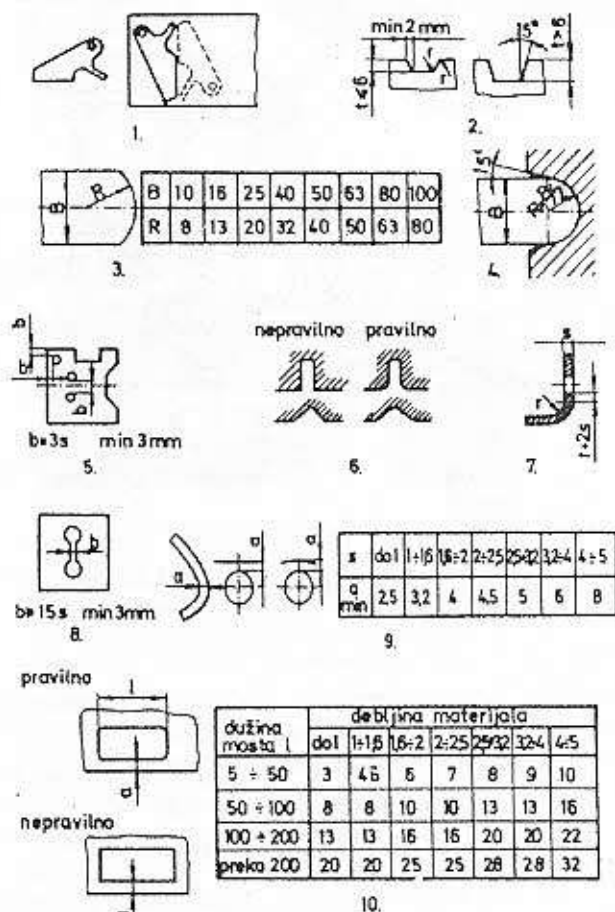
3.1. Analiza tehnologičnosti konstrukcije u obradi lima

Osnovne metode obrade lima su:

- Odsecanje,
- Razdvajanje presovanjem,
- FRP,
- Savijanje,
- Duboko izvlačenje,
- Reljefna obrada,
- Kombinovana obrada itd.

3.1.1. Razdvajanje presovanjem

Ova tehnološka metoda omogućuje isecanje veoma različitih kontura od lima različitog kvaliteta. Izvodi se na presama uz upotrebu specijalnih alata, čiji su osnovni elementi žig i matrica. Tehnolično konstruisani delovi moraju respektovati preporuke date na sl. 3.

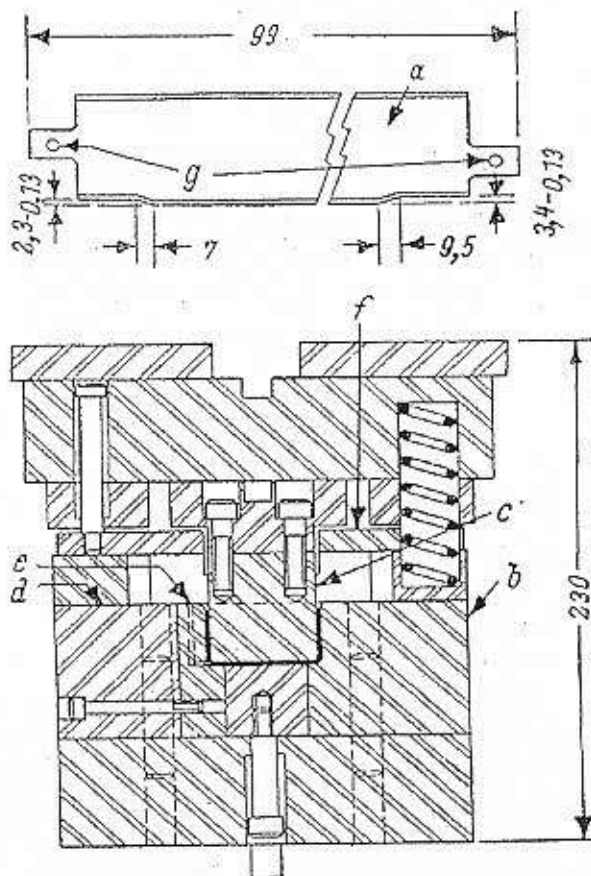


sl. 3.- Tehnolično oblikovanje delova s obzirom na razdvajanje presovanjem [1]

U pogledu veličine serije treba naglasiti da je primena ove tehnologije racionalna samo u slučaju serijske proizvodnje. Većina mašinskih materijala se uspešno obrađuje ovim postupkom.

3.1.2. Savijanje

Savijanje je tehnološka metoda koja spada u red najčešće primenjivanih postupaka obrade deformisanjem. Savijanjem se mogu oblikovati vrlo složene konfiguracije delova. Ima više postupaka savijanja, međutim, ovde je analizirano savijanje na presi uz pomoć specijalnog alata. U tom slučaju, analiza tehnologičnosti, pored razmatranja materijala i veličine serije, odnosi se na proveru radijusa savijanja.



sl. 4.- Kombinovana obrada- razdvajanje i savijanje

Naime, premale vrednosti radijusa savijanja dovode do razaranja materijala, dok prevelike vrednosti ne dovode do plastične deformacije. Zbog toga mora biti ispunjen uslov:

$$r_{min} < r < r_{max} \quad (3)$$

Minimalna vrednost radijusa savijanja određuje se prema izrazu:

$$r_{min} = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{\epsilon_m} - 1 \right) \quad (4)$$

a maksimalni prema izrazu:

$$r_{max} = \frac{s}{2} \left(\frac{I}{\epsilon_v} - I \right) \cong \frac{s}{2} \cdot \frac{E}{\sigma_v} \quad (5)$$

gde je:

s - debljina lima

ϵ_m - deformacija u trenutku dostizanja čvrstoće materijala

ϵ_v - deformacija na granici razvlačenja

E - modul elastičnosti

Za savijanje u specijalnim alatima kritična je vrednost r_{min} koja se određuje na osnovu eksperimentalnih podataka:

$$r_{min} = c \cdot s \quad (6)$$

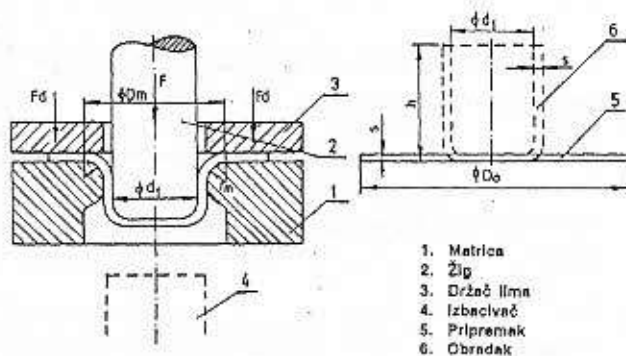
gde se "c" određuje iz tabele 1.

Tabela 1.-Vrednosti konstante "c" [1]

Materijal	c
Č 0210	1.5
Č 0300	1.8
Č 0400	2.0
Č 0145	0.5
Ms 60	0.4
Cu 63 Zn	0.4
Cu 72 Zn	0.3
Cu	0.25

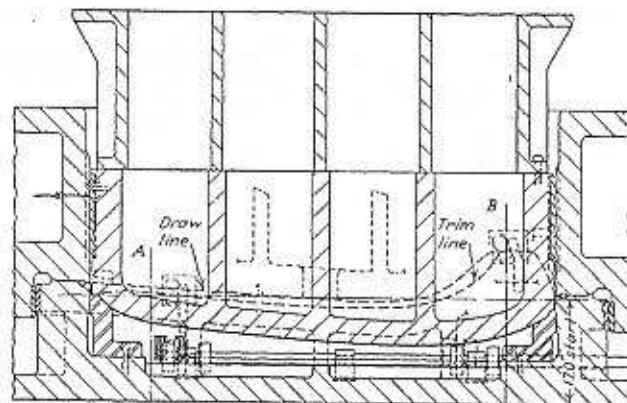
3.1.3. Duboko izvlačenje

Duboko izvlačenje je tehnologija obrade lima koja omogućuje izradu kutijastih delova različitih oblika (cilindričnih, stepenastih, konusnih, sferičnih, nesimetričnih itd.). Veliki značaj duboko izvlačenje ima za automobilsku industriju, jer se većina delova karoserije izrađuje upravo dubokim izvlačenjem. Međutim, duboko izvlačenje ima primenu i u drugim industrijskim granama, kao što je elektrotehnika, bela tehnika, vazduhoplovstvo, namenska tehnika itd.

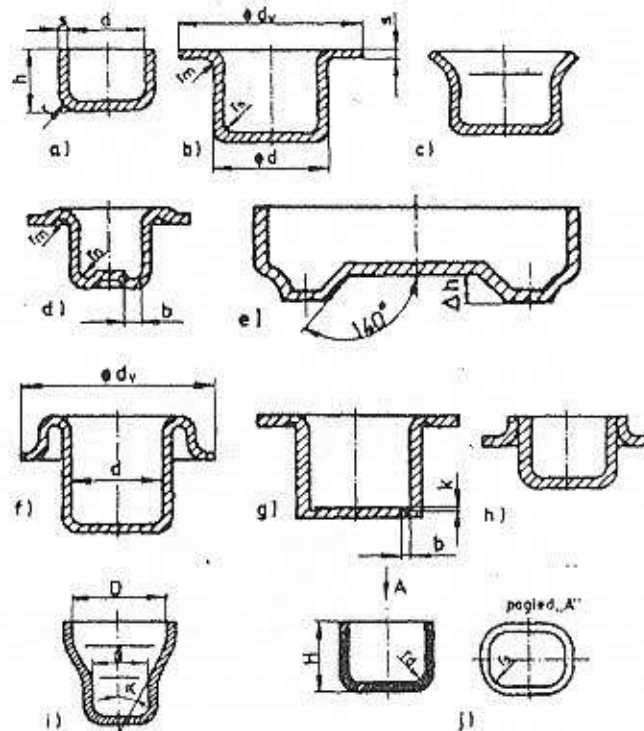


sl.5.- Duboko izvlačenje osnovna šema procesa

Teorija procesa dubokog izvlačenja, veoma je bogata, ali nažalost, najviše je razvijena na najjednostavnijem procesu, tj. na dubokom izvlačenju cilindrične posude. S tim u vezi, i osnovna ograničenja, odnosno, smernice tehnološkičnosti konstrukcije, u najvećoj meri se odnose na cilindrične obratke.



sl. 6 - Izrada krova automobila [2]

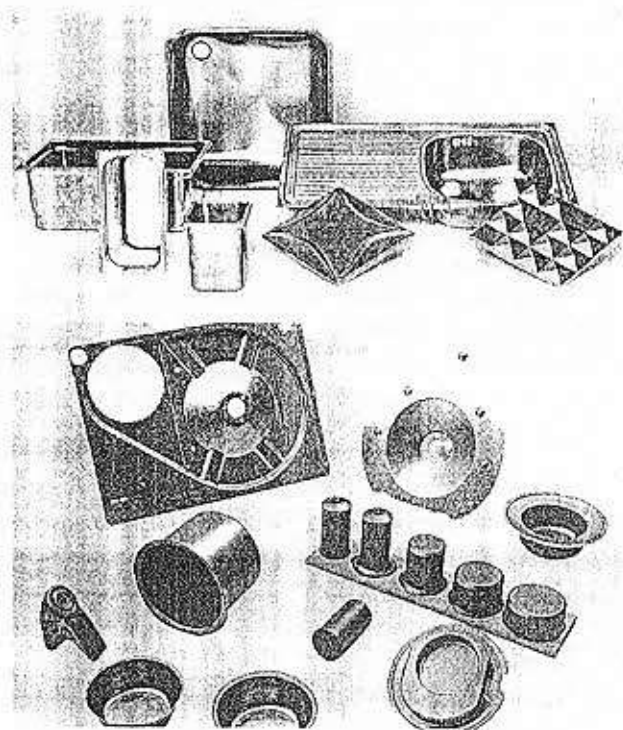


Sl. 7.- Tehnološkičnost konstruktivnog oblika obratka [1]

Na sl. 7 dati su primeri, odnosno, preporuke za tehnološkično konstruisanje delova namenjenih ovoj tehnologiji. Osnovni principi su sledeći:

- Najtehnološiji deo je cilindrični koji se može dobiti u jednoj operaciji izvlačenja,
- Veličina radijusa $r = (1.5 \div 2)s$ (sl. 7a).
- Prečnik venca obratka (sl. 7b) $d_v = d + 12 \cdot s$, a radijus $r_m = (2 \div 3)s$.

- Konusne i sferične forme treba izbegavati. Izbegavati dodatna ispuščenja na dnu obratka (sl. 7d i e).
- Izbegavati elemente koji se oblikuju kontraizvlačenjem (venac na sl. 7f, bolje je rešenje sl. 7h).
- Izbegavati konstrukcije sa malim radijusima (sl. 7g).
- Kod kutijastih delova preporučuje se da radijusi budu: $r_d > 1.5s$; $r_s > 3s$.
- U pogledu materijala za duboko izvlačenje su najpovoljniji, dva puta dekapirani limovi od čelika: Č0146; Č0147 i Č0148. Moguća je izrada delova dubokim izvlačenjem i od drugih čelika, sa većim sadržajem ugljenika (najviše do 1%). Osim toga, dubokim izvlačenjem se uspešno izrađuju delovi od nerđajućih, tzv. austenitnih hrom-nikl čelika itd.
- U pogledu veličine serije, kada je u pitanju duboko izvlačenje, treba računati sa proizvodnjom većeg broja komada (serijska proizvodnja).



sl. 8.- Delovi dobijeni dubokim izvlačenjem

3.2. Tehnologičnost konstrukcije kod zapreminskog deformisanja

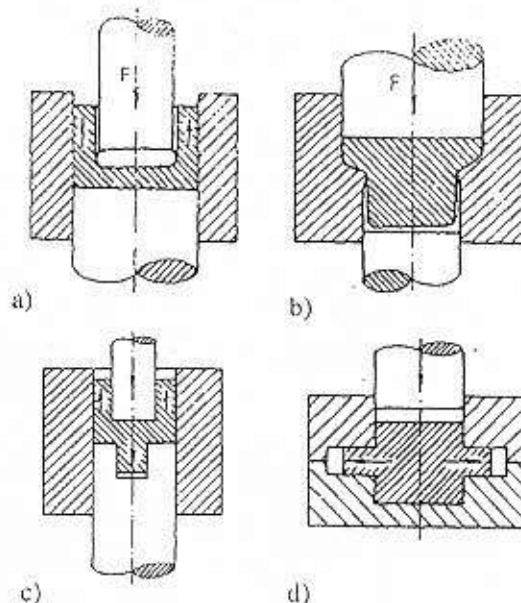
Metode zapreminskog deformisanja izvode se u hladnom (istiskivanje, utiskivanje, vučenje, valjanje navoja i župčanika, hladno kovanje) i u toplom stanju, kada je reč uglavnom o kovanju. Svaka od navedenih metoda podleže analizi tehnološkičnosti konstrukcije. U ovom radu, za ilustraciju je prikazana analiza kod hladnog istiskivanja i kovanja.

3.2.1. Hladno istiskivanje

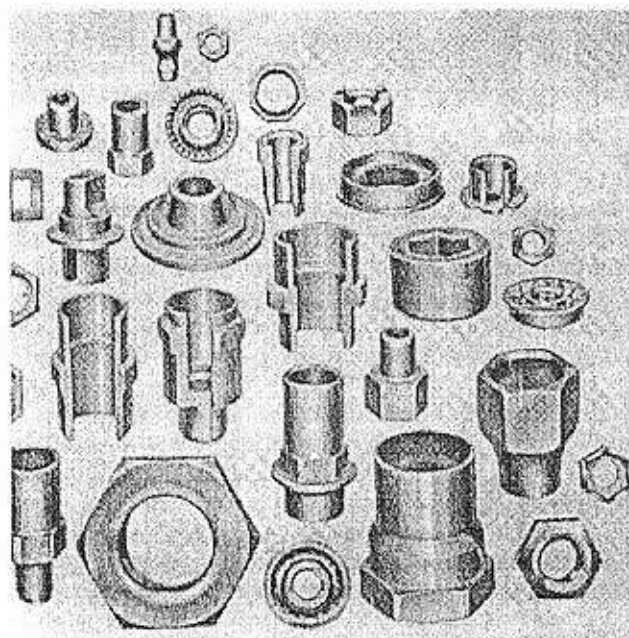
Metode hladnog istiskivanja su:

- suprotnosmerno istiskivanje, (sl. 8a)
- istosmerno istiskivanje, (sl. 8b)
- kombinovano istiskivanje, (sl. 8c)
- radialno istiskivanje (sl. 8d).

U pogledu zastupljenosti prva dva postupka istiskivanja apsolutno dominiraju.



sl. 8. - Hladno istiskivanje



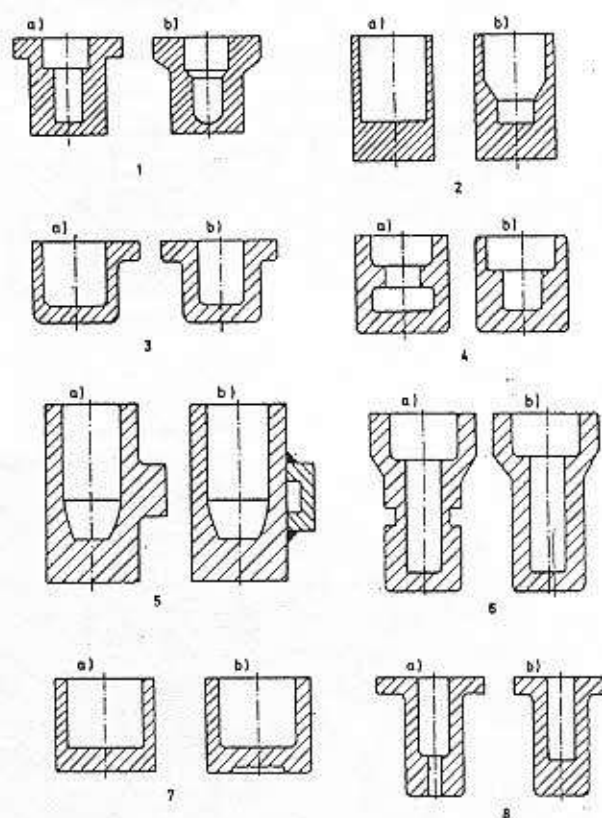
sl. 9- Delovi dobijeni hladnim istiskivanjem

Postupak hladnog istiskivanja poznat je još iz 19. veka, ali je do njegove značajnije primene došlo pred II. svetski rat, zahvaljujući pronalasku specijalnog postupka podmazivanja poznatog kao proces fosfatiranja, koji je omogućio primenu ove tehnologije na izradu delova od čelika.

Osnovne karakteristike hladnog istiskivanja:

- Omogućuje izradu delova u obliku posude (suprotnosmerno istiskivanje) i delova tipa osovinnice promenljivog preseka (istosmerno istiskivanje) sl.9;
- Step deformacije u jednoj operaciji je vrlo visok i ojačavanje vrlo intenzivno;
- Tačnost izrade po prečniku je visoka ($\pm 0.01\text{mm}$) a po visini niža;
- Kvalitet obrađene površine visok.

Za analizu tehnološkičnosti konstrukcije delova čija se izrada planira hladnim istiskivanjem, sa aspekta oblika i geometrije treba imati u vidu preporuke date na sl.10.

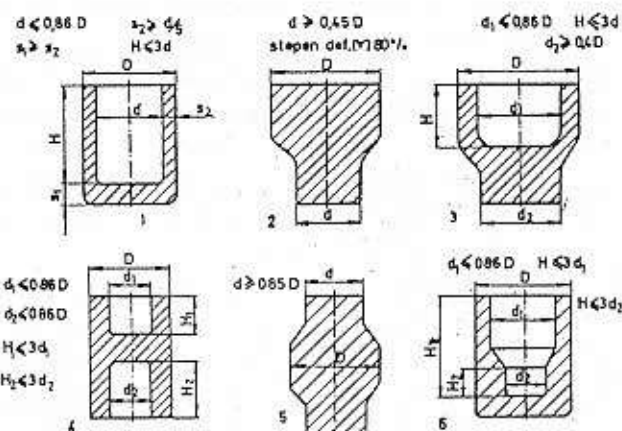


sl.10. - Analiza tehnološkičnosti oblika delova za hladno istiskivanje: a) netehnološki oblik; b) tehnološki oblik [1].

Osim toga, pravilno konstruisanje delova za hladno istiskivanje zahteva primenu preporuka datih na sl.11.

Osim navedenih predloga, postoje i drugi koji su detaljno navedeni u literaturi (npr. 1).

U pogledu materijala, za hladno istiskivanje se preporučuju niskougljeni čelici, npr. Č1120; Č1121; Č1220; Č1221; Č1331 i sl.



sl.11.- Odnosi dimenzija kod hladnog istiskivanja [1].

Osim toga, hladnim istiskivanjem se obrađuju i čelici za poboljšavanje: Č1330; Č1430; Č1431; Č1530; Č1531 itd. Takođe se hladnim istiskivanjem mogu oblikovati i legirani čelici, ali prepreka je da je sadržaj legirajućih elemenata niži.

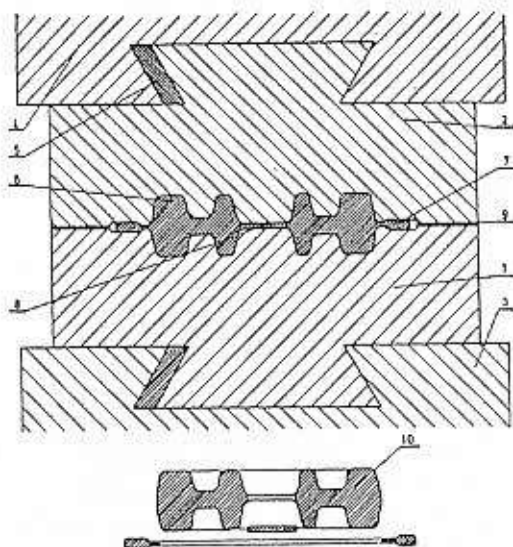
Što se tiče veličine serije, hladno istiskivanje je tehnologija velikoserijske proizvodnje.

3.2.2. Kovanje

Kovanje je proces tople obrade koji se izvodi na temperaturama višim (i to znatno) od temperature rekristalizacije. Ovom tehnologijom dobijaju se vrlo složeni i kvalitetni delovi. Osnovne karakteristike kovanja su:

- Dobra mehanička svojstva otkovaka, pogotovu dinamička čvrstoća;
- Kovanjem se obrađuje širok dijapazon čeličnih materijala;
- Veliki asortiman delova u pogledu oblika, dimenzija i tačnosti;
- Kvalitet površine lošiji u odnosu na hladnu obradu, pa se funkcionalne površine moraju obrađivati.

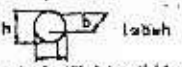
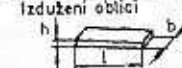
Vrste kovanja su: slobodno kovanje, kovanje u otvorenom kalupu i kovanje u zatvorenom kalupu. U ovom radu analizirano je kovanje u otvorenom kalupu sl.12. Oblici delova dobijenih kovanjem u kalupu klasifikuju se na razne načine, a jedna od značajnijih klasifikacija prikazana je na sl.13, prema kojoj se svi otkovci dele u tri klase: 1-trodimenzijski; 2-dvodimenzijski; 3-šipkasti.



sl.12.-Kovanje u otvorenom kalupu

treba se pridržavati određenih pravila detaljno prikazanih u literaturi [1].

2. **Određivanje kovačkih nagiba** - Kovački nagibi su neophodni radi lakšeg vađenja otkovka iz kalupa. Orientaciono se može reći da su kovački nagibi na unutrašnjim površinama 10° a na spoljašnjim 7° .
3. **Kovački radijusi** - umanjuju habanje kalupa i poboljšavaju tečenje metala. Veličine se određuju na osnovu geometrijskih kriterijuma [1].
4. **Minimalna debljina kovanja** - definiše se u dva pravca: a) u pravcu kretanja alata, prisutna pri kovanju prolaznih otvora; b) u pravcu upravnom na pravac kretanja alata, a pojavljuje se pri kovanju orebrenja.
5. **Dodaci za obradu** - predstavljaju sloj materijala koji se uklanja mehaničkom obradom na funkcionalnim površinama. Dodatak za obradu mora biti dovoljan da obezbedi uklanjanje razugljeničenog sloja i

OBLIK KLASA 1 kompaktni oblici		Isažih delovi slični kugli i kocki	Podgrupa Grupa	101 Bez izdanaka	102 Sa izdankom sa jedne strane	103 Sa prstenastim izdankom	104 Sa izdankom na jednoj strani i pr- stenastim izdankom	
								
OBLIK KLASA 2			Podgrupa Grupa	Bez izdanaka	Sa glavčinom	Sa glavčinom i otvorom	Sa vencem (prstenom)	Sa vencem i glavčinom
Delovi kružnog, kvadratnog i sl. oblika u osnovi, kristalasti delovi sa kratkim krakima, delovi sa glavom na većoj dužini			21 Pločasti oblici sa izdancima na jednoj strani	211	212	213	214	215
			22 Pločasti oblici sa obostranim izdan- cima	221	222	223	224	225
OBLIK KLASA 3 Izdruženi oblici		$l > b \geq h$ Delovi sa izduženom osom Duzinske grupe: 1. Kratki delovi $l < 3b$ 2. Poludugački delovi $l = 3-8b$ 3. Dugački delovi $l = 8-16b$ 4. Veoma dugački delovi $l > 16b$	Podgrupa Grupa	Bez izdanaka	Sa izdancima kopi leže simet- rično u odnosu na osu glavnog oblika	Sa otvorenim ili zatvorenim viljuškom	Sa izdancima nesimetričnim prema osi glavnog oblika	Sa dva ili više različitih izda- naka slične veličine
			31 Oblik glavnog ele- menta sa pravom uzdužnom osom	311	312	313	314	315
			32 Uzdužna osa glavnog elementa savijena u jednoj ravni	321	322	323	324	325
			33 Uzdužna osa elementa savijena u više ravnii	331	332	333	334	335

sl.13.-Klasifikacija otkovaka-Spies [1]

Pravilno konstruisanje delova namenjenih tehnologiji kovanja u otvorenom kalupu, zahteva primenu preporuka koji se odnose na postupak konstruisanja otkovka a koji obuhvata:

1. **Određivanje položaja podeone ravni** - tj. ravni koja deli otkovak na dva dela, i značajno utiče na tečenje materijala, parametre procesa i kvalitet otkovka. Za određivanje položaja podeone ravni

postizanje određenog kvaliteta površine i tačnosti dimenzija. Minimalan dodatak za obradu je 1.5mm.

6. **Tolerancije otkovaka** - definišu tolerancijsko polje, tj. donje i gornje odstupanje pojedinih mera. Prema DIN7526 [1] tolerancije otkovaka zavise od:
 - težine otkovka
 - stepena složenosti ($S_1; S_2; S_3; S_4$)
 - veličine elementa (l)
 - obradivosti materijala (M_1 i M_2)
 - klase tačnost otkovka (A; B)

Na sl.14. data je, ilustracije radi, jedna od tabela koja sadrži podatke o tolerancijama otkovka.

Eksterni, polovna i lin. dimenzije	Svrh	težina (doN)	obradivost materijala	Složenost	Područje nominalne mere					
					Tolerancije i dozvoljena odstup					
					Iznad 0					
					do 32	32	100	160	250	400
dozv.	izv.	izv.	izv.	izv.	do 32	100	160	250	400	630
0,1	0,3	0	0,4		0,07	0,08	0,09	0,1	0,11	0,12
0,3	0,4	0,4	1		0,08	0,09	0,1	0,11	0,12	0,13
0,4	0,4	1	1,8		0,09	0,1	0,11	0,12	0,13	0,14
0,4	0,5	1,8	3,2		0,1	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
0,5	0,6	3,2	5,4		0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16
0,6	0,7	5,4	10		0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17
0,7	0,8	10	20		0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
0,8	1	20	50		0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19
1	1,2	50	120		0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2
1,2	1,4	120	250		0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21
1,4	1,7				0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22

sl.14.- Tolerancije otkovaka [1]

4. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada je približavanje tehnologije obrade deformisanjem projektantima i konstruktorima, koji se bave kreiranjem novih konstrukcija. U radu su prikazana dva aspekta ove tehnologije.

Prvi aspekt odnosi se na analizu fenomena deformacionog ojačavanja materijala, koji je naročito istraženo kod hladne i polutople obrade. Ojačavanje veoma značajno povećava osnovne mehaničke karakteristike materijala, σ_y i σ_m .

Drugi aspekt obrade deformisanjem razmatran u ovom radu, daje praktična uputstva i preporuke konstruktorima za kreiranje konstrukcija, odnosno, mašinskih delova, koji će se moći uspešno oblikovati metodama tehnologije plastičnog deformisanja. Prikazana uputstva za tehnologijsko konstruisanje, obuhvataju samo neke od metoda obrade deformisanjem, a njihova praktična primena zahteva korišćenje specijalizovane literature iz područja obrade deformisanjem.

LITERATURA

- [1] Vujović V.: Tehnologija plastičnosti u mašinstvu I-dio, FTN, Novi Sad, 1990.
- [2] Die designe handbook, McGraw-Hill, New York, 1955.
- [3] Musafija B.: Obrada metala plastičnom deformacijom, Univerzitet u Sarajevu, 1970.
- [4] Plančak M., Vilotić D., Vujović V.: Tehnologija plastičnosti u mašinstvu II, FTN, Novi Sad, 1992.
- [5] Bremberger M.: Stanzerei-Handbuch für konstruktoren, München 1965.
- [6] Vilotić D.: Ponaanje čeličnih materijala u različitim obradnim sistemima hladnog zapreminskog deformisanja, FTN, Novi Sad, 1986.
- [7] Lange K.: Lehrbuch der Umformtechnik, Band 1., 2., Springer-Verlag, Berlin, 1974.

MACHINE PARTS DESIGN FROM THE POINT OF APPLICATION OF METAL FORMING TECHNOLOGY

Prof. dr Dragiša Vilotić, FTN Novi Sad
Prof. dr Miroslav Plančak, FTN Novi Sad
Mr Ilija Trbojević, FTN Novi Sad
Dipl. ing. Đorđe Čupković, FTN Novi Sad

Summary

By metal forming technologies a wide range of products can be produced. This technology offers a significant advantages when compared to other metal working technologies: material saving, time reduction, cost reduction and, last not least, high mechanical properties of workpiece. However, in order to create a successful metal forming production workpiece design has to be made according to a certain rules.

The present paper is bound to the problem of technological feasibility of the metal forming workpieces in connection with the most appropriate method of production by technology of plasticity.

Key words: design, metal forming, technological feasibility

Adresa za kontakt:

Prof. dr Dragiša Vilotić
Fakultet Tehničkih Nauka
21000 Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 6

OBLIKOVANJE METALNIH PROIZVODA PODVRGNUTIH TERMIČKOJ OBRADI

Prof. dr Svetislav Jovičić, Mašinski fakultet Kragujevac

Rezime

Odgovorni metalni proizvodu često moraju biti podvrgnuti termičkoj obradi radi povećanja tvrdoće. Ti proizvodi treba da budu oblikovani tako da budu prilagođeni termičkoj obradi. Oblik metalnih delova podvrgnutih termičkoj obradi treba tako izabrati da ne dođe do pojave preteranih zaostalih napona, deformacija i vitoperenja i da se izbegne nastajanje pukotina u materijalu. To se postiže ublažavanjem koncentracije napona u kritičnim oblastima delova, ujednačavanjem preseka delova, i smanjenjem nesimetričnosti delova.

Ključne reči: Oblikovanje, Termička obrada

1. Uvod

Konstruisanje za izradu DFM (Design for Manufacture) obuhvata niz programa, tehnika, alata, metoda i upustava za oblikovanje proizvoda i njegovih delova radi unapređenja njihove fabrikacije [1]. Preporuke DFM daju se u zavisnosti od vrste izrade i vrste materijala. Kada su u pitanju odgovorni mašinski delovi oni se najčešće izrađuju od metala, odnosno pretežno od kvalitetnih čelika. Da bi im se povećale mehaničke osobine tvrdoće a time i čvrstoće kod ovakvih delova često se primenjuje termička ili hemijsko termička obrada. Oblikovanje takvih delova treba da bude prilagođeno procesu uspešne termičke i hemijskotermičke obrade.

2. Uticaji na termičku obradu

Pri zapreminskom ili površinskom otvrdnjavanju metodama termičke ili hemijskotermičke obrade kod odgovornih mašinskih delova dolazi do pojave unutrašnjih napona, izraženih deformacija i vitoperenja a može doći i do nastajanja pukotina na površini i u unutrašnjosti delova.

Karakter i intenzitet anomalija kao što su preterani unutrašnji zaostali naponi, izražene deformacije i pukotine, zavise od vida termičke ili hemijskotermičke obrade, vrste metala i konstrukcionog oblikovanja samih realnih delova. Pri neusaglašenosti uticaja ova tri faktora, termička i mehanička obrada koja sledi izvođe se otežano i postoji realna opasnost da dođe do neželjenih posledica.

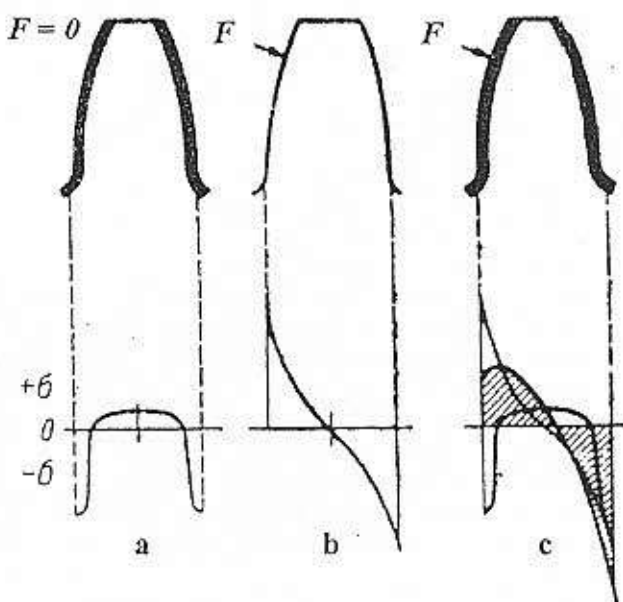
Za smanjenje zaostalih napona usled termičke obrade treba birati čelik takvog sastava koji u datom preseku obezbeđuje potrebnu tvrdoću pri najvećim dopuštenim temperaturama otpuštanja. Pri izboru materijala za delove koji rade u uslovima dugotrajnih promenljivih opterećenja treba uzeti u obzir da se zamorna čvrstoća snižava zavisno od nehomogenosti strukture nastale usled termičke obrade. Stoga se preporučuje da u tom slučaju treba birati čelike koji dopuštaju kaljenje u ulju ili na vazduhu sa temperaturom otpuštanja ne nižom od 400°C.

Pokretni mašinski delovi koji su u eksploataciji izloženi habanju treba da imaju visoku tvrdoću na površini dodira s uparenim delovima kao i potrebna mehanička svojstva jezgra. Povećana tvrdoća površine na zadatu dubinu može se ostvariti delimičnim ili opštim kaljenjem ili hemijskotermičkom obradom kao što je cementacija sa kaljenjem ili nitrocementacija sa kaljenjem i azotiranjem.

Oblik metalnih delova podvrgnutih termičkoj obradi treba tako izabrati da ne dođe do pojave preteranih zaostalih napona, deformacija i vitoperenja i da se izbegne nastajanje pukotina u materijalu. To se postiže ublažavanjem koncentracije napona u kritičnim oblastima delova, ujednačavanjem preseka delova, i smanjenjem nesimetričnosti delova.

3. Uticaj koncentracije napona usled promene oblika

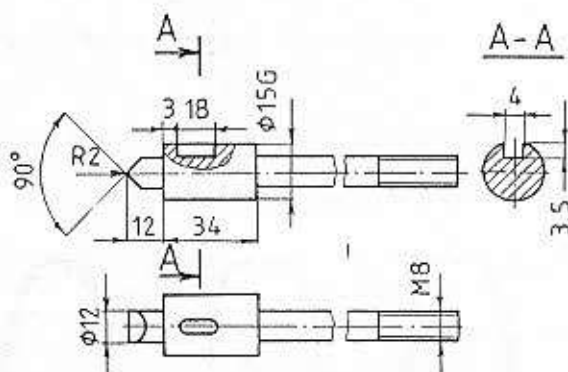
Na slici 1 šematski je prikazan uticaj zaostalih napona u zupcima cementiranih zupčanika na ukupne napon u korenu zupca pri eksploataciji zupčanika.



Slika 1 Uticaj zaostalih napona u zupcima cementiranih zupčanika [2]

Posle cementacije, kaljenja u ulju i niskog otpuštanja u površinskoj oblasti korena zupca javljaju se zaostali naponi na pritisak dok se u unutrašnjosti podnožja zupca javljaju zaostali naponi na istezanje - slika 1a. Kod termički neobrađenih zupčanika pri radu javlja se savijanje zupca usled radne sile F - slika 1b. Radni naponi usled savijanja superponiraju se sa unutrašnjim naponima usled

cementacije kad je u pitanju termički obrađen zupčanik - slika 1c. Raspon dela ukupnih napona, prikazana šrafirano, ukazuje na povećanje najvećeg napona na pritisak i smanjenje najvećeg napona na istezanje o čemu treba voditi računa pri projektovanju termički obrađenih zupčanika. Oblikovanje delova podvrgnutih termičkoj obradi treba da spreči neželjene posledice usled pojavu koncentracije napona i preteranih deformacija pa stoga treba izbegavati nagle promene oblika dela kao što su žljebovi, oštri prelazi, zarezi i grubo obrađene površine i šavovi pri zavarivanju. Unutrašnji uglovi i nagli prelazi na delovima treba da su zaobljeni da bi se izbegla pojava pukotina pri kaljenju. Kod delova koji se kale u vodi radijusi zaobljenja mora da budu veći od 0,5 mm a kod delova koji se kale u ulju veći od 0,25 mm [3]. Kada su radijusi zaobljenja mali neophodne su mere za dodatnu zaštitu delova od pojave pukotina u uglovima i na mestima naglih prelaza, što usložava i poskupljuje termičku obradu. Nepovoljan uticaj koncentracije napona je utoliko veći što su veći zahtevi za tvrdoćom. Na mestima prelaza potrebno je da radijusi zaobljenja budu maksimalno dopustivi. Zaobljenja su naročito važna kod unutrašnjih uglova delova koji su veliki izvori koncentracije napona. Poželjno je da vrednosti radijusa na tim mestima ne budu manji od 2 mm.



Slika 2. Oblik dela kod koga se javljala pukotina u korenu
žlieba za klin

Uticaj koncentracije napona može se smanjiti pravilnim izborom vrste čelika, vrste termičke obrade i smanjenjem tvrdoće. Tako se na mašinskim delovima prikazanim na slici 2 promenom vrste čelika ili termičke obrade izbegava pojava razaranja materijala na mestima koncentracije napona. Na delu prikazanom na slici 2 od Č1530 s tvrdoćom od 45 do 50 HRC po dimenziji 12 mm, pri kaljenju u vodi nastala je pukotina u žljebu za klin. Zamena pomenute vrste čelika sa čelikom Č4131 dozvolila je da se kaljenje izvede u ulju čime je sprečeno obrazovanje pukotine.

4. Uticaj neujednačenosti preseka

Delovi koje treba termički obraditi treba da imaju što ujednačeniju debljinu, bez tankih krajeva i nastavaka a zidovi šupljih delova treba da su jednakih debljina. Preseci delova treba da su po mogućstvu simetrični jer velika asimetrija može pri termičkoj obradi dovesti do izraženih deformacija kao i razaranja delova.

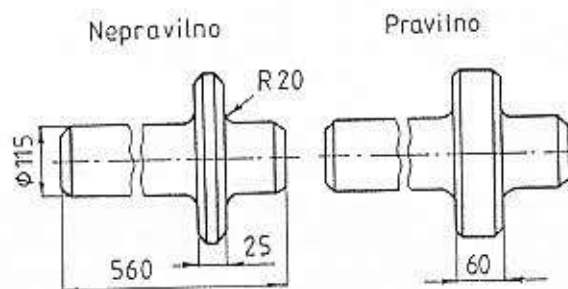
Kod delova koji imaju unutrašnje šupljine potrebno je obezbediti odvođenje pare koja se obrazuje prilikom

kaljenja. U protivnom ne može se obezbediti potrebna tvrdoća na unutrašnjim zidovima a istovremeno može doći do vitoperenja i pojave pukotina pri kaljenju. Ako kaljenje otvora u mašinskim delovima nije neophodno onda se oni zaštićuju čepovima od vatrostalnog materijala a tada na crtežima obavezno treba posebno naznačiti da se unutrašnje površine otvora ne kale. Preporučuje se takode da za unutrašnje površine slepih otvora i kružnih žljebova koji se cementiraju ne treba predviđati visoke vrednosti tvrdoće.



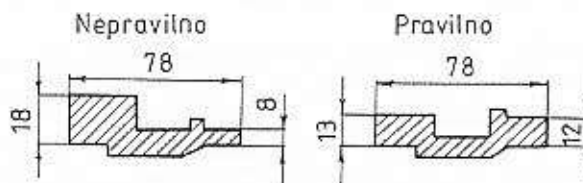
Slika 3 Smanjenje razlika debljine zidova

Velika razlika u merama pojedinih preseka delova (razlika u njihovoj masi) pri kaljenju izaziva velike napone koji dovode do vitoperenja i obrazovanja pukotina. Zato je potrebno konstrukcijski smanjiti razlike u debljini zidova u različitim preseccima - slika 3.



Slika 4. Proširenje prirubnice radi sprečavanja pojave pukotine

Na slici 4 prikazan je deo od Č4131. Prilikom njegovog kaljenja na mestu prelaza vratila u prirubnicu pojavljuje se pikotina. Povećanjem radijusa na mestu prelaza defekt se ne smanjuje. Povećanjem debljine prirubnice onemogućava se nastajanje pukotine.

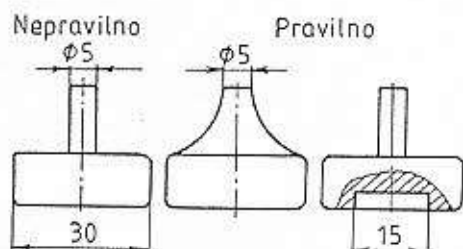


*Slika 5. Ojačanje tanje i slabljenje masivnije strane
mašinskog dela*

Vitoperenje može da se smanji ojačavanjem tanke strane profila i slabljenjem masivne strane. Na slici 5 prikazan je

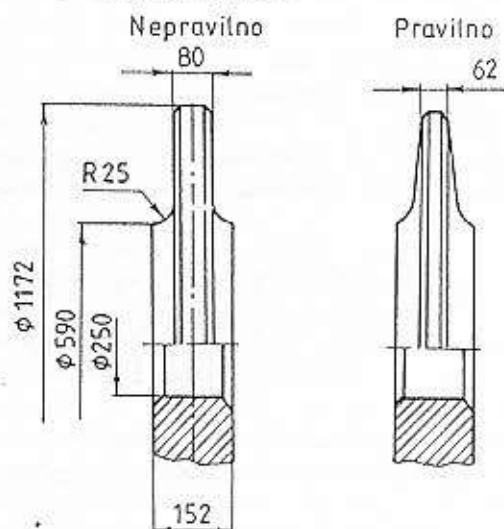
nepravilan i pravilan oblik mašinskog dela s aspekta pogodnosti oblika delova namenjenih termičkoj obradi.

Pri promeni preseka kod mašinskih delova treba izbegavati nagle prelaze od tankih preseka ka debelim. U delu prikazanom na slici 6 levo, prilikom kaljenja pojavljuje se pukotina usled oštrog uglova i neravnomernih preseka. Ako nije moguće datu konstrukciju zameniti sa konstrukcijom sa postepenim prelazom od tankih ka debelim presecima - slika 6 u sredini, onda treba primeniti konstrukciju prema slici 6 desno.



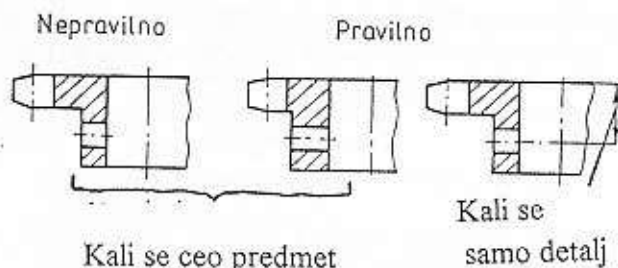
Slika 6. Smanjenje opasnosti od nastajanja pukotine pri kaljenju

U mašinskom delu od Č4731 prikazanom na slici 7 prilikom kaljenja na mestu prelaza od oboda na čauru javlja se pukotina. Uvođenjem postepenog prelaza kao na slici sprečava se nastajanje pukotine.



Slika 7. Postepeni prelaz s jedne debljine na drugu

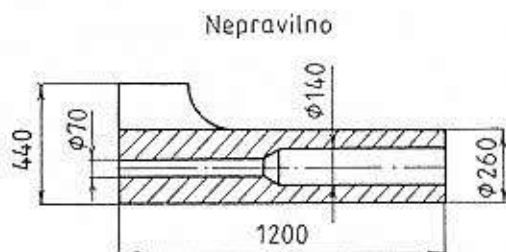
Otvori u tankim produžecima se ne preporučuju jer to dovodi do obrazovanja pukotina.



Slika 8. Otvor u zidu i kaljenje

Deo na slici 8 levo, ima otvor u tankom zidu što kod kaljenja nije preporučljivo. Ako to konstrukcioni zahtevi dozvoljavaju treba povećati debljinu osnovnog preseka kao na slici osam u sredini. Ako to nije moguće onda je potrebno deo podvrgnuti delimičnom ili površinskom kaljenju ostavljajući zid neokaljen - slika 8 desno.

Ako se ne može postići zahtevana tvrdoća na zadatim debljinama dela u nekim slučajevima neophodno je predvideti dopunske otvore za smanjenje mase. To povećava prokaljivost i obezbeđuje traženu čvrstoću dela.

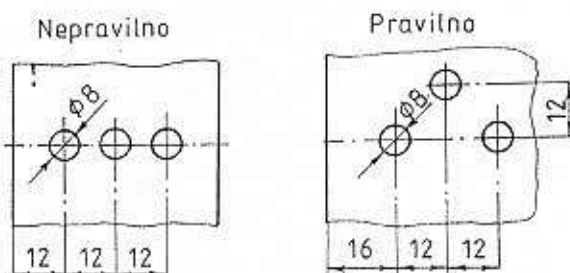


Slika 9. Dopunski otvori za smanjenje mase dela

Deo na slici 9 izrađen je od Č4571. Pri termičkoj obradi ovog dela na mestu većeg preseka ne obezbeđuju se zahtevana mehanička svojstva. Bušenjem dopunskih otvora $\Phi 70$ smanjuje se poprečni presek i na taj način se dobijaju željena mehanička svojstva. No na mestima gde se ti otvori presecaju pod ostrim uglom javljaju se pukotine. Obaranje ivica na mestu preseka dva otvora $\Phi 70$ omogućava termičku obradu dela bez obrazovanja pukotina.

5 Uticaj nebalansiranih napona

Narušavanje simetrije unutrašnjih napona dovodi do krivljenja dela a u pojedinim slučajevima i do pojave pukotina. konstrukcioni faktori koji dovode do asimetrije unutrašnjih napona pri termičkoj obradi su nesimetričan raspored otvora na nekoj od površina dela, otvori različitih dimenzija i oblika koji utiču na raspored mase dela i nesimetričan raspored ojačanih površina.



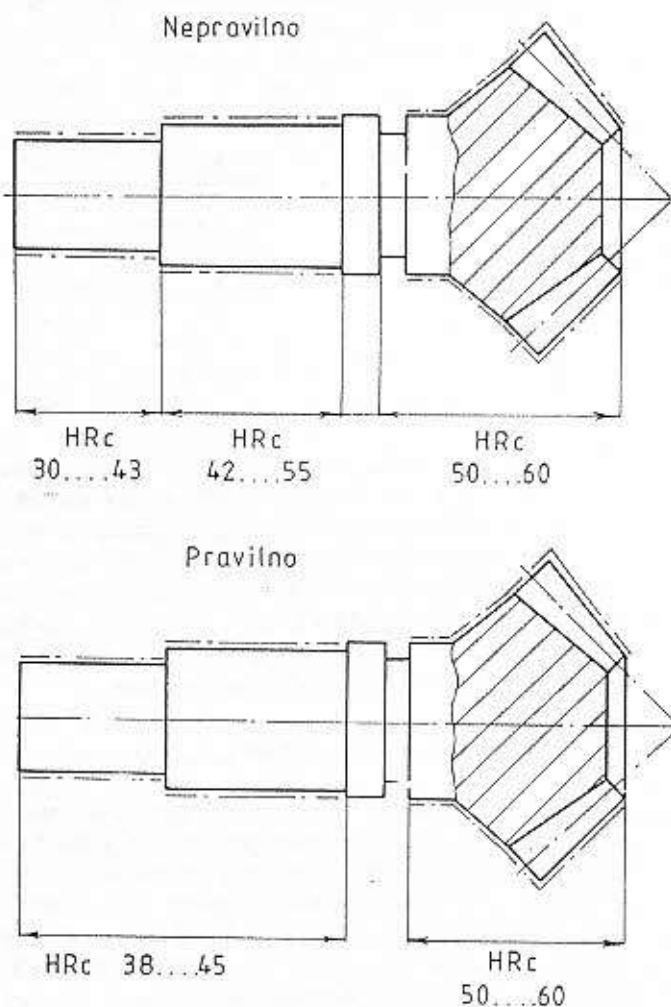
Slika 10. Pravilno razmeštanje otvora

Razmeštanje otvora na delovima koji se kale treba da bude takvo da rastojanje između centara najbližih otvora ili od centara do kraja dela ne bude manje od dva prečnika otvora - slika 10.

Radi uravnoteženja napona pri kaljenju treba težiti ostvarenju simetrije pri konstruisanju jer ona obezbeđuje ravnomernost rasporeda mase metala po konturi dela. To se postiže dopunskim otvorima za olakšanje, žljebovima itd.; sastavljanjem dela iz pojedinačnih manjih delova; simetričnim raspoređivanjem ojačanih površina dopuštajući u nekim slučajevima ojačanje površina koje nisu radne.

5. Uticaj delimične termičke obrade

Pri složenoj konfiguraciji mašinskih delova po mogućstvu treba naznačiti povišensku tvrdoću samo na pojedinim mestima - slika 11.



Slika 11. Nekoliko zona različite tvrdoće

Postojanje nekoliko okaljenih zona sa različitim tvrdoćama je krajnje nepoželjno. Zato se preporučuje da se takvi delovi podvrgnu kaljenju i otpuštanju radi dobijanja tvrdoće koja bi imala srednju vrednost u odnosu na prikazane vrednosti. Zone gde je potrebna povišena tvrdoća treba dopunski podvrgnuti površinskom kaljenju. Pri delimičnoj cementaciji moguć je različit raspored i odnos cementiranih i necementiranih zona. Ipak uvođenje dopunske zaštite od cementacije na pojedinim mestima,

poskupljuje proizvodnju. Zato gde god je moguće treba izvoditi cementaciju celog dela.

Pri ojačanju hemisko termičkom obradom površine koja ima veliku dužinu dolazi do deformacije dela. U pojedinim slučajevima potrebno je predvideti delimično kaljenje koje smanjuje krivljenje jer postojanje mekih zona omogućava ispravljanje delova.

7. Zaključak

Kod zapreminskog ili površinskog otvrdnjavanja metodama termičke obrade karakter i intenzitet anomalija zavisi od vida termičke ili hemijskotermičke obrade, vrste metala i konstrukcionog oblikovanja samih realnih mašinskih delova. Posledica neusaglašenosti uticaja ova tri faktora ogleda se u tome da se termička i mehanička obrada koja sledi izvede otežano i postoji realna opasnost da dođe do neželjenih posledica.

Pri oblikovanju metalnih proizvoda namenjenih termičkoj i hemijskotermičkoj obradi potrebno je voditi računa o praktičnim preporukama kojih se treba držati da bi te vrste obrade bile uspešno sprovedene. Izbegavanje ili ublažavanje nepovoljnih zaostalih napona, deformacija, vitoperenja i pojave pukotina pri termičkoj obradi postiže se ublažavanjem koncentracije napona u kritičnim oblastima delova, ujednačavanjem preseka delova, i smanjenjem nesimetričnosti delova.

Literatura

1. www.npd-solutions.com
2. Inženjersko tehnički priručnik, 6. knjiga, IP Rad, Beograd, 1976, s. 284-383
3. Анурев В.И., Справочник конструктора машиностроителя, Том 1., Машиностроение, 1982, с 497-506

FORMING OF METALLIC PRODUCTS UNDER HEAT TREATMENT

Professor dr Svetislav Jovicic
Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac

Summary

Heavy-duty metallic products are often heat treated to achieve better hardness. These products should be formed in accord with heat treatment. Design of metal parts for heat treatment should be in such a way to avoid all residual stress, deformation, distortion or cracks in material. That could be achieved by diminish of stress concentration in critical regions of parts, by balancing of cross sections and by decreasing of asymmetry.

Key words: Forming, Heat treatment

Adresa za kontakt:
dr Svetislav R Jovićić, red. prof.,
Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Sestre Janjić 6,

PRILOG RAZVOJU DFX ALATA U CAD OKRUŽENJU

Dr Ilija Čosić, red. prof., FTN - Novi Sad

Mr Zoran Anišić, viši predavač, FTN - Novi Sad,

VTŠ - Subotica

Igor Fuerstner, dipl. ing., asistent, VTŠ - Subotica

Rezime:

U radu je prikazana IIS-DFX platforma na čijim osnovama je moguće međusobno povezati i uskladiti raspoložive DFX (Design for eXcellence) alate za integralni razvoj proizvoda. Osnovu svih analiza čini jedinstven CAD model proizvoda na osnovu čega je obezbeđeno međusobno usklađivanje rezultata analiza sa različitim aspektima razvoja proizvoda, podižući time značajno njegov kvalitet. U toku je razvoj dva osnovna alata za analizu i povišenje pogodnosti proizvoda za montažu DFA (Design for Assembly) i obradu DFM (Design for Manufacturing), čiji će koncept i realizacija biti prikazana u radu.

Analiza pogodnosti proizvoda za montažu se sprovodi na nivou proizvodnog programa, strukture proizvoda predstavnika i na nivou delova. Uz pomoć razvijenog IIS-DFX alata moguće je utvrditi vreme i troškove trajanja zahvata (pomoćnih i osnovnih), kao i ukupno vreme montaže, uvodeći pri tom različite nivoe automatizacije. Sveukupni kvalitet proizvoda sa stanovišta montaže se iskazuje kroz koeficijent pogodnosti K_{pg} koji objedinjava analize na sva tri nivoa i pruža uvid u apsolutnu pogodnost proizvoda, ali mnogo više doprinosi pri međusobnom vrednovanju raspoloživih varijanti. IIS-DFM alat sadrži modul za obradu rezanjem, omogućujući dobijanje vrednosti režima i troškova obrade, a time osnovu za međusobno poređenje različitih DFX alata.

Ključne reči: DFA, DFM, CAD

1. UVOD

Koreni DFX (Design for eXcellence) tehnologije, koja je danas tema mnogih istraživanja dosežu 15 godina unazad. Razvoj tri nezavisna DFA (Design for Assembly) alata, koji predstavljaju sistematizovane prilaze u rešavanju problema pogodnosti proizvoda za montažu, se smatraju počecima DFX tehnologije. Ovi alati su:

- Boothroyd-Dewhurst DFA (Boothroyd and Dewhurst 1983, Boothroyd et al. 1994);
- Lucas DFA (Swift 1981, Miles 1989);
- Hitachi AEM (Assembly Evaluation Method), (Shimada et al. 1992.).

Danas su poznate na desetine DFX alata koji pokrivaju gotovo sve značajnije aspekte životnog ciklusa proizvoda, a prilagođene su različitim oblastima proizvodnje i specifičnostima proizvodnih programa za koje su razvijane. Nagla ekspanzija po broju i varijacijama ukazuje da su DFX alati prioritetna tema razvoja kako u privrednim preduzećima tako i u akademskim institucijama. U nastavku će biti navedeni samo najčešće korišćeni DFX alati:

- DFA/D (Oblikovanje proizvoda pogodnog za montažu i demontažu);
- DFM (Oblikovanje proizvoda pogodnog za obradu);
- DFQ (Oblikovanje za kvalitet), QFD (Upravljanje zahtevima i ograničenjima);
- DFC (Oblikovanje proizvoda sa ciljem redukcije troškova);
- DFUF (Oblikovanje za zadovoljenje korisnika);
- FMEA (Otklanjanje slabih mesta);
- DFMAS (Oblikovanje za zadovoljenje pojedinačnih korisnika u uslovima masovne proizvodnje);
- DFE (Oblikovanje za životnu sredinu);
- RP/VP (Oblikovanje za brzu izradu prototipa);
- DFP (Oblikovanje proizvoda pogodnog za pakovanje);
- DFRM (Oblikovanje delova pogodnih za pouzdanost i održavanje).

Njihova zajednička funkcija cilja jeste ugradnja svih raspoloživih znanja i iskustava u proizvod u fazi konceptualnog razvoja kako bi se došlo do optimalnog rešenja za najkraće moguće vreme, obezbeđujući time konkurentsku prednost.

Razvoj pojedinačnih DFX alata, povlači za sobom neminovnost njihovog međusobnog povezivanja i usaglašavanja. Potrebno je usvojiti zajedničku platformu na kojoj će svi alati zajedno funkcionisati, uzimajući pre svega kao osnovu CAD sistem i geometrijski model proizvoda na kome će se analize vršiti.

Nakon izvršenih DFX analiza i izbora optimalne varijante proizvoda potrebno je obezbediti dalje povezivanje radi razrade tehnologije, procesa i sistema (CAM, CAPP, itd.).

Začetnici povezivanja DFX alata se smatraju:

- Andreasen i Olesen (1990) sa Teorijom Dispozicija kao osnovom DFX integracije;
- mfk sistem (Meerkam 1993);
- DFX Shell platforma (Huang 1996).

Nakon uspešnog povezivanja problem predstavlja i rešavanje konflikata koji nastaju primenom pojedinih alata (trade-off analiza), jer je vrlo čest slučaj da su preporuke i smernice za izmenama u rezultatu različitih DFX alata međusobno kontradiktorne pa treba proceniti koja izmena na proizvodu, dugoročno gledano, najviše utiče na njegov kvalitet.

Osnovu platforme čini CAD softver (Auto CAD Mechanical Desktop 4.0) u koji je moguće na različite načine objediniti sve potrebne informacije koje će se koristiti u analizi. Sledeći značajan faktor je otvorena arhitektura softvera koja omogućuje jednostavnu razmenu podataka sa okolinom. Ugrađeni IGES i STEP translatori omogućuju razmenu geometrijskih modela proizvoda, odnosno, delova sa drugim, odnosno, različitim CAD, CAM i FEA sistemima.

Uvoz i izvoz ostalih podataka je takođe maksimalno pojednostavljen tako da se veoma jednostavno može vršiti razmena tekstualnih podataka (*.txt), tabelarnih podataka (*.xls) ili direktno povezivanje sa bazama podataka (*.mdb, *.dbf, *.csv).

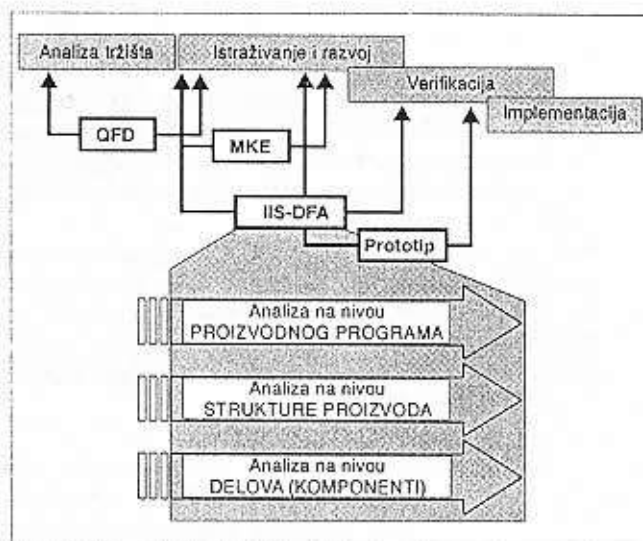
Otvorenost arhitekture se najbolje odražava u mogućnosti razvoja posebnih modula (potprograma), za svaku pojedinačnu analizu u čiju svrhu se uspešno koriste AutoLISP, Vi-sualLISP i Visual C jezici.

2. DFA ALAT

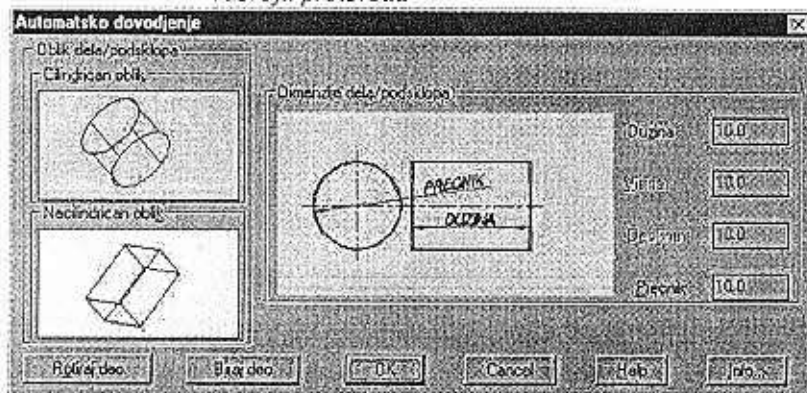
Montaža je važan segment kako po ukupnom učešću u vremenu trajanja izrade proizvoda (30-70%), tako i po značaju, kao poslednja karika u lancu proizvodnje. Pogodnost proizvoda za montažu se određuje u fazi razvoja proizvoda, jer projektanti i konstruktori definišu:

- strukturu proizvodnog programa;
- strukturu samog proizvoda;
- broj delova;
- geometriju delova;
- međusobni položaj delova u sklopu;
- postupak spajanja;
- materijale od kojih će biti izrađeni...

određujući time u velikoj meri postupak montaže. Pogodnost proizvoda za montažu se obezbeđuje razvijenom metodologijom (DFA) za implementaciju svih saznanja o procesu montaže (organizacija, proces i resursi) u novi ili već postojeći proizvod, jer tako ugrađene karakteristike u fazi razvoja proizvoda omogućuju efikasnu montažu, u datim uslovima, uz minimum troškova, vremena i grešaka. (Sl.1)



Slika 1: IIS-DFA metodologija u integralnom razvoju proizvoda



Slika 2: Analiza montaže na nivou delova (jedan od dijaloga), kućište priključne kutije

Analiza pogodnosti proizvoda za montažu mora obuhvatiti analizu na nivou proizvodnog programa gde je bitna njegova stabilnost, broj različitih varijanti proizvoda i modularnost. Na nivou proizvoda postoji mnogo značajnih faktora:

- strukturna šema proizvoda;
- broj delova koji čine sklopove i podsklopove;
- broj i pravac osa umetanja;
- predviđene vrste spajanja;
- modularnost;
- standardizacija...

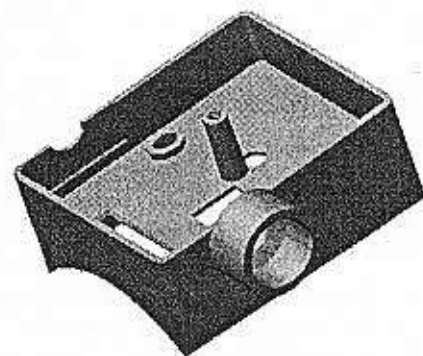
Analiza na nivou delova razmatra geometriju, fizičke i hemijske karakteristike delova, preko kojih se određuje pogodnost za izuzimanje, dovodenje, orijentaciju i pozicioniranje delova u sklopu. Razvijeni postupak u rezultatu daje: pokazatelj pogodnosti, kao meru uspešnosti i kvaliteta konstrukcije, orijentaciono vreme i troškove montaže (zbirno i za svaki zahvat pojedinačno) na osnovu kojih se daju predlozi za izmenu konstrukcije koji se u okviru integralne platforme moraju usaglasiti sa drugim aspektima pogodnosti proizvoda. Paralelno sa razvojem proizvoda vrši se i razvoj sistema za montažu, jer softver obezbeđuje procenu vremena i troškova montaže u funkciji nivoa automatizacije izvođenja zahvata (ručno-mehanizovano, robotizovano, automatizovano. Imajući na raspolaganju alate za određivanje vremena i troškova u datoj funkciji, moguće je predložiti optimalni nivo automatizacije za svaki zahvat pojedinačno i za sistem u celini.

Nakon izvršene analize, ulazni podaci se mogu menjati (promena količina, vremena amortizacije...), da bi se dobio bolji uvid u granice mehanizacije i automatizacije procesa.

U nastavku je prikazana analiza na nivou delova.

Analiza polazi od geometrije, fizičkih i hemijskih karakteristika delova, sa ciljem ostvarenja najbrže i najjeftinije montaže. DFA alat na nivou delova (Slika 2) omogućuje procenu:

- vremena trajanja zahvata montaže t_{zj} za svaki deo, sa mogućnošću raščlanjivanja datog vremena na vreme dovodenja i orijentacije i vreme umetanja, tj. na pomoćno vreme t_{pi} i osnovno vreme t_{oi} izvođenja zahvata;
- troškove izvođenja zahvata montaže t_{mi} , koji se takođe mogu raščlaniti na troškove dovodenja i orijentacije i troškove osnovnog zahvata spajanja.



4. ZAKLJUČAK

Prikazani DFA i DFM alati unutar komercijalnog CAD softvera su zadovoljili potrebe. Razvojni model proizvoda može uspešno da se prikaže kao geometrijski model, sa svim svojim karakteristikama, koje mogu biti prikazane kao atributi sa vrednostima. Atributi su programski grupisani u dokumente, te je na taj način omogućena jednostavna razmena podataka sa okolinom.

Zajedno sa mogućnostima za velika poboljšanja u kvalitetu proizvoda u fazi razvoja, sa ugradnjom multidisciplinarnih iskustava, rezultati analize skraćuju vreme razvoja proizvoda iz dva razloga:

- alati se koriste simultano a ne sekvencijalno (tradicionalni način);
- kvalitet i detaljnost analize prikazuju razvijenu osnovu za detaljan razvoj tehnološkog procesa i sistema, skraćujući vreme razvoja.

Razvijeni alati su otvoreni za daljnji razvoj i proširivanje, a i novi DFX alati trebaju biti razvijeni. Planira se proširivanje baza znanja, odnosno baza podataka, u zavisnosti od zahteva proizvodnog asortimana i korisnika.

Ovim su dugogodišnja iskustva kompanija stabilnija i manje zavisna od fluktuacije radne snage, te je samim tim i kvalitet proizvoda viši.

LITERATURA

- [1/ Andreasen, M., Kahler, S., Lund, T.: *Design for Assembly*, JFS Public, UK, 1988.
- [2/ Boothroyd, G., Dewhurst, P.: *Design for Assembly*, U. of Rhode Island, 1983.
- [3/ Zelenović, D., Ćosić, I.: *Montažni sistemi*, Nauka, Beograd, 1992.
- [4/ Bralla, J.G.: *Design for Excellence*, McGraw-Hill, Inc., 1996.
- [5/ Zelenović, D. i ostali: *Integralni razvoj proizvoda - osnove*, Univerzitet u Novom Sadu, FTN - IIS, Novi Sad 1997.
- [6/ Ćosić, I., Anišić, Z., Furstner, I.: *DFX platforma u integralnom razvoju proizvoda*, International Journal of Industrial Systems, Vol.1, No 2, Novi Sad, Jugoslavija, 2000.
- [7/ Ćosić, I., Anišić, Z., Furstner, I.: *Development of DFA and DFM Modules in CAD Environment*, Proceedings pp 236-240, Tools'2000 Conf., Trencin, Slovakia, 2000.
- [8/ Ćosić, I., Pletikosić, M., Anišić, Z.: *Integralni razvoj proizvoda u CAD okruženju*, Zbornik radova str. 3. Međunarodno savjetovanje o dostignućima elektro i mašinske industrije, Banja Luka, R. Srpska, 2000.
- [9/ Ćosić, I., Anišić, Z., Furstner, I.: *IIS-DFX softver za analizu pogodnosti proizvoda za montažu kao deo integralnog razvoja proizvoda*, Zbornik radova str 2.7-2.14, 26.JUPITER konferencija sa međunarodnim učešćem, 12. simpozijum CAD/CAM, Beograd, Jugoslavija, 2000.

CONTRIBUTION TO THE DEVELOPEMENT OF DFX TOOL IN CAD ENVIRONMENT

Dr Ilija Ćosić, full professor, FTN - Novi Sad
Mr Zoran Anišić, senior lecturer, FTN - Novi Sad,
VTŠ - Subotica

Igor Fuerstner, dipl. ing., asistent, VTŠ - Subotica

Summary

The paper presents IIS-DFX platform on which many DFX (Design for eXcellence) tools can be joined. The base of the analysis is a CAD product model. By that one can compare the results of various analyses of the product. With that, the product's quality can be higher. There are two basic tools that are developed in the present time, DFA (Design for Assembly) and DFM (Design for Manufacturing), that are shown in the paper.

The DFA analysis is used on the level of the production program, on product's structure level, and on part level. With the developed IIS- DFA tool, one can determine the time and the costs of the main and auxiliary operations, the time and the cost of the assembling as a whole, and different levels of automation. The quality of the product in means of assembling is shown by the K_{puz} suitability coefficient. This coefficient unites the analyses on all three levels, and gives a better look in the absolute suitability of the product. It also gives a contribution to the evaluation of the variants. IIS-DFM tool consists of the module for cutting technologies, that determines the times and the costs of the manufacturing operations, and is the base for comparison of different DFX tools

Key words; DFA, DFM, CAD

Prof. dr Ilija Ćosić
FTN
21000 Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 6

PROJEKTOVANJE ZUPČASTIH PRENOSNIKA I NJEGOVIH VITALNIH ELEMENATA PRIMENOM SISTEMA 'AutoCAD I ObjectARX OKRUŽENJA

Doc. dr. Navalusić Slobodan, FTN - Novi Sad

Prof. dr. Gatalo Ratko, FTN - Novi Sad

dipl. ing. Milojević Zoran, FTN - Novi Sad

Rezime

U radu je prikazana metodologija projektovanja zupčastih prenosnika i njegovih vitalnih elemenata, bazirana na korišćenju sistema AutoCAD i, njemu odgovarajućeg, ObjectARX programskog okruženja. Za projektovanje - izbor vitalnih delova prenosnika razvijene su posebne procedure koje omogućavaju njegovo automatsko iscertavanje. Pri tome su karakteristične dimenzije ovih delova varijabilnog karaktera i aktueliziraju se, u konkretnom slučaju u zavisnosti od zahteva projektanta, u interaktivnom ciklusu. Metodologija projektovanja je koncipirana tako da se projektovanje sklopa prenosnika vrši na nivou podsklopa koji odgovara jednom vratilu, sa svim pratećim elementima, a da se procedura ponavlja onoliko puta koliko prenosnik ima vratila.

Ključne reči: Zupčasti prenosnici, CAD.

1. UVOD

AutoCAD je zamišljen i realizovan kao CAD paket opšte namene, a da bi se mogao uspešno primeniti u bilo kojoj užoj grani tehnike neophodno ga je proširiti dodatnim mogućnostima. Proširenja su najčešće nezavisni programi, aplikacije koje rade u okviru AutoCAD-a i za koje on praktično igra ulogu operativnog sistema. Pre ARX-a (koji se pojavio u verziji 13 AutoCAD-a), prvi razvojni sistem za AutoCAD bio je ADS (AutoCAD Development System), koji je u osnovi bio namenjen programiranju na C-u, mada su veće aplikacije mogle biti napisane na C++ -u, uz korišćenje MFC (Microsoft Foundation Class library) biblioteka. Najveća mana ADS-a je što je on samo proširenje AutoLISP-a.

ARX aplikacije se prevode u standardne DLL¹⁾ biblioteke čije se funkcije izvršavaju u istom procesu i u istom adresnom prostoru u kome radi i AutoCAD, čime se znatno poboljšavaju performanse celog sistema, za razliku od ADS

programa gde postoje tri procesa koji rade paralelno: AutoCAD, AutoLISP interpreter i ADS program.

Pored svega navedenog ARX poseduje i mogućnost korišćenja MFC biblioteke, što uz poznate mogućnosti jezika C++, omogućava izradu aplikacija sa menijima, dijalozima i mogućnošću korišćenja baza podataka i to sve u AutoCAD-u. Autodesk je najavio da u budućnosti neće više razvijati biblioteke za ADS, već samo za ARX, tako da ovaj programski sistem postaje broj jedan za AutoCAD.

2. ARX PROGRAMSKO OKRUŽENJE

ARX okruženje je sastavljeno od sledećih biblioteka[5]:

- ♦ AcRx- Biblioteka osnovnih klasa potrebna za povezivanje ARX programa i AutoCAD-a
- ♦ AcEd- Biblioteka sadrži klase za definisanje novih komandi AutoCAD-a
- ♦ AcDb- Biblioteka klasa za manipulaciju AutoCAD-ovom grafičkom bazom podataka
- ♦ AcGi- Biblioteka za iscertavanje grafičkih entiteta
- ♦ AcGe- Biblioteka koja sadrži klase za izvođenje osnovnih matematičkih operacija (rad sa tačkama, vektorima, transformacionim matricama...)
- ♦ ADS- C biblioteka, koja se koristi za kreiranje AutoCAD aplikacija, ARX aplikacije standardno koriste ovu biblioteku za operacije kao što su: selektovanje entiteta, akvizicija podataka...

Kao dodatak ARX-u, treba navesti i ObjectARX Wizard 2 koji se za sada isporučuje kao Beta verzija 0.60. Ovaj program omogućava jednostavno pravljenje ARX projekta za Visual C++ 4.2, što značajno olakšava rad programeru, jer je uz pomoć njega moguće kreirati projekat sa potrebnim zaglavlja, bibliotekama, klasama, funkcijama i komandama. Naravno na programeru je da napiše potreban kod za klase i funkcije. Postupak izrade ARX aplikacije, korak po korak, sastojao bi se u sledećem[11]:

1. Definisane u ARX Wizardu 2 :

- ♦ Direktorijuma projekta (pod projektom se podrazumevaju svi potrebni fajlovi povezani u jednu celinu, koju zatim kompajler može prevesti u izvršni kod),
- ♦ Potrebni biblioteka-libraries (.LIB fajlova koji su potrebni pri linkovanju programa),
- ♦ Potrebni zaglavlja-headers (*.h fajlova u kojima su definisane sve klase (za entitete, lejere...)),
- ♦ Novih komandi-kommands (pri pokretanju ARX aplikacije moguće je pozivati više novih komandi, koje pozivaju određene funkcije),
- ♦ Poruka-messages (definisati poruke AutoCAD-a na koje treba ARX aplikacija da reaguje),
- ♦ Reaktora-reactors (objekti koji nadgledaju šta se dešava u sistemu i kada detektuju interesantan događaj reaguju na način koji je odabrao programer, na primer ako se određenom entitetu promeni boja, reaktor može da preduzme neku akciju),
- ♦ Klasa-classes (može se definisati sopstvenu klasu npr. zupčanic),
- ♦ Funkcija-functions (koje će pripadati nekoj klasi i izvršiti određene operacije na tom objektu, ili funkcija

¹⁾ Dinamic Link Libraries - Aplikacija za dinamičko povezivanje, koja je u memoriji računara dok je potrebna da obavi neki posao a zatim oslobađa memoriju

koje će se startovati pozivom neke novoformirane komande).

Rezultat koji se dobije pri izlasku iz ARX Wizarda 2, je projekat koji sadrži sve potrebne fajlove za programiranje u Visual C++ 4.2

2. U Visual C++ 4.2 :

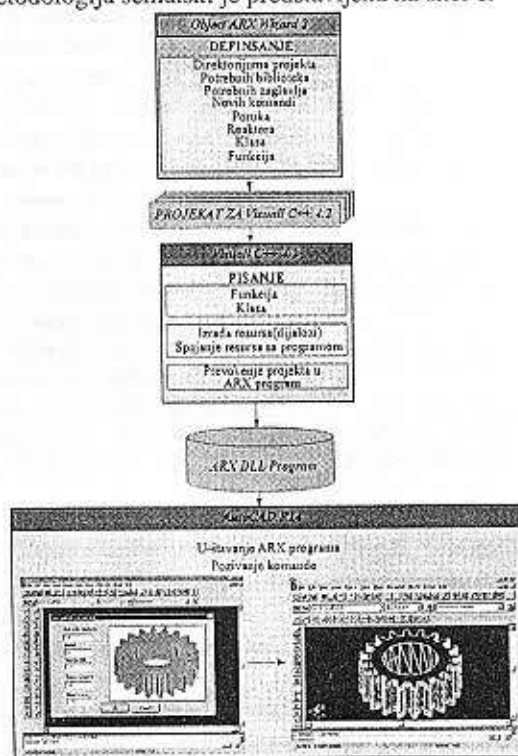
- ♦ Pisanje koda za funkcije,
- ♦ Pisanje koda za klase,
- ♦ Izrada resursa-resources (dijalozi, meniji koji će se pojavljivati u ARX aplikaciji), i njihovo spajanje sa kodom,
- ♦ Prevođenje projekta u ARX program.

Rezultat pri izlasku iz Visual C++ 4.2 kompajlera je ARX DLL program, koji se startuje u AutoCAD-u R14.

3. U AutoCAD R14 :

- ♦ Učitavanje ARX aplikacije,
- ♦ Pozivanje komande.

Ova metodologija šematski je predstavljena na slici 1.

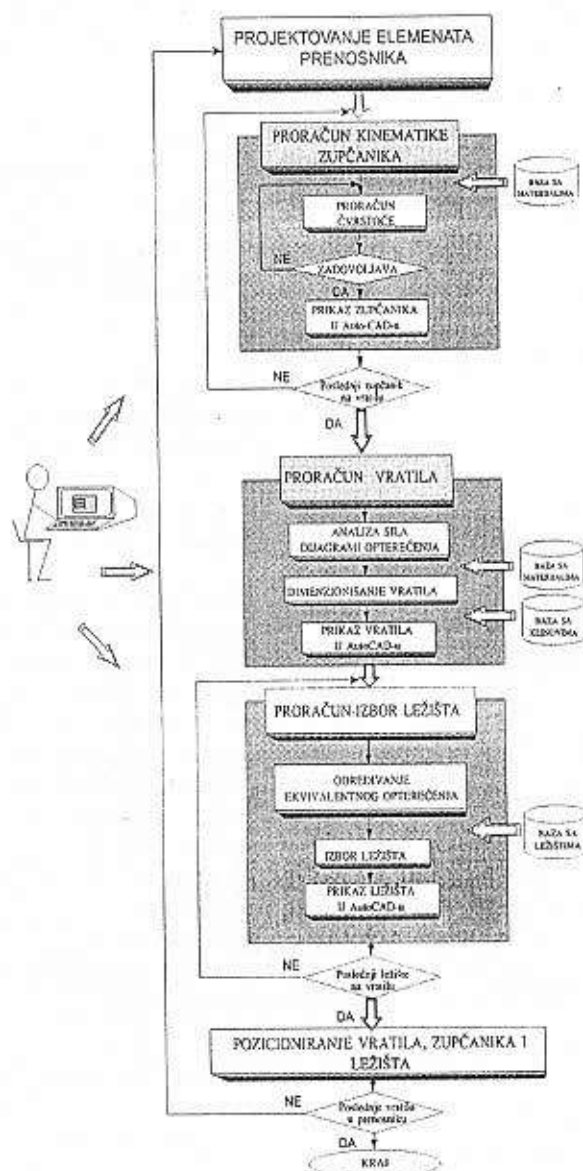


Slika 1. Postupak izrade ARX aplikacije

3. MODEL SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE PROIZVODA KORIŠĆENJEM AutoCAD-a I ObjectARX PROGRAMSKOG OKRUŽENJA, APLIKACIJE I REZULTATI DOBIJENI SA NJIMA

Na slici 2, prikazan je model sistema za projektovanje proizvoda (elementa prenosnika: zupčanici, vratila i ležišta). Sistem je građen na modularnom principu, što znači da za projektovanje npr. zupčanika postoji poseban ARX program ZUPCAN. Izlazni podaci iz jednog modula (broj zuba zupčanika, modul) su ulazni podaci za modul za projektovanje vratila VRATILO, dok su izlazni podaci iz

modula VRATILO (prečnik vratila na mestu ležišta, radijalna sila na mestu ležišta), ulazni podaci za modul LEZISTE.



Slika 2. Model sistema za projektovanje proizvoda

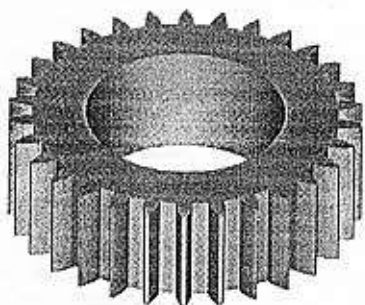
Svaki od modula određene podatke uzima iz baze podataka, tako da moduli ZUPCAN i VRATILO podatke o materijalima uzimaju iz baze podataka sa materijalima. Modul LEZISTE na osnovu proračuna, iz baze sa ležištima bira ležište na osnovu dinamičke krutosti ležišta. Ukoliko zupčanik nije poslednji na vratilu ponovo se poziva modul za njegovo crtanje. Zatim se prelazi na proračun vratila, posle čega se iz baze sa klinovima biraju odgovarajući klinovi i radijusi na mestima promena prečnika u zavisnosti od prečnika vratila. Ležišta se biraju iz baze sa ležištima, a ukoliko ležište nije poslednje na vratilu modul se ponovo poziva za izbor novog ležišta. Kada se završi proračun vratila sa njegovim elementima, vrši se pozicioniranje nacrtanih elemenata, a ako vratilo nije poslednje u prenosniku kompletna procedura se ponavlja. Treba napomenuti da ulazne podatke unosi korisnik preko menija na ekranu za svaki modul posebno.

Postupak pokretanja ARX aplikacije sastojao bi se u sledećem:

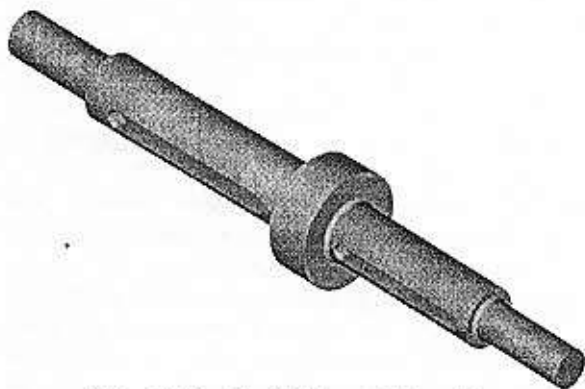
- Iz AutoCAD-ovog menija *Tools* selektuje se opcija *LoadApplication*,
- zatim se ARX aplikacija pronade na disku,
- selektuje se taster *Load* i ARX aplikacija je učitana u memoriju,
- U komandnoj liniji ukuca se komanda za startovanje aplikacije, npr. *VRATILO* za pokretanje aplikacije za proračun vratila,
- U dijalog se zatim unose osnovni podaci za vratilo,
- Pošto iz baze sa materijalima odaberemo materijal, izvršiće se proračun analize sila i proračunaće se prečnici vratila, aplikacija će posle toga tražiti od korisnika da unese preko tastature prečnike vratila koje usvaja,
- Zatim će se iz baze sa klinovima usvojiti parametri klinova u zavisnosti od prečnika vratila,
- Program iscrtava 3D model proračunatog vratila.

4. REZULTATI DOBIJENI APLIKACIJAMA

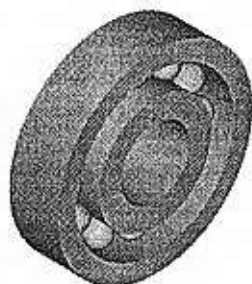
Na slici 3, prikazan je 3D model zupčanika dobijen ARX aplikacijom, dok je na slikama 4 i 5 prikazano vratilo i ležište.



Slika 3. Zupčanik dobijen ARX aplikacijom

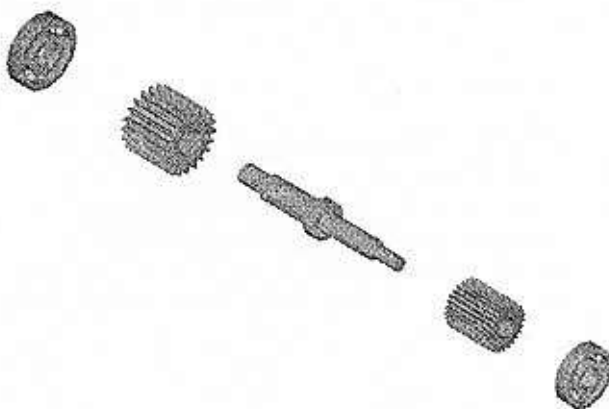


Slika 4. Vratilo dobijeno ARX aplikacijom



Slika 5. Ležište dobijeno ARX aplikacijom

Na slici 6, prikazano je jedno vratilo sa njegovim elementima.



Slika 6. Vratilo sa elementima

5. ZAKLJUČAK

Na Jugoslovenskom tržištu najzastupljeniji od CAD-CAM programa su: I-DEAS, Pro/ENGINEER, i AutoCAD. AutoCAD je najzastupljeniji, nezahteva preterano skup računar i na našem tržištu se za njega može naći najviše literature, zato je i odabran AutoCAD 14 za projektovanje proizvoda u ovom radu.

Sa druge strane Autodesk je razvio objektno orijentisan programerski alat ObjectARX, koji je po rečima Autodesk najbolji objektno orijentisani alat za razvoj programa na CAD platformama.

Uz pomoć ObjectARX-a moguće je razviti ozbiljne aplikacije sa dijalozima, menijima koje bi činile rad korisnika znatno lakšim.

Aplikacija koja bi omogućila projektovanje svih vitalnih elemenata prenosnika, uz njihovu optimizaciju mogla bi da bude logičan nastavak ovog rada. Uz pomoć takve aplikacije i određene optimizacione logike mogao bi se projektovati kompletan optimizovan 3D prenosnik u AutoCAD-u.

LITERATURA

- /1/ Miltenović V., Ognjanović M.: "Mašinski elementi-II, elementi za prenos snage", Mašinski fakultet Niš-Beograd, 1995 god.
- /2/ Veriga S.: "Mašinski elementi, III sveska, prenosnici, frikcionni prenosnici, zupčasti prenosnici", Mašinski fakultet, Beograd, 1979 god.
- /3/ Berezovsky YU., Chernilevsky D., Petrov M.: "Machine design", MIR Publishers, Moscow, 1988 god.
- /4/ Savić Z., Ognjanović M., Obradović P., Janković M.: "Mašinski elementi -praktikum za vežbe", Mašinski fakultet, Beograd, 1990 god.
- /5/ Autodesk Inc.: "ObjectARX - developers guide", Autodesk Inc., 1997 god.
- /6/ Prosise J.: "Programming Windows 95 with MFC", Microsoft Press, 1996 god.
- /7/ Omura G.: "AutoCAD 13 za Windows", Mikro knjiga, Beograd, 1995 god.
- /8/ Milićev D.: "Objektno orijentisano programiranje na jeziku C++", Mikro knjiga, Beograd, 1995 god.

- /9/ Navalušić S., Gatalo R., Milojević Z.: "New Trends on Product Design Based on the "Intelligent" CAD Systems", Manufacturing Simulation for Industrial Use, editid by J. Jedrzejewski, Poland, 1998, pp 121-129.
- /10/ Navalušić S., Gatalo R., Hodolić J., Krsmanović C., Milojević Z.: "Computer Aided Product Design as a Segment of The Computer Integrated Manufacturing", Proceedings, 3rd International Symposium Interdisciplinary Regional Research (Hungary, Romania, Yugoslavia), Novi Sad, 1998.
- /11/ Navalušić S., Gatalo R., Milojević Z., Hodolić J.: "System for Automated Product Design Based on the Object ARX (AutoCAD Run-time Extension) programming Enviroment", CAR&FOF '98, 14th International Conference on CAD/CAM, Robotics & Factories of the Future, Coimbatore, India, 1998.
- /12/ Navalušić S., Gatalo R., Milojević Z.: "Nowe trendy w projektowaniu wyrbow bazujace na "inteligentnych" systemach CAD", Komputerowe wspomaganie konstruowania maszyn, pod redakcija Jerzego Jedrzejewskiego, Inzynieria maszyn, Poland, 1997.

DESIGN OF GEAR TRANSMISSION AND ITS VITAL PARTS USING AutoCAD SYSTEM AND ObjectARX ENVIRONMENT

Doc. dr Navalušić Slobodan - FTN

Prof. dr Gatalo Ratko - FTN

dipl. ing Milojević Zoran - FTN

Summary

In this paper a methodology of gear transmission design and its vital parts is presented, based on AutoCAD system and ObjectARX programming environment. Special procedures are developed for design and choosing of the vital parts of transmission, and theirs automated drawing. Characteristic dimensions of these parts are variable and, depends of designers requirements, they are actuellized in one interactive cycle. Design methodology is developed in the way that design of the transmission assembly starts with design of the one shaft subassembly and belonging elements and this procedure repeating depend of the number of the shafts in the gear transmission.

Key words: Gear transmission, CAD.

Adresa za kontakt:

Doc. dr Navalušić Slobodan
Fakultet tehničkih nauka
21000 Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 6
e-mail: naval_sl@uns.ns.ac.yu

POTREBA ZA ANALIZOM SMETNJI VARIJANTI RJEŠENJA KAO ELEMENTARNIM RADNIM KORAKOM U PROCESU KONSTRUISANJA PROIZVODA

Prof. dr Radović Vladeta, Mašinski fakultet Podgorica
dipl. ing. Tomović Radoslav, Mašinski fakultet Podgorica
dipl. ing. Prodanić Boro, Vojska Jugoslavije

Rezime

Ovaj rad govori o potrebi za uvođenjem elementarnog radnog koraka u toku procesa konstruisanja, u kome bi se sve varijante rješenja analizirale na mogućnost pojave smetnji u njihovom radu i nakon eventualne identifikacije smetnji predložile mjere za njihovo otklanjanje ili smanjivanje. Analiza mogućih smetnji i eventualnih grešaka u mašinama, već u ranim fazama procesa konstruisanja povećava mogućnost da se slabe tačke u mašini na vrijeme otkriju i predlože mjere za otklanjanje uzroka njihovog nastanka. Rano otkrivanje grešaka u mašini doprinosi povećanju kvaliteta proizvoda, skraćanju vremena potrebnog za razvoj i realizaciju, smanjenju troškova realizacije proizvoda i na kraju povećanju konkurentnosti proizvoda na tržištu.

Ključne riječi: Proizvod, kvalitet, razvoj.

1. UVOD

Sve mašine, uređaji ili aparati tokom eksploatacije ispoljavaju određena odstupanja svojstava i karakteristika u odnosu na projektovane vrijednosti u toku njihovog razvoja. U velikom broju slučajeva ova odstupanja znatno utiču na pravilnost i efikasnost obavljanja namjenom predviđene funkcije projektovane mašine, uređaja ili aparata. Najčešći uzrok odstupanja radnih karakteristika su smetnje i greške u mašini, koje su se pojavile u toku razvoja i realizacije proizvoda. Pri tome posebnu odgovornost snosi faza razvoja proizvoda, u kojoj se generišu osnovne karakteristike i kvalitet proizvoda, ali i najveći broj grešaka, sa punom implementacijom na sve ostale faze u toku životnog vijeka proizvoda.

Ako otkrivanje grešaka u razvoju proizvoda izaziva trošak od jednog dinara, otklanjanje te greške u toku proizvodnje koštaće preduzeće deset puta više, a ako je greška otkrivena tek posle plasiranja proizvoda kupcu, taj trošak je sto puta veći (pravilo desetice) [3]. Zbog toga je od suštinskog značaja da se eventualne greške u proizvodu još

u fazi razvoja otkriju i predlože mjere za njihovo uklanjanje ili smanjivanje.

2. OBLIK I VELIČINA SMETNJI

Smetnji su uticaji koji izazivaju odstupanja zadatih karakteristika željenog proizvoda u toku njegove eksploatacije. Gotovo svi proizvodi u toku eksploatacije pokazuju veća ili manja odstupanja radnih karakteristika u odnosu na predviđene vrijednosti. Ova odstupanja u tehnici su poznata kao tolerancije i karakterišu odstupanja neke veličine od nominalne vrijednosti. Uzroci odstupanja radnih karakteristika traženog proizvoda u odnosu na nominalne, su smetnje koje deluju direktno ili indirektno na proizvod koji je predmet izrade.

Na Sl.1. šematski su prikazani poremećaji i smetnje koji se mogu javiti u eksploataciji neke mašine, uređaja, aparata ili mašinskog elementa.

U principu, sve smetnje i poremećaje koje su svojstvene bilo kojoj mašini u toku eksploatacije možemo svrstati u četiri osnovne grupe:

- Odstupanje karakteristika ulaznih parametara (proizvoda).
- Smetnje koje nastaju u mašini i djeluju prema vani.
- Smetnje koje djeluju na mašinu od spolja.
- Smetnje u samoj mašini.

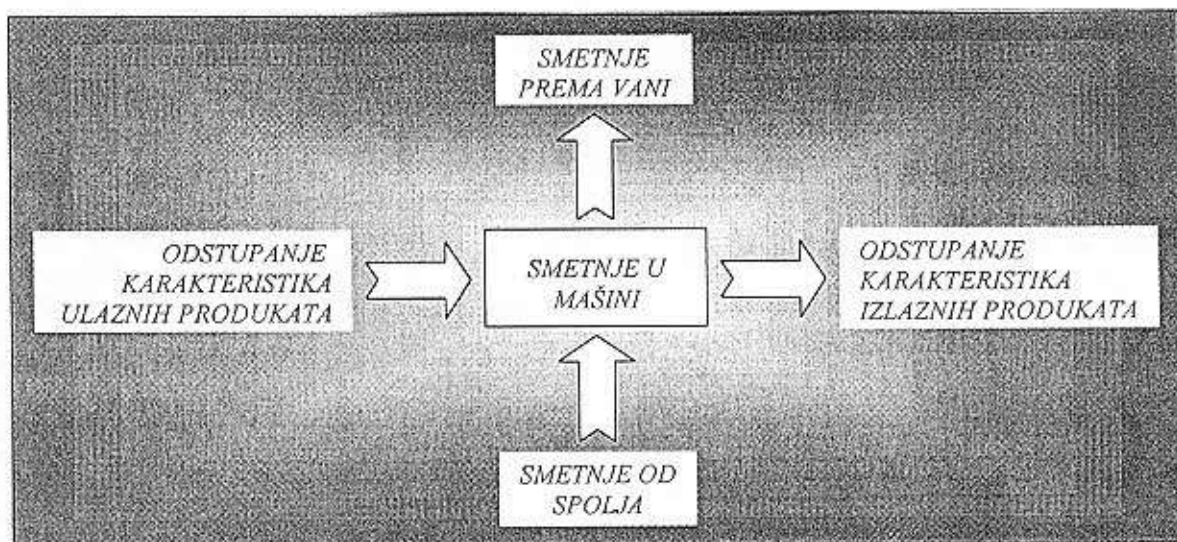
Karakteristike ulaznih produkata obično podliježu izvjesnim, manjim ili većim odstupanjima. Odstupanja osobina ulaznog produkta mogu biti različita. Ona ponekad mogu bitno uticati na proces prerade koji se odvija unutar mašine, ali mogu biti i tako mala da im je uticaj neznatan. Primjera radi, velika odstupanja broja obrtaja i obrtnog momenta na ulaznoj strani jednog mehanizma, mogu u velikoj mjeri uticati na tok kretanja u mehanizmu. Odstupanje dimenzija radnih komada, koji se mehanički obrađuju mogu takođe prouzrokovati smetnje u toku obrade.

Smetnje koje djeluju prema vani, stvara sama mašina u toku njene eksploatacije. To naprimjer mogu biti toplotna zračenja, buka, izduvni gasovi ili neki drugi neželjeni produkti. Zadatak je konstruktora da prilikom konstruisanja proizvoda vodi računa da se ove smetnje konstruktivno spriječe ili smanje.

Smetnje koje djeluju na mašinu od spolja često se izražavaju pojmom "uticaj okoline". To može biti toplota, hladnoća, vlaga, vibracije, agresivna sredina, ali i neželjeni efekti koje mogu izazvati okolne mašine i tijela eventualnim udarom tokom kretanja ili sličnim mehaničkim uticajem. I ovi problemi spadaju u djelatnost konstruktora, i on mora naći rješenje za eliminaciju njihovog neželjenog uticaja.

Smetnje u mašini imaju najveći značaj. Polazeći od činjenice da se u svakoj mašini odvijaju fizički procesi, uzroke smetnji treba tražiti u odstupanju stvarnog fizičkog procesa od idealnog fizičkog procesa (postupka), definisanog nadređenim fizičkim efektom, odnosno fizičkim zakonom putem koga se ostvaruje dati fizički efekat. Ovo odstupanje uslovljeno je odstupanjima zavisnih i nezavisnih parametara nadređenog fizičkog zakona.

Imajući u vidu da se fizički proces mora iznuditi radnim površinama i njihovom kinematikom, smetnjama u mašini moraju se pridodati smetnje koje se pojavljuju zbog



Sl.1.Smetnje koje se javljaju u mašinama i uređajima u toku njihove eksploatacije

nepravilno formiranih radnih površina ili netačno ostvarene kinematike. Nepravilnost oblika radnih površina zasniva se najčešće na neadekvatnim tolerancijama koje propisuje konstruktor. Na primjer, dozvoljena odstupanja kinematskih površina, koja su prisutna kod frikcionih parova. Međutim, zbog ekonomičnosti izrade uske tolerancije se ne mogu uvijek propisivati. Veoma često se svjesno računa sa udjelom izvjesnih smetnji u korist povoljnije izrade.

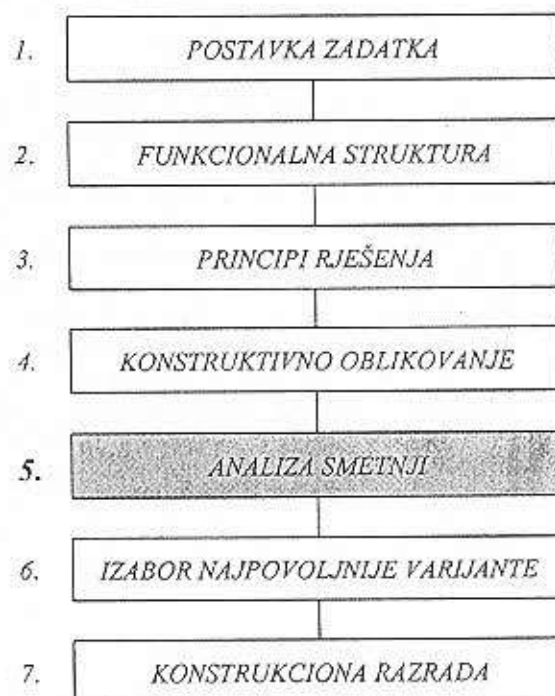
Odstupanje karakteristika ulaznog produkta, smetnje prema vani, smetnje spolja, kao i smetnje u mašini izazivaju u najvećem broju slučajeva povećanje odstupanja karakteristika izlaznog produkta. Cilj svake konstrukcije je dobijanje izlaznog proizvoda sa što je moguće konstantnijim karakteristikama. To znači, da je zadatak konstruktora da se smetnje u mašini što više minimiziraju, najmanje do te mjere da su svi zahtjevi definisani listom zahtjeva ispunjeni. Postoje kategorije proizvoda, kao što su alatne mašine, kod kojih je ovo veoma važno.

3. RADNI KORAK ANALIZE SMETNJI U PROCESU KONSTRUISANJA PROIZVODA

Na slici (Sl.2.) prikazan je dijagram toka "Praktične metode konstruisanja proizvoda", prema kome je proces konstruisanja rasčlanjen na sedam radnih koraka, koji logički slijede jedan iza drugoga i logički zavise jedan od drugoga:

1. Postavka zadatka
2. Funkcionalna struktura
3. Principi rješenja
4. Konstruktivno oblikovanje
5. Analiza smetnji
6. Izbor najpovoljnije varijante
7. Konstrukciona razrada

Dijagram toka prikazan na (Sl.2.) predstavlja jedan heuristički algoritam za rješavanje konstruktivnog problema, gdje se na potpuno diskurzivan način razmišljanja, postepeno dolazi do rješenja postavljenog zadatka. Diskurzivan način razmišljanja, podrazumjeva jedan



Sl.2.Radni koraci procesa konstruisanja proizvoda

usmjeren tok misli, kojim se postepeno približavamo rješenju problema, putem svjesne analize, varijacije i kombinovanja različitih ideja. Na taj način se stvara odgovarajući lanac ili mreža različitih ideja.

Važna karakteristika diskurzivnog načina razmišljanja je, nemogućnost dobijanja rješenja zadatka direktno, već je potrebno proći kroz određenih broj međusobno povezanih radnih koraka. Svaki radni korak ima za cilj postepeno približavanje rešenju problema, odnosno završnom crtežu spremnom za upotrebu u proizvodnji. Zato su za svaki radni korak u konstruisanju potrebna radna uputstva, čije primjenjivanje vodi do međurezultata – rezultata pojedinih radnih koraka. Na ovim međurezultatima se nadograđuju sledeći radni koraci, u kojima se pristupa još većoj konkretizaciji i postepenom približavanju konačnom rješenju konstrukcije. Tako se stvara sistem povezanih

radnih koraka, sa jasno istaknutim međusobnim zavisnostima.

Metodični tok rada počinje sa što je moguće potpunijom i sistematskom razradom svih podataka neophodnih za obradu zadatka. Na osnovu postavke zadatka, u apstraktnom obliku, koristeći se opštim pojmovima, u narednom koraku opisuje se struktura projektovane mašine ili konstrukcionog mašinskog elementa (funktionalna struktura). Dalje se za svaki funkcioni element traže principi rješenja. Oni služe za konkretizaciju funkcijskih elemenata (fizički događaji). Formiranjem radnih površina i izborom odgovarajuće kinematike konstruktivno se iznauđu fizički efekti. Projektuju se dakle, mašinski elementi koji što je moguće tačnije ispunjavaju funkciju predviđenog fizičkog događaja. Osvrćući se na očekivanje smetnje i zahteve, u petom radnom koraku konstrukcijski (mašinski) elementi se podvrgavaju korekcijama, u cilju poboljšavanja. Primjenom odabranog postupka vrednovanja, odabiraju se pojedini poboljšani (korigovani) mašinski elementi, koji se integrišu za neko principijelno rešenje. Na kraju, ukupno rješenje mora ispunjavati uslove koje zahteva proizvodnja (ukupna konstrukcija).

Primjenom varijacija i kombinacija u radnim koracima 2, 3 i 4 moguće je pronaći mnoštvo mogućih rešenja, od kojih se moraju odabrati najbolja. To se postiže upotrebom tehnokonomskih kriterija vrednovanja.

Dosledno sprovođenje procedure predviđene "Praktičnom metodom konstruisanja proizvoda" omogućuje da se za svaki funkcioni element razmatrane konstrukcije razvije veći broj parcijalnih rješenja. Rezultat četvrtog radnog koraka predstavlja veći broj konstruktivnih varijanti za svaki element funkcije tehničkog sistema koji se konstruiše. Naredni radni korak – korak analize smetnji treba da da odgovor da li parcijalna rješenja mogu bez smetnji ispunjavati funkciju predviđenu nadređenim fizičkim efektom. Ukoliko bi bilo ometajućih sporednih uticaja, potrebno je predložiti mjere za njihovo otklanjanje ili ako to nije moguće, barem za njihovo umanjeње do te mjere, da svi glavni zahtjevi u potpunosti mogu biti ispunjeni i kvalitativno i kvantitativno.

Dakle, u radnom koraku analize smetnji konstruktor pokušava da poboljša razrađena parcijalna rješenja za elemente konstrukcije. Cilj petog radnog koraka je analiza dobijenih parcijalnih rješenja na moguće smetnje, njihovo identifikovanje, otklanjanje ili smanjivanje. Baš u ovoj fazi razvoja konstrukcije, u sklopu procesa konstruisanja proizvoda, nudi se najbolja prilika za otkrivanje smetnji i poboljšanje rješenja, sa najmanjim troškovima, s obzirom da su konstrukcioni elementu još u fazi razrade u obliku ručnih skica ili skica u razmjeri, čija je izmjena mnogo lakša i jednostavnija nego izmjena do u detalje razrađenih gotovih crteža.

Sve smetnje koje se javljaju u mašinama imaju svoje uzroke koje je često veoma teško pronaći. Međutim, mnogo je ekonomičnije otkriti i otkloniti uzroke mogućih smetnji u mašinama ili uređajima, nego tražiti rješenja za njihove posledice. Rješavajući posledice smetnji ne otkrivamo uvijek i glavne uzroke njihovog nastanka, jer posledice smetnji ukazuju samo da je došlo do nekih neželjenih promjena koje zahtijevaju određeno rješenje. Sa druge strane, dobro rješenje za otklanjanje posledica smetnji može biti postignuto samo utvrđivanjem i otklanjanjem glavnih uzroka. Zbog toga je od suštinskog značaja što ranije

identifikovati greške i moguće uzroke smetnji i predložiti mjere za njihovo otklanjanje.

Pravovremenim otkrivanjem i otklanjanjem slabih tačaka u mašini povećavamo pouzdanost konstrukcionih elemenata i same mašine. Analiza nedostataka u ovoj fazi rada, smanjuje rizik da se greške i nedostaci prenesu na ostale faze u životnom vijeku proizvoda, što može negativno da se odrazi na kvalitet proizvoda, a ponekad i na ispunjenje osnovne funkcije za koju je proizvod namijenjen. Kasno otkrivanje nedostatka povlači za sobom potrebu za promjenom i prilagodbom već razrađenih konstrukcionih rješenja, a ponekad i promjenu koncepcije čitave mašine, što prouzrokuje gubitak u vremenu, kašnjenje sa izlaskom na tržište, povećanje troškova, probijanje rokova, sudske sporove i sl.

Osim toga, analiza uzroka i smetnji koje se mogu pojaviti kod varijanti rješenja, omogućuje konstruktoru da dobijene informacije o prednostima i nedostacima alternativa iskoristi pri kasnijem izboru najpovoljnije varijante za postizanje ukupnog cilja. To podrazumjeva jedan sistemski pristup u analizi uzroka i smetnji koje ometaju mogućnost ispunjenja ciljne funkcije konkretnog rješenja.

4. PRAKTIČNA PRIMJENA

Sve osobine proizvoda, koje se mogu iskazati preko parametara koji se mogu mjeriti, moguće je kvantitativno definisati. Međutim, mjerenje osobina izlaznog produkta moguće je tek kada je mašina napravljena, odnosno kada je puštena u rad, dakle po završetku konstrukcije. Isto važi i za ulazne produkte. Samo u rijetkim slučajevima u praksi, postoji mogućnost da se prije ili za vrijeme procesa konstruisanja proizvoda izmjere odstupanja karakteristika ulaznog produkta. Međutim, veličinu smetnji potrebno je ispitati upravo u toku procesa konstruisanja proizvoda.

U slučajevima kada nemožemo mjerenjem kvantitativno odrediti veličinu smetnji, postupak analize smetnji sprovodimo putem procjene. Od velikog značaja može biti i to, da konstruktor pravilno procijeni koje se moguće grupe smetnji mogu pojaviti i da u grubim crtama pretpostavi intenzitet mogućih smetnji. Za ovo je potrebno veliko iskustvo i znanje konstruktora.

U tom cilju, a u svrhu poboljšanja konstrukcije, u radnom koraku analize smetnji, sva parcijalna rješenja dobijena kao rezultat konstruktivnog oblikovanja posmatraju se jedno za drugim i pokušavaju se otkriti eventualne smetnje i poremećaji koji se mogu pojaviti u toku eksploatacije proizvoda. Pri tome se za svaki element konstrukcije uzimaju u razmatranje samo one grupe smetnji, koje na ponašanje konstrukcije mogu veoma bitno uticati.

Uvijek treba početi sa posmatranjem ulaznog produkta i pokušati procijeniti moguća odstupanja njegovih osobina od nominalnih. Nakon toga se ispituju smetnje koje djeluju od mašine prema vani, smetnje kojim okolina djeluje na mašinu i smetnje koje se javljaju u samoj mašini.

Za prepoznate grupe smetnji treba predložiti mjere za njihovo otklanjanje i u tom cilju pronaći odgovarajuće konstruktivno rešenje putem odgovarajućeg oblikovanja efektivnih radnih površina i efektivnih kretanja. U mnogim slučajevima smetnje se u potpunosti ne mogu eliminisati, ali se zato mogu reducirati. Ukoliko smetnje nije moguće otkloniti, moraju se pronaći odgovarajuće konstrukcione mjere za njihovo smanjivanje, do te mjere da svi fiksni i

tolerisani zahtjevi definisani projektnim zadatkom budu ispunjeni. Pod pojmom "mjere", može se podrazumjevati svaki mogući postupak za otklanjanje ili smanjenje smetnji. To može biti povoljan oblik elemenata ili cijele konstrukcije, ali i neka zaštitna sredstva, način održavanja, propisane metode pri eksploataciji i sl. Prilikom traženja najpovoljnijeg rješenja za otklanjanje smetnji mora se voditi računa i o visini troškova koje će da prouzrokuje jedno takvo rješenje.

5. ZAKLJUČAK

Smetnji su uticaji od strane mašina i uređaja, koji izazivaju odstupanja zadatih karakteristika željenog proizvoda u toku njihove eksploatacije. Od suštinskog je značaja da se te smetnje navrijeme otkriju i otklone u toku razvoja proizvoda. Pravovremeno neuočavanje ovih smetnji dopriniće njihovom prenošenju na ostale faze životnog vijeka proizvoda, što kao krajnju posljedicu ima slabiji kvalitet proizvoda, ponavljanje radnji, gubitak u vremenu, povećanje troškova, smanjenje konkurentnosti proizvoda na tržištu i sl. Uvođenje radnog koraka analize smetnji u toku procesa konstruisanja proizvoda, u kome bi se jednim kritičkim pristupom analizirale sve varijante rješenja na moguće smetnje, te njihovo indetifikovanje, otklanjanje ili smanjivanje povećava mogućnost da se slabe tačke proizvoda na vrijeme otkriju i otklone uzroci njihovog nastanka. U principu mnogo je ekonomičnije otkloniti uzroke otkrivenih smetnji u mašinama i uređajima, nego tražiti rješenja za njihove posledice. Otkrivanje i otklanjanje slabih tačaka u fazi konstruisanja povećava pouzdanost konstrukcionih elemenata i same mašine. Analizi smetnji, kao elementarnom radnom koraku u procesu konstruisanja proizvoda najbolje je pristupiti nakon grubog oblikovanja varijanti rješenja, jer se tada nudi najbolja prilika za poboljšanje rješenja, sa najmanjim troškovima, s obzirom da su konstrukcioni elementi još u fazi razrade u obliku ručnih skica ili skica u razmjeri, za čiju izmjenu nije potrebno uložiti mnogo vremena. Osim toga analiza i identifikovanje smetnji kod varijanti rješenja može nam kasnije dobro poslužiti i za formiranje kriterijuma za izbor najpovoljnije varijante ili davanje prednosti nekim od varijanti rješenja.

LITERATURA

/1/ V. Radović: "Teorija i praktične metode konstruisanja", Mašinski fakultet Podgoica, 1995.

/2/ R. Tomović: "Primjena metodičnog konstruisanja u projektovanju mašine za rezanje duvana", Mašinski fakultet Podgoica, 1996.

/3/ B. Petrović "Razvoj proizvoda", FTN Novi Sad-Institut za industrijske sisteme i Istraživački i tehnološki centar, Novi Sad 1997.

/4/ B. Petrović, R. Dakić, D. Arsenijević "Integralni razvoj proizvoda", FTN Novi Sad-Institut za industrijske sisteme i Istraživački i tehnološki centar, Novi Sad 1997.

DEMAND FOR ANALYSE OF DISTURBANCE OF SOLUTION VERSIONS AS BASIC PHASE OF PRODUCT DESIGN

*Prof. dr Radović Vladeta, dipl. ing. Tomović Radoslav,
Faculty of mechanical engineering Podgorica
dipl. ing. Prodanić Boro, Yugoslav Army*

Summary

This work is dedicated to the necessity of introduction of an work - step in the process of construction, in which all variants of solution would be analyzed to appearance of disturbance in work possibility. After eventually identification, solutions for prevent or reduction of these disturbances could be proposed. Analysis of possible disturbance and eventually mistakes at the machines in early phases of construction process enlarges possibility of machine's weakly points promptly uncovering and solution for cause of disturbances appearing could be proposed. Early machine's mistakes uncovering contributes to the product's quality enlargement, reduction of time necessary for development and realization, expenses of product realization decrease, and, at the end, enlargement of product competence at the market.

Key words: product, quality, development.

Adresa za kontakt:

Prof. dr Radović Vladeta,
Mašinski fakultet Podgorica
Cetinjski put b.b., 81000 Podgorica

УТИЦАЈ ОБЛИКА ТЕЛА ЗУПЧАНИКА НА ДЕФОРМАЦИЈУ ВРАТИЛА УНИВЕРЗАЛНОГ ЗУПЧАСТОГ РЕДУКТОРА

Доц. др Драги Радомировић, ПФ-Нови Сад
Проф. др Синиша Кузмановић, ФТН-Нови Сад

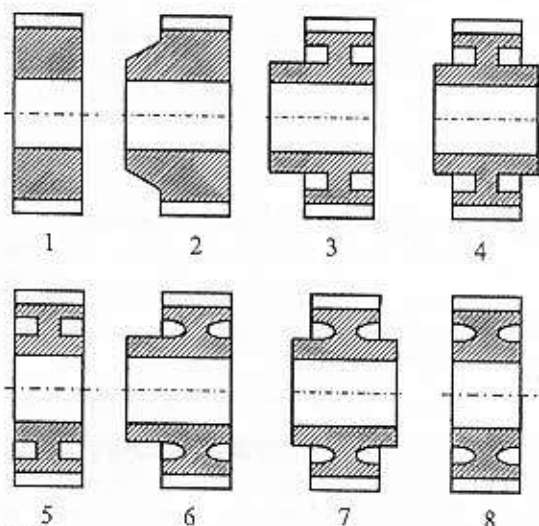
Резиме

У раду је разматран утицај облика тела зупчаника, на крутост излазног вратила универзалног зупчастог редуктора с циљем да се изнађе најповољније решење. Наиме, да би се обезбедило правилно налагање бокова зубаца спрегнутих зупчаника потребно је обезбедити што већу крутост вратила на којима се они налазе.

Кључне речи: вратило, деформација, зупчаник.

1. УВОД

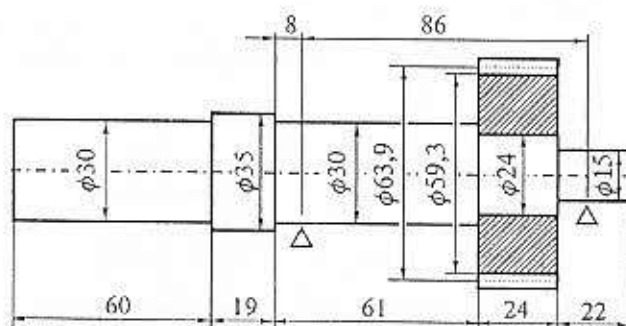
Познато је да тело зупчаника може имати веома различите облике као и то да облик тела зупчаника има одређени утицај и на деформацију вратила а тиме и на квалитет налагања бокова спрегнутих зупчаника, па и на трајност зупчастог пара и редуктора у целини. У оквиру овог рада детаљно је разматрен утицај облика тела зупчаника на деформацију вратила.



Сл. 1 Карактеристични облици тела зупчаника: 1, 2, 3, 4 и 5 – облици остварени резањем и 6, 7 и 8 – облици остварени ковањем

У зависности од величине зупчаника и величине серије, зупчаници се израђују у десетак различитих облика, углавном стругањем из шипке а нешто ређе од припремка израђеног ковањем или ливењем. У оквиру овог рада анализирано је осам карактеристичних облика тела зупчаника (Сл. 1).

Посматраће се тростепени зупчasti редуктор, ознаке 115-2/3 произвођача Север из Суботице са карактеристикама: $T_N = 350 \text{ Nm}$, $\alpha = \beta = 20^\circ$, $d_2 = 63.9 \text{ mm}$, $F_t = Y \cdot 2T_N/d_2 = 10954.6 \text{ N}$, $F_r = X = F_t \tan \alpha / \cos \beta = 4243.0 \text{ N}$, $F_a = Z = F_r \tan \beta = 1544.3 \text{ N}$, $M = F_a d_2 / 2 = 49.34 \text{ Nm}$. Димензије излазног вратила, у основној варијанти 1 са слике 1, дате су на слици 2.



Сл. 2 Димензије излазног вратила у основној варијанти израде зупчаника

Шематски приказ оптерећења излазног вратила, у циљу анализе његове еластичне линије, приказан је на сликама 3 и 4.

Отпори ослонаца у међусобно управним попречним правцима (x и y), на основу слика 3 и 4, су:

$$X_A = \frac{-M + X(c + h/2)}{a + h + c}, \quad X_B = \frac{M + X(a + h/2)}{a + h + c}, \quad (1)$$

$$Y_A = \frac{-m + Y(c + h/2)}{a + h + c}, \quad Y_B = \frac{m + Y(a + h/2)}{a + h + c}, \quad (2)$$

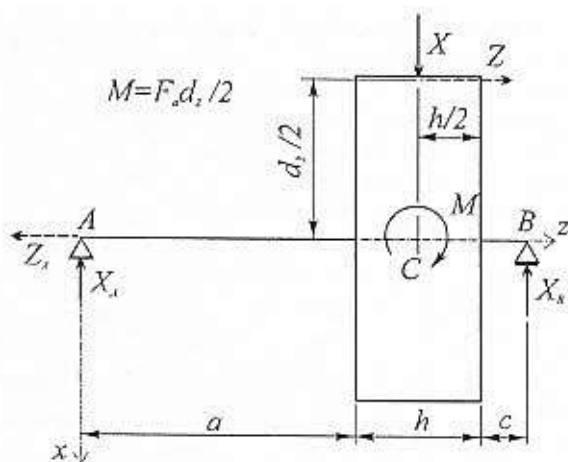
Спрег m , са слике 4 и из формула (2), је фиктиван, дакле, са вредношћу нула, али је уведен само због коришћеног начина за одређивање нагиба еластичне линије. У даљем прорачуну, у складу са формулама (1) и (2), користиле се следеће ознаке за реакције:

$$X_A = X_A(X, M), \quad X_B = X_B(X, M),$$

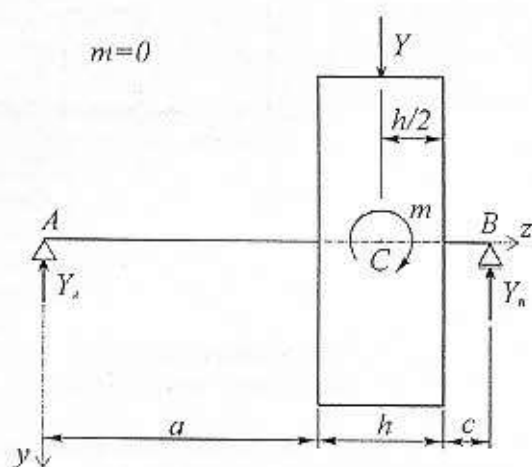
$$Y_A = Y_A(Y, m), \quad Y_B = Y_B(Y, m).$$

Са слике 2 се могу видети карактеристичне димензије вратила: $a = 53 \text{ mm}$, $h = 24 \text{ mm}$ и $c = 9 \text{ mm}$.

Циљ овог рада је да се уз помоћ метода отпорности материјала одреде важне, за квалитет спрезања, деформације излазног вратила у варијантама облика тела зупчаника са слике 1. Упоредивањем добијених деформација може се доћи до важних закључака у погледу избора облика тела зупчаника. За репрезенте ових деформација узете се угиб вратила на месту средине зупчаника као и нагиб еластичне линије на истом месту.



Сл. 3 Шема оптерећења вратила у хз-равни



Сл. 4 Шема оптерећења вратила у уу-равни

2. ДЕФОРМАЦИЈЕ ИЗЛАЗНОГ ВРАТИЛА ПРИ ИЗРАДИ ЗУПЧАНИКА У ВАРИЈАНТИ 1

У овој варијанти се претпоставља да су еластична два дела вратила: први пречника $d = 30 \text{ mm}$, дужине a и момента инерције за неутралну осу $I_1 = 30^4 \pi / 64 = 39760.78 \text{ mm}^4$ и други пречника $D = 15 \text{ mm}$, дужине c и момента инерције за неутралну осу $I_2 = 15^4 \pi / 64 = 2485.05 \text{ mm}^4$. Део вратила на месту зупчаника се у целости (на дужини $h = 24 \text{ mm}$) сматра крутим из разлога што је пречник подножја зупчаника знатно већи од пречника d (Сл. 5).

Деформацијски рад, услед напона изазваних савијањем у хз-равни, а занемаривањем тангенцијалних напона, има облик

$$U_{xz} = \frac{1}{2EI_1} \int_0^a X_A(X, M)^2 z^2 dz + \frac{1}{2EI_2} \int_0^c X_B(X, M)^2 z^2 dz.$$

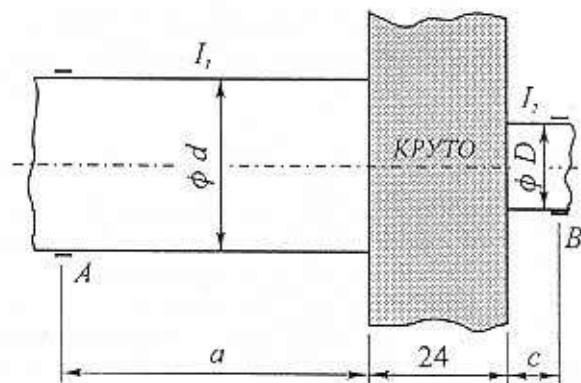
С обзиром да се у хз-равни угиб осе вратила на месту средине зупчаника као и њен нагиб, према Кастиљановој теорему, могу одредити према обрасцима:

$$x_c = \frac{\partial U_{xz}}{\partial X}, \quad \beta_{xz} = \frac{\partial U_{xz}}{\partial M}, \quad (3)$$

добивају се, за тражене деформације, следеће формуле:

$$x_c = -\frac{(2M - 2Xc - Xh)(2c + h)a^3}{12EI_1(a + h + c)^2} + \frac{(2M + 2Xa + Xh)(2a + h)c^3}{12EI_2(a + h + c)^2}, \quad (4)$$

$$\beta_{xz} = \frac{(2M - 2Xc - Xh)I_2 a^3 + (2M + 2Xa + Xh)I_1 c^3}{6EI_1 I_2 (a + h + c)^2}. \quad (5)$$



Сл. 5 Приказ еластичних делова вратила у варијанти 1

Слично претходном, деформацијски рад, услед напона изазваних савијањем у уу-равни, има облик

$$U_{yz} = \frac{1}{2EI_1} \int_0^a Y_A(Y, m)^2 z^2 dz + \frac{1}{2EI_2} \int_0^c Y_B(Y, m)^2 z^2 dz.$$

Угиб осе вратила на месту средине зупчаника као и њен нагиб у уу-равни, одређују обрасци

$$y_c = \frac{\partial U_{yz}}{\partial Y} \Big|_{m=0}, \quad \beta_{yz} = \frac{\partial U_{yz}}{\partial m} \Big|_{m=0}, \quad (6)$$

на основу којих се добијају, за тражене деформације, следеће формуле:

$$y_c = \frac{(2c + h)^2 a^3 I_2 + (2a + h)^2 c^3 I_1}{12EI_1 I_2 (a + h + c)^2} Y, \quad (7)$$

$$\beta_{yz} = \frac{-(2c + h)I_2 a^3 + (2a + h)I_1 c^3}{6EI_1 I_2 (a + h + c)^2} Y. \quad (8)$$

За дате податке и модул еластичности $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ N/m}^2$, према формулама (4), (5), (7) и (8), добијају се следеће вредности деформација

$$x_c = 2.102 \mu\text{m}, \quad y_c = 7.136 \mu\text{m} \Rightarrow f_c = 7.439 \mu\text{m}, \quad (9)$$

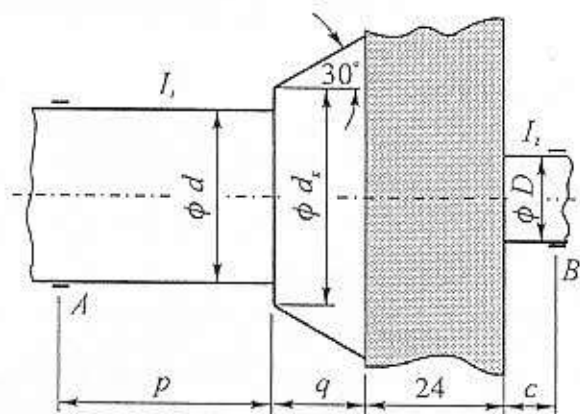
$$\beta_{xz} = -2.487^\circ, \quad \beta_{yz} = -30.328^\circ \Rightarrow \beta_R = 30.43^\circ, \quad (10)$$

где су резултујући угиб f_c и резултујући нагиб β_R израчунати коришћењем формула

$$f_c = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}, \quad \beta_R = \sqrt{\beta_{xz}^2 + \beta_{yz}^2}. \quad (11)$$

3. ДЕФОРМАЦИЈЕ ИЗЛАЗНОГ ВРАТИЛА ПРИ ИЗРАДИ ЗУПЧАНИКА У ВАРИЈАНТИ 2

У овој варијанти се претпоставља да су еластична три дела вратила: први пречника d , дужине $p = 41$ mm и момента инерције за неутралну осу I_1 , други пречника D , дужине c и момента инерције за неутралну осу I_2 и трећи променљивог попречног пресека минималног пречника $d_g = 38$ mm, дужине $q = 12$ mm. Део вратила на месту зупчаника, дужине 24 mm, сматра се крутим из истог разлога као и у претходној варијанти (Сл. 6).



Сл. 6 Приказ еластичних делова система вратило-зупчаник у варијанти 2

Деформацијски радови, у xz и yz -равни, у овом случају, имају облик

$$U_{xz} = \frac{X_A(X, M)^2}{2EI_1} \int_0^p z^2 dz + \frac{X_B(X, M)^2}{2EI_2} \int_0^c z^2 dz + \frac{32X_A(X, M)^2}{E\pi} \int_0^q \frac{(p+z)^2}{\left(d_g + \frac{2\sqrt{3}}{3}z\right)^4} dz,$$

$$U_{yz} = \frac{Y_A(Y, m)^2}{2EI_1} \int_0^p z^2 dz + \frac{Y_B(Y, m)^2}{2EI_2} \int_0^c z^2 dz + \frac{32Y_A(Y, m)^2}{E\pi} \int_0^q \frac{(p+z)^2}{\left(d_g + \frac{2\sqrt{3}}{3}z\right)^4} dz.$$

За дате податке, с обзиром на (1) и (2), користећи формуле (3) и (6), добијају се, у овом случају, следеће вредности тражених деформација:

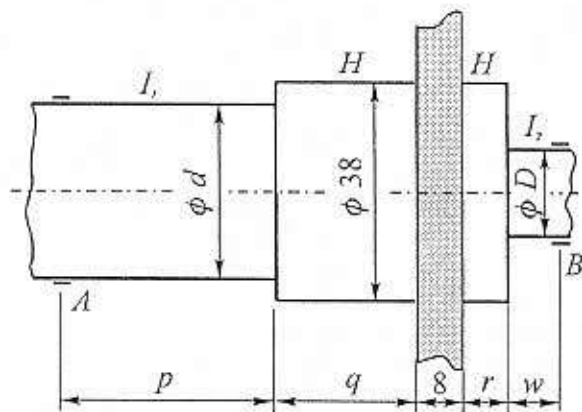
$$x_C = 1.801 \mu m, y_C = 5.394 \mu m \Rightarrow f_C = 5.687 \mu m, \quad (12)$$

$$\beta_{xz} = 0.470'', \beta_{yz} = -13.218'' \Rightarrow \beta_R = 13.23''. \quad (13)$$

4. ДЕФОРМАЦИЈЕ ИЗЛАЗНОГ ВРАТИЛА ПРИ ИЗРАДИ ЗУПЧАНИКА У ВАРИЈАНТИ 3

У овој варијанти се претпоставља да су еластична четири дела вратила: први пречника d , дужине $p = 41$ mm и момента инерције за неутралну осу I_1 , други пречника D , дужине $w = 9$ mm и момента инерције за

неутралну осу I_2 , трећи пречника 38 mm, дужине $q = 20$ mm и момента инерције за неутралну осу $H = 38^4 \pi / 64 = 102353.8741$ mm⁴ и четврти пречника 38 mm, дужине $r = 8$ mm и момента инерције за неутралну осу такође H . Део вратила на месту зупчаника, дужине 8 mm, сматра се крутим из разлога што на том делу зупчаник није олакшан (Сл. 7).



Сл. 7 Приказ еластичних делова система вратило-зупчаник у варијанти 3

Деформацијски радови, у xz и yz -равни, у овом случају, имају облик

$$U_{xz} = \frac{X_A(X, M)^2}{2EI_1} \int_0^p z^2 dz + \frac{X_B(X, M)^2}{2EI_2} \int_0^w z^2 dz + \frac{X_A(X, M)^2}{2EH} \int_0^q (p+z)^2 dz + \frac{X_B(X, M)^2}{2EH} \int_0^r (w+z)^2 dz, \\ U_{yz} = \frac{Y_A(Y, m)^2}{2EI_1} \int_0^p z^2 dz + \frac{Y_B(Y, m)^2}{2EI_2} \int_0^w z^2 dz + \frac{Y_A(Y, m)^2}{2EH} \int_0^q (p+z)^2 dz + \frac{Y_B(Y, m)^2}{2EH} \int_0^r (w+z)^2 dz. \quad (14)$$

За дате податке, с обзиром на (1) и (2), користећи формуле (3) и (6), добијају се, у овом случају, следеће вредности тражених деформација:

$$x_C = 2.209 \mu m, y_C = 7.054 \mu m \Rightarrow f_C = 7.392 \mu m, \quad (15)$$

$$\beta_{xz} = -1.007'', \beta_{yz} = -23.985'' \Rightarrow \beta_R = 24.01''. \quad (16)$$

5. ДЕФОРМАЦИЈЕ ИЗЛАЗНОГ ВРАТИЛА ПРИ ИЗРАДИ ЗУПЧАНИКА У ВАРИЈАНТИ 4

У овој варијанти, као и у варијанти 3 (Сл. 7), претпоставља се да су еластична четири дела вратила: први пречника d , дужине $p = 47$ mm и момента инерције за неутралну осу I_1 , други пречника D , дужине $w = 3$ mm и момента инерције за неутралну осу I_2 , трећи пречника 38 mm, дужине $q = 14$ mm и момента инерције за неутралну осу H и четврти пречника 38 mm, дужине $r = 14$ mm и момента инерције за неутралну осу H . Део вратила на месту зупчаника, дужине 8 mm, сматра се крутим.

Деформацијски радови, у xz и yz -равни, и у овом случају, имају облик (14).

За дате податке, с обзиром на (1), (2) и (14), користећи формуле (3) и (6), добијају се, у овом случају, следеће вредности тражених деформација:

$$x_c = 2.342 \mu m, y_c = 7.710 \mu m \Rightarrow f_c = 8.058 \mu m, \quad (17)$$

$$\beta_{xz} = -1.895^\circ, \beta_{yz} = -29.498^\circ \Rightarrow \beta_R = 29.56^\circ. \quad (18)$$

6. ДЕФОРМАЦИЈЕ ИЗЛАЗНОГ ВРАТИЛА ПРИ ИЗРАДИ ЗУПЧАНИКА У ВАРИЈАНТИ 5

У овој варијанти такође, као у варијанти 3 (Сл. 7), претпоставља се да су еластична четири дела вратила: први пречника d , дужине $p = 53 \text{ mm}$ и момента инерције за неутралну осу I_1 , други пречника D , дужине $w = 9 \text{ mm}$ и момента инерције за неутралну осу I_2 , трећи пречника 38 mm , дужине $q = 8 \text{ mm}$ и момента инерције за неутралну осу H и четврти пречника 38 mm , дужине $r = 8 \text{ mm}$ и момента инерције за неутралну осу H . Као и у варијантама 3 и 4, део вратила на месту зупчаника, дужине 8 mm , сматра се крутим.

Деформацијски радови, у xz и yz -равни, и у овом случају, имају облик (14).

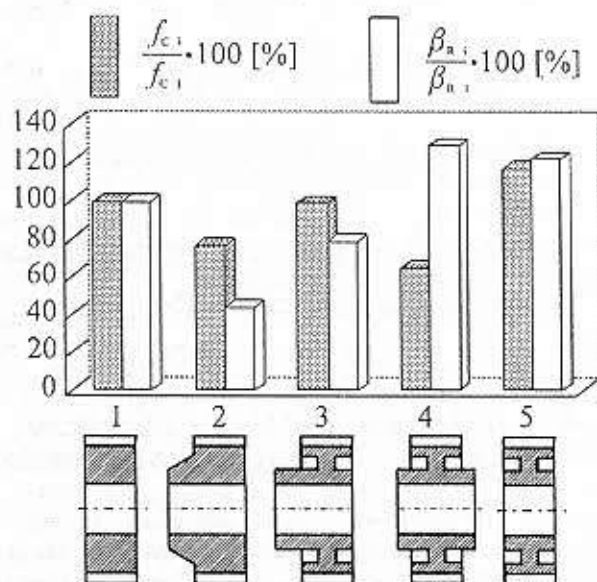
За дате податке, с обзиром на (1), (2) и (14), користећи формуле (3) и (6), добијају се, у овом случају, следеће вредности тражених деформација:

$$x_c = 2.440 \mu m, y_c = 8.393 \mu m \Rightarrow f_c = 8.740 \mu m, \quad (19)$$

$$\beta_{xz} = -3.280^\circ, \beta_{yz} = -37.135^\circ \Rightarrow \beta_R = 37.28^\circ. \quad (20)$$

7. ГРАФИЧКИ ПРИКАЗ РЕЗУЛТАТА

Означивањем карактеристичних угиба и нагиба вратила за i -ту варијанту са f_{ci} и β_{Ri} ($i=1,2, \dots, 5$), на слици 8 су у процентима приказане њихове релативне вредности у поређењу са основном варијантом 1.



Сл. 8 Мере деформације вратила у разматраним варијантама у поређењу са варијантом 1

8. ЗАКЉУЧАК

Добијени резултати, према очекивању, говоре да су најмање деформације у варијанти 2, облика тела зупчаника. У поређењу облика 3, са овим обликом, види се да му је резултујући репрезентативни угиб за око 30% већи, док му је одговарајући нагиб већи чак за око 80%.

Исто тако је разумљиво да су деформације за облик 5, у поређењу са истим за облик 1, веће. Процентуално изражено угиб је већи за око 17%, док је нагиб већи за око 23%, што и није превише велико повећање.

Занимљиво је поредити и облике 3 и 4, из разлога што су зупчаници израђени од исте количине материјала. Резултати говоре да је облик 4 у односу на облик 3 погоднији са становишта угиба (карактеристични угиб је мањи за око 34%) док је неповољнији са становишта нагиба (нагиб је већи чак за око 64%).

Облици 6, 7 и 8, остварени ковањем, би проузроковали незнатно мање деформације у поређењу са одговарајућим облицима 5, 3 и 4, оствареним резањем.

ЛИТЕРАТУРА

- 1/ Radomirović D., Kuzmanović S.: Analysis of influence gear hub width on shaft deformations, Journal of mechanical engineering design, Vol.2, No.1, Belgrade, 1999, pp 17-22
- 2/ Radomirović, D., Kuzmanović, S.: Analysis of Possibilities of Shaft Deformations Decrease on the Gear Place, Ged, 1999.
- 3/ Zella L. Kaln-Jetter, Paul A. Sasser: Using spreadsheets for studying machine design problems involving optimization, Computer Applications in Engineering Education, Vol. 5, No. 3, 1997, 199-211.
- 4/ Мандић, Ј.: Отпорност материјала, Научна књига, Београд, 1987.

GEAR SHAPE INFLUENCE ON OUTPUT SHAFT DEFORMATIONS OF UNIVERSAL GEAR REDUCER

Doc. dr Dragi Radomirović, PF – Novi Sad
Prof. dr Siniša Kuzmanović, FTN – Novi Sad

Summary

Gear shape influence on output shaft rigidity of universal gear reducer is analyzed in this paper. The aim is to find optimal choice of gear shape. Namely, proper support of cog hips of conjugate gears dictates great rigidity of the gear shafts.

Key words: shaft, deformation, gear.

Адреса за контакт:

Доц. Др Драги Радомировић
Пољопривредни факултет
Институт за уређење вода
21000 НОВИ САД
Трг Доситеја Обрадовића 8
dragi@polj.ns.ac.yu

АНАЛИЗА ФАКТОРА КОЈИ УТИЧУ НА ОБЛИК ИЗЛАЗНИХ ВРАТИЛА ЗУПЧАСТИХ РЕДУКТОРА

Проф. др Синиша Кузмановић, ФТН - Нови Сад
Асс. Мр Ружица Трбојевић, ФТН - Нови Сад
Бранислав Кузмановић, ФТН - Нови Сад

Резиме

У раду је анализиран утицај карактеристичних фактора на облик излазних вратила зупчастих редуктора. Пре свега, размотрен је утицај: функције, намене, структуре, величине, врсте материјала, масе, ергономских захтева, захтева заштите на раду, естетских захтева, величине серије, квалитета, степена корисног дејства, поузданости, рока испоруке, цене, начина израде, означавања, испитивања, монтаже, паковања, транспорта, складиштења, уградње, сервиса, одржавања, хигијенских захтева, ремонта, атмосферичности, биолошких фактора, рециклаже, екологије, специјалних захтева, итд.

Кључне речи: вратило, облик, израда.

1. УВОД

Неоспорно је да облик излазних вратила зупчастих редуктора зависи од изузетно великог броја фактора. Међутим, при усвајању коначног облика вратила, највећа пажња се мора посветити утицају облика вратила на напоне, који се јављају у њему при оптерећењу, као и на трошкове његове израде. Због тога је потребно детаљно проучити утицај појединих фактора, на облик вратила, као и утицај облика вратила на његову чврстоћу, крутост, начин, сложеност и цену израде, како би се при конструкцији вратила благовремено могао усвојити такав облик који ће му, уз планирани квалитет, омогућити једноставу и јефтину израду, монтажу, транспорт, експлоатацију, одржавање и ремонт.

Из тог разлога је потребно, већ при усвајању концепције преносника, начелно дефинисати и облик вратила, који се затим, након претходног прорачуна, мора у потпуности дефинисати, мада се у случају потребе он може и накнадно кориговати, након завршног прорачуна вратила, тј. прорачуна степена сигурности у карактеристичним критичним пресецима и, по пореби, након прорачуна његове крутости.

2. АНАЛИЗА ФАКТОРА ОД КОЈИХ ЗАВИСИ ОБЛИК ВРАТИЛА

Пошто облик машинских елемената, па према томе и вратила, зависи од изузетно великог броја фактора, потребно их је, при обликовању машинских елемената, детаљно размотрити како би се искористиле све предности које се обликом могу постићи.

1. *Функција вратила*, несумњиво, има највећи утицај на његов облик, с обзиром да је велика разлика између облика вратила намењених за равномерно преношење обртног момента и/или кретања (права вратила), од оних намењених за преношење неравномерног оптерећења и/или кретања (коленаста и брегаста вратила) и оних намењених за преношење обртног момента при променљивом положају оса вратила (савитљива вратила). У оквиру овог рада разматраће се само права вратила (сл.1), с обзиром да се она највише користе, по слободној процени, преко 70 %.

2. *Намена вратила* такође има великог утицаја на њихов облик. Наиме, вратила се могу користити за пренос снаге посредством спојнице (пуна - класична вратила) или за пренос снаге без примене спојнице, директним повезивањем са суседним вратилом, тзв. шупља вратила. Овде ће се размотрити само пуна вратила, с обзиром да се она највише користе (готово 60%). У оквиру пуних вратила разликују се вратила код којих се фиксирање положаја зупчаника и преношење аксијалне силе врши посредством ускочника, када се користе тзв. глатка вратила, и она код којих се фиксирање положаја и преношење аксијалне силе врши посредством наслона на вратилу (сл.1-1), тзв. степенаста вратила. Место прихватања аксијалне силе такође има велики утицај на облик вратила. Наиме, ако се аксијална сила прихвата само на једном легају, без обзира на смер њеног дејства (што је доста чест случај), вратило ће се незнатно разликовати од оног вратила код којег се аксијална сила прихвата на једном од легајева, у зависности од смера дејства аксијалне силе. Поред тога, место где се користи вратило (улазно, међу или излазно вратило) такође има велики утицај на његов облик, пре свега због примењених преносних елемената, тј. места њиховог постављања и оптерећења. С обзиром да се највише користе степенаста вратила у даљем ће се она једино и разматрати.

3. *Структура вратила*, која у највећој мери зависи од њихове функције и намене, диктира облик вратила, тако да се вратила могу израђивати као једноставна глатка вратила, или као степенаста вратила, или као зупчаста вратила, или као зупчаста вратила на којима се налази више озубљења, или као вратила (или зупчаста вратила) на којима се налазе и неки посебни детаљи (разни испусти, држачи, носачи и сл.). У оквиру овог рада разматраће се само једноставна, степенаста, права вратила.

4. *Величина вратила*, има великог утицаја на њихов облик, јер се код вратила већих димензија настоји извршити уштеда у материјалу. Мала вратила се у принципу израђују као глатка, док се средња и велика, по правилу, раде као степенаста.

5. *Врста материјала*, од којег се израђују вратила, такође има великог утицаја на њихов облик. Наиме, ако се користе јефтини материјали обликовању се не посвећује нека посебно велика пажња, међутим, ако се користе скупи материјали настоји се да се утришак материјала сведе на што мању меру, што свакако утиче и на облик тих вратила, паравно само у случају великих серија и када се користе материјали предвиђени за посебне технологије израде, на пример, за ваљање, ковање, ливење, синтероване и сл., када, на основу примењене технологије, постоје технолошке могућности да се изврши уштеда материјала.

6. *Маса вратила*, има велики утицај на трошкове израде (цена материјала, плус, трошкови машинске обраде, трошкови загревања, при термохемијској обради - ако се она врши, тежа манипулација при изради и сл.). Због тога се тежи, кад год је то могуће, да се смањи маса вратила, под условом да то смањење не утиче на повећање трошкова израде. У случају да се уштеда материјала остварује обликом који се постиже резањем, тај захват се ниуком случају не може оправдати јер се трошкови машинске обраде, а посебно задржавање машине на обављању тих операција, обично не могу надокнадити ценом струготине, која при тој обради настаје. Овако се поступа само у случају да се захтева лака конструкција, без обзира на цену израде, и када се разлика у цени израде може посебно наплатити.

7. *Ергономски захтеви*, такође имају велики утицај на облик вратила, с обзиром да се вратила, поред осталог, морају прилагодити и човеку (раднику) тако да их он може веома једноставно прихватити и манипулисати са њима током израде, монтаже, сервисиса, одржавања и ремонта. Ако то није могуће извести, због његових димензија и масе, морају бити предвиђени посебни детаљи - средишно гнездо са навојем (сл.1-2), у које се уврће завртањ са прстенастом главом, којима се омогућава једноставна манипулација.

8. *Заштита на раду*, као обавезан захтев и законски пропис, такође диктира облик вратила, тиме што захтева да вратила буду без оштрих ивица (сл.1-3), да не би дошло до озледа радника који их израђују и уграђују, а такође захтева да вратила буду квалитетно и тачно урађена да вибрације и шум, које се стварају приликом рада, буду у дозвољеним границама и да не делују штетно по особље и околину.

9. *Естетски захтеви*, имају изузетно велики утицај на облик сваке конструкције, мада вратила сигурно не спадају у елементе пред које се постављају строги естетски захтеви, међутим, и поред тога о томе се мора водити рачуна, јер леп естетски изглед вратила представља услов за леп изглед целе конструкције. У оквиру естетских захтева, пре свега складним односом димензија, а затим укупним обликом и бојом (код отворених преносника), или посебним поступком галванизације или термохемијске обраде (код свих вратила код којих се она врши), пуно се може утицати на побољшање њиховог општег изгледа.

10. *Величина серије*, има великог утија на избор технологије израде а тиме и на облик вратила. Наиме, код малих серија облику се, обично, не посвећује нарочита пажња док се код великих серија настоје искористити све предности технологија, које су погодне за такав вид производње. То значи да се код великих серија, посредством избора адекватног облика вратила, посебно води рачуна о уштеди материјала и смањењу обима машинске обраде, као и облика свих детаља на вратилу (нп. жлебова за клинове) чиме се такође може смањити обим машинске обраде. Овде треба посебно истаћи да се код мањих вратила данас све ређе користе клинови већ се веза вратила са осталим елементима остварује лепљењем.

11. *Рок испоруке* (или уговорени рок испоруке) може имати великог утицаја на усвојену технологију и тиме на облик вратила, јер ће се, у појединим случајевима, вратила радити од пуног комада (из шипке), а не ваљањем или ковањем и поред тога што би у датом случају то можда било повољније. Наиме, ако су уговорени рокови кратки и не постоји довољно времена за израду специјалних алата, мада би уговорене серије омогућавале примену таквих алата (нп. за ваљање), вратила ће се радити од пуног комада и поред тога што ће у датом случају то можда бити и нерационално.

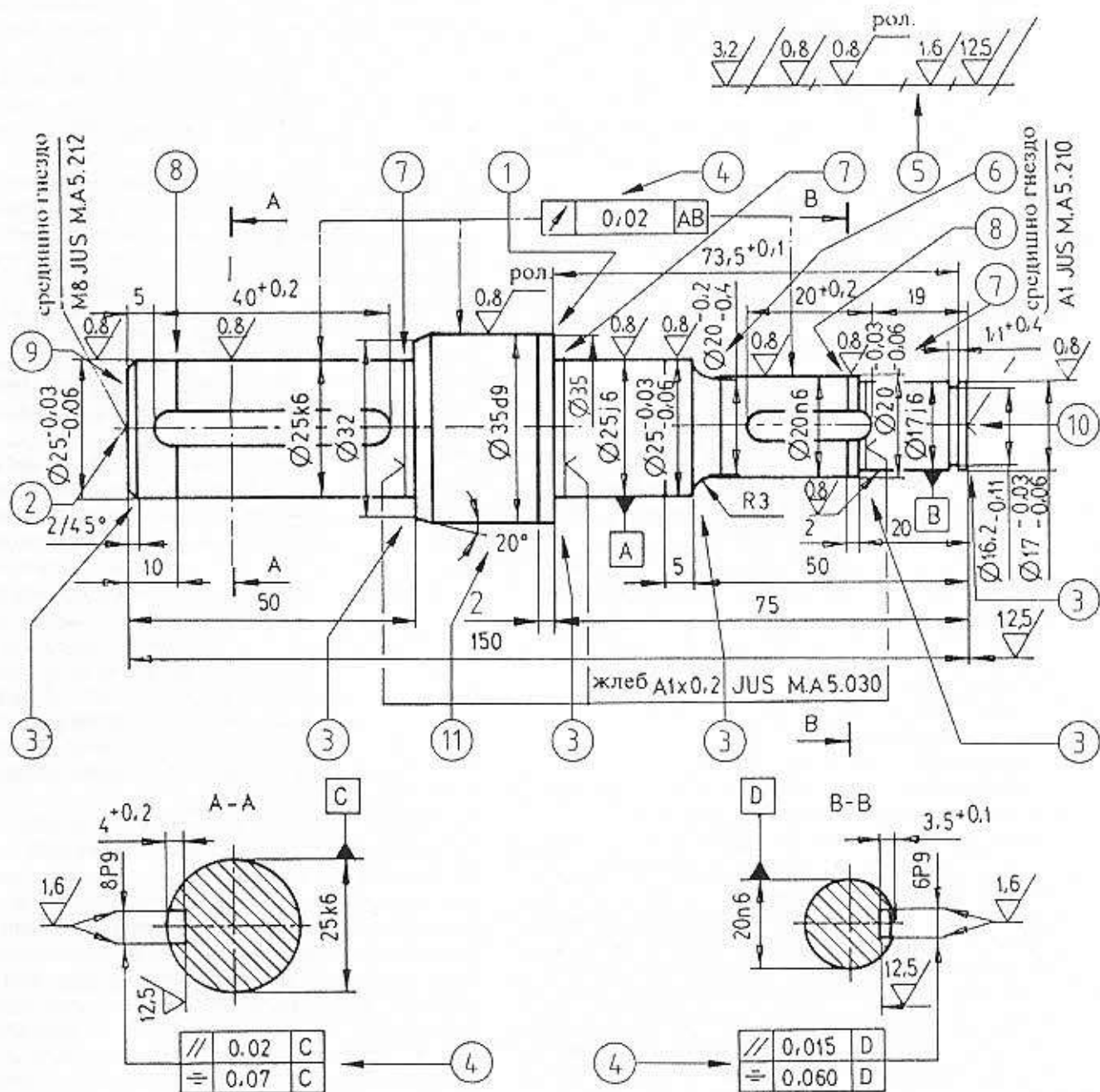
12. *Квалитет вратила*, или уговорени квалитет, такође утиче на њихов облик. Наиме, квалитетна вратила се по правилу раде ковањем или ваљањем што треба имати у виду при дефинисању начина израде и тиме облика вратила, а посебно при избору толеранција дужинских мера и толеранција облика и положаја (сл.1.4), као и квалитета обрађене површине (сл.1.5). Уравнотеженост вратила има пресудан утицаја на миран, тих и дуготрајан рад вратила и уопште машине у коју је оно уграђено, затим крутост вратила, посебно код брзоходних вратила, а и код осталих, због нп. смањења носивости зупчаника који се постављају на њега, услед неравномерног контакта зупчаника са својим паром, и сл.

13. *Радни век*, може да утиче на облик вратила, тиме што ће та вратила имати нешто већи степен сигурности, који се захтева код дужег радног века, па ће то утицати на робуснију конструкцију вратила.

14. *Поузданост*, као један од основних показатеља квалитета, захтева да се вратилу, током конструкције, посвети посебно велика пажња. У конкретном случају то захтева, поред коректног прорачуна (данас, посредством методе коначних елеманата) и довољно великог степена сигурности (од 1,5 до 2,5 мада се код познавања тачног оптерећења може рачунати и са степеном сигурности 1,3 па чак и мањим, око 1, код ограничене трајности), изостављање свих оштрих прелаза и великих разлика између суседних пречника (сл.1.6), да би се избегли велики извори концентрације напона у материјалу, заобљивање ивица у корену жлеба за клин, да не би дошло до пуцања вратила, примена ожељбених вратила, или лепљења, уместо класичног клина, примена ковањих и ваљаних вратила и сл., што све има великог утицаја на коначан облик вратила

15. Степен корисног дејства, као најважнија карактеристика сваког преносника, а тиме и вратила, има велики утицај на њихов облик. Наиме, познато је да све компоненте морају радити са великим степеном искоришћења. То захтева квалитетну обраду вратила (обично $0,8 \mu\text{m} \leq Ra \leq 3,2 \mu\text{m}$), уске толеранције

(посебно уске толеранције саосности, сл.1.4) и, најчешће, велику крутост тела вратила. Оваква вратила, као уосталом и други производи са великим степеном корисности, уграђују се у производе који данас обавезно носе посебну ознаку "висока ефикасност".



НАПОМЕНА: Све оштре ивице оборити са $0,2 / 45^\circ$

Сл. 1 Изглед карактеристичног решења излазног вратила универзалног зупчастог редуктора са ознакама детаља на које се мора обратити пажња при њиховом обликовању

16. Уговорена цена, или цена која се може постићи на тржишту, такође утиче на облик вратила јер ако се жели извршити уштеда материјала, применом квалитетнијег материјала, и смањити обим и квалитет машинске обраде, како би се могла постићи жељена цена, то ће све утицати и на облик вратила. У принципу, за сваку цену треба знати направити одговарајући производ, у овом случају вратило.

17. Начин израде и технологијност, имају највећи утицај на облик вратила јер усвојени начин израде у највећој мери зависи од облика вратила, врсте материјала, серије и захтеваног квалитета. У случају да је реч о малим серијама, вратила се раде из пуног комада, или од делова који се спајају заваривањем, док се код великих серија обавезно раде ковањем, ваљањем, или синтеровањем, када год то употребљена врста материјала дозвољава.

18. Монтажа вратила, треба да је једноставна и лака, што захтева посебан приступ обликовању вратила. Наиме, оштре ивице морају бити оборене, како не би утицале на немогућност или отежану монтажу, а на ослоним површинама, на местима промене пречника, морају бити предвиђени одговарајући радијуси, или одговарајући жлебове за излаз алата, који се обично постављају на таквим местима, да би се омогућило потпуно ослањање елемента на вратило (сл.1.7). Поред тога на вратилима морају бити предвиђене површине за вођење (сл.1.8), на местима где се постављају лежачеви, зупчаници, ременице и сл. (обично се вратило на том месту израђује са толеранцијом - 0,06 до - 0,03 mm).

19. Означавање вратила, такође може да утиче на њихов облик, с обзиром да сва вратила морају бити јасно означен читљивом ознаком отпорном на брисање. Ознака се обично поставља на оном месту где није изложена хабању, где ју је могуће веома лако исписати и где је читљива и у монтираном стању (сл.1.9). Наиме, веома је важно обезбедити могућност читавања ознаке вратила када је оно још монтирано јер то, несумњиво, утиче на брзину ремонта, односно могућност брзог наручивања новог вратила, којим ће се заменити оштећено.

20. Испитивање вратила, које се по правилу врши након његове израде, може да има извесан утицај на његов облик, јер се приликом тих испитивања проверавају постигнуте геометријске и механичке карактеристике што захтева, поред лаког препознавања и једноставне манипулације вратила, и постојање одговарајућих површина за ослањање и центрирање (средишња гнезда, сл.1.10), као и, у случају потребе, површина за мерење тврдоће односно дубине цементационог слоја (ако се врши термохемијска обрада) и сл.

21. Паковање вратила, нема неког посебног утицаја на његов облик, тако да му се не посвећује посебна пажња, сем што се избегавају оштре ивице које би евентуално могле да оштете амбалажу (сл.1.3).

22. Транспорт вратила, код мањих вратила овај проблем није посебно изражен, сем што се захтева постављање вратила у посебне мрежице, којима се спречава међусобни контакт вратила и тиме спречава њихово оштећење, код средњих вратила пред-

виђа се израда посебних рупа са навојем (средишњих гнезда са навојем, сл.1.2), у које се могу уврнути завртњеве са прстенастом главом, ради могућности лакшег прихватања и премештања, док се код великих вратила транспорт обично врши на стандардним или специјалним палетама, тако да је потребно предвидети ослоне површине посредством којих ће се транспортовати вратило.

23. Складиштење вратила се, по правилу, врши у специјалној амбалажи (обично у фолијама) или се вратила умачу или прскају са специјалном пластичном масом. То захтева изостављање оштрих ивица (сл.1.3) које ће оштетити амбалажу односно постојање довољно великих равних површина преко којих ће се сећи заштитна превлака при "деконзервацији" вратила.

24. Уградња, захтева постојање посебних површина за вођење (о којима је већ било речи у оквиру монтаже, сл.1.8) и површина за ослањање. Наиме, на вратила се обично натискују зупчаници, лапчаници, ременице, каишници, лежачеви и спојнице због чега треба предвидети потребне површине за вођење, ослањање и навлачење. Да би се обезбедила правилна уградња, мора бити усклађено место означавања вратила са положајем уградње. Оваквим приступком наношења ознака, одмах се може проверити правилност уградње.

25. Руковање не утиче посебно на облик вратила с обзиром да је вратило веома једноставна компонента и не подлеже никаквим захтевима руковања.

26. Експлоатација вратила временом узрокује његово оштећење, због тога се облик вратила мора прилагодити условима експлоатације. Наиме, ако је реч о тешким погонским условима, када ће долазити до великих угиба и увијања вратила на којима су нп. постављени зупчаници, да би се обезбедио правилан контакт спрегнутих површина бокова зубаца, вратила морају бити димензионисана с обзиром на крутост, а ако је радна средина агресивна, морају се користити хемијски отпорни материјали или одговарајуће превлаке.

27. Сервис вратила, због његове једноставности обично се не предвиђа сервисирање вратила.

28. Одржавање вратила се обавља заједно са одржавањем редуктора, односно механичког преносника, и под одржавањем се подразумева чишћење, евентуално уклањање корозије и науљавање. То значи да вратила својим обликом морају бити прилагођена једноставној монтажи и демонтажи, на њима морају постојати површине за прихватање, које ће и на терену омогућити једноставну монтажу (растављање), без примене неких специјалних алата, при чему не смеју да имају сложен облик, да би се могла лако очистити и да би се лако уочила евентуална оштећења на њима.

29. Хигијенски захтеви, нису посебно изражени код вратила, а под њима се подразумева могућност једноставног и детаљног чишћења, углавном приликом одржавања и ремонта. Вратила су својим обликом погодна за чишћење сем жлебова за ускочнике, клинове и озубљења (код зупчастих вратила) која баш нису погодна за једноставно, лако и де-

таљно уклањање нечистоћа, али се при редовном одржавању хигијене ни не врши чишћење тих детаља, јер то једноставно није ни могуће извести.

30. Ремонт вратила, се обавља релативно ретко. Обично се при ремонту мањих преносника при оштећењу вратила врши само његова замена, па се над вратилима практично и не врше никакви ремонтни радови. Међутим, ако се код великих и сложених вратила жели обезбедити могућност ремонта вратила то значи да површине, које су подложне хабању, морају бити тако обликоване, тј. конструкционо решене, да се, на пример, на основу површину заптивке може поставити специјална челична чаура, која ће обезбедити поуздано заптивање, или на местима неких других елемената, ослона површина може дорађивати (наваривањем или галванизацијом или метализацијом наносити слој материјала) или да се поједини делови вратила могу чак и одсећи и заварити, тј. заменити новим деловима.

31. Атмосферилије, не утичу на облик вратила ако су она постављена у затворена кућишта и у затвореном простору. Међутим, код вратила која раде на отвореном овом фактору се мора посветити извесна пажња. Наиме, у том случају вратила не смеју имати никаквих површина где се може скупљати влага, која може утицати на појаву корозије, или (њеним смрзавањем) леда који може да изазове чак и оштећење вратила. Поред тога, та вратила морају бити пресвучени са заштитном превлаком, отпорном на корозију, или обојена одговарајућом заштитном и декоративном бојом или квалитетно подмазана.

32. Биолошки фактори, код вратила нису посебно изражени јер се за израду вратила користе материјали неосетљиви на биолошке факторе. Међутим, мора се водити пуно рачуна о примењеном мазиву јер је унутрашњост кућишта преко одушка (отвора за одзрачивање) у контакту са спољашњом средином па кроз тај отвор могу да продру разни микроорганизми (углавном гљиве) које, у појединим случајевима, могу да разарају поједине врсте мазива, чиме престаје његово мазиво својство и тиме, веома брзо, и рад зупчаника, лежајева, вратила, па и преносника у целини. Да би се то избегло, у таквим случајевима се, уместо класичног одушка, практикује уградња дијафрагме или, евентуално, јачих компонената, па према томе и вратила.

33. Рециклажа је фактор који сваки даном има све већи значај и утицај на обликовање машинских конструкција. Наиме, пошто се за израду вратила обично користе веома квалитетни материјали потребно је предвидети могућност да се они веома лако одвоје од осталог дела конструкције, како би се могли послати на поновну обраду (топљење), а затим, на израду нових делова.

34. Екологија је такође фактор о којем се мора водити рачуна при обликовању, јер се морају пројектовати такве конструкције које неће загађивати човекову околину и које ће се, након њихове употребе, моћи веома једноставно разградити (углавном рециклирати) како ни тада неби загађивале човекову околину. На примеру вратила, о екологији се во-

ди рачуна и приликом решавања ослоних површина за заптивке, чиме се спречава цурење уља и тиме загађивање човекове околине.

35. Специјални захтеви представљају специјалну групу захтева којима се, при уобичајеним конструкцијама вратила, обично не посвећује посебна пажња већ само при специјалним случајевима. У специјалне захтеве спадају:

а - законски прописи, односе се, углавном, на вибрације и шум, мада могу бити у питању и приградне димензије вратила, и тај захтев се обавезно мора испунити, да би се могла уградити дотични вратила у предвиђену конструкцију. Ови захтеви су различити за поједине машине као и за поједине државе.

б - повишене или ниске температуре захтевају, по правилу, примену посебних материјала, отпорних на повишене односно ниске температуре, тј. оних материјала који ће задржати своју тврдоћу и чврстоћу при измењеним температурским условима. Што се тиче обликовања таквих вратила, углавном оних који раде при повишеним температурама, мора се водити рачуна о могућности одвођења топлоте из зоне контакта, тј. мора се обезбедити добро хлађење вратила, па чак и уградња хладњака, како би се спречило преношење топлоте и тиме оштећење компонената постављених на вратило, а мора се предвидети и могућност компензације дилатација, јер при деформацији вратила може доћи до појаве несаосности а тиме и вибрација, па чак и резонанце, која може веома штетно да утиче на рад сваког постројења, или до већег аксијалног оптерећења лежајева, које ће узроковати њихово брже пропадање, а тиме и оштећење или чак и хаварију вратила.

в - повишене вибрације су појава која се јавља код готово свих машинских конструкција. У случају да је потребно уградити вратила у конструкцију која је изложена повишеним вибрацијама (и када не постоји могућност да се оне смање) тада се обично морају израђивати робуснија (крућа) вратила и користити квалитетнији материјали за њихову израду.

г - херметичност, као захтев и није тако специјалан за вратила, а он подразумева да се вратила тако изведу, да својим обликом спрече цурење уља, мада се може појавити захтев да преносник ради и у оквиру склопа где је повишен притисак, или где влада вакум, па се жели спречити продор неког флуида у кућиште, или истицање уља из кућишта у суд, у којем влада вакум и сл. Овај захтев условљава фину обраду површине, на месту контакта са осовинским заптивачима (сл.1.11), и примену одговарајућих заптивача. На местима навлачења заптивки ивице се морају оборити под углом од 15° до 20°, или заоблити са R1 mm, у зависности од смера монтаже заптивке, а све у циљу спречавања оштећења осовинских заптивача. У случају термички обрађених површина, обично се врши само брушење и полирање тих површина, док се на термички необрађеним површинама врши роловање, мада се могу поставити и специјалне чауре, које се израђују од термички обрађеног нерђајућег челика, које се нав-

лаче на месту контакта вратила са заштитком, а након њиховог оштећења, оне се замењују новим.

д - експлозивна заштита, углавном утиче на обликовање вратила, јер предвиђа да се површина на месту заштитача посебно обради, а у највећем броју случајева и обликује, како би се обезбедила довољна дужина процепа за гашење пламена, који би евентуално могао да настане у кућишту паљењем мазила.

ђ - заштита од вандализма, не односи се само на вратила који се уграђују у отворене преноснике. Овај захтев предвиђа израду таквих вратила која су отпорна на насилан лом који је последица намерног преоптерећења или последица убацивања страног тела у нп. међузубље зупчаника и сл. Да би се испоштовао овај захтев највише се може учинити правилним обликовањем склопа преносника.

ж - заштита од крађе је захтев који се поставља пред вратила која се уграђују у све преноснике, а посебно оне који раде на отвореном простору, и подразумева израду таквих вратила која се неће моћи лако неовлашћено демонтирати и која ће имати специјалне приградне димензије (нп. ожлебљена вратила) тако да се неће моћи једноставно применити на неким другим конструкцијама и сл.

з - заштита од несрећа (пожар, поплаве, земљотрес) као захтев нема неки већи утицај на обликовање вратила, с обзиром да су вратила својим обликом већ прилагођена и за овакве видове оптерећења. Код одговорних конструкција, код којих би се могла предвидети уградња вратила израђених од пластичних маса, или лакотопљивих метала, због могућности појаве пожара, мора бити предвиђена уградња челичних вратила, мада ни то није довољна гаранција за успешан рад вратила у таквим условима.

и - лични захтеви (укус, навике, престиж, мода и комфор) нису посебно изражени код вратила па се овом фактору по правилу и не посвећује нека посебна пажња.

Неоспорно је да облик вратила поред ових, тзв. основних фактора, пуно зависи и од способности, мотивисаности, расположења и расположивог времена конструктора.

На основу изнетог, види се да облик вратила зависи од јако пуно фактора, који су у појединим случајевима и у супротности, тако да им је, у неким случајевима, и тешко удовољити. Због тога се обликовању вратила мора приступити комплексно и различито, од случаја до случаја.

3. УТИЦАЈ ОБЛИКА ВРАТИЛА НА НАЧИН ЊЕГОВЕ ИЗРАДЕ

Као што је познато, вратила се, по правилу, израђују из шипке резањем. Код већих серија и сложенијих облика раде се и из одливка, одливка или припремка израђеног ваљањем или синтеровањем. Облик вратила је веома погодан за аутоматску манипулацију тако да се они данас веома често израђују на аутоматским обрадним линијама. Начин

израде вратила у највећој мери зависи од његовог облика, величине и серије. Код мањих серија вратила се, по правилу, израђују резањем из шипке. Мања вратила, једноставнијег облика, се и код већих серија, по правилу, израђују од шипке резањем, док се само код сложенијег облика и већих серија израђују од одливка, одливка или припремка израђеног ваљањем или синтеровањем.

4. ЗАКЉУЧАК

Облик вратила, као најједноставнијег машинског елемента, зависи од великог броја фактора којима се у сваком конкретном случају мора удовољити. У оквиру овог рада указано је на значај појединих фактора, као и на њихов утицај на облик вратила, тако да он може да послужи и као путоказ при избору концепције и облика вратила, као и начина његове израде.

ЛИТЕРАТУРА

- 1/ Д. Јовановић, С. Кузмановић: ОБЛИКОВАЊЕ МАШИНСКИХ КОНСТРУКЦИЈА, Научна књига, Београд, 1991.
- 2/ Р. Орлов: FUNDAMENTALS OF MACHINE DESIGN, MIR PUBLISHERS, Moscow, 1980.
- 3/ В. Милтеновић: МАШИНСКИ ЕЛЕМЕНТИ, облици, прорачун, примена, Машински факултет, Нил 1997.

ANALYSIS OF FACTORS WHICH HAVE INFLUENCE ON SHAPE OF OUTPUT SHAFT GEAR REDUCERS

Prof. dr Siniša Kuzmanović, FTN - Novi Sad
Ass. Mr Ružica Trbojević, FTN - Novi Sad
Branislav Kuzmanović, FTN - Novi Sad

Summary

This paper analysis influence of following factors: function, purpose, structure, dimension, kind of material, mass, ergonomics requirements, worker protection measures, esthetics demands, series size, quality, degree of efficiency, reliability, delivery date, price, production method, designation, testing, assembling, packing, transportation, storage, mounting, service, maintenance, hygienic requirements, repairs, atmospheric influence, biological factors, recycling, ecology, special demands, etc.

Key words: shaft, shape, manufacture.

Адреса за контакт:

Проф. др Синиша Кузмановић
Факултет техничких наука
21000 НОВИ САД
Трг Доситеја Обрадовића 6

UTICAJ PROMJENE DIMENZIJA NA POUZDANOST ELEMENATA TRANSMISIJE MOTORNIH VOZILA

prof. dr Radoš Bulatović, Mašinski fakultet - Podgorica
mr Janko Jovanović, Mašinski fakultet - Podgorica

Rezime

U ovom radu se razmatra uticaj promjene dimenzija na pouzdanost elemenata transmisije motornih vozila, pri čemu je fokus zadržan na pogonskim poluvratilima. Procjena pouzdanosti je pri tome izvršena na osnovu prethodno određenih raspodjela radnih i kritičnih napona. Pri određivanju intervala rasipanja kritičnih napona korišćene su hipoteze o akumulaciji oštećenja različitih autora. Stoga je istovremeno izvršena i uporedna analiza mogućeg smanjenja mase pogonskih poluvratila, određenog prema različitim hipotezama o akumulaciji oštećenja, za isti nivo pouzdanosti.

Ključne riječi: radni i kritični napon, pogonska poluvratila, pouzdanost

1. UVOD

Određivanje pouzdanosti elemenata mašinskog sistema već u fazi razvoja predstavlja kvalitativno značajan pomak koji donose savremene metode proračuna elemenata mašinskih sistema. Ono što predstavlja nov kvalitet u savremenim metodama proračuna elemenata mašinskih sistema jeste činjenica da se osnovni parametri na osnovu kojih se izvodi proračun, radni i kritični naponi uzimaju u proračun kao slučajno promenljive, a ne kao determinističke veličine, što je bio slučaj u klasičnim metodama proračuna i što nije dovodilo do rešenja koja pokazuju zadovoljavajuće rezultate u realnim eksploatacionim uslovima. Određivanje pouzdanosti elemenata transmisije motornih vozila već u fazi razvoja

novog proizvoda skopčano je sa rešavanjem niza složenih problema. Osnovni problem predstavlja određivanje promenljivosti, veličine i zakona raspodjele radnih i kritičnih napona u zavisnosti od uslova rada. Do oblika raspodjele i intervala rasipanja radnih napona može se doći neposredno eksperimentalnim ispitivanjima na prototipu u uslovima nalik eksploatacionim ili posredno, što je sa aspekta troškova daleko povoljnije, na osnovu rezultata prethodno izvedenih eksperimentalnih ispitivanja na elementima transmisije sličnih mašinskih sistema u približno sličnim radnim uslovima. Do oblika i intervala rasipanja kritičnih napona, koje se javlja kao posledica razlika tehnoloških uslova pri izradi materijala i samih elemenata, takođe se može doći neposredno laboratorijskim ispitivanjima ili posredno primenom hipoteza o akumulaciji oštećenja. Prevazilaženjem prethodno spomenutih problema omogućava se da se na osnovu dobijenih raspodjela radnih i kritičnih napona procjeni pouzdanost elemenata mašinskih sistema još u fazi razvoja, a što vodi krajnjem rešenju koje bi u eksploatacionim uslovima trebalo da pokaže najbolje rezultate.

2. PROCJENA POUZDANOSTI ELEMENATA TRANSMISIJE MOTORNIH VOZILA

Procjena pouzdanosti elemenata transmisije će biti izvedena na osnovu rezultata ispitivanja radnog opterećenja prenosnika snage Papovog prototipskog vozila, /1/. Reč je o teretnom vozilu snage pogonskog motora $P=147$ kW pri broju obrtaja $n=2200$ o/min, sa udvojenim pogonskim mostovima između kojih je ugrađen međuosni diferencijal koji omogućava ravnomjernu raspodjelu obrtnog momenta na oba pogonska mosta. Step en iskorišćenja diferencijala je $\eta=0.95$, a prenosni odnos $i=6.8$.

2.1 ODREĐIVANJE RASPODJELE RADNIH NAPONA

Ispitivanjem radnog opterećenja prenosnika snage u realnim eksploatacionim uslovima došlo se do saznanja o karakteru promjene obrtnog momenta u različitim radnim uslovima shodno kategorizaciji radnih uslova koja je izvršena u Zavodu za motorna vozila Instituta Mašinskog fakulteta u Beogradu, a koja je data u tabeli 1./1/. Merenje obrtnog momenta je vršeno na kardanovom vratilu i dobijeni rezultati su prikazani u tabeli 2./1/, istovremeno je praćeno i vrijeme rada i srednja brzina u pojedinim stepenima prenosa i dobijeni rezultati su dati u tabeli 3./1/.

Oznaka kategorije	Opis	Prosečno učešće (%)
G	Gradski uslovi saobraćaja, asfaltana podloga, prosečan nagib	5
I	Autoputevi, mali usponi, blage krivine	15
II	Putevi srednjeg kvaliteta, prosečni usponi, oštre krivine	50
III	Makadamski putevi, srednji usponi, blage krivine	25
IV	Putevi niskog kvaliteta, veliki usponi, oštre krivine	5

Tabela 1. Kategorizacija putnih uslova

Kardan M _k [Nm]	Poluvratilo M _p [Nm]	Frekvencija (%)				
		G	I	II	III	IV
450	726.8	33.00	28.00	18.30	35.39	14.00
1350	2180.3	44.00	40.50	30.84	41.50	23.00
2250	3633.8	16.37	17.49	22.28	17.20	41.69
3150	5087.3	3.00	4.38	7.95	2.57	11.00
4050	6540.8	2.06	4.00	7.00	1.87	6.00
4950	7994.3	1.00	3.15	6.40	0.95	3.00
5850	9447.8	0.48	2.00	5.74	0.45	1.19
6750	10901.3	0.09	0.48	1.51	0.07	0.12

Tabela 2. Rezultati eksperimentalnog ispitivanja obrtnog momenta na elementima transmisije

Stepen prenosa	G		I		II		III		IV	
	% od t	v(km/h)	% od t	v(km/h)	% od t	v(km/h)	% od t	v(km/h)	% od t	v(km/h)
I	7.21	5.57	1.31	4.43	0.79	2.70	5.95	6.52	6.95	3.71
II	16.18	9.66	6.48	10.44	2.10	10.62	23.11	11.59	54.52	9.95
III	26.30	17.21	9.13	19.81	11.99	17.71	27.81	16.63	17.19	16.51
IV	28.45	27.45	20.03	30.09	23.58	26.68	32.45	24.62	2.62	32.73
V	12.39	42.33	30.62	43.38	36.53	42.01	3.01	36.25	-	-
VI	0.61	40.90	16.99	45.82	13.49	47.95	-	-	-	-
P.h.	8.86	19.90	14.83	25.56	11.51	21.56	7.67	10.01	21.43	11.78
v(km/h)	-	21.56	-	35.52	-	32.94	-	17.53	-	11.65

Tabela 3. Rezultati praćenja vremena rada i srednje brzine u pojedinim stepenima prenosa

Procjena pouzdanosti je izvršena za pogonska poluvratila kao jedan od najbitnijih elemenata transmisije motornih vozila, pri čemu je raspodjela radnih napona τ formirana za prosječne radne uslove sa učešćima pojedinih kategorija putnih uslova datim u tabeli 1. Za raspodjelu radnih napona usvojena je Weibulova raspodjela [2]:

$$f(\tau) = \frac{\beta}{\eta} \cdot \tau^{\beta-1} \cdot e^{-\left(\frac{\tau}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (1)$$

2.2 ODREĐIVANJE RASPODJELE KRITIČNIH NAPONA

Za raspodjelu kritičnih napona usvojena je Gausova raspodjela:

$$f(\tau_N) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau_N - \bar{\tau}_N}{\sigma} \right)^2} \quad (2)$$

čiji je oblik određen parametrima:

$$\bar{\tau}_N = \frac{\tau_{N,max} + \tau_{N,min}}{2}, \sigma = \frac{\tau_{N,max} - \tau_{N,min}}{6} \quad (3)$$

pri čemu su granice intervala rasipanja kritičnih napona $[\tau_{N,min}, \tau_{N,max}]$ određivane korišćenjem sledećih hipoteza o akumulaciji oštećenja: Palmgrin-Majnerovom, Hajbahovom, Korten-Dolanovom i Serensen-Kogaeva [3]. Karakteristike materijala Č.4830 /6/, od kojeg su izrađena pogonska poluvratila date su u tabeli 4.

Trajna dinamička izdržljivost pri jednosmerno promenljivom opterećenju $\tau_{D(m)}$ [N/mm ²]	370÷550
Trajna dinamička izdržljivost pri naizmjenično promenljivom opterećenju $\tau_{D(-1)}$ [N/mm ²]	260÷330
Napon na granici tečenja τ_T [N/mm ²]	850
EkspONENT Velerove krive - m, [5]	3.5
Bazni broj ciklusa - N ₀ , [5]	6·10 ⁶

Tabela 4. Karakteristike materijala pogonskih poluvratila

Primjeni hipoteza o akumulaciji oštećenja prethodi određivanje trajne dinamičke izdržljivosti pogonskih poluvratila, kao i broja ciklusa do razaranja za predviđeni radni vijek poluvratila.

2.3 ODREĐIVANJE TRAJNE DINAMIČKE IZDRŽLJIVOSTI

Trajna dinamička izdržljivost pri naizmjenično promenljivom opterećenju $\tau_{D(-1)M}$ za mašinske elemente određuje se prema sledećem izrazu, [5]:

$$\tau_{D(-1)M} = \tau_{D(-1)} \cdot \xi_{\tau} \cdot \xi_1 / k_{\tau} \quad (4)$$

gde su: $\xi_{\tau} = (0.6+1) = 1$ - faktor uticaja razlike dimenzija epruvete i mašinskog elementa, $k_{\tau} = (1.4+1.5) = 1.5$ - koeficijent koncentracije napona i $\xi_1 = (1+1.25) = 1$ - faktor stanja površina.

Trajna dinamička izdržljivost mašinskih elemenata τ_{DM} se može odrediti na osnovu izraza, [5]:

$$\tau_{DM} = \tau_{D(-1)M} + \frac{\tau_{D(0)} - \tau_{D(-1)}}{0.5 \cdot \tau_{D(0)}} \cdot \tau_m \quad (5)$$

2.4 ODREĐIVANJE BROJA CIKLUSA DO RAZARANJA

Srednji broj ciklusa po 1km puta pri kretanju po asfaltnoj podlozi određuje se prema izrazu, /5/:

$$\omega_c^a = \sum_{i=1}^k t_i \cdot \frac{n_i \cdot 3600}{v_i}, \quad (6)$$

Stepen prenosa	I	II	III	IV	V	VI	P.h.
n [Hz]	0.4	1.5	2.3	4.0	5.3	6.7	8

Tabela 5. Sopstvena učestanost sistema transmisije na i-tom stepenu prenosa

Srednji broj ciklusa po 1km puta pri kretanju po zemljanoj podlozi određuje se prema izrazu, /5/:

$$\omega_c^z = \frac{3600}{2 \cdot \pi \cdot v} \sqrt{\frac{C}{m}}, \quad (7)$$

gde su: $\bar{v}$ [km/h] - srednja brzina za datu deonicu, C/m=168 kN/mt, /5/.

Za pogonska poluvratila je predviđeni radni vijek predrenih 200000 km i u tom slučaju se za broj ciklusa do razaranja dobija $N_R = 10^9 - 10^6$ ciklusa.

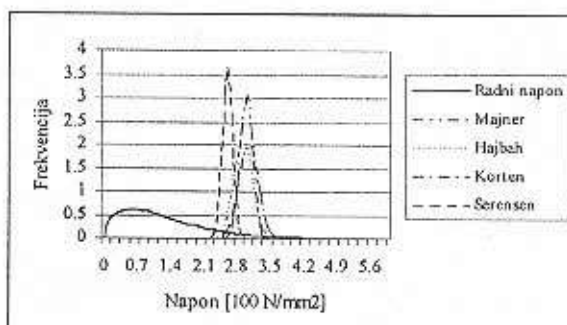
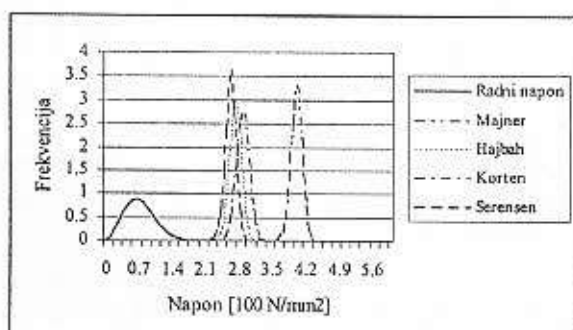
gde su: v_i [km/h] - srednja brzina na i-tom stepenu prenosa, t_i - relativno učešće i-tog stepena prenosa, kao i praznog hoda pri kretanju po asfaltnoj podlozi, n_i [Hz] - sopstvena učestanost sistema transmisije na i-tom stepenu prenosa, data u tabeli 5./5/.

2.5 PROCJENA POUZDANOSTI

Procjeni pouzdanosti pogonskih poluvratila prethodilo je određivanje granične veličine prečnika poluvratila pri kojoj nema preklapanja raspodjela radnih i kritičnih napona i za koju je pouzdanost poluvratila $R=1$, pri čemu su dobijeni rezultati za svaku od hipoteza o akumulaciji oštećenja dati u tabeli 6.

Hipoteza	Palmgrin-Majner	Hajbah	Korten-Dolan	Serensen-Kogaev
d_{gr} [mm]	59	61	61	62

Tabela 6. Granična veličina prečnika poluvratila pri kojoj je pouzdanost poluvratila $R=1$

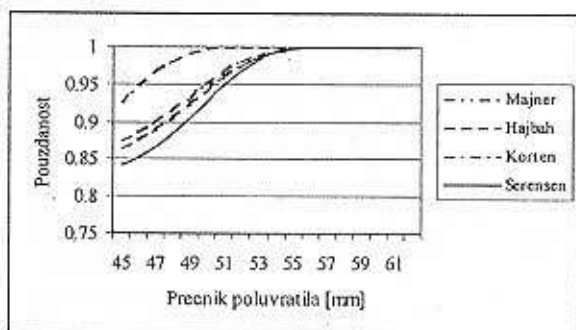


Slika 1. Raspodjele radnih i kritičnih napona pogonskih poluvratila prečnika $d=59$ mm i $d=50$ mm

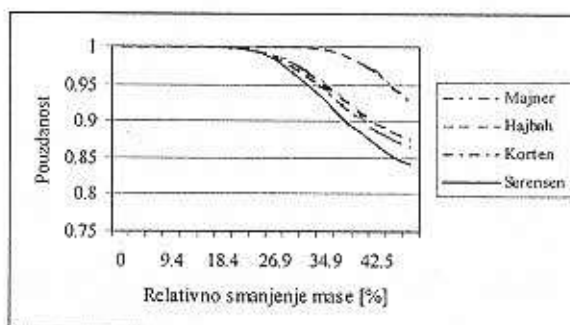
Smanjivanjem veličine prečnika poluvratila ispod granične vrijednosti i određivanjem raspodjela radnih i kritičnih napona, datih na slici 1., prešlo se na procjenu pouzdanosti poluvratila prema izrazu, /4/:

$$R = 1 - \int_{\tau_{N,min}}^{\tau_{max}} f(\tau) \cdot \left[\int_{\tau_{N,min}}^{\tau_N} f(\tau_N) \cdot d\tau_N \right] \cdot d\tau. \quad (8)$$

Na opisani način iterativnim putem određena je zavisnost pouzdanosti i prečnika pogonskih poluvratila, kao i pouzdanosti i relativnog smanjenja mase pogonskih poluvratila u odnosu na masu poluvratila prečnika jednakog graničnoj vrednosti, i to maksimalnoj koja se dobija koišćenjem hipoteze Serensen-Kogaeva, i ove zavisnosti su prikazane na slici 2. odnosno slici 3.



Slika 2. Krive zavisnosti prečnika pogonskih poluvratila i pouzdanosti



Slika 3. Krive zavisnosti relativnog smanjenja mase pogonskih poluvratila i pouzdanosti

3.ZAKLJUČAK

Dobijene zavisnosti prikazane na slici 2. i slici 3. jasno pokazuju da je moguće ostvariti značajno smanjenje dimenzija i mase pogonskih poluvratila uz zadržavanje vrlo visokog nivoa pouzdanosti. Rezultati dobijeni korišćenjem Hajbahove, Korten-Dolanove i hipoteze Serensen-Kogaeva su približni, naročito u slučaju prve dvije hipoteze, dok rezultati dobijeni korišćenjem Palmgrin-Majnerove hipoteze, za isti nivo pouzdanosti, znatno odstupaju od ostalih. Ovo je i očekivano, s obzirom da se jedino po ovoj hipotezi pri određivanju kritičnih napona u obzir ne uzima uticaj radnih napona manjih od trajne dinamičke izdržljivosti. Ovakvim proračunima očigledno je moguće vršiti optimalno dimenzionisanje elemenata transmisije motornih vozila, uz istovremeno zadržavanje pouzdanosti na zadovoljavajućem nivou, što sve skupa vodi kvalitetnijem konačnom rešenju elemenata transmisije.

LITERATURA

- /1/-Đ.Borak: Identifikacija režima opterećenja prenosnika snage motornih vozila, Mašinstvo br.10, 1973
- /2/-Z.Savić, J.Jovanović: Procjena pouzdanosti zupčanih prenosnika teretnih motornih vozila u fazi konstruisanja, IRMES '98
- /3/-J.Jovanović, R.Bulatović: Uticaj izbora hipoteze o akumulaciji oštećenja na procenu pouzdanosti elemenata prenosnika snage motornih vozila, IPS '97
- /4/-Z.Savić: Radni i kritični naponi, Sigurnost i pouzdanost elemenata, IMP, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1992
- /5/-N.A.Buharin: Avtomobili, Mašinostroenie, Moskva, 1973
- /6/-JUS C.B9.021

INFLUENCE OF DIMENSIONS CHANGE ON RELIABILITY OF THE VEHICLE TRENSMISSION ELEMENTS

*prof. dr Radoš Bulatović, Faculty of Mechanical
Engineering - Podgorica
mr Janko Jovanović, Faculty of Mechanical
Engineering - Podgorica*

Summary

This paper deals with influence of dimensions change on reliability of the vehicle transmission elements highlighting of the driving axles. Reliability evaluation is based on predetermined distributions of working and critical stresses. Dispersion interval of the critical stresses is determined on bases of several different cumulative damage hypothesis. Therefore a comparative analyses of mass reduction of driving axles, determined on bases of different cumulative damage hypothesis, for the same level of reliability is done.

Keywords: working and critical stress, driving axles, reliability

Adresa za kontakt:

prof. dr Radoš Bulatović
Mašinski fakultet
Cetinjski put bb.
81000 Podgorica

KORIŠĆENJE FAD METODE PRI PROCJENI PREOSTALE NOSIVOSTI ELEMENATA OSLABLJENIH PRSLINOM

Mr Darko Bajić, Mašinski fakultet Podgorica

Rezime

Elementi konstrukcije, kod kojih je utvrđeno postojanje prsline, ne moraju biti istog trenutka zamijenjeni kako bi konstrukcija funkcionisala. Razvijene su inženjerske metode, jedna je FAD¹ metoda, za procjenu graničnih vrijednosti opterećenja elementa pri datoj vrijednosti prsline. Na primjeru jedne CT epruvete od legure AlMg4,5 dat je postupak procjene uticaja prsline na preostalu nosivost datog elementa.

Ključne riječi: prsline, granično opterećenje, lom.

1. UVOD

Dvoparametarsku metodu su predložili Harison i dr. /1/ i Douling i Tounli /2/, a elektroprivreda (CEGB) Velike Britanije prihvatila i zvanično publikovala u R6 dokument, koji je izdat 1980. godine.

Tehnika R6, ili metoda FAD, zasniva se na modelu trake tečenja, tj. na elastično-idealno plastičnom ponašanju materijala, što daje konzervativnu ocjenu za deformacijski ojačavajuće materijale. FAD metoda se bazira na graničnom dijagramu analize loma, koji predstavlja granične uslove pojave inicijalnog rasta prsline i loma, s tim što se efekti sporog stabilnog rasta prsline zanemaruju.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Irvin je definisao dužine prsline /3/ kao sumu trenutne dužine prsline (a), i korekcije plastične zone (r_y). Efektivni faktor intenziteta napona dat je u obliku:

$$K_{eff} = Y \{a + r_y\} \sqrt{\pi(a + r_y)}, \quad (1)$$

gdje je $Y \{a + r_y\}$ geometrijski korekcionni faktor, koji je u funkciji efektivne dužine prsline. Prema Irvinu, plastična zona korigovana je izrazima:

⇒ za ravno stanje napona

$$r_y = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{K_{eff}}{\sigma_{YS}} \right)^2 \quad (2)$$

⇒ za ravno stanje deformacije

$$r_y = \frac{1}{6\pi} \left(\frac{K_{eff}}{\sigma_{YS}} \right)^2 \quad (2')$$

Ako u izraz (1) uvrstimo izraz (2') - slučaj ravnog stanja napona /4/, dobija se:

$$K_{eff} = \sigma_{YS} \sqrt{\pi a \left[\frac{8}{\pi^2} \ln \sec \left(\frac{\pi \sigma}{2\sigma_{YS}} \right) \right]^{\frac{1}{2}}}. \quad (3)$$

Izraz (3) predstavlja efektivni faktor intenziteta napona za prolaznu prslinu kod beskonačne ploče prema modelu trake tečenja. Ovaj izraz moguće je modifikovati za realne strukture materijala, ako σ_{YS} zamijenimo odovarajućim naponom loma σ_C . Treba reći da vrijednost napona loma σ_C ne zavisi samo od promjene opterećenja elementa, već i od međusobnog položaja grešaka u poprečnom presjeku datog elementa.

U sledećem koraku izvođenja dijagama analize loma na principu modela trake tečenja, treba efektivni faktor intenziteta napona podijeliti sa linearno-elastičnim faktorom K_I :

$$\frac{K_{eff}}{K_I} = \frac{\sigma_C}{\sigma} \left[\frac{8}{\pi^2} \ln \sec \left(\frac{\pi \sigma}{2\sigma_C} \right) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Izraz (4) eliminiše geometrijsku zavisnost posmatrane strukture u odnosu na model trake tečenja².

Dvije bezdimenzionne veličine, odnos opterećenja S_r i odnos faktora intenziteta napona K_r , definisane su izrazima /5/:

$$S_r = \frac{\sigma}{\sigma_C} \left(= \frac{P}{P_L} \right). \quad (5)$$

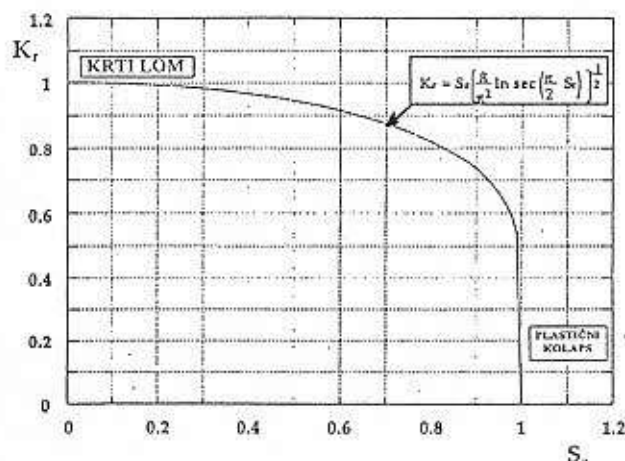
$$K_r = \frac{K_I}{K_{eff}} \quad (6)$$

Ako izraze (5) i (6) uvrstimo u izraz (4), isti će poprimiti sledeći oblik:

$$K_r = S_r \left[\frac{8}{\pi^2} \ln \sec \left(\frac{\pi}{2} S_r \right) \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

3. DIJAGRAM ANALIZE LOMA

Dijagram analize loma (sl.1), koji ne zavisi od geometrije tijela prsline, a definiše granične uslove pojave inicijalnog rasta prsline i loma, definisan je izrazom (7) /1/.



Slika 1. Dijagram analize loma za plastičnu deformaciju modela trake tečenja

¹ FAD-Failure Assessment Diagram

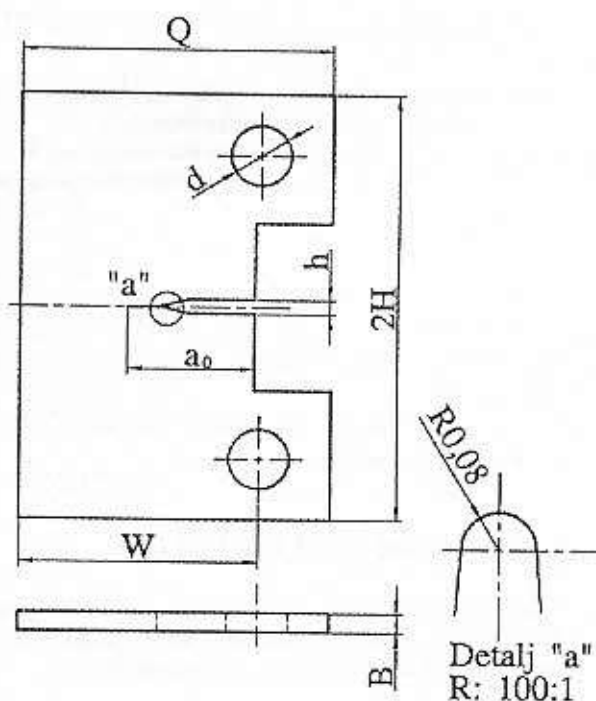
² Generalizovanje sa modelom trake tečenja nije apsolutno korektno za sve konfiguracije, ali je dobra aproksimacija.

Treba istaći da FAD metoda efekte eventualnog sporog stabilnog rasta prsline zanemaruje.

Analizom dijagrama može se konstatovati da ako je udarna otpornost materijala veoma velika, dolazi do plastičnog kolapsa, kada je $S_r = 1$ pri $P \rightarrow P_L$. Krti lom materijala nastupiće kada se dostigne vrijednost $K_r = 1$, pri $K_I \rightarrow K_{Ic}$. Sve tačke unutar krive mogu se smatrati bezbjednim sa stanovišta pojave loma konkretnog elementa, dok za spoljašnje tačke to ne važi.

4. PRIMJENA FAD METODE

Na primjeru modifikovane kompaktne CT epruvete za zatezanje $\neq 4(\text{mm})$ (sl.2), koja je napravljena od legure AlMg4,5 biće prikazan postupak procjene preostale nosivosti primjenom FAD metode. Epruveta je izvađena iz osnovnog materijala (meridijanski pravac) plinske boce za skladištenje i transport tečnog naftnog gasa propan-butana.



Slika 2. Modifikovana kompaktna CT epruveta /6/

Osnovna karakteristika legure AlMg4,5 (ASTM 5086) je da nije termički obradljiva, što znači da se poboljšanje mehaničkih karakteristika ove legure postiže tzv. deformacionim ojačanjem u procesu obrade (duboko izvlačenje, utiskivanje itd.). U tabelama 1 i 2 dat je pregled hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika legure AlMg4,5 /6/.

Tabela 1. Hemijski sastav legure AlMg4,5 (%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,40	0,50	0,10	0,32	4,5	0,15	0,25	0,15	osta tak

Tabela 2. Mehaničke karakteristike legure AlMg4,5

Granica tečenja $R_{p0,2}(\text{MPa})$	Zatezna čvrstoća $R_m(\text{MPa})$	Izduženje pri lomu % za 50(mm)	Sarpi udarna žilavost $J_0(\text{J/cm}^2)$	Modul elastičnosti $E(\text{GPa})$
258	307	2,87	44	70

Tabela 3. Geometrijske karakteristike CT epruvete

B(mm)	W(mm)	Q(mm)	2H(mm)	h(mm)	d(mm)
4	50	65	90	3	12,7

Za CT epruvete granično opterećenje P_L je definisano izrazom /7/:

$$P_L = 1,455 \eta B b \sigma_Y \left\{ \eta = \sqrt{\left(\frac{2a}{b}\right)^2 + \frac{4a}{b} + 2} - \left(\frac{2a}{b} + 1\right) \right\} \quad (8)$$

Imajući u vidu da je $a = a_0 = 25,15(\text{mm})$ /6/, a napon ojačanja ili efektivna granica tečenja:

$$\sigma_Y = \frac{R_{p0,2} + R_m}{2} = \frac{258 + 307}{2} = 282,5(\text{MPa}),$$

dobijaju se sledeće vrijednosti:

$$\eta = \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 25,15}{24,85}\right)^2 + \frac{4 \cdot 25,15}{24,85} + 2} - \left(\frac{2 \cdot 25,15}{24,85} + 1\right) = 0,16105$$

$$P_L = 1,455 \cdot 0,16105 \cdot 0,004 \cdot 0,02485 \cdot 282,5 = 6,58004(\text{kN})$$

Na osnovu vrijednosti graničnog opterećenja P_L , bezdimenziona promjenljiva S_r sada ima oblik:

$$S_r = \frac{P}{P_L} = \frac{P}{6,58004} = 0,15197P \quad (9)$$

Na osnovu izraza (7) i (9) dobijaju se numeričke vrijednosti (tab.4) neophodne za konstrukciju FAD dijagrama (sl.3). Faktor intenziteta napona je određen izrazom:

$$K_I = \frac{P}{B \sqrt{W}} f\left(\frac{a}{W}\right)$$

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{2 + \frac{a}{W}}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^2} \cdot \left[0,886 + 4,64 \left(\frac{a}{W}\right) - 13,32 \left(\frac{a}{W}\right)^2 + \right. \quad (10)$$

$$\left. + 14,72 \left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5,60 \left(\frac{a}{W}\right)^4 \right]$$

Ako u izraze (10) uvrstimo potrebne vrijednosti (tab.3), dobijamo vrijednost faktora intenziteta napona u funkciji opterećenja:

$$K_I = \frac{P}{0,004 \sqrt{0,05}} \cdot \frac{2 + \frac{0,02515}{0,05}}{\left(1 - \frac{0,02515}{0,050}\right)^2} \cdot 1,365 = 10902,194P \quad (11)$$

Znajući vrijednost $J_{Ic} = 23,1(\text{N/mm})$ /6/, čije je određivanje definisano standardom ASTM E813-85, dobijamo graničnu (kritičnu) vrijednost faktora intenziteta napona:

$$K_{Ic} = \sqrt{\frac{J_{Ic} \cdot E}{1 - \nu^2}} = \sqrt{\frac{23,1 \cdot 70 \cdot 10^6}{1 - 0,31^2}} = 42295,564(\text{kN m}^{-3/2}), \quad (12)$$

gdje je $\nu = 0,31$ - Poasonov koeficijent.

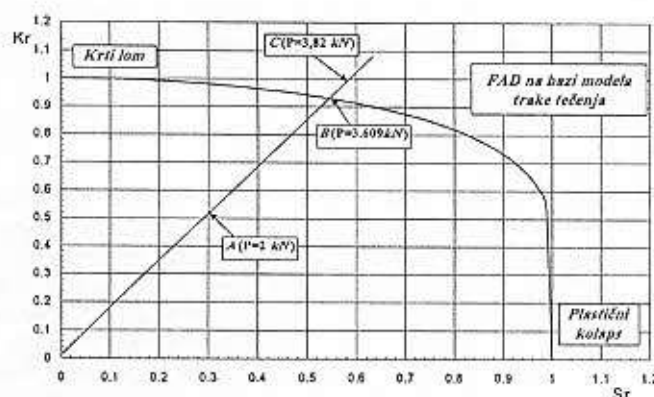
Koristeći izraze (11) i (12), bezdimenziona veličina K_r , koja je element jednačine R6 krive, postaje:

$$K_r(P) = \frac{K_I(P)}{K_{Ic}} = \frac{10902,194 \cdot P}{42295,564} = 0,25776P \quad (13)$$

Numeričke vrijednosti za izraz (13) date su u tabeli 4.

Tabela 4. Numeričke vrijednosti potrebne za konstrukciju FAD dijagrama, (sl.3)

Red. broj	Pritisak (kN)	Sr	Kr (FAD)	Kr (Kic) $K_{Ic}=10,21(MPa\sqrt{m})^2$
1	0	0	1	0
2	1	0.15197	0.9952125	0.25776
3	2	0.30394	0.9803586	0.51552
4	3	0.45591	0.9537432	0.77328
5	3.5	0.531895	0.9349666	0.90216
6	3.6	0.547092	0.9306858	0.927936
7	3.7	0.562289	0.9262119	0.953712
8	3.8	0.577486	0.9215357	0.979488
9	3.9	0.592683	0.916647	1.005264
10	4	0.60788	0.9115347	1.03104
11	4.2	0.638274	0.9005889	1.082592
12	4.4	0.668668	0.8885817	1.134144
13	4.6	0.699062	0.8753676	1.185696
14	4.8	0.729456	0.8607598	1.237248
15	5	0.75985	0.8445138	1.2888
16	5.2	0.790244	0.8262987	1.340352
17	5.4	0.820638	0.8056496	1.391904
18	5.6	0.851032	0.7818779	1.443456
19	5.8	0.881426	0.7538889	1.495008
20	6	0.91182	0.719751	1.54656
21	6.1	0.927017	0.6992769	1.572336
22	6.2	0.942214	0.675424	1.598112
23	6.3	0.957411	0.6465376	1.623888
24	6.4	0.972608	0.6090423	1.649664
25	6.5	0.987805	0.5516854	1.67544
26	6.6	1	0	1.701216



Slika 3. Dijagram analize loma za modifikovanu kompaktnu CT epruvetu (sl.2)

Ako bi spoljašnje opterećenje imalo vrijednost $P=2(kN)$, koeficijenti S_r i K_r (tačka A), prema izrazima (9) i (13) respektivno, imali bi vrijednosti:

$$\left. \begin{aligned} S_r &= 0.15197 \cdot 2 = 0.30394 \\ K_r &= 0.25776 \cdot 2 = 0.51552 \end{aligned} \right\}$$

Kao što se vidi sa dijagrama, tačka A se nalazi unutar zone sigurnosti, pa tako ne bi došlo do pojave loma materijala, odnosno elementa.

Kada bi postojalo spoljašnje opterećenje, čija je vrijednost $P=3,82(kN)$ (tačka C), moglo bi se zaključiti sledeće: dati element mogao bi da nosi dato opterećenje sa stanovišta samo pojave plastičnog kolapsa ($S_r=0,580525<1$) ili samo sa stanovišta krto g loma ($K_r=0,984643<1$). Međutim, ako pogledamo dijagram (sl.3), vidjećemo da se tačka C nalazi van zone bezbjednosti, tj. u zoni koja predviđa pojavu loma.

Nosivost elementa se određuje kao presjek prave OA sa graničnom krivom (tačka B), kao što je to prikazano na sl.3.

Kritične vrijednosti parametra su $S_r^c = 0,548460$ i $K_r^c = 0,930256$:

$$P^c = P_f = \begin{cases} \frac{S_r^c}{0,15197} = 3,609 \text{ kN} \\ \frac{K_r^c}{0,25776} = 3,609 \text{ kN} \end{cases}$$

Eksperimentalno [6] je utvrđeno da opterećenje pri inicijaciji prsline ima vrijednost $P_c^i = 3.97 (kN)$.

Može se zaključiti da je procijenjena nosivost manja za približno 9,1% od opterećenja koje izaziva početni, stabilni rast prsline.

5. POREĐENJE DOBIJENOG REZULTATA SA REZULTATOM EPRI METODE

Kako je legura aluminijuma AlMg4,5 relativno dobre duktilnosti, za očekivati je da ista pretrpi određen stabilan rast prsline. EPRI³ shema procene, koju su predložili Ši i Hačinson [7], a kasnije je ugrađena u priručnik Istraživačkog instituta elektroprivrede SAD [8], vrši analizu nestabilnosti oko vrha prsline tokom procesa duktilne deformacije.

Sila razvoja prsline određena je kao suma elastične i plastične komponente:

$$J_{tot} = J_{el} + J_{pl} \quad (14)$$

Koristeći izraz (12) za elastični K-faktor, elastična komponenta J-integrala je:

$$J_{el}(P) = \frac{K_I^2(1-\nu^2)}{E} = \frac{(10902,194 \cdot P)^2 \cdot (1-0,31^2)}{70} = 1,53479 \cdot P^2$$

Plastična komponenta J-integrala je [5]:

$$J_{pl}(P) = \alpha \epsilon_s \sigma_b h_1 \left\{ \frac{a}{W}, n \right\} \left(\frac{P}{P_s} \right)^{n+1}$$

$$P_s = 1,455 \eta B b \sigma_s$$

Za vrijednosti $\alpha = 1,11$; $h_1 = 0,685$; $n = 6,65$; $\epsilon_s = \frac{\sigma_s}{E} = 0,004$, $\sigma_s = R_{p0,2} = 258 (MPa)$ i $\eta = 0,16$ [8], vrijednost referentnog opterećenja je:

$$P_s = 1,445 \eta B b \sigma_s = 1,455 \cdot 0,16 \cdot 0,004 \cdot 0,02485 \cdot 258 = 5,97 (kN)$$

a plastična komponenta J-integrala je:

³ EPRI (Electric Power Research Institute)- priručnik Elektroprivrede SAD

$$J_{pl}(P) = 1,11 \cdot 0,004 \cdot 258 \cdot 10^3 \cdot 0,02485 \cdot 0,685 \cdot \left(\frac{P}{5,97}\right)^{7,67} =$$

$$= 19,499 \left(\frac{P}{5,97}\right)^{7,67}$$

Dakle, na samom početku duktilnog rasta prsline mora važiti sledeća jednakost:

$$[J_{el} + J_{pl}]_a = J_{lc} \quad (15)$$

Ako izraze za elastičnu i plastičnu komponentu J-integrala uvrstimo u izraz (15), dobija se:

$$1,5348 \cdot P^2 + 19,499 \left(\frac{P}{5,97}\right)^{7,67} = 23,1 \quad (16)$$

Rješenje ove jednačine definiše vrijednost opterećenja na početku duktilnog rasta prsline:

$$P_{ini} = 3,681 \text{ (kN)}.$$

Upoređivanjem dobijene vrijednosti opterećenja P_{ini} sa rezultatom FAD metode $P_f = 3,609 \text{ (kN)}$, može se konstatovati da su vrijednosti veoma bliske, iako FAD metoda zanemaruje deformaciono ojačanje.

Tab 5. Prikaz rezultata

Granično opterećenje za element sa prslinom Geometrija: Slika 2 Materijal: Legura aluminijuma koja deformaciono ojačava AlMg4,5 ($K_{lc} = 42,296 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}}$)		
Mehanizam loma	Opterećenje loma (kN)	Primjedba
Plastičan lom elementa pod dejstvom opterećenja. Smatra se da materijal posjeduje beskonačnu žilavost loma.	6,580	Ista teorija plastičnosti, ali pod pretpostavkom da ligament nosi opterećenje u stanju potpune plastičnosti
Pojava prsline prema FAD proceni (pretpostavka je da je ponašanje materijala idealno elastično-plastično)	3,609	CEGB procedura koja se zasniva na dijagramu analize loma koja ne zavisi od geometrije. Deformacijsko ojačanje se zanemaruje.
Početak duktilnog rasta prsline prema EPRI shemi procene (deformacijsko ojačanje uzeto u obzir).	3,681	Početak propagacije prsline praćen je fazom stabilnog rasta prsline do trenutka nestabilnosti sistema.

6. ZAKLJUČAK

Procjena nosivosti elemenata primjenom analize dijagrama loma-FAD je relativno jednostavna metoda, koja za duktilne materijale daje konzervativan rezultat. Da bi se uzelo u razmatranje proces stabilnog rasta prsline i deformaciono ojačanje, koje svakako prethodi lomu, neophodno je koristiti, npr. EPRI shemu procjene.

Vrijednost graničnog opterećenja dobijenog FAD metodom je za približno 2% manja od vrijednosti opterećenja na početku duktilnog rasta prsline, koja je dobijena EPRI metodom.

Dakle, i pored svojih nedostataka, jednostavnost FAD metode je čini primjenjivom pri procjeni nosivosti elemenata oslabljenih prslinom, ali sa određenim faktorom sigurnosti.

LITERATURA

- 1/ R.P. Harrison, et al.: Assessment of the Integrity of Structures Containing Defects, CEGB Report R/H/R6-Rev.2, Central Electricity Generating Board, UK, 1980.
- 2/ A.R. Dowling, C.H.A. Townley: The Effects of Defects on Structural Failure: A Two-Criteria Approach, *Int. J. Pressure Vessels and Piping*, Vol.3, pp.77-137, 1975.
- 3/ G.R. Irwin: Plastic Zone Near a Crack and Fracture Toughness, Sagamore Research Conference proceedings, Vol.4, 1961.
- 4/ F.M. Burdekin, D.E.W. Stone: The Crack Opening Displacement Approach to Fracture Mechanics in Yielding Materials, *Journal of Strain Analysis*, Vol. 1, 1966, pp.144-153.
- 5/ T.L. Anderson: Fracture Mechanics: Fundamentals and Applications, book published by the CRC Press, 1991.
- 6/ D. Bajić: Osjena nosivosti zavarenih boca od legure aluminijum-magnezijum za skladištenje propan butana, Magistarski rad, Podgorica, 1997.
- 7/ C.F. Shih, J.W. Hutchinson: Fully Plastic Solutions and Large-Scale Yielding Estimates for Plane Stress Crack Problems, *Journal of Engineering materials and Tehnology*, Vol. 98, 1976.
- 8/ V. Kumar, M.D. German, and C.F. Shih: An Engineering Approach for Elastic-Plastic Fracture Analysis, EPRI Report NP-1931, Electric Power Research Institute, Palo Alto, CA, 1981.

FAD METHOD IN EVALUATION OF RESIDUAL STRENGTH OF CRACKED CONSTRUCTION COMPONENTS

Mr Darko Bajić, Mašinski fakultet Podgorica

Summary

Cracked construction components can not be replaced immediately in order to provide proper functioning of construction. Number of engineering methods, one of them is FAD method, are developed for evaluation of limit strength of elements for known crack value. CT specimen, made of AlMg4,5 alloy, is taken as an example for evaluation procedure of crack influence on residual element strength.

Keywords: crack, yield stress, fracture

Adresa za kontakt:

Mr Darko Bajić
Mašinski fakultete Podgorica
81000 Podgorica
Cetinjski put bb
E-mail: darkoba@cg.ac.yu

OBLIKOVANJE FAMILIJE LAKIH HIDRAULIČKIH DIZALICA

dr Zoran Marinković, van. prof.,
dr Miomir Jovanović, van. prof.,
Dragan Marinković, dipl. inž., saradnik,
Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu,

Rezime

U radu je dat postupak razvoja parametarskih i dimenzionih redova veličina, izbor materijala i proračun tipskih modela familije lakih hidrauličkih dizalica. Ovde je maksimalno zastupljena teorija sličnosti, odnosno izvršena je unifikacija i tipizacija sastavnih delova, čime su stvoreni uslovi za grupnu tehnologiju izrade, kvalitetniju proizvodnju, efikasniju eksploataciju i jeftinije održavanje. Tipski modeli familije ovih dizalica nalaze primenu kod interventnih poslova, havarijskih situacija i montažnih radova na želznici i sl.

Ključne reči: dizalica, klip, cilindar, dizajn

1. UVOD

Za dizanje relativno velikih tereta na male visine veoma često se koriste hidrauličke dizalice sa uljem kao radnim fluidom. Klasični oblik ovih "jakih" dizalica se sastoji iz radnog cilindra, klipa na kome se oslanja teret, rezervoara fluida i sistema poluga za ručno pokretanje.

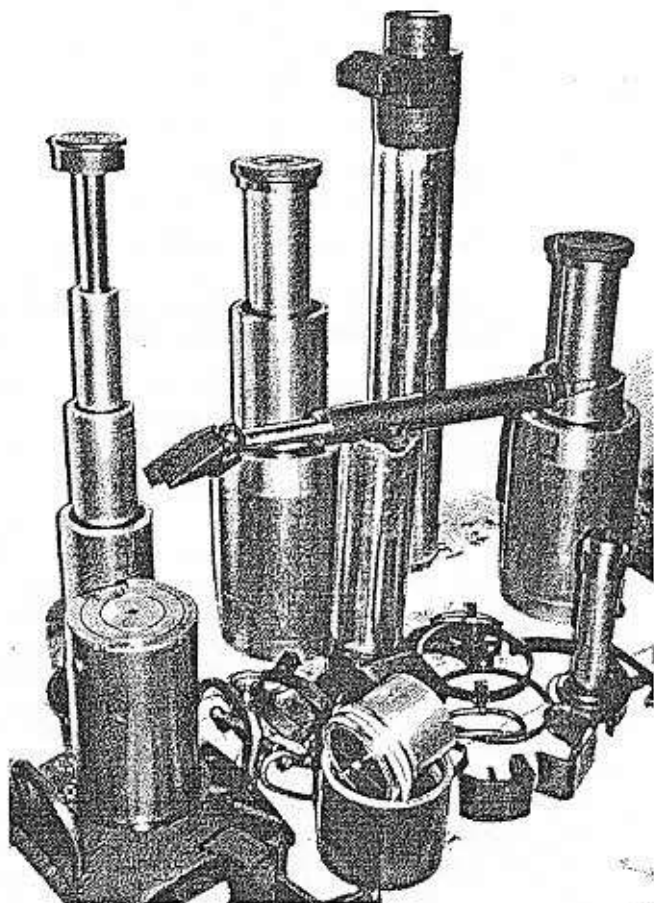
Danas postoji posebna grupa višestepenih teleskopskih hidrauličkih dizalica, koja se odlikuje malom zapreminom i težinom, bez sopstvenog rezervoara ulja i pogona. Pogone se posebnim hidrauličkim agregatom, a prenos hidrostatičke energije realizuje se odgovarajućim vodovima preko priključka na telo dizalice. Lako su prenosive uz pomoć jednog ili dva radnika i namenjene su za teške montažne radove, npr. u mostogradnji itd. Naročitu primenu imaju kod interventnih poslova u havarijskim situacijama na želznici, kao što je iskliznuće voza sa šina i njegov povratak na kolosek [1].

Rad prikazuje postupak razvoja familije ovog tipa dizalica. To podrazumeva stvaranje parametarskih i dimenzionih redova veličina za izbor tipskih modela familije, izbor adekvatnih materijala, primenu odgovarajućih postupaka u projektovanju, odnosno u oblikovanju i dimenzionisanju elemenata sa ciljem da se stvori proizvod koji će zadovoljiti određene uslove i ograničenja. Naravno, ova familija dizalica treba da bude tehnološki izazov za našu industriju i proizvođače ovakve opreme.

2. OPIS TIPSKIH MODELA FAMILIJE HIDRAULIČKIH DIZALICA

Familiju lakih hidrauličkih dizalica čine više tipskih modela višestepenih malih hidrauličkih dizalica, različitih nosivosti i visina dizanja. To su obično teleskopske hidrauličke dizalice (THD) sa dva i tri stepena.

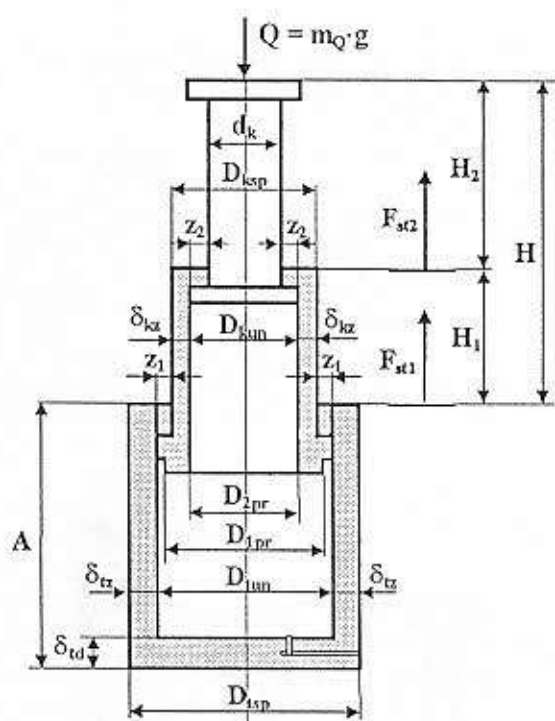
Slika 1 prikazuje nekoliko tipova ovih dizalica firme LUKAS iz Erlangen-a, Nemačka [1]. Njihova nosivost se kreće od desetak do sto i više tona (130 t). Najveća nosivost je na prvom stepenu i smanjuje se na ostalim stepenima. Operativni pitisak je $p = 450$ bar, a potrebna količina ulja je u granicama od 6.5 do 11 litara.



Sl. 1 Tipski modeli familije THD firme "Lukas"

Tipski model se sastoji iz tela, dva ili tri klipna para koja se u radu sukcesivno izvlače jedan iz drugog, zaptivača, priključka za hidrauličku instalaciju i ručica za premeštanje. Oblik je cilindričan, prečnika od 160 do 280 mm i visine u neteleskopiranom stanju od 180 do 450 mm. Hodovi po stepenima dizalice iznose od 200 do 250 mm, tako da su visine dizanja kod dvostepenih do 500 mm, a kod trostepenih do 600 mm. Mase dizalica su relativno male i kreću se od 30 do 60 kg. To se postiže primenom lakih legura aluminijuma i sl.

Telo dizalice predstavlja cilindar za prvi stepen, čiji je klip prilagođen da u sebe primi klip drugog stepena kod dvostepenih, a ovaj da prihvati klip trećeg stepena kod trostepenih dizalica. Sl. 2 šematski prikazuje teleskopsku dvostepenu hidrauličku dizalicu sa označenim veličinama, koje su bitne pri projektovanju nove familije i dimenzionisanju njenih tipskih modela.



Sl. 2 Šematski prikaz teleskopske dvostepene hidrauličke dizalice sa odgovarajućim merama

3. PARAMETARSKI I DIMENZIONI REDOVI VELIČINA FAMILIJE THD

Pre nego što se pristupi projektovanju familije THD, odnosno proračunu i dimenzionisanju njenih tipskih modela, potrebno je pronaći povoljnije i najkorisnije parametre za svaki tip, odnosno celu familiju. Relativne ocene i analitička rešenja ne mogu uvek da daju mogućnost da se dovoljno objektivno odrede optimalne vrednosti traženih parametara.

Postupak, koji je predložen za rešavanje ove problematike, bazira se na teorijskim osnovama stvaranja redova veličina po unapred utvrđenom zakonu (standardni nizovi) /2, 3, 4/. Za standardne nizove usvojeni su članovi geometrijskih redova R40, R20, R10 i R5 sa faktorom porasta $\phi = 1.06, 1.12, 1.25$ i 1.6 . Tako u prvom slučaju između brojeva 1 i 10 nalazi se 40 standardnih brojeva (1.0, 1.06, 1.12, 1.18, 1.25, 1.32, 1.40, 1.50, 1.60 itd.), a u svakom narednom nizu je upola manje. Ako se za prvi član nekog niza usvoji broj 1, sledeći član dobija se množenjem faktorom porasta ϕ itd. Kada se utvrde članovi prve dekade (1÷10), ostali se dobijaju množenjem ovih brojeva brojem 10 stepenovanim celim pozitivnim ili negativnim brojem. Osnovna njihova osobina je da količnik i proizvod standardnih brojeva opet daje standardni broj. Model razvijanja redova veličina, parametarskih i dimenzionih, koji se zasniva na poznatim osobinama standardnih brojeva, omogućava razmatranje velikog broja mogućih vrednosti parametara, a time većeg broja varijanti karakteristika familija THD.

Parametarskim redom se naziva zakonito i logički izrađen, u određenom intervalu, skup vrednosti glavnog i osnovnih parametara razmatranih tipskih modela familije THD. Glavni parametar dimenzionog reda je dimenzija, odnosno vrednost gabaritnih i položajnih mera tipskog modela familije THD i njihovih sastavnih elemenata.

Glavni parametar tipskog modela familije THD je nosivost m_Q (t). Osnovni parametri su radni pritisak p (bar), prečnik radnog klipa D_{pr} (mm) i stvarna sila podizanja F_N (kN). Na osnovu dobijenih prečnika radnih klipova D_{pr} i definisanih visina dizanja pojedinih stepena, postavljenih ograničenja u vezi gabarita i masa tipskih modela, vrednosti radnih naprezanja itd. utvrđuju se dimenzioni redovi veličina tela i klipnih parova članova familije THD.

Da bi se donela odluka o broju i vrsti tipskih modela ove familije, pristupa se razvoju prethodno navedenih parametarskih redova za pojedinačne stepene, uz čiju se pomoć mogu formirati ovi modeli (Tabela 1). Za šira razmatranja usvaja se parametarski red nazivnih nosivosti od 15 članova standardnog niza brojeva R10 sa $\phi = 1.25$ i to $m_Q = 10 + 250$ t, shodno JUS M.D1.021. Parametarski red nazivne sile podizanja F_N , koju ostvaruje pojedinačni stepen, dobija se kao proizvod dva standardna broja, odnosno $F_N = m_Q \cdot g \approx 10 \cdot m_Q$ (kN), gde je $g = 9.81 \approx 10$ m/s².

Tabela 1: Parametarski redovi veličina za $p = 450$ bar

R. br	nazivna nosivost i sila podiz.		stand. prečnik iz R40/2 stvarni prečnik stvarna površina			stvarna nosivost i sila podiz.	
	m_Q (t)	F_N (kN)	D_1 (mm)	D_{pr} (mm)	A_{st} (cm ²)	m_{st} (t)	F_{st} (kN)
1	10	100	53	55	23.76	10.9	107
2	12.5	125	60	60	28.27	13.0	127
3	16	160	67	70	38.48	17.6	173
4	20	200	75	75	44.18	20.3	199
5	25	250	85	85	56.74	26.0	255
6	31.5	315	95	95	70.88	32.5	319
7	40	400	106	110	95.03	43.6	428
8	50	500	118	120	113.10	51.9	509
9	63	630	132	135	143.14	65.7	644
10	80	800	150	150	176.71	81.1	795
11	100	1000	170	170	226.98	104.1	1021
12	125	1250	190	190	283.53	130.1	1276
13	160	1600	212	215	363.05	166.5	1634
14	200	2000	236	240	452.39	207.5	2036
15	250	2500	265	265	551.55	253.0	2482

Nosivost m_Q , odnosno sila podizanja F_N zavisi od radnog pritiska p i površine A , odnosno prečnika D radnog klipa. Poznata veza između ovih veličina glasi:

$$F_N = m_Q \cdot g = p \cdot A = p \cdot \frac{D^2 \pi}{4} \quad (1)$$

Na osnovu prethodne relacije može da se odredi prečnik radnog klipa D u zavisnosti od sile podizanja F_N , odnosno nosivosti m_Q i radnog pritiska p , kao:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_N}{p \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot g \cdot m_Q}{p \cdot \pi}} \quad (2)$$

Prilikom određivanja vrednosti prečnika D (mm), za jednu širu analizu, pored prihvaćenog niza brojeva R10 sa 15 standardnih nosivosti m_Q (t), variran je i radni pritisak p (bar). U tu svrhu je uzet standardni niz brojeva R20 sa $\phi = 1.12$ od pet članova, tj. varirane vrednosti radnog pritiska su $p = 315, 355, 400, 450$ i 500 bar. Konačni oblik izraza (2), zbog standardnih brojeva, biće:

$$D \approx 355 \cdot \sqrt{\frac{m_Q(t)}{p(\text{bar})}} \approx 112 \cdot \sqrt{\frac{F_N(\text{kN})}{p(\text{bar})}} \quad (\text{mm}). \quad (3)$$

Pomoću izraza (3) realizovano je $5 \times 15 = 75$ proračuna vrednosti prečnika D za usvojene standardne vrednosti pritiska p i nosivosti m_Q . Rezultati proračuna su sređeni u odgovarajućim tablicama za svaki radni pritisak posebno, kako je dato u tabeli 1 za $p = 450 \text{ bar} = 4.5 \text{ kN/cm}^2$.

Pošto izraz (3) predstavlja količnik i proizvod standardnih brojeva, onda je i rezultat, tj. vrednost prečnika D standardni broj. Dobijeni niz prečnika za $p = \text{const.}$ pripadaće standardnom nizu $R40/2 = R20$ sa faktorom porasta $\phi = 1.25^{1/2} = 1.12$, jer je standardni niz nosivosti $R10$ sa $\phi = 1.25$. Ovo znači da je dovoljno sračunati prvu vrednost prečnika za $m_Q = 10 \text{ t}$, koja iznosi $D = 53 \text{ mm}$, a ostale do krajnjeg člana dopisati kao svaki drugi broj iz standardnog niza $R40/2$, $3/$, kako je dato u tabeli 1.

Vrednosti prečnika radnog klipa D (mm) iz niza brojeva $R40/2 = R20$ za varirane pet vrednosti radnog pritiska su:

$D = 63 + 315$ ($p = 315 \text{ bar}$), $D = 60 + 300$ ($p = 355 \text{ bar}$),
 $D = 56 + 280$ ($p = 400 \text{ bar}$), $D = 53 + 265$ ($p = 450 \text{ bar}$) i
 $D = 50 + 250$ ($p = 500 \text{ bar}$).

Na ovaj način je dobijeno 33 vrednosti prečnika radnog klipa pojedinačnog (elementarnog) stepena $D = 50 + 315 \text{ mm}$, koje pripadaju standardnom nizu $R40$ sa $\phi = 1.06$. Svaki pojedinačni stepen klipnog para sa definisanim prečnikom D iz navedenog niza $R40$ može da posluži kao komponenta pri formiranju odgovarajućih dvo- i trostepenih tipskih modela familije THD. Težnja je da taj broj bude što manji. Zato će nadalje biti razmatrani samo rezultati dobijeni za radni pritisak $p = 450 \text{ bar}$, čiji je niz brojeva prečnika D malo korigovan zaokruživanjem nekih vrednosti na 0 ili 5 (D_{pr}), kako je dato u tabeli 1.

Za tako usvojeni niz stvarnih prečnika D_{pr} (mm) sračunate su stvarne vrednosti površine radnog klipa A_{κ} (cm^2), nosivosti m_{κ} (t) i sile podizanja F_{κ} (kN) pojedinačnih stepena klipnih parova, koje su za radni pritisak $p = 450 \text{ bar}$ date u tabeli 1, na osnovu sledećih izraza:

$$\begin{aligned} A_{\kappa} &= D_{\kappa}^2 (\text{mm}) \cdot \pi / 400 & (\text{cm}^2), \\ m_{\kappa} &= p(\text{bar}) \cdot D_{\kappa}^2 (\text{mm}) / 12732 & (\text{t}), \\ F_{\kappa} &= p(\text{bar}) \cdot D_{\kappa}^2 (\text{mm}) / 124905 & (\text{kN}). \end{aligned} \quad (4)$$

Kod formiranja tipskih modela izborom odgovarajućih pojedinačnih (elementarnih) stepena iz tabele 1, treba imati na umu da se u telo dizalice smeštaju dve vrste klipnih parova. Početni su teleskopski cilindri odgovarajuće debljine omotača, a završni stepen je od punog materijala - klipna poluga (sl. 2). Znači u jedan relativno mali prostor cilindričnog tela dizalice treba smestiti dva ili tri teleskopska klipna para odgovarajućih prečnika i debljina zidova, koji kao cilindrični sudovi pod pritiskom treba da izdrže relativno visoke radne pritiske.

Pre nego što se donese odluka koje pojedinačne stepene klipnih parova iz tabele 1 treba kombinovati u cilju dobijanja broja tipskih modela familije THD, potrebno je definisati njihove geometrijske mere u radijalnom pravcu. Za dvostepenu teleskopsku dizalicu na sl. 2, ako se uvede veličina $\psi = D_{\text{un}}/D_{\text{sp}}$, navedene mere po stepenima klipnih parova se definišu sledećim relacijama:

Drugi stepen, tj. klipna poluga (drugi klip):

$$\begin{aligned} d_k &\approx (0.8 + 0.9) \cdot D_{2pr}, \\ z_2 &= (D_{2pr} - d_k) / 2. \end{aligned} \quad (5)$$

gde je D_{2pr} - stvarni prečnik iz tabele 1 za drugi stepen.

Prvi stepen, tj. prvi klip - cilindar:

$$\begin{aligned} D_{k1\text{un}} &= D_{2pr}, \\ D_{k1\text{sp}} &= D_{k1\text{un}} / \psi, \\ \delta_{k1\text{z}} &= (D_{k1\text{sp}} - D_{k1\text{un}}) / 2, \\ z_1 &= (D_{1pr} - D_{k1\text{sp}}) / 2. \end{aligned} \quad (6)$$

gde je D_{1pr} - stvarni prečnik iz tabele 1 za prvi stepen.

Telo dizalice:

$$\begin{aligned} D_{\text{un}} &\approx (1.05 + 1.10) \cdot D_{1pr}, \\ D_{\text{sp}} &= D_{\text{un}} / \psi, \\ \delta_{\text{tz}} &= (D_{\text{sp}} - D_{\text{un}}) / 2, \\ \delta_{\text{az}} &\approx (1.5 + 2.0) \cdot \delta_{\text{tz}}. \end{aligned} \quad (7)$$

Kod trostepenih dizalica pojavljuje se na drugom stepenu još jedan klip-cilindar, koji upada u prvi stepen, a iz njega izlazi klipna poluga trećeg stepena. Dimenzije ovog teleskopskog klipa se određuju uz pomoć izraza (6).

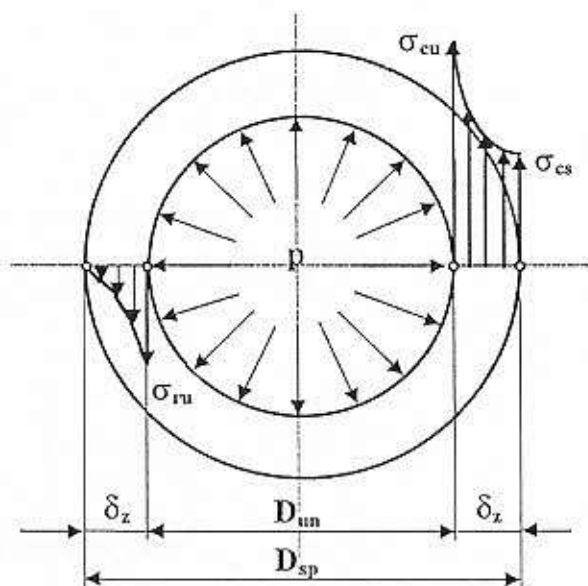
Analiza prethodno postavljenih izraza za konkretni proračun geometrijskih mera klipnih parova pojedinačnih stepena iz tabele 1 ukazuje da ključno mesto zauzima veličina $\psi = D_{\text{un}}/D_{\text{sp}}$. Veće vrednosti ove veličine daju telo dizalice i teleskopske klipove-cilindre sa tanjim zidovima, dok je za manje vrednosti obrnuto.

Naravno da je prilikom projektovanja familije THD, sa aspekta geometrije, mnogo povoljnije da ovi cilindrični elementi imaju manju debljinu zida δ_{z} odnosno da je vrednost veličine ψ veća. Međutim, s druge strane ovi elementi su u toku rada podvrgnuti veoma velikim pritiscima, pa se postavlja pitanje da li mogu da izdrže pojavu odgovarajućih naponskih stanja.

Zato treba da se analiziraju radni naponi u cilindričnim omotačima karakterističnih elemenata tipskih modela familije THD. Analiza mora da obuhvati sve napone koji se javljaju u zidovima ovih elemenata, njihovu raspodelu i maksimalne vrednosti sa ciljem da se definiše materijal za lake dizalice i odredi najpogodnija vrednost veličine ψ .

4. RADNI NAPONI U CILINDRIČNIM OMOTAČIMA I MATERIJAL

Tipski model familije THD posmatra se kao zatvoreni cilindrični sud izložen dejstvu ravnomernog unutrašnjeg pritiska p . Omotač cilindra trpi troosno naponsko stanje, odnosno usled dejstva pritiska u zidovima se javlja napon u pravcu tangente - cirkularni napon σ_{c} , u pravcu radijusa suda - radijalni napon σ_{r} i u pravcu ose σ_{z} (sl. 3).



Sl. 3 Naprezanje cilindričnog suda debelih zidova normalnim unutrašnjim pritiskom

U teoriji elastičnosti izvedeni su obrazci za izračunavanje ovih napona. Za cilindrične sudove debelih zidova koriste se sledeći Lamé-ovi obrazci [3, 5]:

$$\sigma_{cu} = \frac{1+\psi^2}{1-\psi^2} \cdot p, \quad \sigma_{cu} = \frac{2\psi^2}{1-\psi^2} \cdot p, \quad \psi = \frac{D_{un}}{D_{sp}}, \quad (8)$$

$$\sigma_{ru} = -p, \quad \sigma_{rz} = 0, \quad \sigma_{rz} = \frac{\psi^2}{1-\psi^2} \cdot p$$

Najveću vrednost ima unutrašnji cirkularni napon σ_{cu} , koji može da posluži za određivanje veličine ψ i analizu njegovih vrednosti. Iz uslova $\sigma_{cu} \leq \sigma_{doz}$ dobija se ψ , kao:

$$\psi = \sqrt{\frac{\sigma_{doz}/p - 1}{\sigma_{doz}/p + 1}}, \quad (9)$$

gde je: σ_{doz} - dozvoljeni napon materijala.

Vrednosti veličine ψ prema izrazu (10) za $p = 450$ bar = 4.5 kN/cm² i $\sigma_{doz} = 14 \div 24$ kN/cm², koji predstavlja aritmetički niz sa porastom $\Delta\sigma_{doz} = 2$ kN/cm², date su u tabeli 2.

Tabela 2: Vrednosti veličine ψ za $p = 4.50$ kN/cm²

	1	2	3	4	5	6
σ_{doz} (kN/cm ²)	14	16	18	20	22	24
ψ	0.72	0.75	0.78	0.80	0.81	0.84

Analiza dobijenih vrednosti veličine ψ iz tabele 2, prečnika radnih klipova D_{ipr} iz tabele 1 i dobijenih geometrijskih veličina uz pomoć obrazaca (5 ÷ 7), ukazuje da je najpogodnija vrednost koja može realno da se ostvari uz pomoć odgovarajućih materijala $\psi = 0.75 \div 0.80$, odnosno $D_{sp}/D_{un} = \psi^{-1} = 1.25 \div 1.33$.

Zbog složenog naprezanja cilindričnog suda tačniji proračun debljine zida, prema JUS M.E2.261 za odnos prečnika $1.2 \leq D_{sp}/D_{un} \leq 1.5$, realizuje se po obrazcu [5]:

$$\delta_z = \frac{D_{sp} \cdot p}{2.3 \cdot \sigma_{doz} \cdot v - p} + c_1 + c_2 = \frac{D_{sp} \cdot p}{2.3 \cdot \sigma_{doz} - p}, \quad (10)$$

jer nema uticaja oslabljenja otvorima na omotaču ($v = 1$) i nisu predviđeni odgovarajući dodaci na debljinu zida ($c_1 = c_2 = 0$) prema JUS M.E2. 250.

Iz prethodnog izraza dobija se najveći računski napon u zidu cilindričnog suda, kao:

$$\sigma_n = p \cdot \frac{D_{sp} + \delta_z}{2.3 \cdot \delta_z} \leq \sigma_{doz}. \quad (11)$$

Kao materijal za izradu tela i klipnih parova treba upotrebiti aluminijumske legure, koje se odlikuju malom gustinom ($\rho = 2.7 \div 2.8$ kg/dm³) i velikom tvrdoćom, tako da je odnos ovih karakteristika mnogo povoljniji nego kod čelika. Takođe, one skoro dostižu osobine čelika u pogledu čvrstoće i tvrdoće, a mogu se termički obrađivati i variti (navarivati). Otporne su protiv korozije i lako se obrađuju deformacijom i rezanjem.

Vrednost granica razvlačenja usvojenog materijala treba da je $\sigma_v = R_e = v \cdot \sigma_{doz} = 1.5 \cdot (16 + 20) = 24 \div 30$ kN/cm², gde su $v = 1.5$ - stepen sigurnosti i $\sigma_{doz} = 16 \div 20$ kN/cm² - dozvoljeni napon iz tabele 2. Ovaj uslov zadovoljava aluminijumska legura za gnječenje AlZn6Mg4, koja za vučene cevi sa odgovarajućom termičkom obradom ima sledeće karakteristike [3]: $\sigma_M = 44$ kN/cm², $\sigma_v = 35$ kN/cm², $\delta_5 = 8\%$, HB 120 kN/cm², $E = 7200$ kN/cm², $G = 2700$ kN/cm², $\mu = 0.26 \div 0.33$ i $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}$ °C.

5. IZBOR TIPSKIH MODELA FAMILIJE THD

Posle razvoja parametarskih redova za 15 pojedinačnih (elementarnih) stepena klipnih parova nosivosti $m_Q = 10 + 250$ t (tabela 1), postavljanja obrazaca (5 + 7) za proračun i razvoj njihovih dimenzionih redova veličina prema sl. 2, izbora materijala i definisanja veličine ψ , može da se pristupi formiranju tipskih modela familije THD. U principu svaki član dobijenog niza iz tabele 1 može da posluži kao komponenta klipnog para koja se ugrađuje u tipski model dizalice. Prema tome teorijski može da se sačini relativno veliki broj kombinacija dvo- i trostepenih tipskih modela dizalica odgovarajućih nosivosti. Međutim, prilikom formiranja ovih dizalica nekada nije potrebno, ni racionalno, pa čak i nemoguće postići sve varijante, zbog postavljenih ograničenja. Osnovno je da zidovi kombinovanih teleskopskih klipnih parova, propisanih dimenzija (debljine) i materijala, podnesu složena naponska stanja usled delovanja visokih radnih pritisaka. Analiza ovog problema i proračuni su ukazali da porast prečnika D_{ipr} iz tabele 1 između usvojenih klipnih parova za jedan tipski model treba da je u granicama $1.4 \div 1.6$, odnosno porast nosivosti je 2 ili 2.5.

Tako npr. pri formiranju jedne trostepene dizalice nosivosti 10 t. usvajaju se sledeći klipni parovi iz tabele 1:

- 3. stepen: 1. $m_Q = 10$ t, $D_{ipr} = 55$ mm, $F_{3st} = 107$ kN,
- 2. stepen: 5. $m_Q = 25$ t, $D_{ipr} = 85$ mm, $F_{2st} = 255$ kN,
- 1. stepen: 8. $m_Q = 50$ t, $D_{ipr} = 120$ mm, $F_{1st} = 509$ kN, ili
- 1. stepen: 9. $m_Q = 63$ t, $D_{ipr} = 135$ mm, $F_{1st} = 644$ kN.

Za trostepenu dizalicu nosivosti 20 t, biće:

3. stepen: 4. $m_Q = 20$ t, $D_{2pr} = 75$ mm, $F_{3st} = 199$ kN,
2. stepen: 7. $m_Q = 40$ t, $D_{2pr} = 110$ mm, $F_{2st} = 255$ kN,
1. stepen: 11. $m_Q = 100$ t, $D_{1pr} = 170$ mm, $F_{1st} = 1021$ kN.

Za dvostepenu dizalicu nosivosti 63 t, biće:

2. stepen: 9. $m_Q = 63$ t, $D_{2pr} = 135$ mm, $F_{2st} = 644$ kN,
1. stepen: 12. $m_Q = 125$ t, $D_{1pr} = 190$ mm, $F_{1st} = 1276$ kN,
ili

1. stepen: 13. $m_Q = 160$ t, $D_{1pr} = 215$ mm, $F_{1st} = 1634$ kN,

Inače u proizvodnom programu firme LUKAS postoji dvostepena dizalica nosivosti 60 t i visine dizanja 490 mm, koju koriste službe održavanja jugoslovenskih železnica, sledećih karakteristika /1/:

2. stepen: $m_Q = 60$ t, $D_{2pr} = 130$ mm, $F_{2st} = 597$ kN,
1. stepen: $m_Q = 130$ t, $D_{1pr} = 195$ mm, $F_{1st} = 1344$ kN.

Kod ove izvedene dizalice pojedinačni stepeni su najbliži klipnim parovima 9. i 12. iz tabele 1, odnosno prečnik njene klipne poluge je smanjen za 5 mm, a kod teleskopskog klipa - cilindra povećan za 5 mm.

6. PRORAČUN I ANALIZA

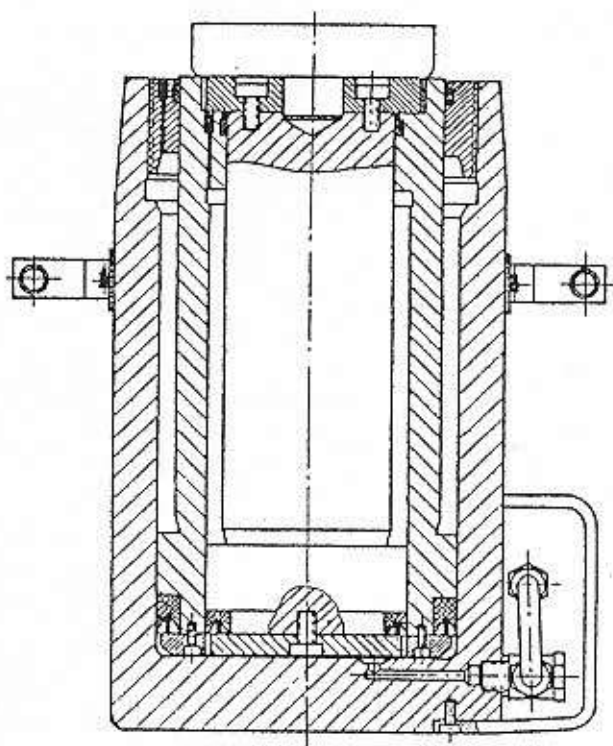
Ovako projektovana geometrija na bazi redova veličina osnov je za proveru naponsko-deformacionog stanja elemenata tipskih modela familije THD sa aspekta primenjenih materijala i geometrije. Time se obuhvataju uticaji koncentracije napona i definiše radna sigurnost (utvrđivanjem stvarnih napona). Takođe na bazi radnih deformacija tela i cilindara proveravaju se funkcionalne osobine rada pod najvećim pritiskom bez zaglavlivanja (usled širenja) itd.

Kao primer proračuna je uzeta izvedena dvostepena teleskopska hidraulička dizalica firme LUKAS, nosivosti $m_Q = 60$ t i visine dizanja 490 mm (sl. 4). Na osnovu izraza (5), (6) i (7) dobijene su dimenzije klipnih parova razmatrane dizalice (sl. 2):

- klipna poluga (2. klip): $d_k = 110$ mm, $z_2 = 10$ mm, $D_{2pr} = 130$ mm.
- teleskopski klip-cilindar (1. klip): $D_{k1up} = 172$ mm, $D_{k1un} = 130$ mm, $\delta_{kx} = 21$ mm, $z_1 = 14$ mm, $D_{1pr} = 195$ mm
- telo hidrauličke dizalice: $D_{up} = 265$ mm, $D_{un} = 205$ mm, $\delta_{kx} = 32.5$ mm, $\delta_{kz} = 50$ mm.

Računske vrednosti najvećih napona u zidovima teleskopskog klipa-cilindra (1. klip) i tela dizalice, usled delovanja radnog pritiska od $p = 450$ bar = 4.5 kN/cm² određene uz pomoć izraza (11), respektivno, iznose: $\sigma_{k1} = 17.98 = 18$ kN/cm² i $\sigma_{k2} = 17.91 \approx 18$ kN/cm². Naravno da su, zbog oblika teleskopskog klipa-cilindra i koncentracije napona, stvarne vrednosti radnih napona na pojedinim mestima veće. To potvrđuje i ispitivanja jedne ovakve dizalice pod većim pritiskom od radnog bez tereta, kada je došlo do havarije-loma prvog klipa-cilindra u donjem delu po obimu na mestu spoljašnjeg prelaza.

Drugi kriterijum proračuna radnih klipova ove dizalice je provera na izvijanje. Merodavne veličine za ovu vrstu proračuna su: $F_{1st} = 1344$ kN i $H_1 = 250$ mm (za prvi stepen) i $F_{2st} = 597$ kN i $H = H_1 + H_2 = 250 + 240 = 490$ mm (za drugi stepen).



Sl. 4 Dvostepena teleskopska hidraulička dizalica HP 60/T 490 firme "Lukas", nosivosti 60 t

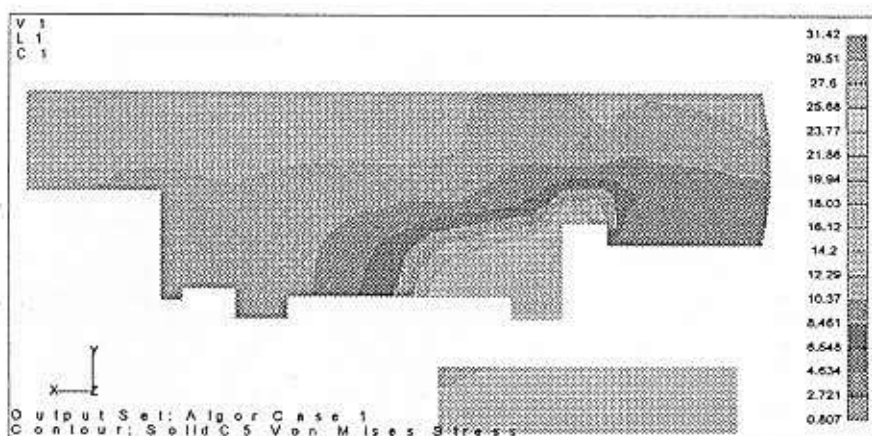
Provera je izvedena metodom konačnih elemenata (FEA postupak), linearnom analizom kontinuuma u elastičnom domenu. Cilj analize je izrada lakih tela pogodnih za rukovanje u ograničenom prostoru i havarijskim uslovima. U ovoj analizi upotrebljeni su zapreminski konačni elementi. Modeliranje preseka teleskopskog klipa-cilindra prvog stepena izvedeno je geometrijskim modelerom Micro Station 95, a sama analiza realizovana je programom Algor-SSAP0H /6, 7/.

Razmatran je slučaj neopterećenje dizalice, kada su pod pritiskom $p = 450$ bar izvučena oba cilindra. Smatra se da je ovo nepovoljnija situacija koja može da se javi u radu ovog tipa dizalice. U slučaju da postoji teret, onda on rasterećuje kontaktne zone njenih elemenata.

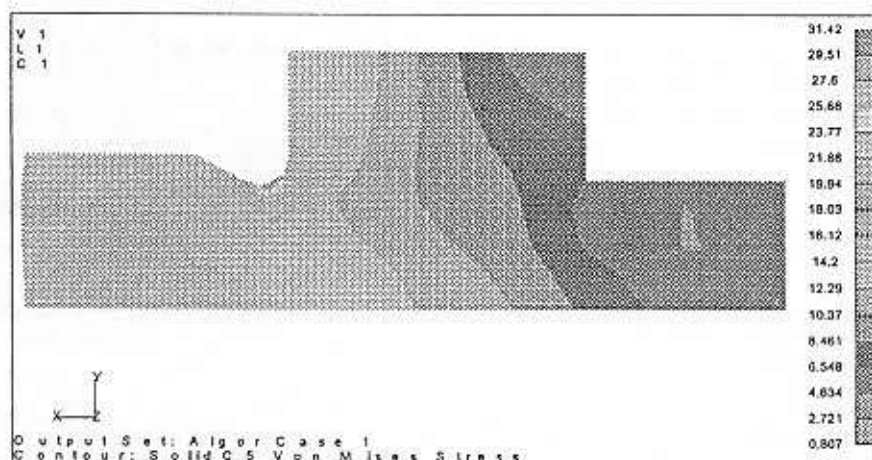
Rezultati ove analize su prikazani na sl. 5 i 6. Slika 5 prikazuje raspored složenih napona po metodi Hencky-Huber-Mises u preseku cilindričnog tela prvog klipa gore sa unutrašnje strane na mestu dodira sa drugim klipom, a sl. 6 u zoni kontakta sa navrtkom (na vrhu tela dizalice), tj. dole na mestu spoljašnjeg prelaznog radijusa (sl.4).

Ekstremno dobijen napon (pri linearnoj aproksimaciji deformacije) odgovara naponu od 36.46 kN/cm², što je na granici razvlačenja materijala. Utvrđivanje ovog naponskog stanja izvršeno je sa ciljem nalaženja uzroka havarije koja se desila u neregularnom radu. I pri nelinearnoj promeni naponu može se očekivati deformacija koja odgovara nastaloj havariji prilikom njenog ispitivanja pod uticajem velikih pritisaka. Uzrok havarije je značajno prekoračenje radnog pritiska.

Koncentracija napona ima karakterističnu formu i verovatno može biti realnije modelirana kontaktnim konačnim elementima. Računski napon unutrašnjeg zida $\sigma_{k1} = 17.98$ kN/cm² potvrđen je numeričkom vrednošću od 17.377 kN/cm² (sl. 5-dole).



Sl. 5 Raspored napona u zidu cilindra na mestu dodira sa klipnom polugom



Sl. 6 Raspored napona u zidu cilindra na mestu dodira sa navrtkom tela

7. ZAKLJUČAK

Razvoj familije lakih teleskopskih hidrauličkih dizalica je koncept postavljen na ideji utvrđivanja parametarskih redova u jednačinama za dimenzionisanje, što je opšti konstruktorski princip. Takođe, strukturalna analiza je obavezni deo procedure provere naponskog i deformacionog stanja, da bi se u više uzastopnih korekcija lokalne geometrije (prirodno složene usled ugradnje zaptivnih elemenata) dovelo naponsko stanje u dozvoljene okvire. Primena parametarskog geometrijskog modela olakšava korekcije geometrije i predstavlja savremeni konstruktorski pristup. Ukupna realizacija od ideje do visoke tehnologije primenom kvalitetnijih materijala, dala je lake dizalice, npr. 60 kg za nosivost od 125 (130) t itd.

LITERATURA

- /1/ Prospektni materijali firme LUKAS, Nemačka.
- /2/ Vitas D.: Osnovi mašinskih konstrukcija - I, drugo izdanje, Naučna knjiga, Beograd, 1970.
- /3/ Veriga S.: Mašinski elementi - I, peto izdanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1969.
- /4/ Marinković Z.: Prilog analizi uticajnih faktora za određivanje veka trajanja elemenata pogonskih mehanizama pri razvojnom projektovanju familija pokretnih električnih vitala, magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Beograd - Niš, 1982.
- /5/ Miltenović V., Ognjanović M.: Mašinski elementi - III, Mašinski fakultet u Nišu i Mašinski fakultet u Beogradu, Niš - Beograd, 1995.
- /6/ Jovanović M.: Teorija projektovanja konstrukcija računom, Univerzitet u Nišu - Mašinski fakultet, Niš, 1994.
- /7/ Jovanović M., Jovanović J.: CAD-FEA Praktikum, Mašinski fakultet u Nišu i Mašinski fakultet u Podgorici, Niš-Podgorica, 2000.

THE LIGHT HYDRAULIC HOIST FAMILY DESIGN

dr Zoran Marinković, dr Mlomić Jovanović,
Dragan Marinković, dipl. ing.

Abstract

The paper deals with the procedure of parametric and dimensional row values development, choice of materials and of typical light hydraulic hoist family calculation. The theory of similarity is used, that is, the unification and typicalisation of spare parts is done, and conditions for group technology production are stated. It gives better production quality, more effective exploitation and cheaper maintenance. The typical models family of these hoists can be applied at rescue affairs, accident situations and mounting works at railway.

Key words: Hoist device, piston, cylinder, design

Adresa za kontakt:

dr Zoran Marinković, van. prof.
Mašinski fakultet u Nišu
18000 NIŠ
Beogradska 14

АНАЛИЗА УТИЦАЈА ОБЛИКА И ПОЛОЖАЈА УГРАДЊЕ НА ЗАГРЕВАЊЕ УНИВЕРЗАЛНИХ ПУЖНИХ РЕДУКТОРА

Проф. др Синиша Кузмановић, ФТН - Нови Сад
 Проф. др Радивоје Топић, МФ - Београд

Резиме

У раду је анализиран утицај облика и положаја уградње универзалних пужних редуктора на њихово загревање у току експлоатације. Наиме, различити облици и положаји уградње неједнако утичу на интензитет одвођења топлоте, што се директно одражава на радну температуру редуктора, а тиме, у случају да је дозвољено оптерећење ограничено топлотним капацитетом, и на њихово дозвољено оптерећење. Овим радом се желело указати на могућност рационалнијег искоришћења универзалних пужних редуктора, другачијим приступом дефинисању утицаја наведених карактеристика.

Кључне речи: редуктор, пужни пар, загревање.

1. УВОД

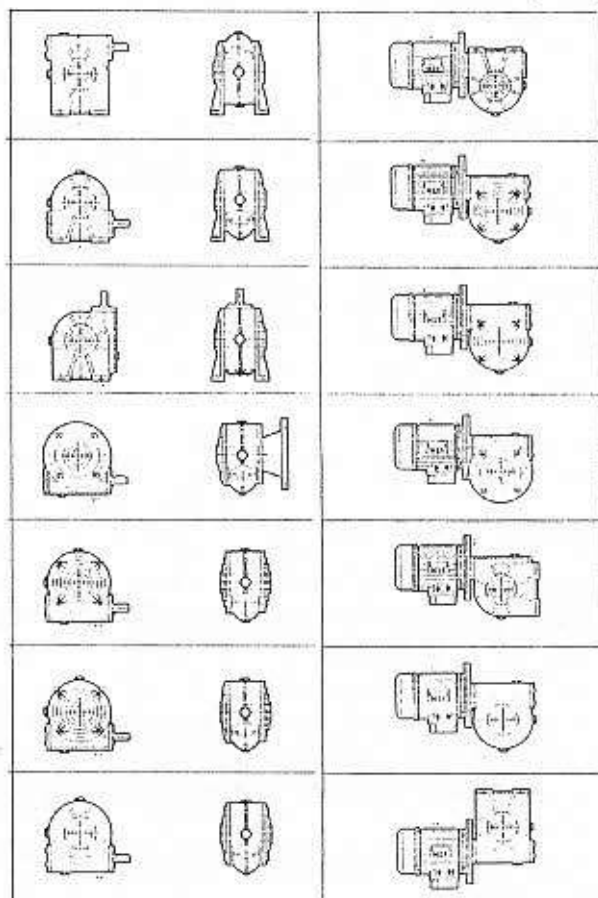
При избору универзалних пужних редуктора потребно је, пре свега, задовољити основни услов за избор редуктора $T_N \geq f_{BT}$, по коме: називни обртни момент (T_N) мора бити већи или једнак производу погонског фактора (f_B) и стварног момента на излазу из редуктора (T_i), односно, потребно је усвојити такав редуктор код којег је $f_{BD} \geq f_B$, тј. код којег је дозвољена вредност погонског фактора (f_{BD}) већа или једнака потребној (f_B). Потребна вредност погонског фактора (f_B) обухвата и фактор који узима у обзир и загревање редуктора (f_θ), које је изражено при раду у условима повишене температуре околног ваздуха, када долази до интензивнијег загревања редуктора. Да би се то спречило врши се избор већег (скупљег) редуктора. При одређивању температурног фактора (f_θ) не узима се у обзир облик и положај уградње, као ни топлотни капацитет, чиме се несумњиво чини извесна грешка.

Познато је да код универзалних редуктора облик уградње има одређеног утицаја на површину кућишта, а тиме и на њихово загревање, као и положај уградење редуктора, који одређује количину уља у

редуктору, и тиме, интензитет преношења топлоте. У оквиру овог рада детаљно је проанализиран утицај наведених фактора на загревање редуктора, при различитим температурама околног ваздуха, а само начелно је размотрен утицај топлотног капацитета, режима рада и степена искоришћења, на загревање редуктора.

2. ОБЛИЦИ УГРАДЊЕ УНИВЕРЗАЛНИХ ПУЖНИХ РЕДУКТОРА

Да би се обезбедило што потпуније задовољавање захтева купаца, универзални пужни редуктори се израђују у више тзв. стандардних облика уградње, и то са: стопалима, великом прирубницом, великом прирубницом и стопалима, малом прирубницом, малом прирубницом и стопалима, насадни итд. (сл. 1).



Сл. 1 Карактеристични облици уградње универзалних пужних редуктора: са стопалима, великом прирубницом, малом прирубницом и насадни

Сваки од наведених облика уградње има одређени утицај на површину кућишта која учествује у размени топлоте са околним ваздухом и тиме на топлотни флуks. Оријентационе вредности фактора активне површине кућишта, која учествује у размени топлоте ($f_{AO} = A/A_0$), износе:

- са стопалима - $f_{AO} = 1$
- са малом прирубницом - $f_{AO} \approx 1,05$
- са малом прирубницом и стопалима - $f_{AO} \approx 1,02$
- са великом прирубницом - $f_{AO} \approx 1,05$ и

- насадних редуктора - $f_{AO} \approx 1,05$.

Поред тога, треба имати у виду да се универзални редуктори могу испоручивати и као моторни редуктори, што такође утиче на интензитет одвођења топлоте, а што се не узима у обзир при избору величине редуктора, чиме се свакако чини одређена грешка, која утиче на избор величине погонског фактора, а тиме и величине редуктора. Наиме, безмоторни редуктори имају нешто већу површину кућишта која учествује у размени топлоте, док моторни редуктори имају додатни извор топлоте (од електромотора), али због постојања струјања ваздуха, које узрокује вентилатор електромотора, коефицијент преласка топлоте је нешто већи чиме се компензује мање одвођење топлоте услед смањене површине кућишта. При већим снагама, практикује се да се пужни редуктори испоручују и са вентилатором постављеним на брзоходном вратилу, чиме се проблем њиховог хлађења знатно поједностављује, док се код још већих снага, односно већих губитака у редуктору, практикује хлађење редуктора (уља) водом.

3. ПОЛОЖАЈИ УГРАДЊЕ ПУЖНИХ РЕДУКТОРА

Пужни редуктори се могу уграђивати у различитим положајима, као што је то уосталом и дефинисано стандардом (сл.2).

При сваком од наведених положаја уградње мења се количина уља у редуктору, а тиме и површина која је у непосредном контакту са уљем, односно која нешто интензивније учествује у размени топлоте,

$$q = \alpha A \Delta \vartheta = \alpha A_1 \Delta \vartheta_1 + \alpha A_2 \Delta \vartheta_2 \quad (1)$$

где је:

α - коефицијент преласка топлоте са површине кућишта на околни ваздух,

A - укупна површина кућишта,

A_1 - површина кућишта која је у непосредном контакту са уљем,

A_2 - површина кућишта која није у непосредном контакту са уљем,

$\Delta \vartheta$ - просечна температурска разлика површине кућишта и околине,

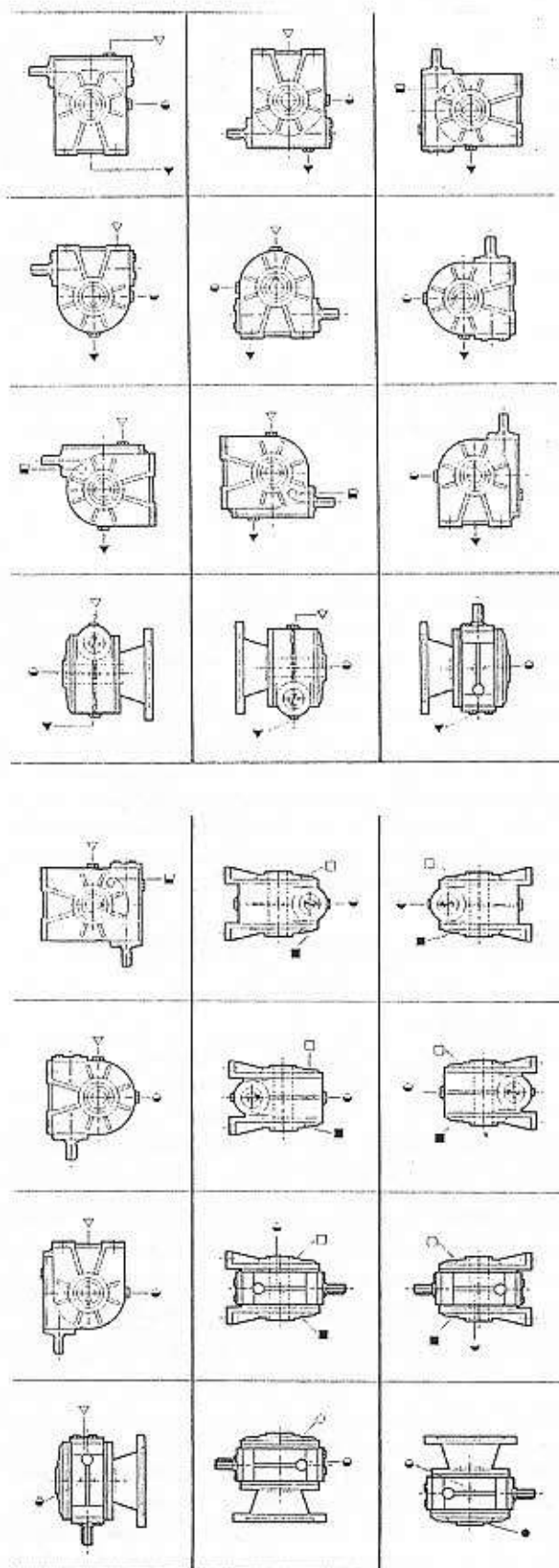
$\Delta \vartheta_1$ - температурска разлика површине кућишта која је у непосредном контакту са уљем и околине,

$\Delta \vartheta_2$ - температурска разлика површине кућишта која није у непосредном контакту са уљем и околине.

На пример, код редуктора са стопалима са мотором постављеним:

хоризонтално доле, удео активне површине оријентационо износи $A_1 \approx 0,44$ на основу чега се, посредством фактора положаја уградње (f_{AP}), може израчунати стварна активна површина кућишта. Међутим, за овај положај уградње, обично се усваја да је фактора положаја уградње - $f_{AP} \approx 1$

- хоризонтално горе - $f_{AP} \approx 1,1$



Сл. 2 Карактеристични положаји уградње универзалних пужних редуктора

- вертикално доле - $f_{AP} \approx 1,05$
- вертикално горе - $f_{AP} \approx 1,05$
- хоризонтално са стране - $f_{AP} \approx 1,1$.

4. УТИЦАЈ ОБЛИКА И ПОЛОЖАЈА УГРАДЊЕ РЕДУКТОРА НА ЊИХОВО ЗАГРЕВАЊЕ

Полазећи од тога да су губици у редуктору мање-више константни пораст температуре уља у редуктору, односно на кућишту, може се израчунати посредством обрасца

$$\Delta \vartheta = \vartheta - \vartheta_0 = q / (\alpha A_0) \quad (2)$$

где је:

ϑ - температура кућишта,

ϑ_0 - температура околног ваздуха,

q - топлотни флуks

α - коефицијент преласка топлоте и

A - површина кућишта редуктора.

Увођењем појма "стварна површина кућишта" - A_S , при чему је $A_S = A_0 f_{AO} f_{AP}$, следи да је стварна температура

$$\Delta \vartheta_S = \vartheta - \vartheta_0 = q / (\alpha A_0 f_{AO} f_{AP}) \quad (3)$$

тј. да долази до мањег загревања редуктора.

5. УТИЦАЈ TEMPERATURE ОКОЛНОГ ВАЗДУХА

Пораст температуре околног ваздуха утиче на смањење топлотног флуksа који се може одвести са редуктора на околину, што утиче на пораст температуре редуктора, а затим и на његово оштећење. Да би се то спречило практикује се "повећање" кућишта редуктора посредством фактора температуре

$$q = \alpha A_0 \Delta \vartheta_0 = \alpha A_1 \Delta \vartheta_1 = const. \quad (4)$$

односно

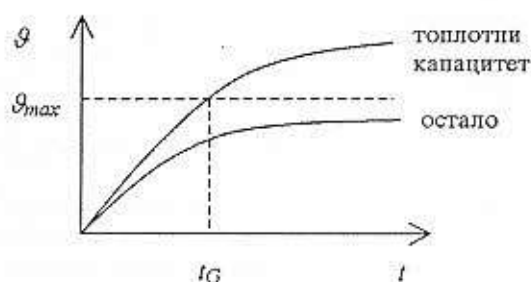
$$f_{\vartheta} = A_1 / A_0 = \Delta \vartheta_0 / \Delta \vartheta_1 = (\vartheta_{max} - \vartheta_0) / (\vartheta_{max} - \vartheta_1) \quad (5)$$

За случај да је носивост ограничена топлотним капацитетом

$$P_q = \alpha A \Delta \vartheta_{max} / (1 - \eta) \quad (6)$$

где је: η - степен искоришћења редуктора, произилази да се, узимањем у обзир стварне површине кућишта, може утицати и на повећање номиналне носивости редуктора, при појединим облицима и положајима уградње, када је њихова носивост ограничена топлотним капацитетом (сл.3).

Графички приказ промене температуре кућишта редуктора током времена (сл.3).



Сл. 3 Приказ промене температуре температуре кућишта редуктора током времена (t_G - време достизања граничне температуре), са означеним критеријума који одређују носивост редуктора

Наиме, топлотни капацитет се дефинише за редуктор са стопалима са хоризонталним пужем постављеним доле. За остале облике и положаје уградње произилази да је могуће смањити вредност овог фактора корекцијом почетне стварне површине редуктора.

Потребна површина кућишта за одвођење топлоте, при порасту температуре околног ваздуха, је

$$A_1 = A_0 f_{\vartheta} \quad (7)$$

при чему у размени топлоте учествује стварна површина кућишта

$$A_S = A_0 f_{AO} f_{AP} \quad (8)$$

односно,

$$A_1 = A_S f_{\vartheta} / f_{AO} f_{AP} \quad (9)$$

на основу чега је укупни фактор "повећања" површине кућишта, тј. величине редуктора, износи

$$f_{\Delta \vartheta} = f_{\vartheta} / f_{AO} f_{AP} \quad (10)$$

чиме се, у појединим случајевима и за поједине облике и положаје уградње, омогућује избор мањег и јефтинијег редуктора.

6. УТИЦАЈ РЕЖИМА РАДА РЕДУКТОРА НА ЊЕГОВО ЗАГРЕВАЊЕ

Под режимом рада редуктора подразумева се :

- ♦ интензитет промене оптерећења (лаки, средњи и тешки),
- ♦ број укључења у току сата,
- ♦ трајање оптерећења у току дана и
- ♦ сталност оптерећења у току сата (тзв. ED фактор).

Сваки од наведених фактора има великог утицаја на загревање редуктора.

Интензитет промене оптерећења, се узима у обзир посредством фактора неравномерности оптерећења K_d чија вредност износи: за мирно оптерећење $K_d = 1$, за средње оптерећење $K_d = 1,2$ и за тешко оптере-

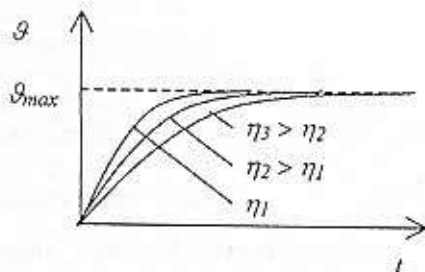
ћење $K_d = 1,5$. Овај фактор утиче на избор већег (јачег) редуктора, док сама промена оптерећења утиче на појаву већих губитака, тј. јаче топлотно оптерећење редуктора, што се посебно не узима у обзир, јер се сматра да повећање кућишта, због већег оптерећења, омогућује одвођење повећаних губитака.

Број укључења, утиче на појаву већег броја удара и тиме појаву интензивнијег загревања, што такође утиче на избор јачег редуктора, али се ни то не узима посебно у обзир при прорачуну топлотног оптерећења.

Трајање оптерећења има великог утицаја на избор величине редуктора, међутим, ако носивост редуктора није ограничена топлотним капацитетом, онда време оптерећења не зависи од времена загревања редуктора, тј. времена достизања критичне температуре (сл.3).

7. УТИЦАЈ СТЕПЕНА ИСКОРИШЋЕЊА РЕДУКТОРА НА ЊЕГОВО ЗАГРЕВАЊЕ

При истој величини кућишта и истом облику и положају уградње степен искоришћења утиче на величину губитака и тиме величину топлотног оптерећења, што директно утиче на брзину загревања. Овај параметар се узима у обзир при дефинисању топлотног капацитета редуктора (сл.4).



Сл. 4 Графички приказ утицаја степена искоришћења редуктора (η) на брзину достизања критичне температуре кућишта

8. ЗАКЉУЧАК

На основу спроведене анализе произилази да се узимањем у обзир облика и положаја уградње може, у појединим случајевима, утицати на избор мањег (јефтинијег) редуктора. То свакако има велику предност на тржишту, а може се постићи само познатом слојенијим, поступком избора, што свакако не представља никакав проблем.

ЛИТЕРАТУРА

- /1/ С. Кузмановић: Универзални зупчасти редуктори са цилиндричним зупчаницама, ФТН Нови Сад 1998.
- /2/ S. Kuzmanović, R. Topić, M. Poljizević, O. Zamurović: THE INFLUENCE OF AMBIENT TEMPERATURE ON THE SELECTION OF WORM AND HELICAL - WORM GEARING SIZE, Bulletins for Applied Mathematics - BAM 671/90 (LIV), pp127-136

/3/ Проспекти произвођача универзалних пужних редуктора

ANALYSIS OF INFLUENCE OF DESIGNATION AND MOUNTING POSITIONS ON A WARMING UP OF A UNIVERSAL WORM GEARBOXES

Siniša Kuzmanović, FTN - Novi Sad
Radivoje Topić, MF - Beograd

Summary

This paper analysis influence of designation and mounting positions of universal worm gearboxes on their warming up in exploitation. Namely, different designation and mounting positions have unequal influence of intensity of heat transfer, which is directly reflecting on working temperature of gearboxes and on their allowed load when it is limited by heat capacity. Aim of this paper is to point out a possibility of more rational use of universal gearboxes, and different approach to definition of influence of mentioned characteristics.

Key words: gearbox, worm gear, warming up

Адреса за контакт:

Проф. др Силиша Кузмановић
Факултет техничких наука
21000 НОВИ САД
Трг Доситеја Обрадовића 6

PRILOG PROJEKTOVANJU KOŠARASTE UŽARICE SA STANOVIŠTA BEZBEDNOSTI

Kostić Milan, FTN – Novi Sad
Čavić Maja, FTN – Novi Sad
Zlokolica Miodrag, FTN – Novi Sad

Rezime

Tema ovog rada je analiza nekih novih konstruktivnih rešenja na mašini za pouzavanje u kablovskoj industriji. Osnovni motiv za ovu rekonstrukciju leži u povećanju bezbednosti, odnosno smanjenju posledica havarije koja, pored materijalne štete, može ugroziti i ljudske živote. Izvršeno je i upoređivanje nove konstrukcije sa uobičajenom, sa stanovišta nekih proizvodnih i eksploatacionih parametara. Ukazano je na neke karakteristike oblikovanja novog rešenja.

Ključne reči: projektovanje, bezbednost, užarica

1 UVOD

Užarica je uobičajen naziv za mašinu u kablovskoj industriji čiji je zadatak da uplitanjem više strukova čelične žice formira uže. Osnovni delovi postrojenja su ulazni kalemovi sa kojih se odmotava žica, izlazni kalem za namotavanje užeta i matrica koja se nalazi između njih i u kojoj se vrši uplitanje – pouzavanje. Pouzavanje se zasniva na činjenici da se jedan od sklopova – ili ulazni, ili izlazni sa matricom, obrće (videti sl. 1). Od nekoliko koncepcija ovih mašina, najčešća je koša-

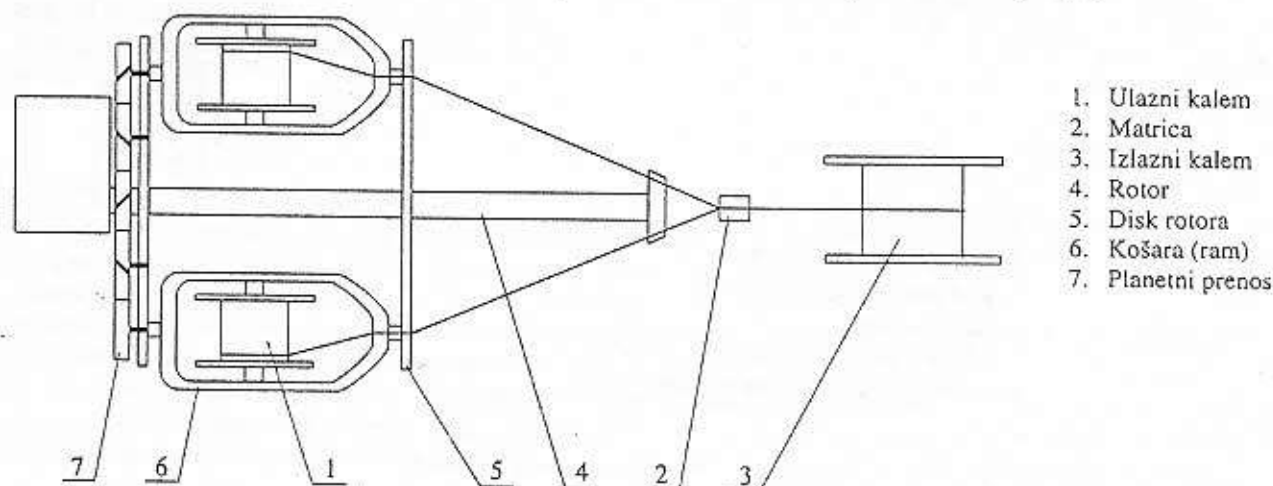
rasta užarica, kod koje se obrće ulazni sklop u obliku rotora na čijem obodu se nalaze ulazni kalemovi. Ukoliko je osa rotora postavljena horizontalno, mašina se naziva horizontalna košarasta užarica i ona će biti razmatrana u ovom radu. Najinteresantniji sklop ove mašine je rotor sa sistemom za nošenje kalemova i pogonskim sistemom. Uobičajena konstrukcija ovog sklopa, koju su prihvatili nemački i italijanski proizvođači, je šematski prikazana na slici 1.

Glavna karakteristika ovog rešenja je smeštaj ulaznih kalemova u ramove (košare) koji se nalaze između dva diska rotora u kojima su uležišteni. Da bi se pouzavanje moglo pravilno izvesti, košare moraju za sve vreme obrtanja rotora zadržati horizontalan položaj, što se obezbeđuje posebnim pogonom košare preko planetnog prenosa.

Prednosti ove koncepcije se prvenstveno ogledaju u jednostavnom uležištenju košare, velikom slobodnom prostoru u košari, koji omogućava konstruktoru široku slobodu u smeštaju uređaja za prihvatanje i kočenje ulaznog kalema, i relativno jednostavnom rešenju pogona košare. Ove prednosti, kao i nedostaci, će biti detaljnije analizirani u kasnijim poglavljima, pri upoređivanju sa novim rešenjem.

2 NOVO REŠENJE

Uočeno je tokom eksploatacije da, pored navedenih prednosti, uobičajena konstrukcija ima i značajan nedostatak. S obzirom na veliku brzinu obrtanja rotora – oko 100 obrtaja u minuti (predloženo je da se poveća na bar 150 obr/min), veliku udaljenost ulaznog kalema od ose rotora (preko 0,5 m) i masu ulaznog kalema (oko 150 kg za kalem prečnika 500 mm), pojavljuje se velika centrifugalna sila (oko 4 tone). Ova sila opterećuje elemente za prihvatanje kalema koji se lako mogu oštetiti. Ukoliko do toga dodje, otvorena konstrukcija košare omogućuje da kalem izleti iz mašine. Poznati su slučajevi kada je kalem, izletevši, probio krov hale i sleteo u dvorište, predstavljajući veliku opasnost po fabričko osoblje. Da bi se izbegla ova situacija, predložena je nova koncepcija rotora, kod koje će košara i kalem biti smešteni unutar diskova rotora, umesto između njih.



Slika 1. Opšti izgled košaraste užarice

Ovo rešenje je prikazano na slici 2 i mogu se uočiti njegove sledeće karakteristike. Diskovi su približeni jedan drugom. U njima postoje otvori u koje su uležištene košare putem ležajeva velikog prečnika (d je oko 700 mm). Košara ima oblik prstena u kojem je smešten kalem i uređaji za njegovo kočenje i prihvat. Kočenje se izvodi putem jednostavne trakaste kočnice. Ona ne omogućava onlajn regulaciju i monitoring, ali se ove operacije mogu izvesti u momentu zaustavljanja mašine. Velika pažnja je posvećena lakom prihvatu i zabavljanju kalema pa je iz tog razloga projektovana pneumatska pinola za prihvat. Na obodu košare je zupčasti venac kojim se dovodi pogon. Novi izgled košare je prikazan na slici 3. Planetarni prenos je smešten između diskova, a njegov pogon ide kroz šuplji deo vratila rotora. Ispred diskova je prsten za vođenje žice ka matrici koji ne postoji na starom rešenju.

Na ovaj način, u slučaju havarije sistema za prihvatanje, bez obzira u kom se položaju nalazi, kalem će prvo udariti u košaru i izgubiti veliki deo kinetičke energije. Usled ovoga neće predstavljati opasnost po rukovaoca.

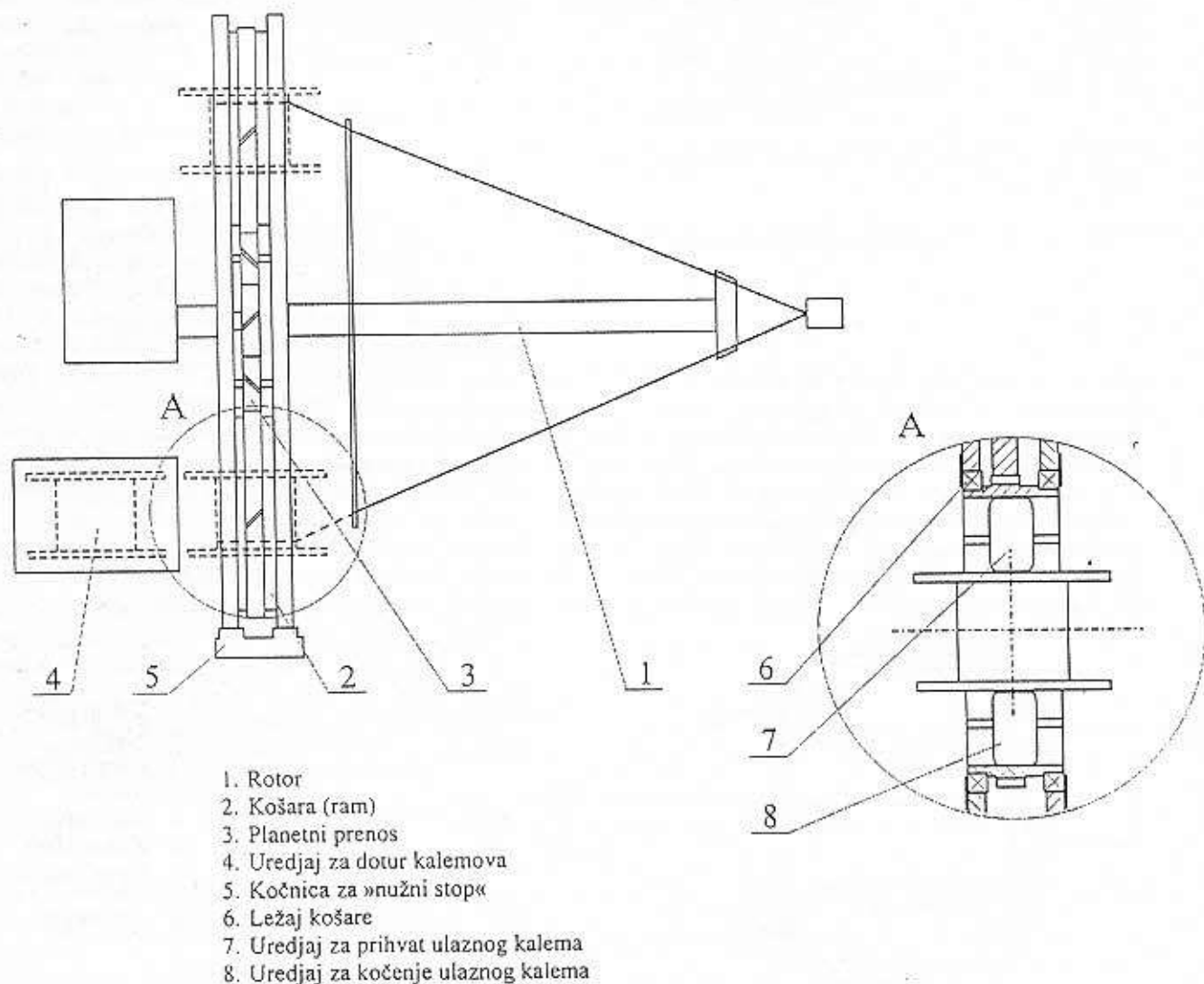
3 UPOREDNI PRIKAZ NEKIH KARAKTERISTIKA REŠENJA

U nastavku će se uobičajeno rešenje (u daljem tekstu »staro«) uporediti sa predloženim rešenjem (»novo«), u pogledu nekoliko proizvodnih i eksploatacionih parametara. U isto vreme će se detaljnije ukazati na neke karakteristike oblikovanja novog rešenja.

3.1 GABARITI

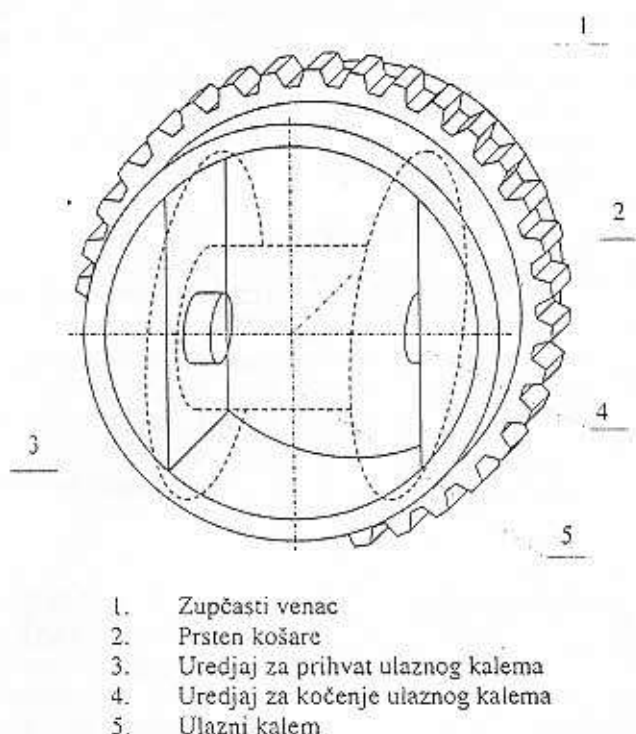
Upoređiću se dužina i prečnik rotora, koji su bitni parametri za smeštaj mašine, masu, krutost i opterećenje ležajeva rotora pa samim tim i važni faktori pri oblikovanju.

Osnovni parametar koji utiče na prečnik rotora je prečnik kruga na kome su smeštene ose košara (osni krug). Uobičajno rešenje sa šest košara je prihvaćeno i u novoj konstrukciji jer omogućava proizvodnju najvećeg broja užadi. Kod starog rešenja, košara uglavnom ne prelazi gabarite kalema (500×370mm), pa je prečnik osnog kruga oko 1300 mm. Ukupan prečnik diska zavisi od toga da li se



Slika 2. Predloženo rešenje rotora

želi postići minimalan prečnik, ili se zupčanici ili ceo kalem sa košarom nalaze u okviru prečnika diska. Kao srednja vrednost se može uzeti 1700 mm.



1. Zupčasti venac
2. Prsten košare
3. Uredjaj za prihvatanje ulaznog kalema
4. Uredjaj za kočenje ulaznog kalema
5. Ulazni kalem

Slika 3. Predloženi izgled košare

Za novo rešenje košara obuhvata kalem i pomoćne sisteme pa ima veći prečnik koji se, uz to, mora uskladiti sa prečnikom ležaja (za dimenzije preko 600mm izbor je vrlo skroman). Zahvaljujući tome, minimalni prečnik osnog kruga je oko 1700mm. Prečnik diska je u ovom slučaju oko 2600 mm. Znači da novo rešenje ima oko 50 % veći prečnik, što je sigurno nepovoljno.

Pored širine planetnog sistema i širine diskova, koji su isti za oba rešenja, dužinu rotora određuju dužina košare i visina konusa koji obrazuju žice pri spuštanju sa kalemova ka matrici (videti sl. 2). Za staro rešenje minimalna dužina košare je oko 800 mm, dok se kod novog ona može zanemariti. S druge strane, ugao konusa žica je oko 45° pa je visina konusa za novo rešenje oko 500 mm veća nego za staro (s obzirom na razliku prečnika osnih krugova). Može se zaključiti da je dužina rotora zanemarljivo manja za novo rešenje (oko 10 %).

3.2 MASE

Masa rotora je bitan faktor za oblikovanje jer utiče na opterećenje ležajeva koji su jedan od kritičnih elemenata mašine. Pored dva dopunska ležaja koji se nalaze ispod diskova i primaju samo težinu rotora, glavno opterećenje primaju glavni ležajevi na krajevima rotora. Posebno su interesantne ekscentrično postavljene mase kod kojih se javljaju velike centrifugalne sile. Razmotriće se mase diskova rotora i prenosnog sistema, dok se mase košara mogu smatrati sličnim za oba rešenja.

Masa diskova najviše zavisi od prečnika pošto je debljina približno ista, a isto tako i struktura. Novo rešenje ima znatno veći prečnik, ali i 6 velikih otvora za smeštaj košara koji se ne pojavljuju kod starog. Zahvaljujući tome masa novog rotora odgovara masi starog od 1700 mm.

Prenosni sistem čini centralni zupčanik, 6 međuzupčanika i 6 planetnih zupčanika. Kod novog rešenja planetni zupčanici imaju oblik venca na košari (videti sliku 3), pa se njihova masa na ovom mestu može zanemariti. Ako se izvrši minimizacija mase prenosnog sistema (ne uzimajući u obzir neke druge faktore) dobija se da je masa sistema za novo rešenje 50 % manja, mada to faktički iznosi samo oko 100 kg.

3.3 KRUTOST ROTORA

Rotor predstavlja sklop velikih dimenzija, masa i momenta inercije. Njegovo ponašanje je kritičan faktor cele mašine, a bitna karakteristika krutost na savijanje i uvijanje te se pri oblikovanju velika pažnja mora posvetiti ovom parametru.

Rotor se sastoji od vratila u obliku cevi i dva velika diska. Smeštajem planetnog sistema između diskova, kod novog rešenja se javlja potreba da cev bude prekinuta, a kretanje na planetni sistem se mora dovesti kroz levi deo cevi. Ovo dosta komplikuje konstrukciju jer se rotor faktički sastoji iz dva dela: levi (širi) deo cevi i levi disk predstavljaju jednu celinu, a desni deo sa desnim diskom drugu. Tako se može pojaviti problem krutosti rotora kao celine. Na sreću, diskovi su ovde vrlo blizu, i postoji veći broj elemenata koji su ih spajaju (košare, vratila međuzupčanika, vratila za nošenje kalemova za ispunu i dr. - po 6 od svakog). Zahvaljujući tome može se ostvariti dovoljno kruta veza između diskova, bez velikog broja dodatnih veza i ukrućenja. Štaviše ovakva celina je po pitanju uvijanja kruća od starog rešenja.

3.4 PRENOSNI SISTEM

Već je objašnjena razlika između prenosnog sistema za pogon košara kod obe varijante. Dovod kretanja je nešto složeniji kod novog rešenja, pošto mora da ide kroz levi deo vratila rotora. Ovo međutim ne predstavlja veliki problem jer ne postoje ograničenja po pitanju prečnika vratila, a zbog smanjenja mase, vratila se i inače izrađuju u obliku cevi. Planetni i međuzupčanici imaju znatno bolji položaj kod novog rešenja iz dva razloga: a) nalaze se na sredini vratila, umesto na prepustu (videti sl. 2); b) pošto se prostor između diskova može zatvoriti, što je i predloženo novim rešenjem, rade u zatvorenom prostoru što je bolje sa stanovišta podmazivanja i prljanja.

3.5 KONSTRUKTIVNO REŠENJE KOŠARE

Novo rešenje nameće neke konstruktivne probleme koji se ne pojavljuju kod starog (videti sl. 2 - detalj A) pa se pri oblikovanju na njih mora obratiti posebna pažnja. To su prvenstveno:

Izbor ležajeva za oslanjanje košara. Potrebni su ležajevi unutrašnjeg prečnika oko 700 mm. Mada se oni mogu naći u redovnom proizvodnom programu velikih proizvođača, a neki proizvođači su se i specijalizovali za ovakve ležajeve, njihov izbor je ipak sužen, i teško je naći onaj koji u potpunosti odgovara po pitanju nosivosti i dimenzija. Posebno je važno da dimenzije budu najmanje moguće jer direktno utiču na prečnik rotora. Zbog svega se može dogoditi da prečnik rotora bude veći od predviđenog.

Pošto se želi postići minimalan prečnik, prostor u košari je ograničen. Ovo može stvoriti probleme pri konstrukciji uređaja za prihvatanje i kočenje kabela, koji su važni za pravilno funkcionisanje mašine. U projektu je donekle prihvaćen kompromis na taj način što je usvojen jednostavan sistem za kočenje trakastom kočnicom (umesto daljinski kontrolisanog sistema koji je predviđen). Može se reći da je projektom postignuto zadovoljavajuće rešenje, ali verovatno ima još mogućnosti za njegovu optimizaciju.

3.6 MANIPULACIJA ULAZIM KALEMOVIMA

U celokupnom vremenu rada mašine veliki deo zauzima vreme za utovar i istovar kalemova u rotoru što značajno utiče na produktivnost.

Kod starog rešenja se oni vrše sa gornje strane mašine, uz pomoć dizalice, što očigledno nije moguće kod novog. Ovakav način manipulacije je jeftin, ali i dosta komplikovan, dugotrajan i zamoran. Zato se već kod starog rešenja pojavila potreba za posebnim sistemom za manipulaciju koji je skup, ali znatno olakšava i ubrzava rad. Ovakav sistem je neophodan kod novog rešenja gde se utovar vrši aksijalno, pristupom sa zadnje strane (sl. 2 - poz 4). Prihvaćen je poluautomatski sistem kao kompromis između cene i efikasnosti.

3.7 KOČENJE ROTORA

Jedan od važnih elemenata funkcionisanja mašine je kočenje rotora u režimu »nužni stop«. S obzirom na veličinu i strukturu rotora, ovo se mora učiniti putem obimne kočnice na obodu diska rotora (sl. 2 - poz 5).

Kod starog rešenja se pojavljuje problem udaljenosti diskova: pošto je kočenje sa dve kočnice isključeno (zbog neravnomernosti kočenja) ono se mora izvesti samo na jednom disku, što prouzrokuje značajna uvojnja opterećenja s obzirom na veliki moment inercije diska. Kod novog rešenja se oba diska mogu iskoristiti za kočenje (s obzirom da su blizu jedan drugom), čime je izbegnut pomenuti problem, a i površina kočenja je veća pa je ono daleko efikasnije.

4 ZAKLJUČAK

Mada bi se problem izlivanja kalem mogao ublažiti i na staroj konstrukciji postavljanjem zaštitnih elemenata na košari, rotoru ili oko mašine, to bi dovelo do značajnog povećanja mase i komplikovalo konstrukciju i eksploataciju, pa se ovo uglavnom izbegava na postojećim

rešenjima. Predložena konstrukcija predstavlja upečljivo najbolje rešenje za ovaj problem.

Dodatne analize su pokazale da, osim povećanja prečnika diska, novo rešenje nema nepovoljnih uticaja, a za neke faktore ono daje i značajna poboljšanja, te se može smatrati velikim napretkom u konstrukciji ovog tipa mašina. Analiza takodje pokazuje da se pri oblikovanju nove mašine mora obratiti pažnja na neke specifične probleme te ona predstavlja sasvim novi zadatak za konstruktora.

LITERATURA

- /1/ M. Ognjanović: Metodika konstruisanja mašina, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- /2/ D. Jovanović, S. Kuzmanović: Oblikovanje mašinskih konstrukcija, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- /3/ Grupa autora: Inženjersko mašinski priručnik, Zavod za udžbenike i nastavna sredstva, Beograd, 1987.
- /4/ Katalozi i prospekti proizvođača kablovske opreme

CABLE MAKING MACHINE DESIGN TO ACCOMPLISH SAFETINESS

Kostić Milan, FTN - Novi Sad
Čavić Maja, FTN - Novi Sad
Zlokolica Miodrag, FTN - Novi Sad

Summary

This paper represents analysis of some new design solutions for cable making machines. The most important goal of machine reconstruction is increase of safetiness i. e. decrease of damage consequences that can include human loses. Some specific details of the new design are described and it is compared to one that is generally accepted, in terms of some productive and operational parameters.

Keywords: design, safety, cable making machine

Adresa za kontakt

mr Milan Kostić
Fakultet tehničkih nauka
21000 Novi Sad
Trg Dositeja Obradovića 6

OBLIKOVANJE PUTANJA SINTEZOM KOMPENZACIONIH SISTEMA DIZALICA

Prof. dr Miodir Jovanović, MF - Niš

Prof. dr Radić Mijajlović, MF - Niš

Rezime

Rad daje pregled generalnih rešenja matematičkih modela za numeričku sintezu užadnih kompenzacionih sistema kranova. Ciljevi optimizacije su sinteze osnovnih tipova konstrukcija - užadnih kompenzacionih mehanizama za približno horizontalno vodjenje tereta. Za osnovne matematički modelirane tipove užadnih konstrukcija, postavljeni su optimizacioni zadaci i numerički rešeni. Zajednički ciljevi sinteze i konstruktivna ograničenja, nametnula su univerzalne kriterijume, predložene radom

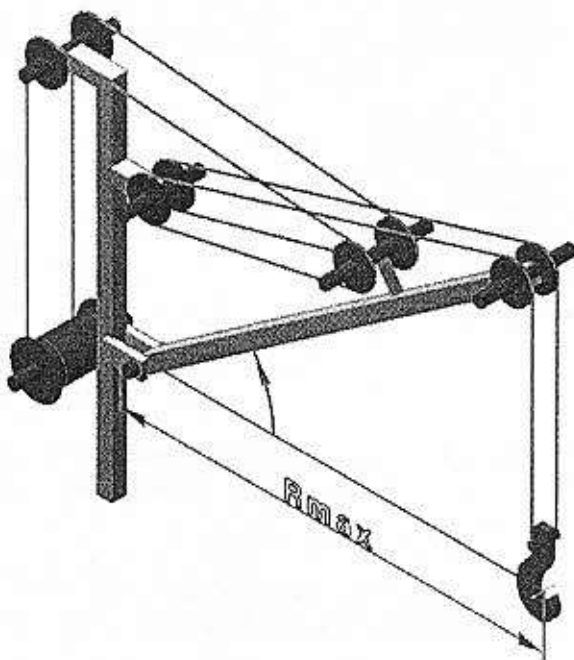
Ključne reči:

Dizalica, kompenzacioni sistem, optimalna sinteza

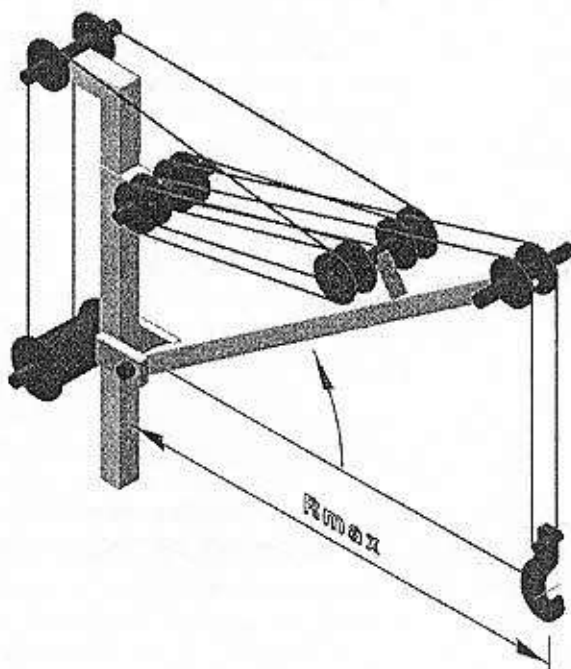
1.0 UVOD

Promena dohvata koja se izvodi promenom nagiba strele u opštem slučaju daje koso kretanje tereta u vertikalnoj ravni koje srećemo kod auto-dizalica, toranjskih dizalica, derik i drugih tipova dizalica. Pri radu sa malim teretima, konstruktivna jednostavnost je značajnija od instalirane snage pogona promene dohvata, pa se teret može i koso voditi. Međutim kod dizalica velikih nosivosti i dohvata, kosim premeštanjem tereta - promenom dohvata, značajno narasta snaga i veličina pogonskih uređaja. Takođe, manipulacija velikim teretima sa dve dizalice jednostavnija je promenom horizontalnog premeštanja tereta. Radi toga se koriste specijalna rešenja za promenu dohvata, sa težnjom horizontalnih ili približno horizontalnih putanja tereta. Pri tome je osnovni princip razvoja konstrukcija velikih dizalica - minimalna energija za promenu dohvata. Postoje tri osnovne grupe sistema za promenu dohvata sa premeštanjem tereta po približno horizontalnim putanjama: To su užadni kompenzacioni sistemi, mehanizmi sa zglavkasto spojenim članovima i sistemi sa spregnutim mehanizmima dizanja i promene dohvata (primenom užadi, zupčanika, dvokrakih poluga, izravnavajućih blokova). Ovaj rad se bavi grupom užadnih kompenzacionih sistema.

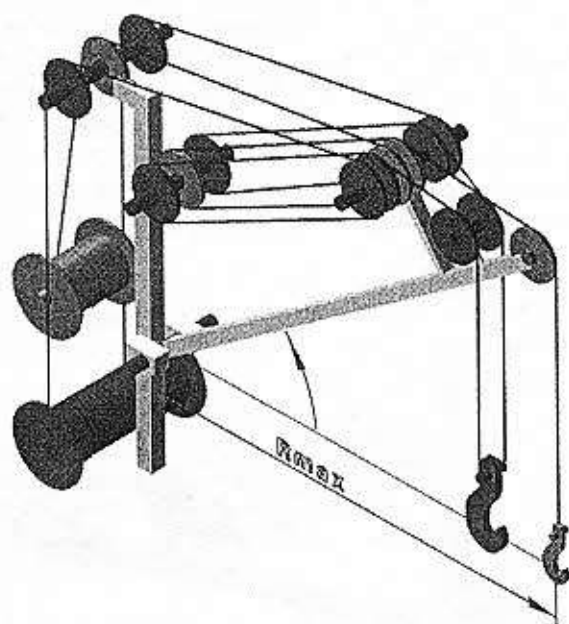
Na slikama 1,2,3, pokazane su neke karakteristične varijante za koje je izvršena optimalna numerička sinteza geometrije. Za posmatrane modele, zanimljivo je oceniti kvalitet numerički dobijenih putanja. Takođe, potrebno je proveriti adekvatnost klasičnog koncepta sinteze mehanizma promene dohvata, po sistemu kruto-kinetičkog modela. Veličine i elastičnost nosećih struktura su razlog takvih istraživanja.



Slika 1. Dvojni kompenzacioni užadni sistem za približno horizontalno vodjenje tereta - Model A



Slika 2. Dvojni kompenzacioni užadni sistem za približno horizontalno vodjenje tereta sa uvećanim prenosnim odnosom kompenzatora - Model B



Slika 3. Složeni kompenzacioni užadni sistem sa dva sistema za približno horizontalno vodjenje tereta - Model C

2.0 KLASIČNI KRITERIJUMI OCENE SISTEMA ZA PROMENU DOHVATA

Prvim teorijskim radom u domenu optimalnih mehanizama može se smatrati rad *П.П.Чебууева* koji je 1889. predložio svoj mehanizam. Prvu SPECIJALNU dizalicu sa sistemom za horizontalno premeštanje tereta, napravila je engleska firma *Babcock & Wilcox* 1913. za luku u Londonu. *Niemann* je 1930. u Nemačkoj napisao "UBER WIPPKRANE" - Werft Rederei-Hafen No14-22, što predstavlja prvu opštu literaturu, namenjenu pravolinijskom premeštanju tereta promenom dohvata dizalice. Godine 1939. *Алеутер* je izvršio geometrijsku sintezu krive bregastog profila dizalice sa elastičnom zategom [2]. Između 1940.-1960. godine, pojavio se niz grafo-analitičkih metoda za sintezu užadnih sistema za približno pravolinijsko i pravolinijsko premeštanje. *Кунарский* [2], daje opsežan pregled razvijenih metoda za sintezu jednostrelnih dizalica sa približno horizontalnim premeštanjem (Metod *А.М.Сомыса*, metod *Р.Креля*, metod *Н.Н.Емцова*). Metod *Н.Г.Павлова* je danas osnova geometrijske sinteze strukture za horizontalno premeštanje tereta, primenom obične (jedne) strele za promenu dohvata. *А.И.Дукельский* [2] je, izučavajući stvaran oblik krive premeštanja tereta $y=f(v)$, formulisao moment otpora M izazvan teretom Q , pri zadanom položaju ugla strele φ , relacijom 2.1:

$$M = Q \frac{dy}{d\varphi} \quad (2.1)$$

Ovaj izraz je OPŠTI USLOV sinteze optimalne konstrukcije za horizontalno premeštanje tereta.

Zajedničko za sve grafičke i grafoanalitičke metode je da su dobijene putanje u vertikalnom pravcu odstupale u odnosu na dužinu promene dohvata $2 \div 2.5 \%$, a bez ikakvih ograničenja čak 1% . Taj elementarni kriterijum putanje je količnik promene dohvata (C), dobijen deljenjem dužine promene nazivnih dohvata $R_{\max} - R_{\min}$ i visine promene položaja tereta pri toj operaciji $y_{\max} - y_{\min}$ (jednačina 2.2)¹.

$$C = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{y_{\max} - y_{\min}} \quad (2.2)$$

Tako dobijeni količnici promene dohvata grafo-analitičkim metodama, odgovarali su vrednostima $C=40 \div 50$ i predstavljali su inženjerski kvalitet sistema horizontalnog premeštanja, sredinom ovog veka. Kasnije numeričke sinteze *Malcher-a* i *Noglic-a* [6], potvrđuju ispravnost opšte prihvaćenog kriterijuma kvaliteta sinteze prostog kompenzacionog užadnog sistema i dobijene putanje primenom količnika putanje $\Delta R / \Delta y$. Autori uvode opsežne ograničavajuće funkcije geometrijske prirode i pokazuju oblik odstupanja putanja. Pri tome, ukazuju na nedostatak kompenzacionog sistema u pogledu forme trajektorije koja ga ne štiti od havarijskih slučajeva². Autori *A.Gronowicz* i *E.Kolesniak* [7], razmatraju pitanje optimalnog varijantnog izbora strukture za promenu dohvata dizalica sa običnom i duplom strelom. Oni uvode opšti kriterijum optimalnog konstruisanja definisan jednostavnošću forme koji je u ovom veku, intuitivno prisutan, uticao na mnoga usavršavanja.

Osinski [11], postavlja kriterijum numeričke sinteze - funkciju cilja - putanju premeštanja tereta u vidu kvadrata odstupanja diskretnih od prosečnih vrednosti, dobijene krive u obliku jednačine 2.3:

$$FC(Z) = \sum_{i=1}^n (y_i - y_{sr})^2 \quad (2.3)$$

U jednačini 2.3, y_{sr} je srednja aritmetička vrednost položaja putanje, y_i - diskretne vrednosti dobijene putanje. Sa Z su označeni geometrijski parametri sinteze sistema promene dohvata. Ova funkcija cilja - kriterijum optimizacije je testirana na kompenzacionom užadnom sistemu i strukturi tipa zglavkastog četvorougla, primenom *Hooke-Jeevis*-ovog algoritma minimizacije. Ovom metodologijom autori su pronašli bolja rešenja od izvedenih dizalica vodećih Evropskih proizvođača.

Verovatno najsloženiju formulaciju funkcije cilja uveo je *R.Koscielny* [12]. Za optimalno uravnoteženje dizalice tipa zglavkasti četvorougla, koristi dva kriterijuma: **ENERGETSKI KRITERIJUM** i **KRITERIJUM IZVRŠENOG RADA**. Uvodeći reprezentativni režim (koji se sastoji iz radnog i povratnog praznog hoda, perioda $2T$), funkciju cilja definiše u obliku funkcionala (E_K i E_P su kinetička i potencijalna energija sistema). Srednje kvadratno odstupanje funkcija N_Q i N_0 , određuje se relacijama:

- ¹ Rezultati su često potvrđivani eksperimentalnom modelskom analizom pomoću centroidografa.
- ² Numeričku sintezu funkcije cilja vrše stohastički randomizacijom, metodom *Monte-Carlo*.

$$N_Q = \frac{d}{dt} (E_K + E_P)_{(Q)} \quad (2.4)$$

$$N_0 = \frac{d}{dt} (E_K + E_P)_{(0)}$$

Funkcional-funkcija cilja K je oblika:

$$K = \frac{1}{2T} \int_0^T [(N_Q - Nm)^2 + (N_0 - Nm)^2] dt \quad (2.5)$$

Pri tome je srednja razvijena snaga Nm :

$$Nm = \frac{1}{2T} \int_0^T (N_Q + N_0) \cdot dt \quad (2.6)$$

Primena ovog postupka pokazuje da korišćenje energetskog kriterijuma uslovljava promenu u energiji sistema a kriterijum snage reaguje na tempo ovih promena. U praksi su ova dva kriterijuma dovela do neprihvatljivih protivtežova ili je minimizacija zapadala u teškoće, što je uslovljavalo promene u formulaciji. Tako su nastali modifikovani kriterijumi optimalnosti Km:

$$Km = K + (g \cdot \frac{1}{2T} \int_0^T \sum m_i \cdot R_i dt)^v \quad (2.7)$$

U jednačini 2.7, v je uticajni stepen modifikovanog kriterijuma optimalnosti a R_i parametri položaja. Ovako definisani kriterijumi se mogu oceniti predloženim modelom /12/ za tipizirane terete dizalica. Namenjeni su velikim kapacitetima, automatizovanom radu i tipičnim radnim ciklusima.

3.0 OSVRT NA IZNETU LITERATURU I OPTIMIZACIONE MODELE

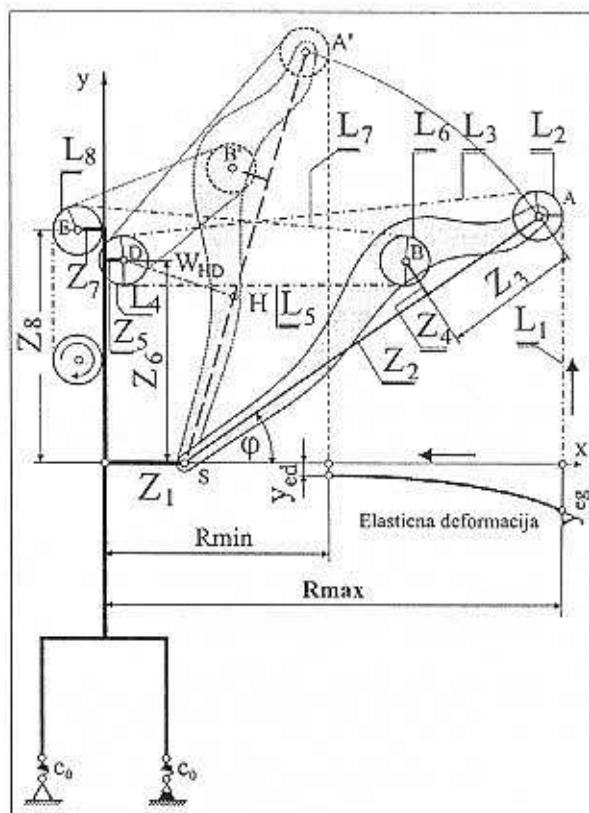
Analizirajući navedenu literaturu, zapaža se da je ideja horizontalnog premeštanja, kao najracionalnijeg tipa pretovara, postavljena još u prošlom veku. Na bazi toga, u prvoj polovini ovog veka razvijane su metode sinteze struktura za horizontalno premeštanje tereta. Kada su ove metode prestale da usavršavaju konstrukcije, zamenjene su novijim metodama numeričke sinteze približnih horizontalnih putanja.

Osnovno je zapažanje da svi autori tretiraju strukture za promenu dohvata krutim kinetičkim modelima, zanemarujući deformacioni rad, dakle, elastična svojstva noseće strukture. Eksperimentalna ispitivanja Eiler-a /13/, Pielorz /14/, Jovanović-a /9/, izvedena poslednjih tridesetak godina, pokazuju značajne ugibe tačaka strukture kojima se vodi teret. Visoko učešće elastičnih deformacija strukture je prisutno u putanji zbog tipične konzolne forme svih strela. Drugi razlog ugiba su velike dužine članova (30÷80 m), koji su zbog ograničenih nosivosti staza i cene koštanja, smanjene krutosti. Treći razlog su ugibi izazvani elastičnošću podloge i malom bazom oslanjanja u odnosu na radijus okretanja dizalica. Posledice su značajna odstupanja realnih putanja od teorijski zamišljenih na bazi kruto-kinetičkih modela.

Na osnovu toga, može se zaključiti da treba izvršiti numeričku sintezu strukture sa elastičnim svojstvima a kao polaznu osnovu koristiti prethodno razvijene metode grafičke i grafo-analitičke sinteze. Zbog toga, novija istraživanja mehanizama, koriste metodu konačnih elemenata /9,15/, sa ciljem zamene "krutih" modela realnim, sa stvarnim elastičnim svojstvima.

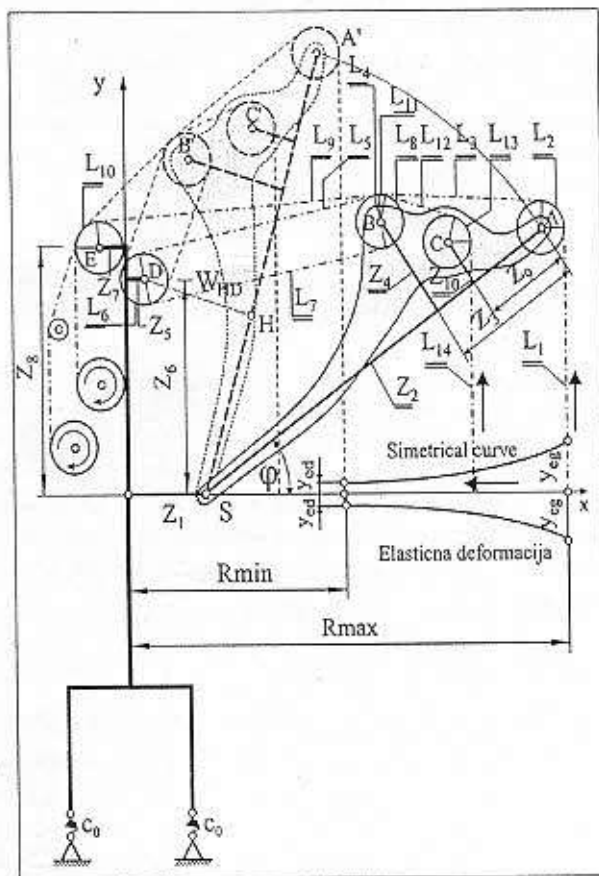
4.0 GEOMETRIJSKE OSNOVE UŽADNOG KOMPENZACIONOG SISTEMA

Posmatrajmo sisteme sa običnom strelom i više konstruktivnih izvodjenja, šematski pokazanih na slici 1-3. Za te fizičke modele postavljeni su matematički modeli za optimalnu numeričku sintezu na bazi klasičnog koncepta krutog tela. Geometrija modela A i modela B, definisana je generalno sa osam parametara optimizacije, prema slici 4. Model A i B se razlikuju po prenosnom odnosu užadnog sistema.



Sl. 4 Sistem za promenu dohvata sa prostim kompenzacionim sistemom (Model A)

Složeni sistem sa dva uređaja za dizanje (Model C, pokazan na slici 5), definisan je generalno sa 10 parametara z u zadatku nelinearnog programiranja. Odnosi se na sisteme većih dizalica koje obično poseduju i vitlo manje nosivosti. Na slici 5 pokazana je elastična linija sistema kao posledica elastičnih svojstava noseće strukture. Elastična linija uvek odgovara samo jednom stanju rasporeda opterećenja.



Sl. 5 Sistem za promenu dohvata sa dva kompenzaciona sistema (Model C)

Polazne vrednosti sinteze su zadati dohvati $R_{\max}$, $R_{\min}$, i dimenzija užadnih koturova D_0 . Ugao promene nagiba strele je $\varphi_{\min}$, $\varphi_{\max}$ i prirastaj $\Delta\varphi$ u n pozicija:

$$\begin{aligned}\varphi_{\min} &= \arccos[(R_{\max} - 0.5 \cdot D_0) / z_2] \\ \varphi_{\max} &= \arccos[(R_{\min} - 0.5 \cdot D_0) / z_2] \\ \Delta\varphi &= (\varphi_{\max} - \varphi_{\min}) / (n - 1)\end{aligned}\quad (4.1)$$

Koordinate tačaka modela (slika 4,5) su:

$$\begin{aligned}x_A &= z_1 + z_2 \cdot \cos(\varphi), \quad y_A = z_2 \cdot \sin(\varphi), \\ x_B &= z_1 + [z_2 - z_3] \cdot \cos(\varphi) - z_4 \cdot \sin(\varphi), \\ y_B &= [z_2 - z_3] \cdot \sin(\varphi) + z_4 \cdot \cos(\varphi), \\ x_C &= z_1 + [z_2 - z_9] \cdot \cos(\varphi) - z_{10} \cdot \sin(\varphi), \\ y_C &= [z_2 - z_9] \cdot \sin(\varphi) + z_{10} \cdot \cos(\varphi), \\ x_H &= \frac{z_6 \cdot \operatorname{tg}(\varphi) + z_1 \cdot \operatorname{tg}^2(\varphi) + z_5}{1 + \operatorname{tg}^2(\varphi)}, \\ y_H &= [z_1 - z_H] \cdot \operatorname{tg}(\varphi)\end{aligned}\quad (4.2)$$

5.0 OPTIMIZACIONI ZADATAK

Cilj optimizacije je naći geometriju kompenzacionog sistema za horizontalno premeštanje tereta numeričkom sintezom sistema. Posmatrajmo krut mehanički model. Primijenimo najčešći kriterijum funkciju cilja $FC(z)$ na bazi kvadrata minimalnih odstupanja putanje od zadate horizontale, [8,9,11]. Funkcija cilja je suma razlika diskretnih dužina užadi $y_{(i)}$, u n pozicija dohvata do zadate putanje i početne dužine $y_{(0)}$ u maksimalnom dohvatu, što je slično kriterijumu 2.2:

$$FC(z) = \sum_{i=1}^n [y_{(i)} - y_{(0)}]^2, \quad i = 1 \div n \quad (5.1)$$

Pojedinačna i ukupna dužina užadi L_i u $i = 1 \div n$ pozicija, određuju se na bazi prirastaja ugla nagiba strele φ , prema prethodno određenim koordinatama tačaka modela A i B na slici 4, prema relacijama 5.2:

$$\begin{aligned}L_1 &= z_2 \cdot \sin(\varphi), \\ L_3 &= [(y_A - z_6)^2 + (x_A - z_5)^2]^{0.5}, \\ L_5 &= [(y_B - z_6)^2 + (x_B - z_5)^2]^{0.5}, \\ L_7 &= [(y_B - z_8)^2 + (x_B - z_7)^2]^{0.5}, \\ w_{HD} &= [(y_D - y_H)^2 + (x_D - x_H)^2]^{0.5}, \\ L_2 + L_4 + L_6 + L_8 &= S \cdot \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot D_0;\end{aligned}\quad (5.2)$$

Koeficijent $S = 1$. (Model A); $S = 2$. (Model B)

$$y_{(i)} = \sum_{k=1}^8 L_{k(i)}; \quad i = 1 \div n; \quad y_{(0)} = y_{(i=1)} = \text{const.}$$

U relacijama 5.2, dužine užadi L_1, L_3, L_5, L_7 su funkcije položaja nagiba - dohvata. Dužine L_2, L_4, L_6, L_8 su dužine užadi na presmernim koturovima. Zbir dužina L_2, L_4, L_6, L_8 (L_{10}) je konstantan zbog stalnog obuhvatnog ugla užadi između kuke i doboša za dizanje. Obuhvatni ugao zavisi od prenosnog odnosa užadnog kompenzatora, označenog vrednošću $S=1$ (model A), $S=2$ (model B). w_{HD} je konstruktivno rastojanje strele od tornja dizalice (slika 4,5) i koristi se za optimizaciona ograničenja sinteze.

Dužine užadi u Modelu C, su definisane relacijama 5.3 i 5.4, prema slici 5. Funkcija cilja za sve posmatrane modele (A,B,C), određuje se na bazi konvencionalnog - klasičnog kriterijuma optimizacije (5.1) iz sume pojedinačnih dužina užadi.

$$\begin{aligned}L_1 &= z_2 \cdot \sin(\varphi), \\ L_3 &= [(y_A - y_B)^2 + (x_A - x_B)^2]^{0.5}, \\ L_5 &= [(y_B - z_6)^2 + (x_B - z_5)^2]^{0.5}, \quad L_7 = L_5, \\ L_9 &= [(y_B - z_8)^2 + (x_B - z_7)^2]^{0.5}, \\ L_{12} &= [(y_B - y_C)^2 + (x_B - x_C)^2]^{0.5}, \quad L_{14} = y_C, \quad (5.3)\end{aligned}$$

$$L_2 + L_4 + L_6 + L_8 + L_{10} = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot D_0, \quad (\text{Mod. C, Glavno diz.}),$$

$$L_6 + L_8 + L_{10} + L_{11} + L_{13} = \frac{3}{2} \cdot \pi \cdot D_0, \quad (\text{Mod. C, Pomocno diz.}),$$

$$y_{(i) \text{ GLAVNO}} = \sum_{k=1}^{10} L_{k(i)}; \quad i = 1 \div n,$$

$$y_{(0) \text{ GLAVNO}} = y_{(1) \text{ GLAVNO}}, \quad (5.4)$$

$$y_{(i) \text{ POMOC}} = L_{10} + L_9 + L_8 + L_7 + L_6 + L_5 + L_{11} + L_{12} + L_{13},$$

$$y_{(0) \text{ POMOC}} = y_{(1) \text{ POMOC}},$$

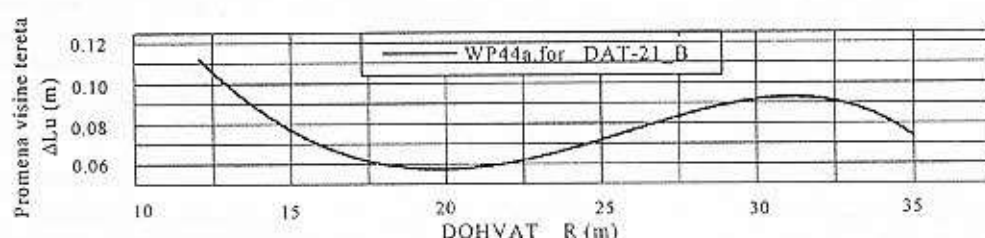
Funkcije ograničenja $G_i(z)$ definisane su za modele A i B relacijama 5.5. Uvedeni koeficijenti $C_1 \div C_{11}$ su granice hiperprostora iskustveno ali i logički određene. Ove granice su tako zadate da definišu prostor pretraživanja u tehnički prihvatljivoj oblasti rešenja. Izabrane su iskustveno za primere u Tabeli 1.

$$\begin{aligned} G_1 &= z_1 > 0, & G_{10} &= z_5 - C_6 > 0 \\ G_2 &= C_1 - z_1 > 0, & G_{11} &= z_6 > 0, \\ G_3 &= z_2 > 0, & G_{12} &= C_7 - z_6 > 0, \\ G_4 &= C_2 - z_2 > 0, & G_{13} &= z_8 - C_8 > 0, \\ G_5 &= z_3 > 0, & G_{14} &= C_9 - z_7 > 0, & (5.5) \\ G_6 &= z_2 - z_3 > 0, & G_{15} &= z_8 - z_6 > 0, \\ G_7 &= z_4 - C_3 > 0, & G_{16} &= z_8 > 0, \\ G_8 &= C_4 - z_4 > 0, & G_{17} &= L_5 - C_{10} > 0, \\ G_9 &= C_5 - z_5 > 0, & G_{18} &= w_{DH} - C_{11} > 0, \end{aligned}$$

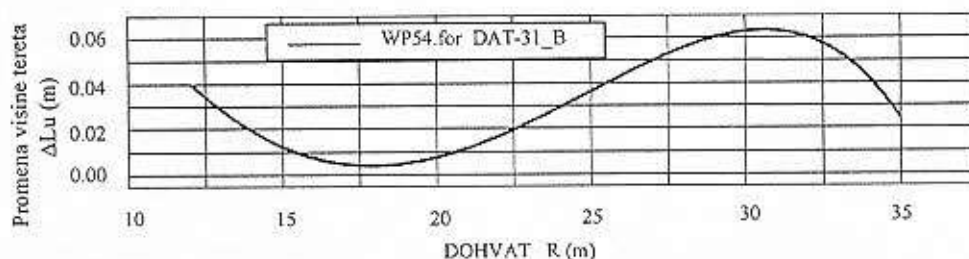
Funkcije ograničenja $G_i(z)$ definisane su za model C relacijama 5.6. Koeficijenti $C_1 \div C_{20}$ su granice hiperprostora uvedene u sintezu.

$$\begin{aligned} G_1 &= z_1 > 0, & G_{11} &= z_6 > 0, \\ G_2 &= C_1 - z_1 > 0, & G_{12} &= z_4 - z_{10} > 0, \\ G_3 &= C_3 - z_2 > 0, & G_{13} &= z_8 - C_{11} > 0, \\ G_4 &= z_2 - C_4 > 0, & G_{14} &= C_{12} - z_8 > 0, \\ G_5 &= z_3 > 0, & G_{15} &= z_8 - z_6 > 0, \\ G_6 &= C_5 - z_3 > 0, & G_{16} &= z_8 > 0, \\ G_7 &= z_4 - C_7 > 0, & G_{17} &= z_7 + C_{13} > 0 & (5.6) \\ G_8 &= C_6 - z_4 > 0, & G_{18} &= L_5 - C_{14} > 0 \\ G_9 &= C_8 - z_5 > 0, & G_{19} &= w_{DH} - C_{15} > 0, \\ G_{10} &= z_5 - C_9 > 0, & G_{20} &= z_3 - z_9 > 0, \end{aligned}$$

Primenom minimizacione metode fleksibilne tolerancije poliedara [3], rešena su i predstavljena dva primera (Primer 1 i Primer 2) optimalne numeričke sinteze užadnih kompenzacionih sistema konstrukcija modela A i modela B. Posmatrani su dakle kruti kinematski sistemi za koje su u Tabeli 1 data rešenja dobijenih konstrukcija. Na slici 6 (Model A) i na slici 7 (Model B) data su odstupanja putanja od horizontale (inverzne putanje promene dohvata). Dobijeni rezultati optimalne numeričke sinteze - kriterijumi putanja ($C=410.85$, $C=388.95$) očigledno nadmašuju primenu grafičkih i grafo-analitičkih metoda, iznetih u uvodu koji su u granicama $C = 40 \div 50$ (do 75).



SI 6 Odstupanja od zadate putanje - Primer-1 (Krut kinematski model A)



SI 7 Odstupanja od zadate putanje - Primer-2 (Krut kinematski model B)

6.0 KRITERIJUM OPTIMIZACIJE ELASTIČNIH MODELA

Postavljena optimalna sinteza na kruto-kinetičkom modelu ocenjena je koeficijentom C (2.2), koji predstavlja količnik promene dohvata dizalice i maksimalnog vertikalnog

odstupanja putanje tereta od horizontale. Uvedimo elastičnost strukture: Funkcija cilja - kriterijum optimizacije $FC(z)$, zadržava osnovni oblik (5.1), pri čemu putanja sinteze bazirana na elastičnoj liniji promene dohvata. Kvalitet putanje treba oceniti odstupanjem od simetrične krive elastičnoj krivoj za koju

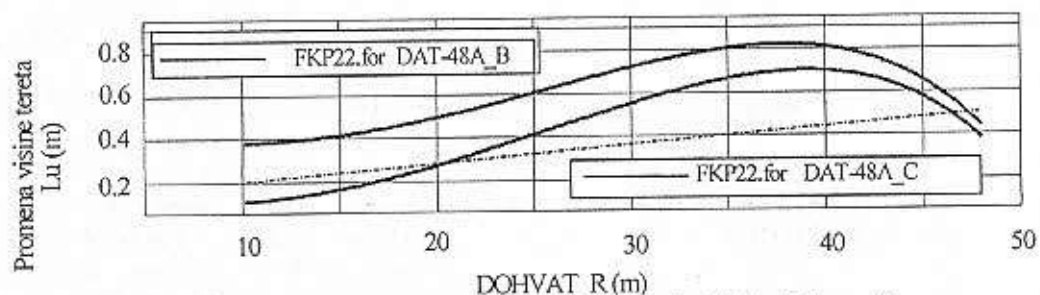
se vrši sinteza. Simetrična kriva (slika 5), iznad elastične linije je elastična linija strukture u ogledalu. Sintezom kompenzacionog sistema za simetričnu krivu, po metodi krutog modela, dobija se sistem koji pri elastičnim svojstvima daje približno horizontalnu putanju. Na ovaj način se na bazi krutog mehaničkog modela prelazi u elastičan sistem, bez značajnog usložavanja procedure. Osnova razvoja elastičnog modela zahteva prethodno poznavanje elastične linije.

Radom predložen model traži geometriju elastičnog sistema na bazi poznatih elastičnih deformacija približnog modela i putanje krutog kinematskog sistema. Naime elastične putanje su zbir koordinata položaja krutog kinematskog sistema konstrukcije i njenih elastičnih deformacija Δx , Δy . Jednačine (6.1) definišu ovu postavku sabiranjem koordinata položaja vrha strele glavnog sistema dizanja x_{R1} , y_{R1} krutog modela sa elastičnim deformacijama $\Delta x1$, $\Delta y1$ vrha strele, čime se dobijaju koordinate elastičnog sistema x_{E1} , y_{E1} . Koordinate vrha strele x_{E1} , y_{E1} su izvršne tačke premeštanja tereta elastičnog modela. Postupak je identičan za pomoćni sistem x_{E2} , y_{E2} :

$$\begin{aligned} x_{E1} &= x_{R1} + \Delta x1, & y_{E1} &= y_{R1} + \Delta y1, \\ x_{E2} &= x_{R2} + \Delta x2, & y_{E2} &= y_{R2} + \Delta y2 \end{aligned} \quad (6.1)$$

Pojedinačne elastične deformacije se analitički određuju primenom *Castiglianove* teoreme ili metode konačnih elemenata [9,10]. Primenom *Castiglianove* teoreme, elastične deformacije su suma integrala deformacija u m karakterističnih preseka noseće strukture dizalice uključujući i oslonce. Određjivanje elastičnih deformacija ovom metodom kao suma integrala od savijanja I_{XF} , I_{YF} , integrala aksijalnih sila I_{XA} , I_{YA} i integrala smicajnih sila I_{XS} , I_{YS} , definisane su relacijama 6.2. Pojedinačnim sabiranjem deformacija iz savijanja (označenih indeksom F), aksijalnih sila (označenih indeksom A) i smicanja (označenih indeksom S) u pravcu x i y osa, dobija se deformacija vrha strele (koje definišu elastičnu liniju).

$$\begin{aligned} \Delta x_F &= \sum_{i=1}^m \frac{1}{B_i} \int_0^L M_i \frac{\partial M_i}{\partial F} dz = \sum_{i=1}^m I_{XF}, \\ \Delta y_F &= \sum_{i=1}^m \frac{1}{B_i} \int_0^L M_i \frac{\partial M_i}{\partial Q} dz = \sum_{i=1}^m I_{YF}, \\ \Delta x_A &= \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial F} \int_0^L \frac{F_{Ai}^2}{2EA_i} dz = \sum_{i=1}^m I_{XA}, \\ \Delta y_A &= \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial Q} \int_0^L \frac{F_{Ai}^2}{2EA_i} dz = \sum_{i=1}^m I_{YA}, \end{aligned} \quad (6.2)$$



SI. 8 Promena visine položaja tereta sa uključenim elastičnim deformacijama
Dve krive: Složeni kompenzacioni sistem sa glavnim i pomoćnim dizanjem - Primer 3 (Model C)

$$\begin{aligned} \Delta x_S &= \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial F} \cdot \frac{\chi}{2GA_i} \int_0^L F_{Ri}^2 dz = \sum_{i=1}^m I_{XS}, \\ \Delta y_S &= \sum_{i=1}^m \frac{\partial}{\partial Q} \cdot \frac{\chi}{2GA_i} \int_0^L F_{Ai}^2 dz = \sum_{i=1}^m I_{YS}, \end{aligned}$$

U ovim relacijama F i Q su fiktivne sile, M_i je moment savijanja. B_i su savojne krutosti. χ je *Fon Karman-ov* koeficijent, F_{Ri} - radialna sila, F_{Ai} - aksijalna sila u odgovarajućim presecima strukture. G je modul klizanja, A_i površine preseka.

Nova FUNKCIJA CILJA $FC(z)$, definisana relacijom 6.3, je objektivniji kriterijum optimizacije. Njome se u suštini traži rešenje kretanja po simetričnoj krivoj elastičnoj liniji sistema, slika 5. Pri tome izabran jednak značaj sinteze pogona glavnog i pomoćnog dizanja, ne mora biti primenjen.

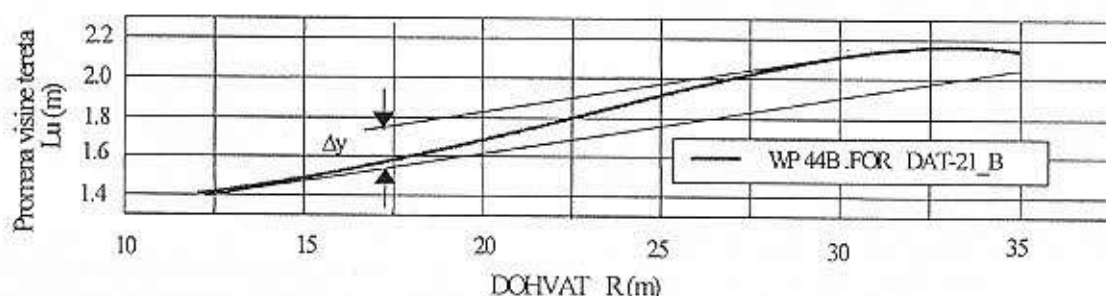
$$\begin{aligned} FC(Z) &= \sum_{i=1}^n [y_{GL(i)} - y_{GL(0)} + y_{E1}]^2 + \\ &+ \sum_{i=1}^n [y_{POM(i)} - y_{POM(0)} + y_{E2}]^2 \end{aligned} \quad (6.3)$$

Tabela 1 pokazuje rezultate sinteze za primer 3, koja se odnosi na model C. Simetrična kriva je dobijena na bazi elastičnih deformacija u krajnjim dohvatima parcijalno određenih $\Delta y_{max}/\Delta y_{min} = 0.5 / 0.2$ m.

Slika 3 i slika 5, pokazuje predloženi postupak određivanja kvaliteta putanje u odnosu na simetričnu krivu za koju je predložen novi količnik putanje C^* , relacijom 6.4. Novi količnik dobijene putanje C^* je objektivnije merilo - kontrolni kriterijum sinteze kompenzacionog sistema, bez obzira na vrstu - tip analiziranog modela. Njime se traži količnik putanje kruto-kinetičkog modela u odnosu na simetričnu krivu. Kao takav on važi i za druge vrste dizalice koje nisu tretirane. Odstupanja Δy_{min}^{sim} i

Δy_{max}^{sim} su ekstremna odstupanja od simetrične krive.

$$C^* = \frac{\Delta R}{\Delta y^{SIMETR}} = \frac{R_{MAX} - R_{MIN}}{y_{MAX}^{SIMETR} - y_{MIN}^{SIMETR}} \quad (6.4)$$



Sl. 9 Promena visine položaja tereta sa uključenim elastičnim deformacijama - Primer 4 (Model A)

Model rešavanja Primer - Br. Dohvat Rmax/Rmin Rezultat sinteze Odstupanja (m)	Optimizacioni parametri (m)										Količnik $C_K=C$ $C_E=C^*$
	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	z_{10}	
Model A Primer-1 35/12 m, $\Delta y_K=0.242$ m Primer-4 $\Delta y_E=0.048$ m	0.531	52.55	0.102	0.645	1.354	14.448	0.275	14.702	-	-	410.85 (Primer-1) $C = 30.18$ $C^* = 117.80$ (Primer-4)
C_1 - Iskustveno određene granice n-dimenzionog hiper prostora optimizacije: $C_1=5$ m, $C_2=60$ m, $C_3=D_0=0.64$ m, $C_4=C_5=C_7=C_9=2.5$ m, $C_6=D_0=0.64$ m, $C_8=13$ m, $C_{10}=C_{11}=2D_0=1.28$ m. Isti parametri optimizacije z_i											
Model B Primer-2 35/12 m, $\Delta y_K=0.0579$ m	2.0816	42.565	0.4181	1.5198	0.531	2.1992	6.3545	1.8655			$C = 388.95$
C_1 - Iskustveno određene granice n-dimenzionog hiper prostora optimizacije: $C_1=5$ m, $C_2=60$ m, $C_3=D_0=0.64$ m, $C_4=C_5=C_6=C_7=C_9=2.5$ m, $C_8=13$ m, $C_{11}=2D_0=1.28$ m. (Jednako Modelu A)											
Model C Primer-3 48/10 m, 48/10 m Elastic def.=0.2 / 0.5 m $\Delta y_{K1}/\Delta y_{K2}=0.44/0.597$ $\Delta y_{E1}/\Delta y_{E2}=0.24/0.30$	0.0591	58.430	2.2975	1.5876	0.570	13.633	-1.091	20.486	0.0935	0.2722	$C = 85.5$ $C = 63.6$ $C^* = 156.7$ $C^* = 127.2$
Tabela-1	C_1 - Iskustveno određene granice n-dimenzionog hiper prostora optimizacije: $C_1=C_5=5.0$ m, $C_9=0$ m, $C_2=C_{13}=5$ m, $C_3=60$ m, $C_4=25$ m, $C_6=C_{14}=2.5$ m, $C_{10}=2.5$ m, $C_8=8$ m, $C_7=D_0=0.64$ m, $C_{11}=6$ m, $C_{12}=15$ m, $C_{15}=2D_0=1.28$ m, $C_8=-3.5$ m										

Tabela 1. Rešenja optimalnih sinteza (sl.6,7) i rešenja sa učešćem elastičnih deformacija (sl.8,9)

ZAKLJUČAK:

Procedura optimalnih sinteza kompenzacionih sistema za promenu dohvata znatno efikasnije mogu biti realizovane numeričkim sintezama kako za krute tako i za kvalitetnije elastične mehaničke modele. Pri tome predložena nova metoda sinteze korišćenjem simetrične krive, vodi značajnom sniženju stvarnih odstupanja putanja tereta od horizontala. Sinteza užadnog sistema sa elastičnim deformacijama je osnov kvalitetnijih rešenja. Realizacija elastičnih sistema zahteva primenu novog kontrolnog kriterijuma ocene putanje C^* na bazi simetrične krive. Predložen postupak je univerzalan za sve tipove dizalica sa horizontalnim premeštanjem tereta, bez obzira na vrstu i individualnost kinematike.

LITERATURA:

- 1/ Lightfoot E., Girgrah M., OPTIMUM PULLEY POSITIONS FOR LEVEL-LUFFING CARGO CRANES -The engineer, Vol.209, London 1960.
- 2/ Кипарский.Г.Р.: ОДНОЗВЕННЫЕ СТРЕЛОВЫЕ УСТРОЙСТВА КРАНОВ, Машиностр., Ленинград 1969,
- 3/ Himmelblau, M., APPLIED NONLINEAR PROGRAMMING, Mc.Graw-Hill, New York 1972.
- 4/ Koscielni, R., OPTIMIZATION OF THE COMPENSATING SYSTEM OF LEVEL LUFFING CRANES, Journal F+H, No 32/11, Mainz, 1982.
- 5/ Osinski M., GEOMETRIA LINOWEGO UKLADU KOMPENSACYJNEGO DWULONOWEGO WYSIEGNIKA WYPADOWEGO, Zeszyty Naukowe Politechniki, Gdansk, 1983.
- 6/ Malcher K., Noglicé T.: OPTIMIERUNG DER LASTAUSGLEICHSYSTEME MIT FESTER

- /7/ Gronowicz A., Kolesniak E.: MECHANISMEN FÜR DEN LASTAUSGLEICH BEI WIPPKRANEN, F+H 34, 1984.
- /8/ Jovanović, M., CAD-OF THE CABLE COMPENSATORY SYSTEMS OF CRANES, Proceedings, VI. Conf of Transport, Miskolc-Egyetemvaros, 1987. pp.359-368.
- /9/ Jovanović, M., THE SUPPORTING STRUCTURE LEVEL-LUFFING SYSTEM AND DRIVING RESISTANCES AT PORTAL-JIB CRANES OPTIMIZATION, Dissertation, Mechanical faculty University of Niš, 1989, Vol. I+II
- /10/ Jovanović M., Pavlović N., OPTIMIZATION OF A PORTAL - JIB CRANE MECHANISMS, Nine World Congress IFTOMM, Milano, Italy, 1995.
- /11/ Osinski M.: GEOMETRIA LINOWEGO UKŁADU KOMPENSACYJNEGO DWULONOWEGO WYSIEGNIKA WYPADOWEGO, Z.N. Politechniki Gdansk, 1983.
- /12/ Koscielny R.: OPTIMIZATION OF THE COMPENSATING SYSTEM OF LEVEL-LUFFING CRANES, F+H 32/11, Mainz, 1982.
- /13/ Eiler P.: ÜBER MASSENKRÄFTE AN DREH UND WIPPDREHKRANEN, TH, München, 1965.
- /14/ Pielorz J.: WYZNACZANIE OBCIAZEN DYNAMICZNYCH W OKRESIE HAMOWANIA MECHANIZMU ZMIANY WYSIEGU NA WYBRANYM PRZYKŁADZIE ZURAWIA JEDNOCZŁONOWEGO, Praca doktorska. Politechnika Wrocław, 1975.
- /15/ Thompson S.B., Sung K.C.: A SURVEY OF FINITE ELEMENT TECHNIQUES FOR MECHANISM DESIGN, MMT, G.Britain, Vol.21/4, 1986.

CRITERIA FOR HORIZONTAL PATHS SYNTHESIS OF ROPE CRANE COMPENSATORY SYSTEMS

Summary

The paper gives the review of general solutions of mathematical models for numerical synthesis of crane rope compensatory systems. The aims of the optimizations are synthesis of the basic type constructions - rope compensatory mechanisms for approximate horizontal cargo driving. For these mathematical modeled construction types some optimisational tasks are state, and they are numerically solved. Common synthesis criteries and constructive limitations (constraints) are suggested universal criteria (proposed with this paper).

Keywords:

Crane, compensatory systems, optimum synthesis

dr Miomir Jovanović,
MAŠINSKI FAKULTET NIŠ,
18000 NIŠ, ul. Beogradska 14, YUGOSLAVIA,
Tel: 018/355-870, Fax: 018/352-780, Tel: 018/591-804,
Mail: miomir.jovanovic@cent.co.yu



TRCpro d.o.o.
Bul. M. Pupina 17
Novi Sad
Tel / fax: 021 22 267

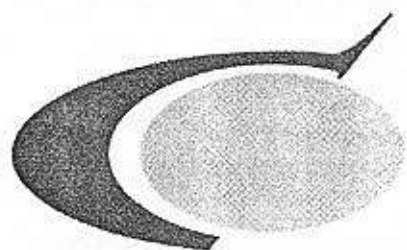
***Vaš partner pri merenju
mehaničkih veličina***

- sila
- masa
- pritisak
- pomeranje
- moment
- vibracije

- ✓ senzori mehaničkih veličina
- ✓ merna elektronika
- ✓ kompletna rešenja iz oblasti merenja
- ✓ usluge merenja i ispitivanja
- ✓ instalacija i obuka

Razvoj i primena software-a:

- merenje i akvizicija
- proračuni konstrukcija metodom konačnih elemenata (ANSYS®)
- kinematske i dinamičke analize mehaničkih sistema (ADAMS®)



CONTINENTAL BANKA