

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Машински елементи

Број индекса: 29/2012

Ненад Т. Коларевић

Зупчаници кроз историју

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Мирко Благојевић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да
историјски развој зупчастих преносника.

Препоручена литература:

[1] М. Е. – Др Вера Николић, Машински факултет у Крагујевцу, 2004

Крагујевац, 2015.

ментор:

Др Мирко Благојевић

Искрено се захваљујем др Мирку Благојевићу, вандредном професору Факултета инжењерских наука у Крагујевцу, који је руководио овим радом и пружио ми свестрану помоћ при изради и писању рада.

Такође захвалност дугујем својој породици, оцу Томиславу у мајци Беиси, сестрама Ивани и Јелени, као и својим пријатељима, на разумевању и великој подршци током студија.

*Искрено хвала,
Коларевић Ненад*

Резиме

Тема овог завршног рада односи се на развој зупчастих преносника током историје људске цивилизације. Обухвата период од античке Грчке, Рима, преко доба Ренесансе, Индустијске револуције па све до данашњег савременог доба. Приказане су неке од примитивних машина које су настале у времену једноставних алата, што представља резултат људске способности и креативности. Такође су поменути и истраживачи и научници који су кроз историју значајно утицали на развоју машина, где пресудну улогу играју зупчасти преносници.

Кључне речи: Античка Грчка, Антички Рим, Ренесанса, Индустијска револуција, Савремено доба, зупчасти преносници, зупчаници, историја

Abstract

The theme of this paper is the development of gear trains throughout the history of human civilization. It covers the period from ancient Greece and Rome, through the Renaissance, the Industrial Revolution to the modern era. Here are shown some of the primitive machines that were created in the time of simple tools, which are the result of human skills and creativity. This paper also refers to the researchers and scientists who have significantly contributed to the development of the machines, where a crucial role is played by mechanical gear.

Key words: Ancient Greece, Ancient Rome, Renaissance, Industrial Revolution, Modern era, mechanical gear, history

Садржај:

1. Увод.....	2
2. ЗУПЧАНИЦИ – Значај и подела	5
3. ЗУПЧАНИЦИ КРОЗ ИСТОРИЈУ	7
3.1 Античка Грчка.....	7
3.2. Антички Рим.....	11
3.3. Средњи век	17
3.4. Доба Ренесансе.....	19
3.4.1. Леонардов допринос развоју машина и примени зупчаника	21
3.5. Индустриска револуција	29
3.6. Савремено доба.....	34
3.7. Закључак	40
Литература.....	41

1. УВОД

Зупчасти преносници преносе кретање и обртни момент са једног вратила на друго помоћу тзв. везе обликом, коју чини спрега зубаца зупчаника. Најједноставнији зупчасти преносник састоји се од два зупчаника у спрези који чине зупчасти пар. Један од ова два зупчаника је погонски, а други гоњени, [1].

Зупчасти преносници представљају најважније делове једног машинског склопа, односно једне машине. Машине су уређаји који врше користан рад, а састоје се од функционално повезаних покретних и непокретних машинских делова. Машина мора имати извор енергије при чему су од виталног значаја машински елементи преноса, односно зупчаници.

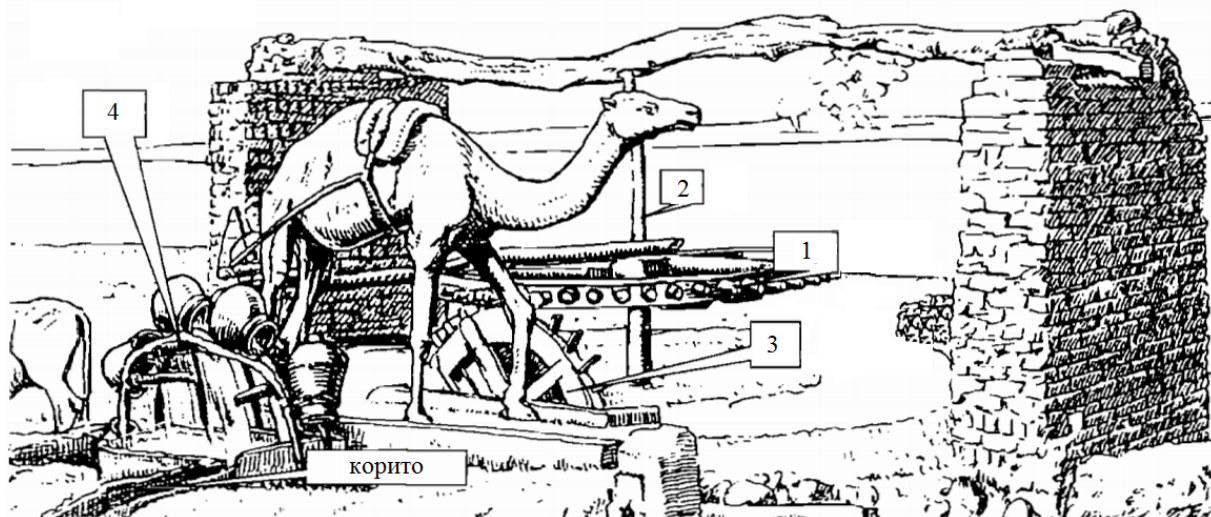
Према историјским доказима, појава машина може се приписати древном Египту, где су из потребе људи који живе у околини реке Нила, односно из потребе за наводњавањем земље за производњу хране, развијене прве машине. Наводњавање је изведено помоћу примитивне машине приказане на слици 1, [2] која користи једноставне дрвене зупчанике за пренос снаге и кретања. Зупчаници су били веома једноставни, зупци зупчаника фиксирани у отворе по ободу венца зупчаника. Од тада, зупчаници су се

користили и усавршавали у свим периодима људске цивилизације за експлоатацију природних извора енергије при обављању послова за добробит човека.

У почетку, древно становништво је наводњавало земљиште тако што су ручно извлачили воду из реке, што је било веома напорно. Тешке ручне операције су биле напорне и неефикасне. Жеља да се људска снага замени снагом животиња, довела је до развијања механизма за наводњавање, [2].

Механизам се састојао од зупчаника (1) везаног за ротациони вертикални стуб (2). Животиња је покретала зупчаник (1). Кретање зупчаника се преносило са зупчаника (1) на зупчаник (3), а затим преко хоризонталног вратила на точак са посудама (4). На тај начин, точак са посудама (4) је извлачио воду, као што је приказано на слици 1, [2].

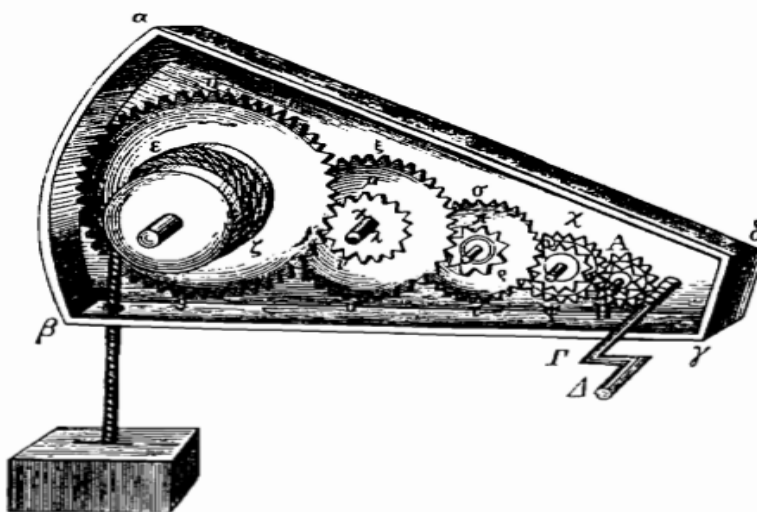
Овакви примитивни уређаји произведени су помоћу једноставних алата, у времену када су људи почели да користе домаће животиње као извор енергије. Ови и слични уређаји користе дрвене зупчанике који представљају резултат људске креативности и способности.



Слика 1 – Приказ механизма за наводњавање

Античко доба је било од највећег значаја за развој машина и уређаја. Многе машине са зупчаницима су описали неки од великих научника тог доба. Међу њима је и грчки филозоф Аристотел (*Aristotle*, 384 - 322 п.н.е.), студент Платона и учитељ Александра Великог. Он је у својим радовима описао уређаје као што су: катури, коленаста вратила, а такође и уређаје за наводњавање са зупчаницима. На тај начин он је знања о машинама са зупчаницима пренео на наредне генерације.

Архимед из Сиракузе (*Archimedes*, 287 - 212 године п.н.е), грчки математичар, физичар и инжењер, је познавао законе полуга, дизалица, као и принципе пужних преносника. Слика 2, представља Архимедово витло направљено од више зупчаника и једног пужног преносника. Архимед је познат по реченици: „Дајте ми ослинац, а ја ћу подићи Земљу“. Древни извештаји су открили да је Архимед пренео брод масе 4200 тона у море, користећи систем полуга, ременица и зупчастих преносника, [2].



Слика 2 – Архимедово витло

2. ЗУПЧАНИЦИ – ЗНАЧАЈ И ПОДЕЛА

Зупчаник је машински елемент који при спрезању са другим зупчаником преноси кретање и обртни момент са једног вратила на друго. Зависно од облика, преносног односа, и начина употребе, могу се користити за повећање или смањење обртног момента, угаоне брзине, за промену смера обртања и слично.

Материјал за израду зупчаника је најчешће челик, али се све више користе и пластика, као и одређени композитни материјали. У старо доба се за израду зупчаника најчешће користило дрво.



Слика 3—Различите врсте зупчаника

Према међусобном положају оса вратила погонског и гоњеног зупчаника разликују се:

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

Према облику зубаца, зупчаници могу бити са правим, косим, стреластим и завојним (кривим) зупцима, [1]

Најранији запис о зупчанику потиче од Херона из 50. године. Најстарији пронађени зупчасти преносник потиче из Антикитере, који је служио за мерење положаја небеских тела, а сматра се да потиче око 100 до 150 п.н.е., [4].



Слика 4–Зупчаник са стреластим зупцима

3. ЗУПЧАНИЦИ КРОЗ ИСТОРИЈУ

3.1 АНТИЧКА ГРЧКА

Верује се да је „Антикитера механизам“ или механизам са Антикитере, антички механички калкулатор (такође се описује као први „механички рачунар“) који је служио за рачунање астрономских позиција. Открио га је 1901. године ловац на морске сунђере у олупини потопљеног трговачког брода код грчког острва Антикитера, између Китере и Крита. 17. маја 1902. године је тадашњи управник Археолошког музеја у Атини, археолог Валериос Стаис први открио његову намену приметивши да уређај има уграђен точак са видљивим натписима астрономских термина. Потиче из 82. године п. н. е. Анализе текста пронађеног уз механизам сугеришу да је апарат коришћен 15-20 година пре тога. Механизми сличне сложености нису се појављивали наредних хиљаду година, [4].

Димензије механизма су 33 *cm* (висина), 17 *cm* (ширина) и 9 *cm* (дебљина). Направљен је од бронзе и смештен у кућиште од дрвета. На њему је исписан текст од око 3000 слова, који је дешифрован у последњих пар година. Текст је нека врста упутства за употребу, са одељцима о астрономији, географији и механици. Остаци механизма са Антикитере се чувају у Националном археолошком музеју у Атини.

Британски научник и историчар Дерек Џон де Сола Прајс (*Derek John de Solla Price*, 1922 - 1983 год.) објавио је 1952. године рад у коме је објаснио астрономску намену овог механизма. Он је закључио да Антикитера механизам представља симулатор кретања планета око Сунца и да се може назвати првим аналогним рачунаром.

Апарат има 30 сачуваних зупчаника (претпоставља се да их је укупно било 37). Зупци зупчаника имају облик једнакостраничног троугла. Датум би се у машину унео механички, а апарат би дао податке о положају Сунца, Месеца као и друге астрономске податке. Није још извесно да ли се механизам заснивао на геоцентричном или хелиоцентричном принципу. Имао је три главна кружна индикатора, један напред, и два позади. Предњи индикатор је био подељен на секторе месеци, године египатског календара. Унутар њега, постојала је подела са грчким симболима зодијака. Јулијански календар је уведен у употребу 50-100 година после настанка овог апарата. С предње стране су постојале бар три казаљке, једна за датум, а друге две као индикација положаја Сунца и Месеца. Механизам је дизајниран тако да узима у обзир променљиву угаону брзину Месеца и приказује његове фазе на сферном моделу, [4].



Слика 5 – Главни фрагмент Антикитира механизма

Скорашње истраживање у коме су истовремено учествовали историчари, археолози, астрономи, физичари и инжењери обављено је у депоима Националног археолошког музеја Грчке, где се међу многим драгоценим експонатима, чува и Антикитера механизам. Осим једне реконструкције самог механизма у Монтани, у САД,

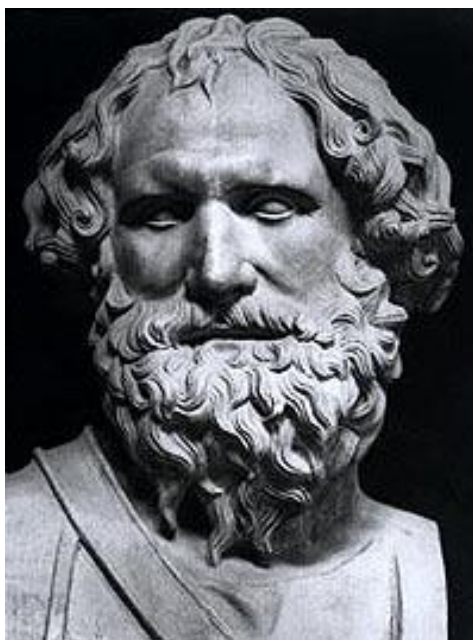
ни у једном музеју на свету не постоји сличан механизам. Због своје јединствености, Антикитера механизам је дуго био споран археолошки налаз, као уређај претерано сложен и прецизан за време у коме је настао. Сачувани бројчаници, плочице и зупчаници од бронзе некада су чинили металну целину величине кутије за ципеле која је била учвршћена дрвеним рамом. На свим спољашњим површинама кутије, бројчаника и заштитних врата у бронзи је био урезан старогрчки текст. Део тог текста, дужине од хиљаду карактера, раније је већ био преведен, али се сада открило још толико знакова.

Кључни допринос развоју античке технологије дао је Архимед из Сиракузе (око 290 – 212 године п.н.е), грчки физичар, математичар, филозоф и проналазач, научник који је дао допринос не само за своје доба, већ се може рећи и генијалан готово као Ајнштајн. Три века после Талеса из Милета, као и потоњих јонских физичара и питагорејаца који су већ били значајно развили астрономију и математику, Архимед је затечену баштину допунио опусом који је огроман и разнородан, и то само по оном што је сачувано до данас.

Подједнако занимљива као прича о тајнама Антикитере, узбудљива је авантура једног преписа његовог несталог манускрипта „Метод”, који је у Средњем веку у једном грчком манастиру избељен. Касније је искориштен за преписивање јеванђеља, да би потом нестало у ризници библиотеке у Цариграду. Након тога украден током Првог светског рата, да би се најзад појавио у поседу једне аристократске породице, што је изазвало невероватно узбуђење међу историчарима науке. После брижљиве рестаурације и скенирања најмодернијим технологијама, испоставило се да се Архимед у „Методу”, осим хеуристиком, бавио и инфинитезималним рачуном, осамнаест векова пре Лајбница и Њутна, [5].

Нажалост, није сачуван ниједан спис о Архимедовим практичним изумима и машинама. Према Плутарху, Архимед није писао о својим практичним изумима јер је о њима имао прилично ниско мишљење, иако су га они учинили славним. Ипак, легенде о Архимеду донекле сведоче да је заиста стварао практичне механизме. Архимеду се приписује и изум пумпе која, налик на сврдло, под нагибом извлачи воду. Наводно је истраживао употребу полуге и зупчаника за пренос и појачавање сила, а њему се приписује и реченица „Дајте ми полугу, померићу земљу”, [2].

По чувеној анегдоти, за краља Сиракузе мерио је однос злата и сребра у краљевској круни. Када је схватио како делује сила потиска, истрчао је из каде наг на улицу са узвиком „*Heureka*“ (Открио сам). То је данас немогуће проверити, мада та прича сигурно има основа пошто у првој од две књиге „О плутајућим телима“ Архимед износи законе хидростатике.



Слика 6 - Архимед

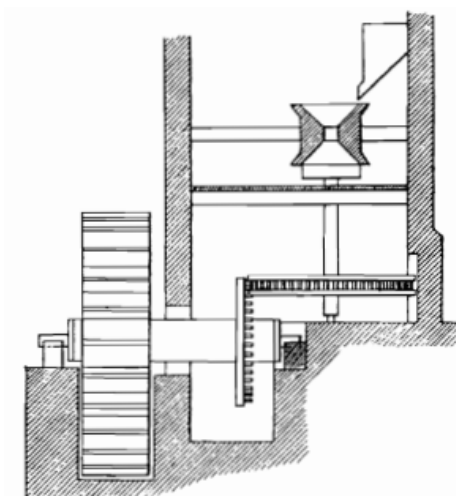
Према легенди, Архимед је конструисао и неколико ратних машина за одбрану Сиракузе од Римљана. Користио је систем великих сочива како би запалио галије на мору, а конструисао је катапулте, велике праћке и бацаче врелог уља. Наводно је конструисао и два мала механичка планетаријума која су Римљани открили после освајања Сиракузе 212. године пре нове ере. Римски генерал Маркус Калудијус Марцелус (*Marcus Claudius Marcellus*, 268 – 208 п.н.е) донео је у Рим две сфере, једна је била звездана мапа, а друга механички уређај који је приказивао кретања Сунца, Месеца и планета. Врло је могуће да их је начинио Архимед јер је он био и астроном. Његова осматрања равнодневнице користио је славни астроном Хипарх из Никеје (*Hiparch*, 190 – 120 год. п.н.е), а Архимедов пријатељ. Конон са Самоса (*Konon von Samos*, 280 – 220 п.н.е.) направио је у Александрији парапегму, метеоролошки календар у коме су приказани изласци и заласци Сунца, [5].

3.2. АНТИЧКИ РИМ

Основни механизам уређаја за наводњавање типа Сакиа су користиле многе генерације широм антике и средњег века. Зупчаници који су се усавршавали, проширили су своју употребу за различите задатке где је било потребно пренети силу или енергију на начин, на који је то зупчаницима својствено. Проширењем свога утицаја на велики део Европе, Римљани су такође проширили знања која су наследили од Грка и Египћана.

Римљани су користили енергију речног тока или потока коришћењем воденичног покретачког механизма на хоризонталној осовини, која је водила конусну вођицу на вертикалној осовини и два зупчаника, као што је приказано на слици 7.

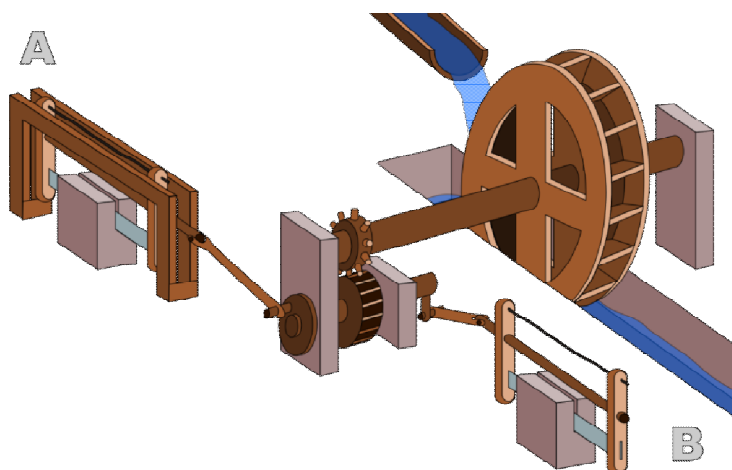
Витрувије (*Marcus Vitruvius Pollio*, 80 – 15 п.н.е) је осмислио ходометар који се састоји од скупа зупчаника и пужа, мале лопте итд. Уређај је показивао сваки пређени километар. Витрувије је сам рекао да његово знање потиче из познатих старих грчких извора.



Слика 7 – Воденични механизам код Римљана

Направа са воденичним механизмом, слика 7, функционисала је беспрекорно дуги низ година. Произвођачи таквих преносника су увек били вешти мастори- столари. Они су положај точкова одређивали искуствено. Према историјским изворима, такви преносници који су коришћени за млинове и неке врсте тестера, трајали су пуно година и било их је широм света.

Римљани су такође користили енергију воде за тестерисање. „Римска пила“ на Хијераполису у Малој Азији из III века имала је механизам, који је коришћен као тестера за сечење мермера, слика 8, [2].

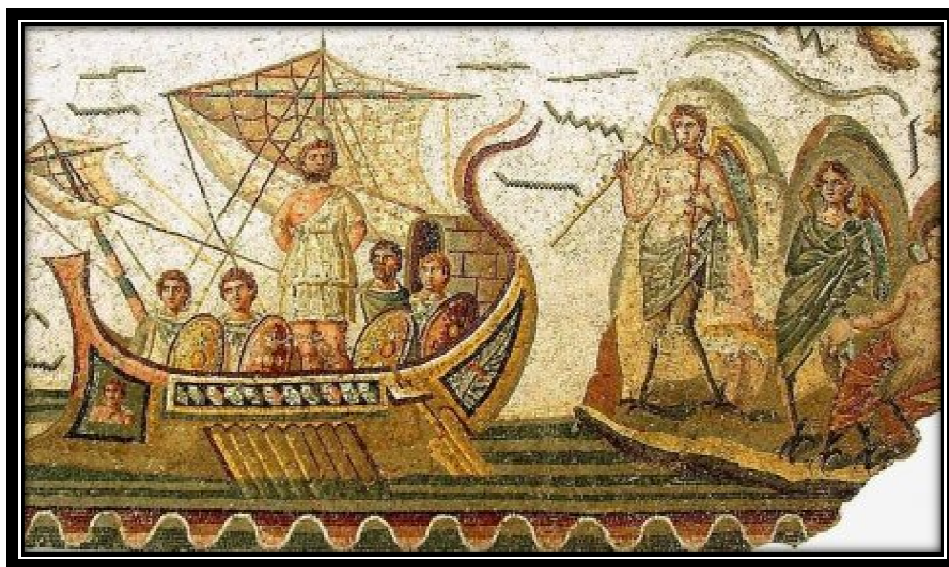


Слика 8 – Шема тестере за сечење мермера

Витрувије, као најпознатији римски инжењер и архитекта на преласку из старе у нову еру, даје и први званични технички опис водених млинова, [7]. У својим књигама о архитектури оставио је опис млинског механизма са вертикалним воденим колом са зупчаницима.

Римски млинови су имали камен од базалта, те је било потребно имати велико каменорезачко умеће за обраду такве врсте камена. Иако не тако брзо како би се могло очекивати, примена воденица проширила се у следећим вековима по целој Европи; прихватили су их Германи и Словени, а рашириле су се и у Индији, Персији, исламском свету и, касније, у средњовековној Европи. Међутим, примена зупчаника код Римљана није се само задржала на Витрувијевим воденицама, [4].

Римска Галија (Антикитера) је механизам који повезује период античке Грчке и Рима. О механизму је већ било речи у претходном поглављу, али пошто је уређај карактеристичан за обе епохе, овде ће бити детаљније приказано откривање енигме и савремена истраживања овог механизма.



Слика 9 – Римска галија

Грчки рониоци, ловци на сунђере, пристали су у близини острва уочи Ускрса 1900. године пошто су претходно били затечени изненадном олујом. На дубини од 42 метра, рониоци су пронашли потонулу римску галију, што је изазвало велико узбуђење у

јавности. Археолози су закључили да је галија потонула око 80. године пре нове ере и да је била део римског конвоја који је са острва Родос преносио грчке уметнине. Подводном локалитету се вратио археолог Спиридон Стаис (*Spyridon Stais*, 1859 – 1932 год.), који је 17. маја 1902. године приметио да је уметнут зупчаник на једном комаду стене извађеном са галије. Испоставило се да је стена заправо механизам од бронзе дужине 33, ширине 17 и дебљине 9 центиметара. Механизам се у први мах састојао из три поломљена комада и много ситнијих фрагмената, а до 2005. године пронађено је више од 70 делова механизма.



Слика 10 – Локација на којој је нађена галија

Овај механизам је по мишљењу научника настао је око 100 година пре нове ере. Механизам је врло оштроумно направљен и пажљиво осмишљен. Можда по својој конструкцији није јединствен – вероватно постоје и други слични неоткривени механизми који можда нису сасвим изгубљени. Сложеност механизма није се уклапала у представе о степену развоја технологије у I веку пре нове ере. Софистицирани комплет зупчаника који ексцентрично ротирају функционише као својеврсни епициклични или диференцијални

преносник, за које се сматрало да су откривени тек у XVI веку када је почео убрзани развој механичких часовника. Без правих научних објашњења његовог порекла, механизам је током већег дела XX века био мистерија за научнике и повод за најразноврсније шпекулације. Прво опсежније истраживање предузео је 1951. године историчар науке Дерек Прајс (*Derek John de Solla Price*, 1922 – 1983 год.) са Универзитета Јејл. Он је 1974. године објавио дело „Грчки зупчаници“, у коме је на основу постојећег урезаног текста и реконструкције система зупчаника изнео теорију да је Антикитера механизам аналогни рачунар за одређивање положаја планета. Пре неколико година, Мајкл Рајт из Музеја науке у Лондону, довео је у сумњу Прајсово истраживање. Он је оспорио његову реконструкцију, пре свега функцију два бројчаника на полеђини механизма, али је веровање у Прајсово виђење остало распрострањено.

Како би се открила намена механизма, пре пар година покренут је пројекат за истраживање Антикитера механизма. Овај програм је повезао истраживаче са Универзитета у Кардифу у Великој Британији, Националног универзитета у Атини, Аристотеловог универзитета у Солуну и Националног археолошког музеја Грчке.

У сличним ситуацијама, научници за скенирање механизма користе такозвану тродимензионалну компјутерску томографију (*Computed Tomography*) са „X“- зрацима. Овај метод је еквивалентан свакодневном скенирању пацијената који користе лекари у дијагностичком поступку. Но, неки од бронзаних фрагмената Антикитера механизма дебели су и до 12 центиметара, а пошто је бронза материјал релативно велике густине, за скенирање оваквих предмета било је неопходно „X“- зрачење високе енергије. Међутим, скенирање таквог механизма захтева и велику оштрину слике, па је неопходно користити систем за микро фокусирање, а већина постојећих микро фокусирајућих скенера ради на ниским енергијама.

Да би отклонили овај проблем, инжењери компаније „X Tek“ су за потребе пројекта конструисали посебан микро фокусирајући скенер који ради на напону од 450 kW. Овај уређај се састојао од три скенера и пет детектора тешких осам тона. У међувремену, компанија „HP“ је направила специјални уређај за „3D“ површинско снимање. Читав комплет инструмената компанија „HP“ и „X Tek“ био је тежак 12 тона. То је представљало проблем за истраживаче, јер се драгоцени проналасци попут Антикитера механизма не

сме изнети из Националног археолошког музеја Грчке, тако да је читав високотехнолошки механизам донет из Америке у Атину и уз приличне напоре унет у музеј. Припреме фрагмената трајале су шест месеци, а само снимање свега неколико минута.

На свим фрагментима механизма успешно су извели тродимензионалну томографију¹ са „X“- зрацима. Захваљујући томе, извршена су нова мерења броја зубаца и распореда зупчаника. Нарочито је важно што су томографски снимци омогућили да се испод површинских слојева види и прочита два пута више скривених знакова на записима него што је то раније био случај. До сада је дешифровано 95 одсто откривеног дела текста. Он објашњава кретање планета и функционисање механизма, што је истраживаче навело на закључак да су записи својеврсно античко упутство за употребу механизма. Упутство за употребу, без обзира на то да ли је претходно провело два миленијума под водом, ипак омогућује да се састави свака машина од растурених делова.

Снимци су показали да је машина користила диференцијалне зупчанике за које се сматрало да су измишљени тек у XVI веку. Ниво минијатуризације и сложености делова упоредиви су са часовницима из XVIII века. Неки истраживачи верују да је машина, позната под називом механизам с Антикитере, заправо био део плена с Родоса упућеног у Рим на велику прославу коју је организовао Јулије Цезар.

Једна од нерешених мистерија јесте зашто је грчка технологија примењена у овој машини нестала. Ниједна друга цивилизација није направила нешто толико сложено у наредних хиљаду година. Једно објашњење би могла да буде чињеница да је бронза често била рециклирана у периоду када је уређај направљен, па су многи предмети били претапани и тако избрисани из археолошких записа. Судбоносно потонуће брода на којем је био Механизам с Антикитере је можда био прст судбине. Астрономски принципи овог уређаја су невероватно прецизни. У погледу историјске вредности и реткости, сматра се да је овај механизам вреднији и значајнији од Мона Лизе.

¹ Томографија је компјутеризована метода стварања слике у слојевима уз помоћ рачунара. Користи се углавном у медицинске сврхе.

3.3. СРЕДЊИ ВЕК

Средњи век је део европске историје од V до XV века, тачније од 476. године, када је германски краљ Одоакар (*Odoacer*, 435 – 493) збацио последњег римског цара Ромула Августула Западног (*Flavius Romulus Augustus*, око 463 – после 476) па до 1492. године када је Кристифор Колумбо (*Christopher Columbus*, 1450 - 1506) открио Америку.

Традиција конструисања сложених механичких механизма се из доба антике касније пренела и на исток, у арапски свет. Арапи су током средњег века правили сличне машине. Најбоље сведочанство о томе налази се у књизи „*Kitab al-Hilal*“, што значи Књига генијалних машина, која је написана у IX веку и посвећена багдадском калифу. Она садржи на стотине скица механичких направа које су сачуване у грчким манастирима. Арапи су сазнали за грчке изуме кроз преводе грчких текстова. Мада древне опсерваторије попут Стонхенџа и археолошке ископине попут диска из Небре, још једног проналаска узбуљиве историје, који представља звездану мапу стару 3000 година, сведоче о постојању древних астрономских инструмената. Механички уређаји стижу у Европу тек у средњем веку.

Један од најпознатијих проналазача овог доба је Гвидо де Вигевано (*Guido da Vigevano*, 1280 – 1349 год.), изузетни италијански лекар и проналазач. Он је познат по свом делу „*Texaurus regis Franciae*” у коме је приказан велики број технолошких решења и уређаја. Описао је модерне непроцењиве вредности и увид у стање средњевековне технологије. Иако је живео много раније и од проналазача ренесансе, Гвидо де Вигевано

може се сматрати далеком претечом каснијих ренесансних уметника-инжењера попут Такола (*Mariano di Jacopo ditto il Taccola*, 1382 – 1453 год.), Франческа ди Ђорђа (*Francesco di Giorgio Martini*, 1439 – 1501 год.) и Леонарда да Винчија (*Leonardo di ser Pietro da Vinci*, 1452 – 1519 год.)

Гвидо де Вигевано био је лични лекар краљице Жан де Бургундске (*Jeanne de Bourgogne*, 1293 – 1348 год.). Он је нацртао скице оклопних бојних кола, вагона на ветропогон и претече мотора. Његов велики значај је и на пољу медицине јер је представио своје дело „Анатомија” где је први описивао анатомију органа човека.

Гвидо де Вигевано је конструисао возило које се кретало користећи енергију ветра, а ротор је преко зупчаника преносио обртни момент до точкова. Неки сматрају ову машину првом претечом аутомобила у историји, [5].



Слика 11 – Претеча аутомобила - Guido de Vigevano

3.4. ДОБА РЕНЕСАНСЕ

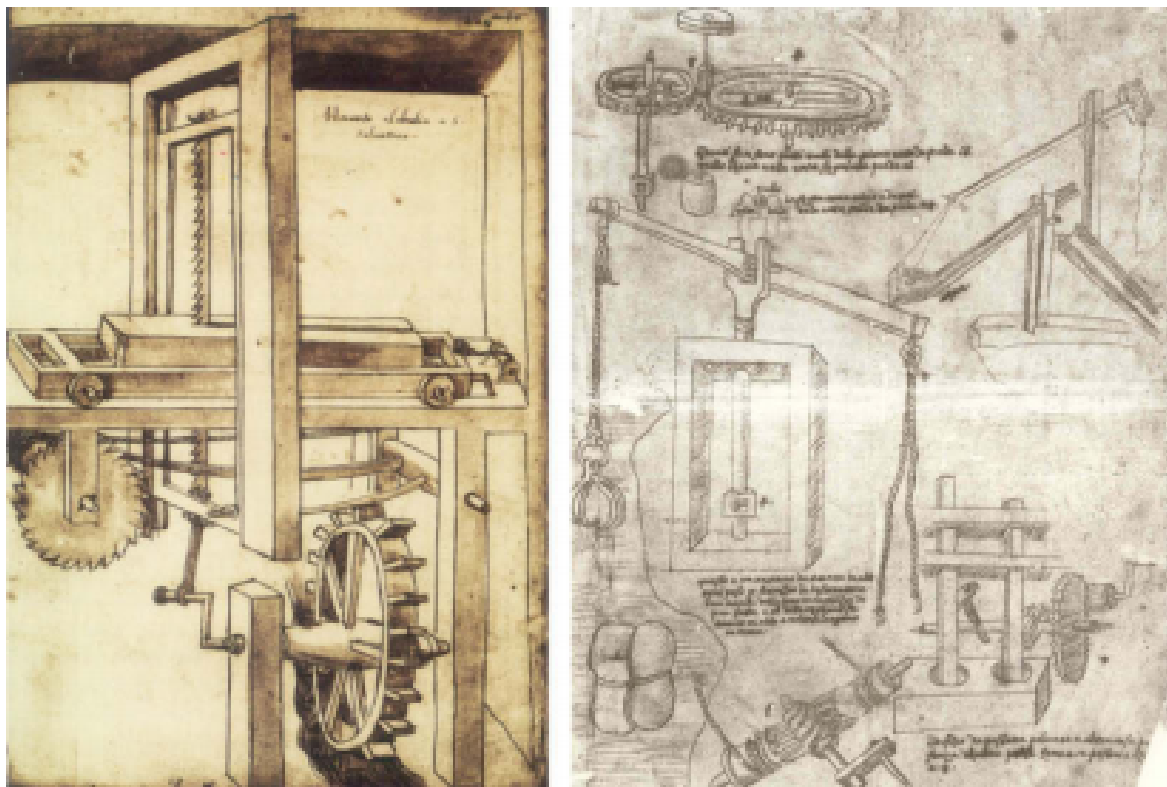
Ренесанса (фр. *renaissance* – препород) је културно-историјски појам који је најпре означавао доба од 1350. године до XVI века као период у коме је дошло до поновног интересовања за класичну антику и процвата уметности, да би се затим овим појмом означавало културно стање прелазног доба од средњег века до новог доба, нарочито у Италији. Овај појам је први пут употребио италијански историчар уметности Ђорџо Вазари (*Giorgio Vasari*, 1511 – 1574 год.), 1550. године за означавање уметности која је настала у XIII веку. Преузет је из превода са француског језика који је употребио француски историчар Жил Мишле (*Jules Michelet*, 1798 – 1874 год.), а прешао је у широку употребу захваљујући швајцарском историчару, Јакобу Бурхарду (*Carl Jacob Christoph Burckhardt*, 1818 – 1897 год.) у XIX веку, [8].

Свакако, најпознатији представник овог периода је Лепардо да Винчи (*Leonardo di ser Pietro da Vinci*, 1452 – 1519 год.). Међутим, развоју машина и примени зупчаника допринели су и његови бројни савременици попут Филипо Брунелески (*Filippo Brunelleschi*, 1377 – 1446 год.), Ђулијано де Сангало (*Giuliano da Sangallo*, 1445 – 1516 год.) и Антонио де Сангало (*Antonio da Sangallo il Giovane*, 1484 – 1546 год.)



Слика 12–Великани ренесансе: (а) *Filippo Brunelleschi* (1377–1446); (б) *Giuliano da Sangallo* (1443–1516); (у) *Antonio da Sangallo, il Vecchio* (1455–1534).

Пронађени су и многи докази о њиховом, и раду других аутора, патентима, скицама и др. Познати су и нацрти бројних машина из тог периода од непознатих аутора.



Слика 13– Механика машина

3.4.1. Леонардов допринос развоју машина и примени зупчаника

Леонардо да Винчи (*Leonardo da Vinci - Leonardo di ser Piero da Vinci*; 15. април 1452. — 2. мај 1519.), био је италијански ренесансни архитекта, проналазач, инжењер, вајар и сликар. Био је описан као идеал „ренесансног човека“ и као универзални геније. Познат је по својим ремек делима, као што су „Тајна вечера“ и „Мона Лиза“, а његови изуми се и данас користе у модерној техници, и ако нису примењивани у његово доба. Помогao је и развоју анатомије, астрономије и грађевинарства.

Његове слике се и данас сматрају врхунским делима. Често су га називали „универзални геније“. Био је фасциниран мистеријом људског лица и могућношћу читања „покрета душе“ кроз покрете и изразе лица. Леонардов портрет жене фирентинског званичника тога времена „Мона Лиза“ надалеко је познат по загонетном изразу лица насликане даме. Портрет „Мона Лиза“ је први психолошки портрет насликан у историји, те се за то даје толики значај овом делу.

Много Леонардових записа се односило на грађење и планирање градње катедрала. Његове студије су почињале испитивањем разних грађевинских алата и помоћних средстава за градњу. Надаље, он је наставио са радом у области која до тада није била испитивана - у носивости стубова и подупирача, као и сводова и лукова, [6].

Као свој архитектонски рад, Леонардо је презентовао модел „идеалног града“ за Лудовика Сфорца (*Ludovico Sforza*, 1452 – 1508 год.). То је захтевало потпуно преуређење града Милана што се, наравно, никада није остварило. Само мали број Леонардових радова у архитектури је угледало светлост дана. Вероватно је сарађивао и са другим архитектама, као са што је Донато Браманте (*Donato Bramante*, 1444 – 1514 год.). Зна се да је предложио пројекат централне куле Миланске катедрале, 10. маја 1490. године, иако је одбијен, био је предложен да ради нови који никада није завршио.

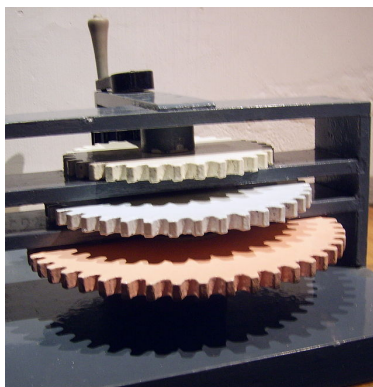
Године 1502. он је направио цртеж висећег моста са дужином од 720 стопа у једном сегменту (240m), као део грађевинског пројекта за султана Бајазита II из Константинопоља. Мост је требало да буде изграђен на ушћу Босфора, познатог као

Златни рог. Никада није изграђен, али је његова верзија обновљена 2001. године, када је на основу његовог пројекта постављен мањи мост у Норвешкој.

Уверљиве и упечатљиве су његове студије које су убележене у дневнике који садрже 6000 страница примедби и цртежа у којима се налазе, прелази између науке и уметности. Целога живота трудио се да састави велику енциклопедију која би садржала све са детаљним цртежима. Од времена како је напустио своје студије латинског и математике, Леонарда су тадашњи научници у већини игнорисали као научника.

Леонардо никада није објавио и ни на који други начин није ширио садржаје својих дневника. Његови записи су до XXI века остали загонетни и неразумљиви и нису имали утицаја на развој науке. У јануару 2005. године су научници открили тајне лабораторије које је он употребљавао за студије летећих машина и које су биле у срцу Фиренце, у запечаћеним манастирским просторијама поред Базилике, најсветије Девике, [6].

Леонардо је био фасциниран летењем. Конструисао је неколико машина, од којих и хеликоптер који би са четири човека могао да полети. Осим тога што је урадио нацрте који имитирају птичија крила, предлагао је и нацрте са крилима слепог миша. У својим белешкама се осврће и на идеје о падобрану које је разрађивао само теоретски. Као погон за своје машине је употребљавао људску снагу, иако је знао да то може да се разматра и функционише само у теорији. Пренос обртног момента одвијао се системом зупчаника па је његов рад изузетно значајан за примену и развој система зупчаника као основе преноса снаге, [8].

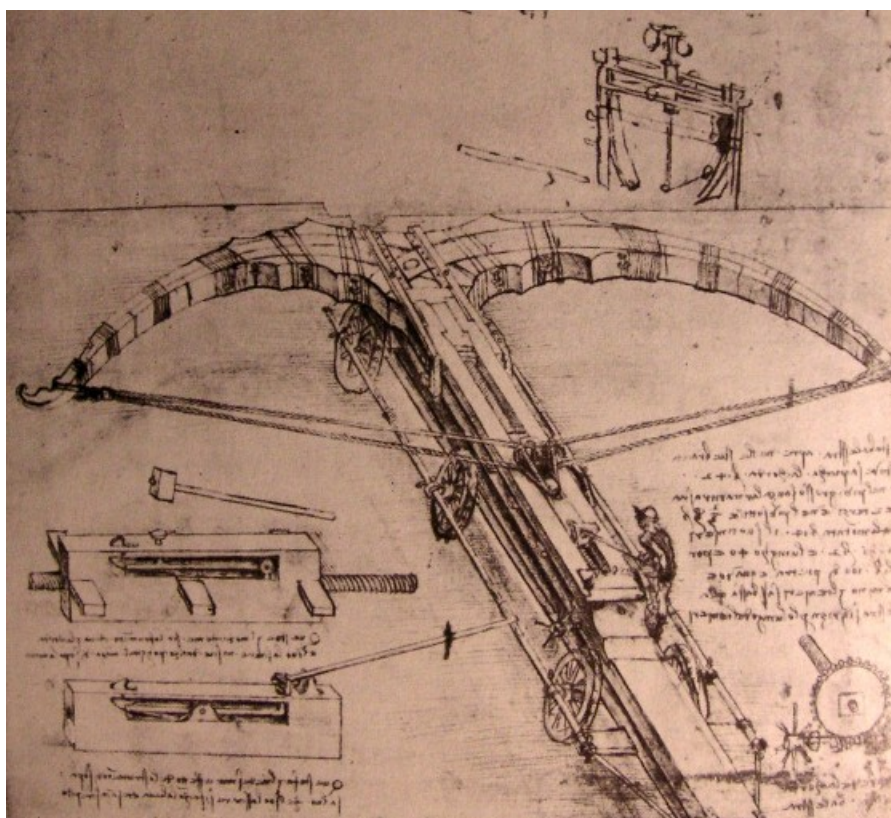


Слика 14 – *Покретни систем зупчаника по да Винчијевој идеји*

Истраживања показала су да Леонардов рад не може да се схвати као потпуни новитет, већ се може разумети искључиво као део инжењерских умећа и школа карактеристичних за доба ренесансе. Инжењери ренесансе делили су се у две велике школе: немачку и италијанску. Највећи део инжењерских умећа био је везан за конструисање машина које би се могле употребити у војним окршајима, као на пример топови. Реч инжењер коју је у XVII веку први пут употребио Саломон де Кауз (*Salomon de Kaus*, 1576 – 1630 год.), означавала је војног техничара. За немачке инжењере посебно је била карактеристична склоност за конструисање различитог офанзивног и дефанзивног оружја али су такође били и хидрауличари и архитекте. Сличне тенденције биле су присутне и код италијанских инжењера, али су показивали већу иновативност од својих немачких колега. Италијанско инжењерско умеће цветало је у XV и XVI веку у оним градовима у којима су настајала најзначајнија ренесанса уметничка дела. Првом нараштају италијанских техничара припадали су Брунелеском (*Filippo Brunelleschi*, 1377 – 1446 год.), који је конструисао куполу цркве „*Santa Marija del Fjore*“ и направио нацрте за велики број механизма. Другом нараштају припадали су Микеле Санмикели (*Michele Sanmicheli*, 1484 – 1559 год.), један од првих специјалиста за бастионска утврђења, затим Микеланђело Буонароти (*Michelangelo di Lodovico Buonarroti Simoni*, 1475 – 1564 год.) који је 1529. године био задужен за одбрану Фиренце, а након тридесетак година је саградио „*Porta Ria*“ у Риму. Франческо ди Ђорђо (*Francesco di Giorgio Martini*, 1439 – 1501 год.) посебно се бавио изучавањем преношења кретања уз помоћ зупчастих механизма где је остварио низ резултата од фундаменталног значаја, [8].

Франческо ди Ђорђо је у великој мери утицао на Леонардов рад. Тако се Леонардо уклапа у ширу перспективу уметника-техничара који су стварали у Италији током његовог времена. Леонардо такође није био самоук у области техничких вештина. Иако се није школовао на универзитету, он је имао образовање карактеристично за инжењере његовог времена. Наиме, код Верокиа је стекао солидно практично знање, затим је у Милану често био у контакту са члановима интелектуалне елите од којих је могао добити обавештења о различитим техничким проблемима, а изучавао је и дела ранијих инжењера. Темељно је проучио Валтуријево дело „*De re militari*“, а користио се и делима Такола и Франческа ди Ђорђа. Математичар-калуђер Лука Паколи (*Luca Pacioli*, 1445 – 1517 год.) саветовао је Леонарда да користи математичка знања приликом инжењерског рада. У области војног

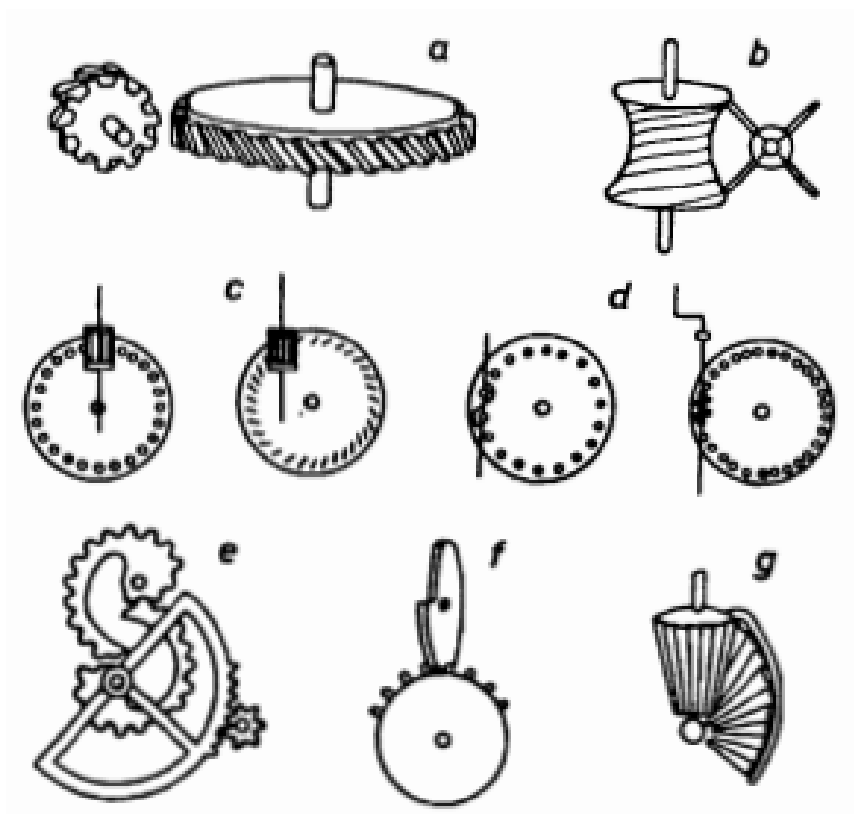
инжењерства Леонардова знања су била на нивоу његових савременика и ту није донео ни једну значајну иновацију. Далеко више иновативности Леонардо је показао на пољу хидраулике, а за миланску породицу Сфорце радио је на исушивању подручја Вигевано и предложио да уреди ток реке Ада. Прави значај инжењерског рада Леонарда да Винчија није у његовој иновативности, већ у безграничној радозналости и методама којима се у раду користио.



Слика 15 – Нацрт циновског самострела

За разлику од других инжењера његовог времена, Леонардо је био много систематичнији приликом бављења неким техничким проблемом и настојао је да унапреди различите елементе неког механизма, од материјала од кога је био направљен до руковања. Друго што издваја Леонарда била је тежња да посматрањем дође до општих знања о природним појавама, а да затим те закључке искористи приликом конструисања механизма.

Пронашао је аномометар за одређивање смера ветра и био је то јако значајан проналазак који је побољшавао безбедност летова, радио је и на инструменту који мери брзину ветра, као и на инструменту који је требало да одређује водоравност летова.

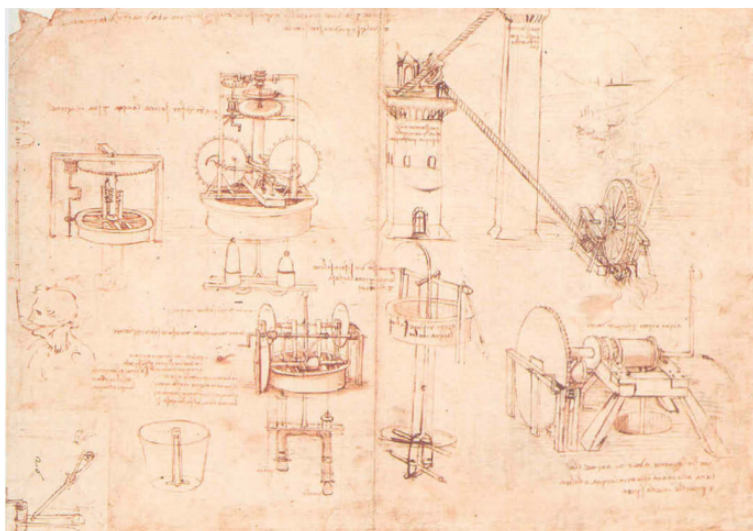


Слика 16 – Да Винчијеви цртежи зупчаника

Даљи проналасци се односе на подморницу, на озубљену машину која се може сматрати првим калкулатором и аутомобил који би био покретан помоћу опруга. Планирао је индустријско загревање воде помоћу сунчане енергије и параболичких огледала.

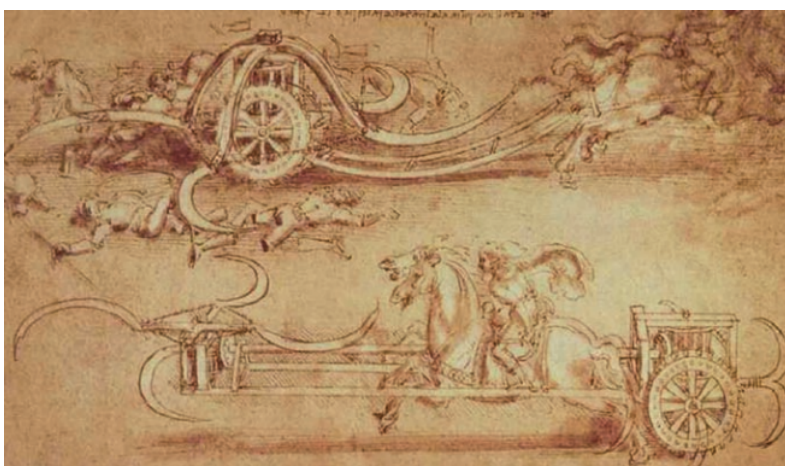
Од даљих проналазака који су нашли примену у данашњем времену ту је нпр. хидраулична тестера. Изумео је систем климатизације који би редуковао јаке промене климе које су погубно утицале на његову лабораторију. Мерио је влажност ваздуха на

основу мерења, у виду неке врсте вагице, вуне и воска и разлике у тежини када вуна повлачи влагу која се приказивала на једној скали, [8].



Слика 17 – Хидрауличне машине Леонарда да Винчија

Леонардове белешке и разни рукописи приказују неколико ратних машина које су пројектоване око 1490. године. Нарочито занимљив цртеж приказан је на слици 18. Он представља скицу кочија са таквим механизмом, да се при кретању кочија, помоћу система зупчаника окрећу сечива, тако да спречавају непријатеља да приђе близу самих кочија.

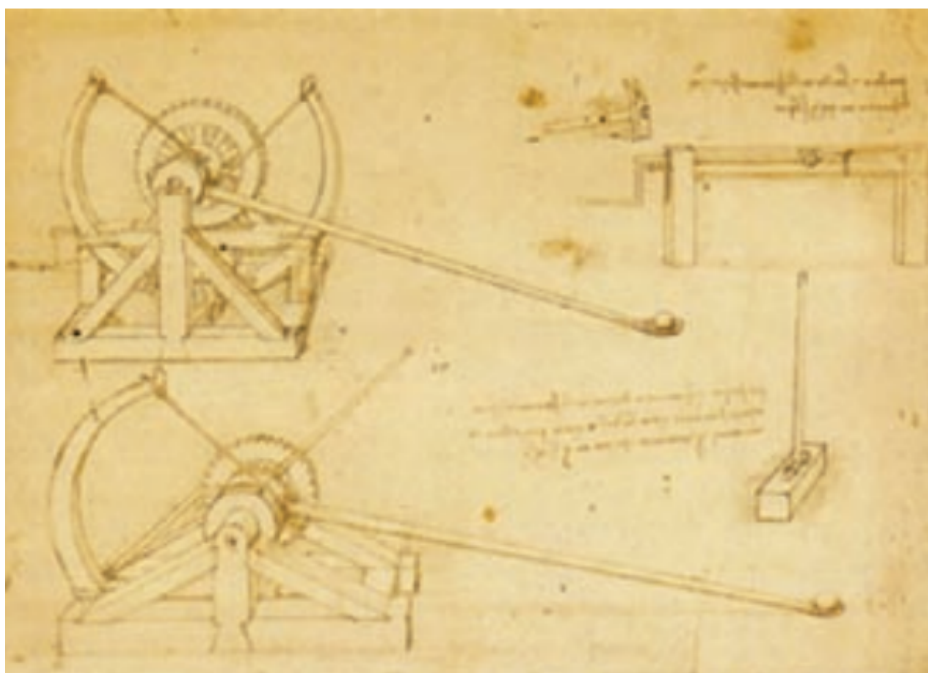


Слика 18 – Скица ратне кочије

Занимљиво је витеди како једноставан дизајн може створити моћно оружје. Точкови кочија имају радијалне куке за боље пријањање са подлогом. Такође низ зупчаника и вртила, преноси момент како на задњи нож тако и на предње сечиво. Дакле, систем одбране је формиран на све четири стране машине.

Такође, међу ратним машинама које је Леонардо проучавао и разрађивао је катапулт. Катапулт је ратна машина која је позната од давнина. Његов нови дизајн није се засновао толико на естетици већ на механичким особинама самог уређаја. Дизајнирао је нови катапулт са бољим перформансама од оних који су до тада конструисани.

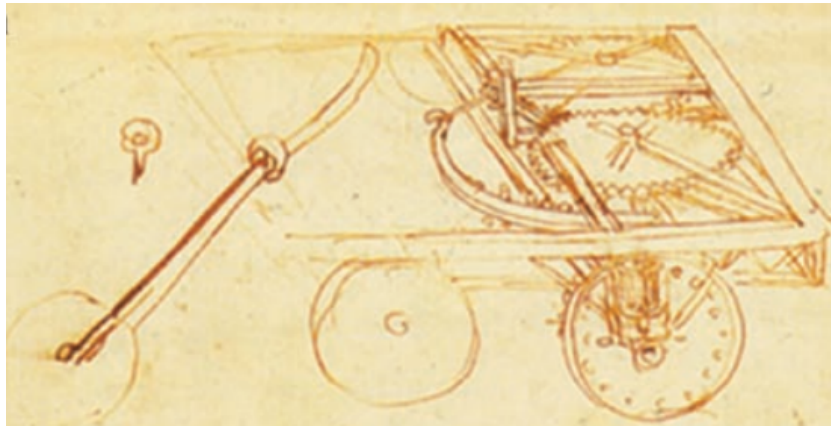
Један од његових цртежа катапулта приказан је на слици 19, који се састојао од два дрвена лука, савијених један према другим. Преко система зупчаника, лукови би се савијали и самим тим зетезали. Тако би пројектил користио потенцијалну енергију савијених лукова за своје лансирање. Оно што је овај катапулт чинио ефикаснијим и погоднијим од других, је било лако монтирање као и већи домет самог пројектила.



Слика 19 – Скица Леонардовог катапулта

Међутим, током Ренесансе, оригинална решења су осмишљена и развијена нарочито за вучу и транспорт. Неки примери су илустровани на следећим сликама.

Један од пројеката који је изазвао велико интересовање је такозвани „троточкаш“, који је Леонардо нацртао, приказан је на слици 20. Две велике опруге испоручују машини потребну енергију за кретање. Та енергија се преноси на зупчанике, коју су директно повезани са точковима. Такав преносни систем омогућава кретање задњих точкова, [8].



Слика 20 – Скица Леонардовог „троточкаша“

3.5. ИНДУСТРИЈСКА РЕВОЛУЦИЈА

Индустријска револуција је појам везан за нагли друштвени развој који се догодио у кратком временском периоду. У другој половини XVIII века ручна производња почела се замењивати парним машинама. Тиме је почео развој који је од краја XVIII до средине XIX века темељно изменио раније политичке, привредне и друштвене системе у већем делу света. Почела је Прва индустријска револуција.

У XVIII веку је највећу мануфактурну производњу имала Енглеска. У њој се повећавала потреба за тканинама, па су произвођачи тканина, ради повећавања и убрзавања производње, примењивали изуме у предузећима.

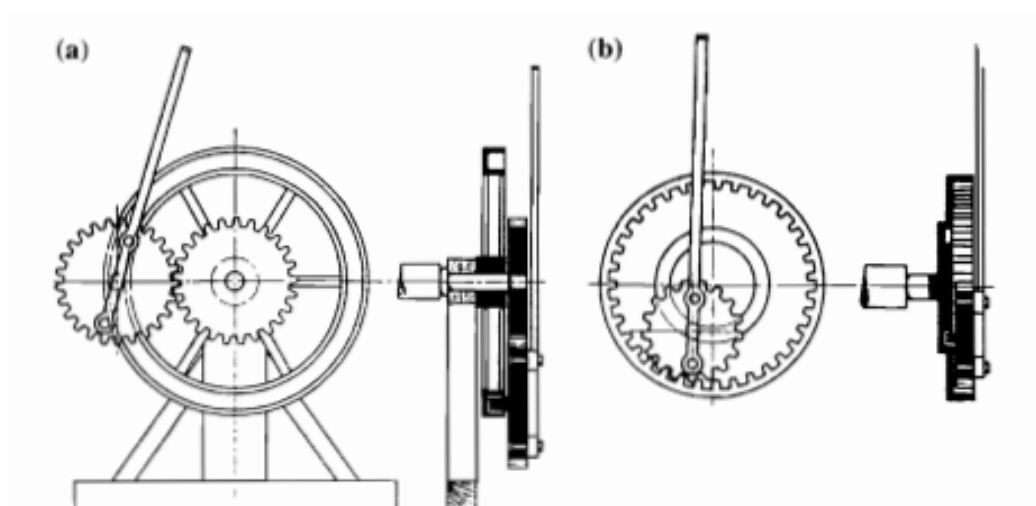
У Енглеској су произвођачи све више улагали новац у стварање нових изума. Но, најпознатији је био изум парне машине. Прву претечу парне машине направио је Херон из Александрије (*Hero of Alexandria*, 10 – 70 н.е.). Касније је парну машину 1764. године усавршио Шкот Џејмс Ват (*James Watt*, 1736 – 1819 год.). Проналазак парне машине изазвао је велики преокрет у производњи, односно револуцију у преређивачким делатностима и индустрији. Мануфактурна производња земењена је фабричким радом. Промене изазване применом парне машине називају се прва индустријска револуција, [8].

Нове парне машине су врло брзо пронашле примену у фабрикама, рудницама и саобраћају. Машине које су користиле водену пару као погонско средство морале су бити

од чврстог материјала - гвожђа. Због тога се нагло повећала потражња за гвозденом рудом и угљем.

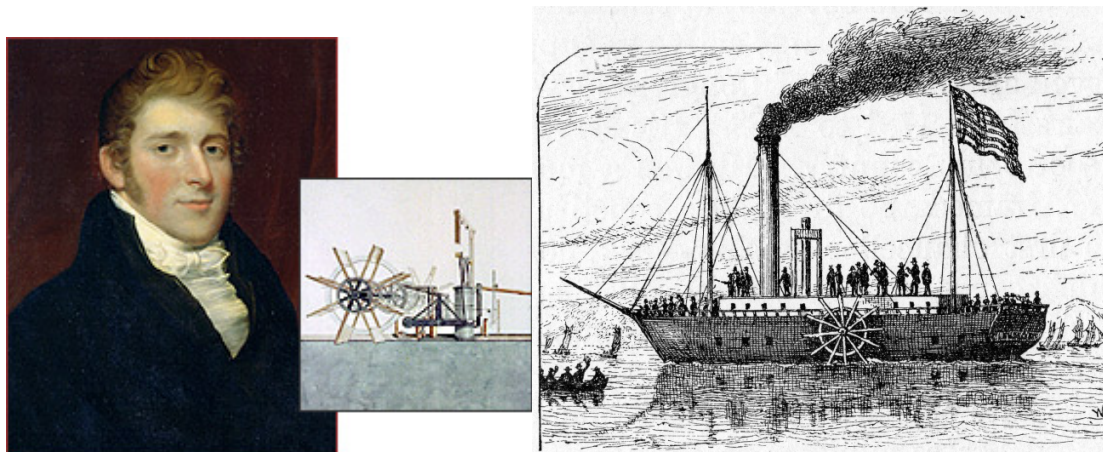


Слика 19 – Парна машина Џејмса Вата



Слика 21 – Ватов систем зупчаника код парне машине

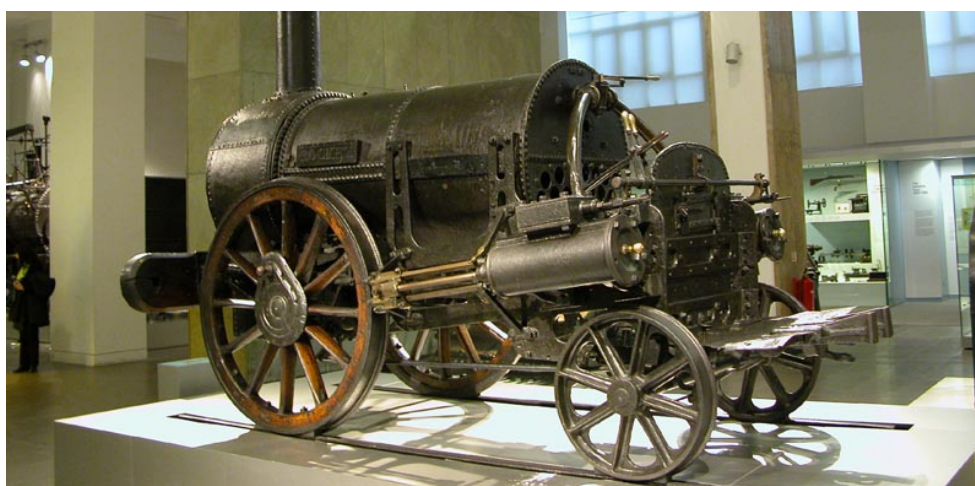
Американац Роберт Фултон (*Robert Fulton*, 1765 – 1815 год.) је 1807. године саградио први пароброд који је са стране имао точкове с лопатама, а звао се Клермонт. Већ 1819. године амерички је пароброд Савана препловио Атлантски океан за 26 дана.



Слика 20 – Роберт Фултон и његов пароброд

Године 1814. Енглец Џорџ Стивенсон (*George Stephenson*, 1781 – 1848 год.) конструисао је прву парну локомотиву. У почетку је ишла 20 km/h, а касније и брже. Звала се Ракета (енгл. *Rocket*).

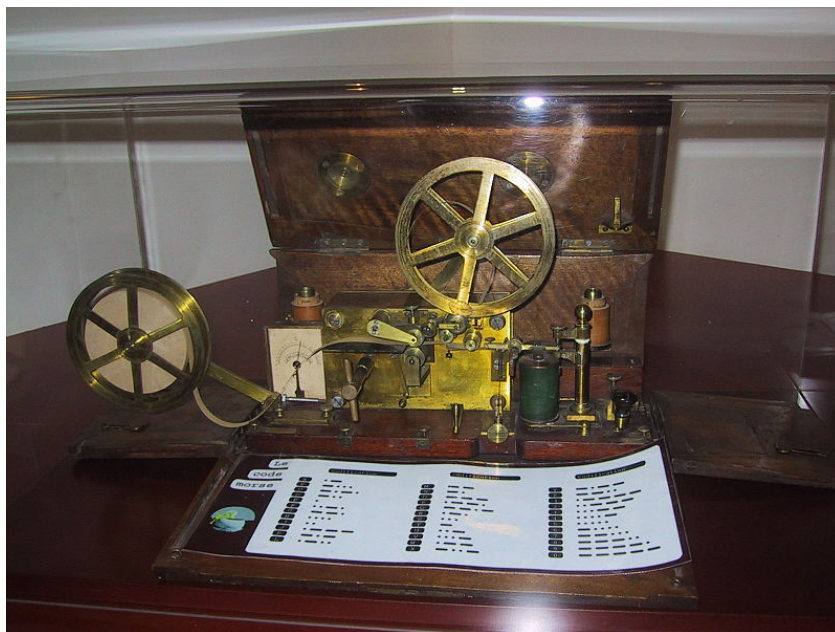
Већ 1825. године у Енглеској саграђена је прва железничка пруга на свету. Повезивала је градове Стоктон и Дарлингтон.



Слика 22 – Стивенсонова “Ракета”

У доба прве индустријске револуције појавили су се многи важни изуми који се и данас користе. Американац Бенџамин Френклин (*Benjamin Franklin*, 1706 – 1790 год.) изумео је 1752. године громобран, делотворну заштиту објеката од удара грома. Енглеz Хамфри Дејви (*Sir Humphry Davy*, 1778 – 1829 год.) начинио је 1815. године Дејвијеву светиљку коју су користили рудари. Тиме је знатно смањен број несрећа у рудницима. Слепи француски учитељ Луј Брај (*Louis Braille*, 1809 – 1852 год.) изумео је 1829. године писмо за следе, познатије као Брајева азбука (слова, бројеви и други знакови на папиру означавају се посебним распоредом испупчених тачака).

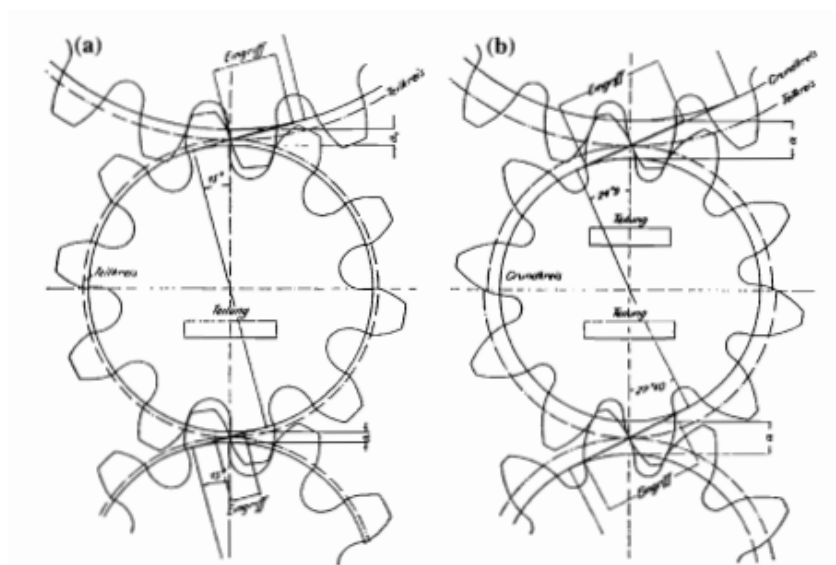
Американац Семјуел Морзе (*Samuel Finley Breese Morse*, 1791 – 1872 год.) изумео је 1837. године телеграф и посебну азбуку названу Морзеова азбука, која се састојала од дугих и кратких сигнала за преношење порука на велике удаљености.



Слика 23 - Морзев апарат

Године 1858. положен је први подморски телеграфски кабл између Америке и Европе, а Американац Чарлс Гудјир (*Charles Goodyear*, 1800 – 1860 год.) открио је вулканизацију, тј. начин за добијање гуме из каучука. Године 1854. појавио се први бицикл с педалама.

Роберт Вилис (*Robert Willis*, 1800 – 1875 год.), професор с Кембриџа, 1841. објавио је публикацију под називом „*Principles of Mechanisms*“, где је објаснио студентима практичну примену зупчаника у индустрији. У то време зупчаници су израђивани од гвожђа па су се јављали извесни проблема због неодговарајућег материјала. Он је проучавао и ефикасност преноса зупчаницима у зависности од угла под којим су зуби постављени, [8].



Слика 23 - Систем 3 зупчаника код возова: а) после Wallis-a, б) после Норре-а

Основу за производњу цилиндричних зупчаника ваљањем спиралних глодала, први је изградио и патентирао 1856. Кристијан Шиле (*Christian Schile of Oldham*, 1824 -). Шиле је први спровео координатно кретање (ротацију), радног комада (зупчаника) и цилиндричног глодала, али овај систем није заживео као производна машина. Касније је на основу америчког патента прву производњу конструисао 1887. Џорџ Грант (*Džordž Grant*, 1849 – 1917 год.), који је основао компанију „*Reinecker*“. Компанија „*Reinecker*“, немачка фабрика, произвела прва комерцијална глодала чија је употреба за израду зупчаника заживела.

Херман Фаутер (*Herman Pfauter*, 1854 - 1914 год.) је значајно побољшао систем производње зупчаника, патентирао је побољшање глодала 1900. и објављује патент под називом „*Pfauterverfahren*“.

3.6. САВРЕМЕНО ДОБА

Савремено доба је период од 1914. (почетка I светског рата) па до данас. Многи историчари сврставају овај део историје у нови век, међутим, због многих промена овај период историје се проучава самостално.

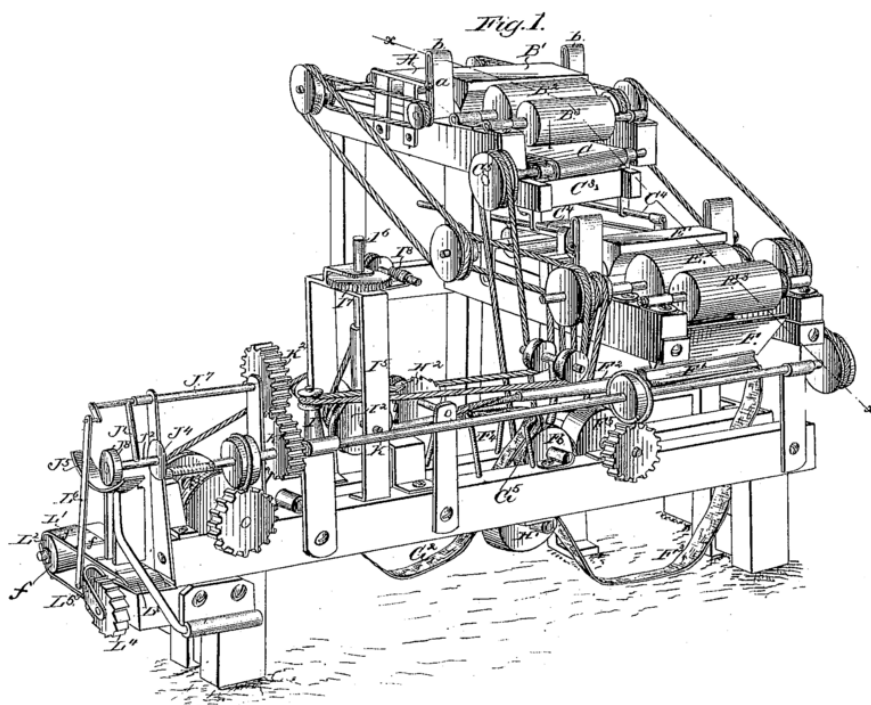
Оно по чему ће овај период бити упамћен су два светска рата и велика открића у науци и техници. Долази до развоја модерног друштва, нових држава као и снажног развоја великих компанија. Долази до стварања интернационалног тржишта и великог развоја индустрије и трговине. Водећу улогу у креирању светске политике имају економски најразвијеније земље као што су САД, Немачка, Велика Британија, Француска, Русија, Јапан и Кина.

Још од давних времена познат је принцип рада два зупчаника, па је и један од првих машинских механизма управо систем два зупчаника различитих величина који се налазе у спрези. Окретање једног узрокује окретање другог зупчаника различитим брзинама.

Принцип рада два зупчаника и ланчаног преноса је исти, само што се ланчаним преносом омогућава већа раздаљина вратила на којима се преноси снага. Како су зупчаници или ланчаници различитих димензија и различитог броја зубаца, тако су различите и њихове брзине окретања. Додавањем зупчасте летве зупчанику, кружно кретање се претвара у праволинијско, што је и приказано на слици 24.



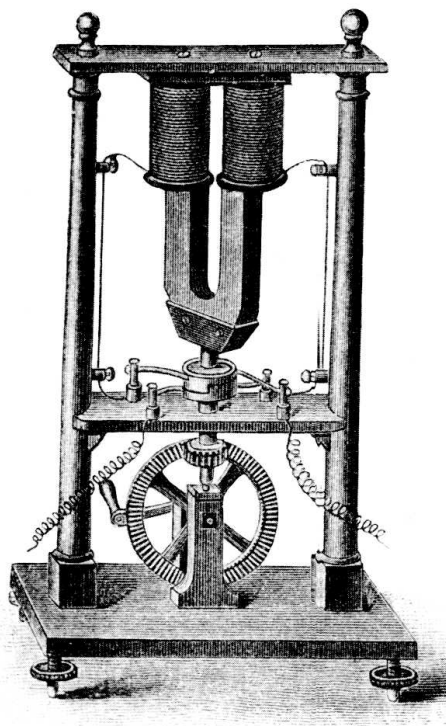
Слика 24 – Зупчаник и зупчаста летва



Слика 24 - Прва машина за мотање цигарета са системом зупчаника и ланаца

Немачки инжењер Вернер фон Сименс (*Werner von Siemens*, 1816 – 1892 год.) је 1866. године пронашао поступак за претварање механичке енергије у електричну. Касније је тај принцип примењен код конструисања динамо-машине, а затим и код електромотора, који електричну енергију претвара у механичку. Значај зупчаника, као основног система преноса снаге до генератора био је кључан.

Динамо је генератор једносмерне струје, изум Вернер фон Сименса 1866. године. Конструкција је врло слична мотору једносмерне струје. Коришћен је раније на аутомобилима, где је производио једносмерну струју за погон електричних уређаја. Овде је био снабдевен и регулатором напона за одржавање константног напона у електричној инсталацији, деловањем побудног намотаја (обично смештеног на статору машине).

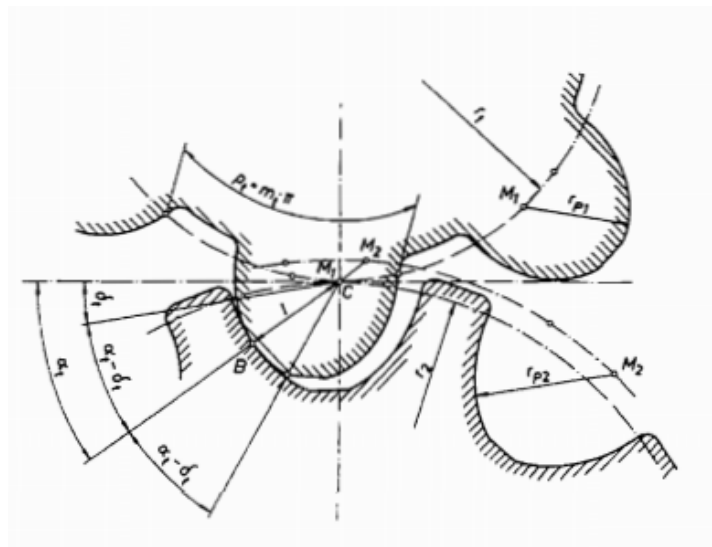


Слика 25 –Динамо и систем зупчаника

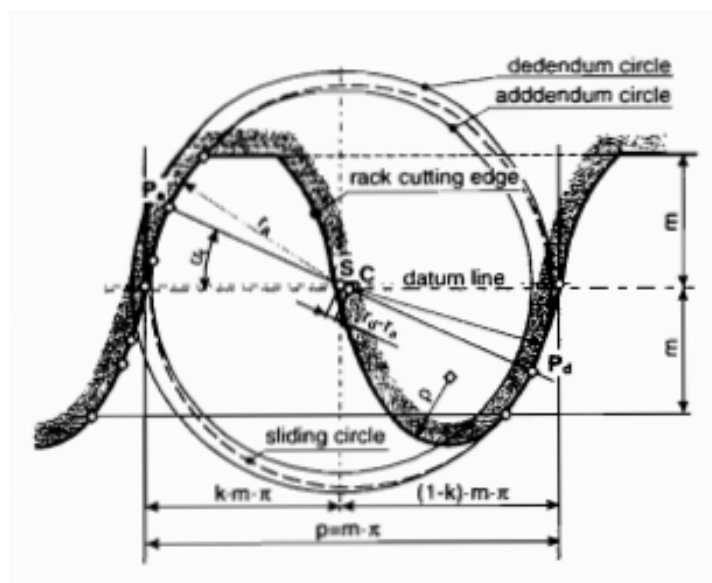


Слика 26 – Први модели штампарских машина (Гутенбергова машина – лево)

С обзиром да се дизајн зупчаника мењао са развојем индустрије на доњим сликама 27 и 28, приказани су модели зубаца који су коришћени у овом периоду. Иако им је намена остала иста, зупчаници су се значајно мењали у погледу материјала од којих су израђивани. Велики је временски период од примитивних дрвених зупчаника, па до зупчаника од савремених материјала, [2].



Слика 27 – Wildhaber – Novikov дизајн зубаца



Слика 28 – Hlebanja – савремени дизајн зупца

Савремено тржиште Европе и света тражи нове прилазе и нова знања о конструисању, избору материјала и обради зупчаника као најважнијег елемената многих производа.

Од савремених материјала који се све више користе за израду зупчаника који су заступљени у већини механизма (машинама, уређајима, приборима, транспортним средствима и сл.) захтева се да буду:

- лаки (мале специфичне густине),
- отпорни на хабање
- антифрикциони
- лако обрадиви
- релативно јефтини

Коришћење савремених самоподмазујућих материјала (индустријске пластике, на пример) за израду преносника свих врста, шири се великом брзином у индустријски развијеном свету, [9].



Слика 29 – Индустијска пластика

Пластични материјали (пластика) представљају најважнију врсту инжењерских полимера. То су материјали органске природе које сачињавају дугачки молекулски ланци, настали спајањем мањих молекула процесом *полимеризације*. Основни елементи који улазе у састав пластичних материјала су водоник, кисеоник, угљеник и азот, а поред њих често су присутни флуор, хлор, силицијум и сумпор.

Пластични материјали све више замењују делове који су раније израђивани од метала, нпр. у аутомобилској и ваздухопловној индустрији, прехранбеној и металопрерађивачкој производњи, као и у индустрији спортских реквизита. Ова замена је условљена одређеним предностима, као што су: мала густина, велика отпорност према хемијским утицајима, велике конструкционе и производне могућности, прозрачност и релативно ниска цена, [10].

Треба имати у виду да у поређењу са металима, пластични материјали имају малу чврстоћу и крутост, ниску електричну и топлотну проводљивост, висок коефицијент топлотног ширења и релативно мали опсег радних температура (највише до 300 °C) уз чест губитак димензионе стабилности.

3.7. ЗАКЉУЧАК

Зупчасти преносници тј. зупчаници су веома важни саставни делови машина и уређаја, који преносе кретање са једног вратила на друго. Од Античког доба па до данас, зупчаници играју важну улогу у развоју технолошких достигнућа.

Зупчаници су кроз историју коришћени углавном као помоћно средство човеку при обављању тешких физичких операција. Од Платона преко Леонарда Да Винчија па све до данас, зупчаници су се постепено развијали и унапређивали.

Зупчаници су коришћени за воденице код Римљана, дизање тешких предмета код Грка, такође, налазили су примену и код неке врсте калкулатора као што је „Антикитера механизам“. Посебно место заузимају у периоду Ренесансе и током Индустријске револуције.

Иако су се зупчаници временом развијали, нису изгубили своју првобитну намену. Међутим, зупчаници су знатно напредовали у погледу материјала од кога су направљени. У Античко доба, углавном су прављени од дрвета, касније и од разних метала који су били погодни за обраду тадашњим алатима.

Данас се зупчаници у већини праве од челика, али је све већа тенденција да се у будућности праве од композитних материјала и пластичних маса. Разлог томе јесте што би производња пластичних зупчаника била пуно јефтинија и једноставнија до металних. Самим тим би зупчаници од пластичних маса били лакши од металних, што представља једну од предности зупчаника израђених од оваквих материјала.

Предност зупчаника од пластичних маса јесте да немају феромагнетне особине, имају самоподмазујућа својства те имају и низак фактор трења, а и тиши су у раду за разлику од металних.

Данас се зупчаници од полимерних материјала користе у прехранбеној и фармацеутској индустрији, али у будућности, током напредовања технологије све већа је вероватноћа да ће у потпуности заменити данашње челичне зупчанике.

Литература

- [1] М. Е. – Вера Николић, Крагујевац, 2004.
- [2] *An Overview of the Development of Gears* – Jože Hlebanja and Gorazd Hlebanja
- [3] *Астромонски магазин* – Петар В. Грујић, Институт за физику, Универзитет у Београду
- [4] Жан Делимо, *Цивилизација ренесансе*, Нови Сад — Сремски Карловци 2007.
- [5] *The Machines of Leonardo Da Vinci and Franz Reuleaux* – Francis C. Moon
- [6] *Увод у проучавање старих воденица* - Финдрик Ранко, Републички завод за заштиту споменика културе Србије, Београд, 1983.
- [7] *A Brief Illustrated History of Machines an Mechanisms* – Emilio Bautista Paz, Marco Ceccarelli, Javier Echavarri Otero. Jose Luis Munoz Sanz
- [8] *Савремени материјали за машиноградњу* – др. Нађија Хачић
- [9] <https://ironlady003.wordpress.com/2014/05/05/plasticni-materijali/>