**5. Teslini najznačajniji izumi, projekti i eksperimenti**

1. **Teslin indukcijski motor – Primjena asinkronog motora s okretnim magnetskim poljem i sustav za proizvodnju, prijenos i distribuciju izmjenične struje**

Teslin indukcijski motor, prvi je njegov veliki izum, kojim je započeo stvaranje novog cjelovitog sustava proizvodnje, prijenosa i korištenja izmjenične struje u komercijalne svrhe, što je omogućio nastanak električnog doba . Teslin asinkroni motor s okretnim magnetskim poljem nalazi se u 75 posto uređaja u kojima se koriste električni motori. Električna vozila uglavnom se koriste Teslinim izmjeničnim motorom. Tesla je osmislio i razradio cjelovit sustav za proizvodnju i distribuciju izmjenične struje. Za potrebe tog sustava konstruirao je indukcijski motor s primjenom okretnog magnetskog polja, odgovarajuće transformatore i generatore, te patentirao asinkroni motor i višefazni sustav prijenosa i razdiobe električne energije s čak četrdesetak patenata iz područja polifaznog sustava. Teslin izmjenični sustav značio je velik napredak u odnosu na dotadašnju istosmjernu Edisonovu struju. Izmjenična struja gibala se ne samo u stalnom smjeru, već bi krenula u jednom smjeru, zastala, krenula u drugom smjeru mijenjajući smjer i intenzitet, ponavljajući taj proces neprekidno i velikom brzinom. Mogla se bez većih gubitaka prenositi žicama na veliku daljinu i u odnosu na dotadašnju istosmjernu struju bila neusporedivo profitabilnija. To je omogućavalo gradnju i smještaj velikih postrojenja s generatorima daleko izvan grada. Gubitci u prijenosu energije su smanjeni jer se u izmjeničnom sustavu koristi znatno viši napon. Transformatorima se podiže napon prije prijenosa struje dalekovodima, a zatim se u neposrednoj blizini potrošača taj napon prije korištenja smanjuje za potrebe kućanstva i industrije. Zbog toga je izmjenična struja znatno jeftinija i prikladna za široku primjenu i potrošnju. Prema Teslinim konstrukcijama i patentima dovršena je 1896. najveća i najsuvremenija hidroelektrana tog vremena i pripadajući sustav za distribuciju električne energije. Ta prva velika instalacija višefaznog sustava najavila je konačnu pobjedu Teslinog sustava izmjenične struje i označila novu eru u iskorištavanju električne energije. Veličanstven pothvat potvrdio je Teslinu veličinu, te su ga uzdizali najveći stručnjaci njegova doba. Isticali su kako je razvoj električne energije neprijeporno najveći događaj u povijesti tehnike. Teslini patenti, zaokruženi u cjelovit sustav izmjenične struje toliko su nadmašivali sve ostalo, da nijedan izumitelj prije nije postigao tako spektakularan uspjeh. Nakon puštanja u pogon hidroelektrane na Niagari, mišljenje su promijenile i posljednje pristaše izmjenične struje. Među njima i čuveni fizičar, lord Kelvin koji je tom prigodom naglasio da je Tesla doprinio znanosti o elektricitetu više nego itko prije njega.

1. **Teslin transformator (rezonancijski transformator ili zavojnica**) Fotografija replike iz stalnog postava Memorijalnog centra „Nikola Tesla“ u Smiljanu, Hrvatska.

**Teslina zavojnic ili rezonancijski transformator** je transformator za proizvodnju visokog [napona](https://hr.wikipedia.org/wiki/Napon) (do nekoliko milijuna [volti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Volt)) i izmjenične struje visokih frekvencija (10 do 300 k[Hz](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hz)) koji je Tesla izumio 1891. godine. Danas je u širokoj uporabi u televizorima, radioprijemnicima i ostalim električnim uređajima. Teslu je zanimala primjena visokofrekventne izmjenične struje na područjima bežične rasvjete i vibracija. Istraživao je električnu rezonanciju kojom su se male električne vibracije pojačavale i nakupljale kako bi oslobodile veliku energiju. Na tome je temeljio ovaj svoj ključni izum, za proizvodnju struja visokih napona i frekvencija. Upravo ovaj uređaj omogućio mu je niz novih istraživanja, poput **bežičnog slanja energije na velike udaljenosti**. Uz pomoć ovog uređaja stvarao je **nove tipove rasvjete pomoću struja visoke frekvencije**. Koristio se **fluorescentnom rasvjetom** u svojem laboratoriju 40 godina prije nego što je ono industrijski patentirano. Ispitivao je različite mogućnosti dobivanja visoke frekvencije i vrlo visokog napona te tvrdio da će električno osvjetljenje biti ekonomičnije ako se upotrijebi [izmjenična električna struja](https://hr.wikipedia.org/wiki/Izmjeni%C4%8Dna_elektri%C4%8Dna_struja) sa znatno većom [frekvencijom](https://hr.wikipedia.org/wiki/Frekvencija) od 50 [Hz](https://hr.wikipedia.org/wiki/Hz) (titraja u sekundi). Teslin transformator se sastoji od primarne zavojnice s nekoliko zavoja debele žice, promjera nekoliko centimetara do nekoliko metara. U sredini primarne nalazi se sekundarna zavojnica s velikim brojem zavoja tanke i dobro izolirane žice, puno manjeg promjera od primarne zavojnice. Tesline struje stvaraju se na sekundarnoj zavojnici transformatora. Na vrh sekundarne zavojnice se stavlja prsten (obično napravljen od fleksibilnih aluminijskih cijevi) kako bi proizveo električno polje koje omogućuje stvaranje iskri i munja izvan zavojnica.

1. **Teslina turbina** bez lopatica, koju je izumio 1913. koristi se viskoznim tlakom fluida na graničnim slojevima glatkih diskova.

Umjesto lopatica ona koristi djelovanje graničnih slojeva između [fluida](https://hr.wikipedia.org/wiki/Fluid) ([plinovi](https://hr.wikipedia.org/wiki/Plin), [tekućine](https://hr.wikipedia.org/wiki/Teku%C4%87ine), [pare](https://hr.wikipedia.org/wiki/Para)) i višestrukih vrhova glatkih [diskova](https://hr.wikipedia.org/wiki/Disk). Granični dijelovi fluida djeluju na diskove zbog [viskoznosti](https://hr.wikipedia.org/wiki/Viskoznost) ([trenje](https://hr.wikipedia.org/wiki/Trenje) fluida) i privlačnih sila slojeva diska i fluida. Kako [rotor](https://hr.wikipedia.org/wiki/Rotor) nema lopatica, niti bilo kakvih isturenih dijelova, on je veoma čvrst. Teslina turbine bi trebala imati vrlo mali razmak između diskova, najviše 0,4 mm i [površina](https://hr.wikipedia.org/wiki/Povr%C5%A1ina) treba biti vrlo glatka. U Teslino vrijeme se nisu mogli naći takvi materijali za vrlo tanke diskove, budući su se pod opterećenjem iskrivljavali i deformirali, i zato Teslina turbina u njegovo vrijeme nije doživjela komercijalni uspjeh. Još uvijek se danas ispituju načini primjene Tesline turbine, čak i postoji od 2010. i konstrukcija za [vjetroelektrane](https://hr.wikipedia.org/wiki/Vjetroelektrana)  Prednost leži u korištenju za male [snage](https://hr.wikipedia.org/wiki/Snaga) turbina. Tesla je želio svoju turbinu upotrijebiti za korištenje geotermalne energije.

Ideja mu se rodila još u dječačkoj dobi dok je izrađivao male vodenice bez lopatica na potoku. Tesla je tu ideju primijenio i realizirao 1913. patentom *turbine bez lopatica*. Nije ju pokretao tlak na lopaticama kao kod dotadašnjih turbina, već je lopatice zamijenio ravnim tankim glatkim diskovima s malim međusobnim razmakom (oko 0,4 mm). Njih je pokretao fluid (plinovi, tekućine, para) koristeći viskoznost i atheziju odnosno trenje fluida a ne tlak. Pri tome se stvara granični sloj fluida na diskovima ostvarujući funkciju prijenosa energije kretanja fluida. Objasnio je nastanak bezlopatičnih turbina riječima: *Ono što sam učinio bilo je da sam potpuno zanemario ideju kako mora postojati čvrsta pregrada ispred pare te sam prvi put na praktičan način primijenio dva svojstva koja svaki fizičar zna da su zajednička svim tekućinama, samo se do sada nisu koristila. Bile su to athezija i viskozitet***.** Da bi mehanička energija fluida bila najekonomičnije iskorištena koristio je spiralno usmjerenje fluida kućištem. Obzirom na dva moguća smjera ulaska fluida turbina se može okretati u oba smjera. Realizacija i primjena Tesline turbine u njegovo vrijeme bila je problematična zbog nedovoljno razvijene industrije koja nije bila sposobna proizvesti tako tanke diskove od materijala koji se tijekom rada neće savijati uslijed zagrijavanja i koji će izdržati velike brzine vrtnje odnosno centrifugalne sile.

Efikasnost Tesline turbine u ono vrijeme nije bila osobito učinkovita, iako neki navode da ona može doseći i 95%. U postrojenjima Westinghousa njena je učinkovitost iznosila oko 20%, a kasnija poboljšanja povećala su je na 40%. Kod ispitivanja 1911. korištene su dvije turbine po 200 KS, koje su postigle 9.000 o/min. Iako je Tesla bio uvjeren da će ona izazvati revoluciju u primjeni, da će se koristiti za crpke, kompresore, zračne turbine, pa čak i umjesto motora s unutarnjim izgaranjem, ona se ni danas široko ne primjenjuju. Smatrao ju je prikladnim za motore automobila, brodova, željeznica i zrakoplova, te je počeo konstruirati futurističke automobile koji su koristili njegovu turbinu. Teslina turbina pogonjena stlačenim zrakom i ubrizgavanjem pare izrađena je 1972., snage 30 KS, i 18000 o/min. Niz tvrtki osamdesetih godina usavršavalo je Teslinu turbinu Danas se primjenjuju i u medicini, kao crpke za krv. Problemi koji su bili s deformacijama diskova mogu se riješiti s primjenom novih, posebno kompozitnih, materijala..

1. **Otkriće X-zraka - Rengenski snimak koji je Tesla načinio već 1895.**

U svom laboratoriju Tesla je često provodio više istraživanja paralelno. Tako je **1892**. godine kroz pokuse s molekularnim bombardiranjem (svjetiljke s karbonskim čepom) detektirao uz vidljivu i crnu svjetlost i posebno elektromagnetsko zračenje zračenje (kasnije nazvano X – zrake) . Godine **1894**. vršio je eksperimente sa snagom zračenja fosforescentnih tijela i na fotografskim pločama koje su stajale pored katodne cijevi zabilježio tragove oštećenja (uzrokovano X-zrakama). Planirao je nastaviti istraživanje i objasniti uzroke pojave u čemu ga je prekinulo uništenje laboratorija u požaru. . Pretpostavio je da u cijevi dolazi do zračenja. U planiranom nastavku istraživanja omeo ga je u ožujku **1895**. godine požar u kojem je izgorio Teslin njujorški laboratorij. Nestali su svi strojevi i znanstvena dokumentacija Teslinih višegodišnjih istraživanja.

Novine *New York Sun* o tome su pisale: *… Dogodila se katastrofa koja je bila više od osobne propasti. Ni u kojem se slučaju ne preuveličava ako se kaže da se na prste jedne ruke mogu nabrojiti trenutno živi ljudi koji su važniji za ljudsku rasu od ovoga mladog gospodina; možda na palac jedne ruke.*

Nešto više od pola godine nakon požara, krajem te iste **1895.** godine Röntgen je samostalno istražujući došao do istog otkrića i o tome objavio članak. Tesla mu je poslao nekoliko fotografija s X-zrakama koje su mu preostale nakon požara u laboratoriju. Röntgen mu je pismeno zahvalio uz zamolbu da objasni kako je došao do njih jer fotografije je smatrao vrlo zanimljivima. Premda nije sumnjao u izvornost Röntgenova rada, Tesla je smatrao da je bio prvi koji je eksperimentirao s X-zrakama. No, Teslin je doprinos zanemaren i Röntgen za to otkriće postaje 1901. prvim dobitnikom Nobelove nagrade iz područja fizike.

1. **Guglielmo Marconi – Teslina protivnik u borbi za pravo prvenstvo u bežičnoj telegrafiji i izumu radio sustava**

Požar u Teslinom laboratoriju **1895**. godine, mnoga je Teslina istraživanja vratio na početak. Neki su rezultati bili nepovratno izgubljeni, pa su pojedina njegova otkrića pripisivana drugim znanstvenicima. Posebno je zakinut za priznanje otkrića radija. Tesla je već u proljeće **1893.** prikazao ideju funkcioniranja bežičnog prijenosa energije u Franklinovom institut u Philadelphiji, a iste je godine predstavio svoj cjeloviti sustav za komuniciranje radio vezom u udruženju National Electric Light u St. Luisu. Prikazani sustav sastojao se od antene, uzemljenja, te strujnog kruga koji sadrži induktivitet i kapacitet za podešavanje, te sustave za slanje i primanje, podešene na međusobne rezonancije. Godine **1897.** Tesla podnosi zahtjev Uredu za patente za svoj osnovni radio sustav, a on mu je odobren 1900. Neposredno prije nego su Tesli odobrena patentna prava, **1899**. talijanski fizičar Guglielmo Marconi šalje signal preko La Manchea, pri čemu vjerojatno koristi Teslin oscilator. Nakon što su Teslini patenti za radio bili već odobreni, Marconi **1900**. osporava poznavanje Teslina oscilatora koji je u to vrijeme uređaj već priznat u znanstvenim krugovima, te u SAD podnosi zahtjev za patent, što mu je u Uredu za patente odbijeno zbog Teslinih prava na prvenstvo. Zatim **1901.** Marconi organizira javni pokus i demonstraciju radija za širu publiku i medije, te šalje signal preko Atlanskog oceana. Iz nepoznatih razloga**, 1904.** Ured za patente iznenada nakon nekoliko godina odbijanja Markonijevih ponovljenih verzija zahtjeva, mijenja odluku i dodjeljuje pravo prvenstva Marconiju. Nakon dugogodišnjeg eksperimentiranja s bežičnim prijenosom i primanjem komunikacijskih signala elektromagnetskim valovima, Tesla je to doživio kao iznimnu nepravdu. Svojim najvećim uspjehom, smatrao je upravo otkriće radioveze i zato je najveće razočarenje u karijeri doživio kada je Marconi **1909.** dobio Nobelovu nagradu za doprinose bežičnoj telegrafiji i uspostavljanje radiotelegrafske veze između Europe i Amerike. Smatrao je Marconijevu demonstraciju samo uspješnim medijskim spektaklom. Premda su se mnogi tada bavili idejom kako to iskoristiti u komunikacijske svrhe, Tesla je prije svih izumio sveobuhvatan i temeljni sustav, načinjen od prijemnika i niza antena povezanih u rezonantne krugove, s podešavanjem frekvencija i izbjegavanjem radiointerferencije. Njegov sistem mogao je u šumi frekvencija koje se emitiraju u eteru detektirati jednu frekvenciju i primiti jasnu poruku. Omogućavao je i signale na različitim nosećim frekvencijama, tako da se moglo emitirati više signala istovremeno. Tesla je neosporno imao prvenstvo otkrića radio veze, kojeg je pravovremeno i prije Marconija patentirao te je **1915.** pokrenuo tužbu za kršenje patentnih prava. Zadovoljštinu za života nije dobio. Dvadesetak je godina trebalo Žalbenom sudu Sjedinjenih Američkih Država da donese presudu kojom se obezvrjeđuje temeljni Marconijev patent, budući su mu prethodili Teslini izumi i njegov patent br. 645.576. Premda je time Tesli pravno priznato prvenstvo, Marconi je i dalje ostao dobitnikom Nobelove nagrade. Konačnu potvrdu te presude donio je Vrhovni sud tek nekoliko mjeseci nakon Tesline smrti **1943**. godine.

1. **Teleautomaton – prvo pokretno vozilo (plovilo) na daljinsko upravljanje, model broda kojim je Tesla bežično upravljanje prezentirao javnosti 1898. u New Yorku**

Tesla je podario svijetu i prvo automatizirano vozilo u povijesti. U vrijeme kada su automobili bili rijetkost, a najmodernije prijevozno bila parna željeznica, 1898. godine prijavljuje patent naziva *metoda i stroj za upravljanje mehanizmima plovila ili vozila u pokretu*. Nastao je kao nastavak njegovih istraživanja o bežičnom prijenosu i radio sustavu. Svoju vizionarsku zamisao vozila na daljinsko upravljanje sjajno je prezentirao publici i novinarima na prvoj elektrotehničkoj izložbi u Madison Square Gardenu 1898. godine. Model broda pokretan radiovalovima nadmašio je sva očekivanja prisutnih. Upravljan na daljinu signalima koji su slani pomoću male kutije s polugom i telegrafskog tipkala, brod je izvodeći manevre svjetlio i kretao se u svim smjerovima. Tesla se još jednom iskazao kao vrhunski izumitelj ali i majstor spektakla. Tada je malo tko razumio princip radiovalova te su mnogi smatrali da Tesla brodom upravlja svojim umom. Kao protvnik rata i zagovornik života vjerovao je da će se u budućnosti borbe voditi sučeljavanjem strojeva te tako izbjeći ljudske žrtve. Tesla je bio **pionir koncepta daljinskog upravljanja, telemehanike i robotike**. Danas je daljinsko upravljanje našlo učestalu i široku primjenu u svakodnevnom životu. Koristi se u velikom broju uređaja od TV-a do dronova

1. **Prvi pokusi bežičnog prijenosa energije koje je Tesla od 1899. do 1900. izvodio u eksperimentalnoj stanici i laboratoriju u Colorado Springsu i njegovo otkriće Zemljina stojnog vala**

Usprkos nedaćama koje su ga pratile, nošen svojom misijom, Tesla je uspio prebroditi gubitak laboratorija u New Yorku i četiri godina kasnije 1899. započinje gradnju novog visokonaponski laboratorij u Colorado Springsu. To je bilo potrebno jer su Teslini pokusi s visokim naponima bili preopasni za eksperimentiranje u New Yorku, a on sam želio je pokuse obavljati u tajnosti. U to vrijeme potpuno se posvetio kreiranju bežičnih sustava. Ispitivao je Zemljin naboj i upustio se u istraživanja koja bi dovela do izgradnje Svjetskog sustava za prijenos ne samo bežičnih telegrafskih informacija i ljudskog glasa preko odašiljača, snage 200 kW, već je i nastojao pronači način kako bez gubitaka prenositi i energiju na bilo koju udaljenost na Zemlji za šire komercijalne i industrijske potrebe. Izgradnju eksperimentalne stanice i laboratorija financirao je Teslin pokrovitelj John Jacob Astor, vlasnik hotela Waldorf – Astoria. Tesla je laboratorij načinio kao četverouglatu zgradu dimenzija 30 x 30 metara, s tornjem visine 25 metara, na koji se nastavljao jarbol visine 65 metara, a na njegovom vrhu se nalazila kugla od bakrenog lima promjera jedan metar. Opremio ga je generatorima, kondenzatorima s uljnom izolacijom (Teslin izum), raznim mjernim instrumentima, golemim oscilatorom i za ono doba čudesnim transformatorima. Davali su napone iznad 12 milijuna volti. Istraživao je daleko od civilizacije, u planinama Stjenjaka na nadmorskoj visini od 1800 metara i okružen fascinantnim prirodnim pojavama. Tijekom jedne oluje, prebrojio je udare gotovo dvanaest tisuća munja u tom području tijekom svega dva sata. Suradnicima je pisao: *Ovo je tajni test …Posao ću obavljati kasno noću kada je energetsko opterećenje najmanje.* Da se riješi radoznalaca oko postrojenja je dao načiniti visoku ogradu s upozorenjima za opasnost. Na jednom je znaku stajao citat iz Danteova *Pakla*: *Ostavite svaku nadu, vi koji ulazite*. Imao je dva cilja: razvoj radiosustava kojim bi umrežio cijeli svijet i ispitivanje bežičnog transporta energije. U Coloradu je otkrio nešto što je smatrao posebno vrijednim – zemaljske stojne valove. Kroz eksperimente je pokazao kako Zemlju upotrijebiti kao vodič iznimno osjetljiv na električna titranja određene frekvencije. Uspio je upaliti 200 svjetiljki bez žica na odaljenosti od 40 kilometara. Stvarao je prekrasne umjetne munje i bljeskove duge 41 metar. Eksperimentirajući, oscilirao je elektromagnetskim poljem cijeloga planeta i primio signal iz dubine svemira. O svom radu Tesla je zapisao: *Ma koliko se to činilo nemogućim, ovaj se planet ponaša kao vodič ograničenih dimenzija. Nesaglediva mi je vrijednost ove činjenice za prijenos energije pomoću mog sustava postala jasna. Ne samo što je to omogućavalo prijenos telegrafskih poruka na bilo koju daljinu bez ikakvih žica, što sam već odavno znao, nego bi se čitavoj zemaljskoj kugli mogle nametnuti fine modulacije ljudskog glasa i, štoviše, prenositi energija, i to u neograničenim količinama, na bilo koju udaljenost i to gotovo bez ikakvih gubitaka.*

Eksperimentirajući Tesla je uspijevao dobivati kuglaste munje što je današnjim fizičarima za potrebe projekta fuzije teško ostvarivo. Isto tako znanstvenicima je danas teško proizvesti napon od 5 milijuna V, a Tesla je u Colorado Springsu uspijevao proizvesti napon viši od 100 milijuna V. Toranj laboratorija nije nikada bio u potpunosti dovršen, a u vrijeme Prvoga svjetskoga rata (1914.-1918.) bio je srušen zbog bojazni američkih vlasti da bi Tesla, rođen na prostoru tadašnje Austro-Ugarske, mogao se njime poslužiti za kanaliziranje informacija u korist Centralnih sila. Dnevnik Teslinih istraživanja u Colorado Springsu, koji je vodio od 1. lipnja 1899. do 7. siječnja 1900. godine, objavljen je 1976. godine i opseže oko 400 stranica teksta i popratnih slika.

1. **Divovska radio stanica i Wardenclyff toranj na Long Islandu, nedaleko New Yorka .**

**Teslin projekt *Svjetski sustav* za uspostavu veze i distribuciju energije sa svim dijelovima svijeta**

Tesla je planirao uspostaviti vezu sa svim dijelovima svijeta te je 1901, izgradio divovsku radio stanicu i Wardenclyff toranj na Long Islandu, nedaleko New Yorka. Intenzivno je radio na bežičnom prijenosu energije, prijavio patent uređaja i najavio projekt *Svjetski bežični sustav*. Desetak je godina potrošio na usavršavanje prijenosa električne energije bez žica i to je smatrao najvećim izumom svih vremena. Napisao je: *To je dugo žuđeni kamen mudraca*! Smatrao je kako po svaku cijenu mora dovršiti projekt, jer će njime društvu osigurati neslućeni razvoj i napredak. Želio je omogućiti globalnu komunikaciju te putem valova slati fotografije, poruke i informacije. No, morao je odustati od projekta nakon što mu je J. P. Morgan bez prethodnog dogovora obustavio financiranje. Nastale teškoće financijske i druge naravi prije početka drugog svjetskog rata bile su uzrok da ovu veliku ideju nije uspio ostvariti u praksi. Prije nego je bio prisiljen zbog nedostatka novca prekinuti istraživanja i obustaviti radove na tom grandioznom projektu, pisao je investitoru: *Gospodine Morgane, ono što razmatram i što sigurno mogu ostvariti nije jednostavno slanje poruka bez žica na veliku udaljenost. To je pretvaranje cijeloga globusa u biće koje osjeća, koje bi, kako stvari stoje, moglo pojmiti sve svoje dijelove i kroz koje bi misao mogla prolaziti kao kroz mozak. Iz jednog bi se postrojenja moglo upravljati bilijunima uređaja, razmještenih po cijeloj kugli zemaljskoj i svaki od njih ne bi stajao više od nekoliko dolara. Hoćete li mi pomoći ili ćete pustiti da moje veliko djelo – gotovo završeno - propadne?* Nakon što je Morgan hladno odbio dati dogovorena sredstva, Tesla je napisao: *Jeste li ikada pročitali knjigu o Jobu? Da umjesto njegova tijela stavite moj um, pronašli biste točan opis mojih patnji … Savršeno sam siguran da ću završiti svoj posao, kako god bilo. Kakve su mi šanse da nasučem najveća čudovište Wall Streeta 'paukovom niti' duše? Vi ste velik čovjek, ali vaše je djelo prolazno. Moje je vječno* .