

## IZNAJDBA IN RAZVOJ KATODNE ELEKTRONKE IN DRUGIH VAKUUMSKIH ELEMENTOV ZA TELEVIZIJO (II. del)

**Stanislav Južnič\*** in **Vinko Nemanič**, Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana

Invention and development of cathode ray tube and other vacuum components of television (Part II.)

### ABSTRACT

Next year we shall celebrate a century of the cathode ray tube. In the second part of this article the history of the cathode ray tube as a part of the television is described. A special concern is put on the research done by baron Codelli, a Ljubljana-man of Italian origin.

### POVZETEK

Prihodnje leto bomo praznovali sto let iznajdbe katodne elektronke. V drugem delu razprave opisujemo razvoj katodne elektronke kot slikovne elektronke za televizijo. Posebno pozornost posvečamo raziskavam barona Codellija, Ljubljančana italjanskega rodu.

### 1 UVOD

Dieckmannova, Rosingova in Campbell-Swintonova uporaba katodne elektronke v začetku našega stoletja ni takoj vplivala na razvoj televizije. Hitrost odklanjanja žarkov, ostrina zapisa, trajnost naprave in kvaliteta fokusiranja skeniranih žarkov so bili premajhni pred uporabo Buscheve elektronske optike. Zato celo sam Braun ni podpiral uporabe svoje elektronke v televiziji, ki se mu je zdela podobna telepatiji (Zworykin, 1958, 12; Kleinert, 1993, 71).

### Televizija v Rusiji in Sovjetski Zvezi

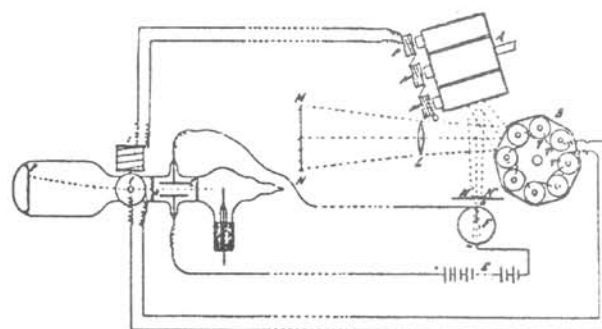
Boris Lvovič Rosing (1869-1933) je napravil skupno več kot 120 različnih shem in sistemov televizije. Leta 1907 je na univerzi v St.Petersburgu sestavil elektronski televizijski sistem z Braunovo elektronko na sprejemni strani, ki ga je patentiral doma, v ZDA, Nemčiji in Angliji. Elektronski curek je moduliral s signalom fotocelice in odklanjal z magneti. Snemalna naprava je bila še mehanska, z dvema medsebojno pravokotnima zrcalnima bobnoma, vrtljivima okoli skupne osi za skeniranje prenašane slike. Počasne selenove fotoinduktivne celice je nadomestil s hitrejšimi fotocelicami iz alkaljskih kovin, vendar še ni znal ojačiti šibkih tokov reda 0,1 pA.

Rosing je razstavil svoj sistem v St.Petersburgu leta 1910 (Ustinov, 1989, 121; Zworykin, 1958, 9) in naslednje leto prikazal sprejem preprostih geometrijskih oblik.

8.11.1925 so B.P.Grabovski (1901-1966), V.I.Popov in N.G. Piskunov v Leningradu prijaviли patent "radiotelefota", prve praktične povsem elektronske televizije. Poskuse so začeli opravljati julija 1925 v laboratoriju industrijskega tehnikuma v Saratovu. V njihovem sistemu je fotokatoda pod vplivom svetlobe izločala elektrone, ki so jih odklanjali z mrežico v njeni bližini.

\* Stanislav Južnič je profesor fizike in računalništva na srednji šoli v Kočevju. Leta 1980 je diplomiral iz tehnične fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo, magistriral pa leta 1984 iz zgodovine fizike na Filozofski fakulteti v Ljubljani.

Elektronski "žarki" s termokatode so prehajali skozi mrežico in trkali ob fotokatodo. Tam so se srečavali z nasprotno usmerjenimi fotoelektroni, ki so tem bolj oslabili žarke, čim več jih je bilo v dani točki fotokatode. Tako so modulirali elektronski curek, ki je potem prenašal informacijo o osvetljenosti objekta. V naslednjih treh mesecih so delali poskuse na Leningrajskem vakuumskem zavodu. Porabili so le 1500 rubljev kljub sorazmerno zapletenim poskusom. Vendar v Leningradu imenovana komisija sprva ni podprla uporabe njihove naprave.



Slika 1. Shema Rosingovega televizijskega sistema s katodno elektronko kot sprejemnikom (Schröter, 1930, 5)

Grabovski se je preko Saratova vrnil v Taškent in z Rosingovo pomočjo nadaljeval raziskave. 28.7.1928 je komisija priznala uporabnost "telefota", ki sta ga patentirala Grabovski in njegov laborant I.F. Beljanski. Prenášala sta po 7 senc v sekundi na 6-7 m oddaljen zaslon premera 5-6 cm z 200 do 300 vrstami v drugi sobi. Svojo prvotno idejo sta spremenila tako, da sta fotoobčutljivo plast nanese na neprepustno podlago iz srebra. Projekcija slike in elektronski žarki so bili sedaj na isti strani fotoobčutljive plasti, podobno kot v Zworykinovem ikonoskopu leta 1933 (Barancev, 1986, 135).

### Televizija v Veliki Britaniji

Junija 1908 je A.A.Campbell-Swinton (u.1930) v Londonu predlagal odpravo vseh mehanskih elementov iz televizijskega sistema. Le odklon elektronov s pravokotnima elektromagnetoma v sprejemniku in tudi v oddajniku s 160000 sinhroniziranimi operacijami v sekundi je lahko opisal celotno površino slike v desetinki sekunde, kar naj bi zadostovala za dobro televizijo. Campbell-Swinton še ni poznal fotoelektričnega pojava za oddajnik dovolj velike hitrosti in ojačevanja. Leta 1911 je opisal zaslon oddajnika iz majhnih kock rubidija kot samostojnih fotocelic v vakuumski posodi s fotoobčutljivo natrijevo paro (Schröter, 1932, 61; Zworykin, 1954, 246-248; Swift, 1950, 82-83). Do leta 1926 je brez uspeha preizkušal takšne mozaične fotoelemente.

Campbell-Swintonove ideje so se uveljavile šele v naslednjem desetletju, saj se velika podjetja zanje sprva niso zanimala. Drugi raziskovalci so v različnih državah do novembra 1925 razvili še 6 modelov slikovne elektronke za televizijo (Barancev, 1986, 131).

Škot Baird je ustanovil prvo izključno televiziji posvečeno družbo Television Limited in do odločitve britanske komisije 13.2.1937 uspešno konkuriral elektronski televiziji Marconijeve družbe E.M.I. Kljub pičli materialni podpori je aprila 1925 javno predstavil svojo televizijo z uporabo Nipkove plošče frekvence 8,3 Hz in koloidne celice lastne izdelave za skeniranje odbite svetlobe. Senzor je moral biti tisočkrat občutljivejši od starejših aparatov, ki so prenašali samo sence prepuščene svetlobe. Črka "H" je bila na sprejemniku dobro vidna, težje pa je bilo s premikom roke ali obrazom, na katerem je bilo mogoče opaziti premikanje ust (Baird, 1925, 535).

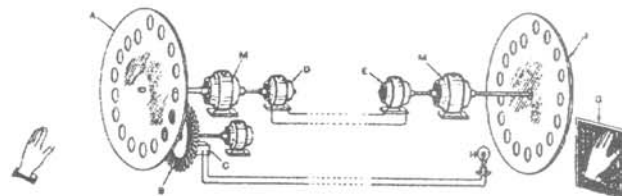
V nekaj mesecih je Bairdu uspelo rešiti problem prenosa slike po žici in nato tudi brezžično, kar je 27.1.1926 pokazal štiridesetim članom Royal Institutiona. Leta 1927 je dobil britanski patent za stereoskopski žični ali brezžični prenos slik ali gibanja. Okoli vrtljive Nipkove plošče je eno v drugo postavil dve ali več spiral leč in fotocelic tako, da je vsaka pokrivala le eno področje slike ali pa le eno barvo. Svetlobo je filtriral, nato pa v sprejemniku projeciral barve eno na drugo (Baird, 1927, 1, 4, 5).

Baird je s sodelavci 8.2.1928 prvi brezžično poslal sliko čez Atlantski ocean na valovni dolžini 45 m, za kar niso potrebovali vmesnih pretvornikov. 18.7.1929 je dr. Schapira pri Telefunknu v Berlinu sprejel dva modela televizije Bairda in njegovega direktorja Captaina O.G. Hutchinsonsona. Napravi sta stali 90 oziroma 12 mark in sta zmogli 12,5 slik s po 30 vrstami na sekundo pri 9000 Hz. Baird je prenašal slike po telefonskem kablu znotraj iste hiše in prepoznaval sedeče osebe brez podrobnosti. Telefunknova naprava z 48 zrcali naj bi bila boljša za prenašanja gibljivih slik (Schapira, 1929).



Slika 2. John Logie Baird (1888-1946)

Baird je Nipkovo ploščo nadomestil z bobnom s tridesetimi zrcali, kar je junija 1931 in 29.4.1932 uporabil BBC v prvi javni televizijski oddaji, prenosu konjskih dirk iz Derbyja. 2.8.1932 je BBC začel z osemmesečnim oddajanjem televizijskega programa, 2.11.1936 pa s prvimi rednimi televizijskimi oddajami v Londonu (Settel, 1978, 44, 47; Južnič, 1982, 25, 27-28; Zajc, 1995, 76-77; Swift, 1950, 54, 57, 84).



Slika 3. Shema naprave, s katero je J.L. Baird že leta 1924 oddajal obrise televizijsko snemanih predmetov

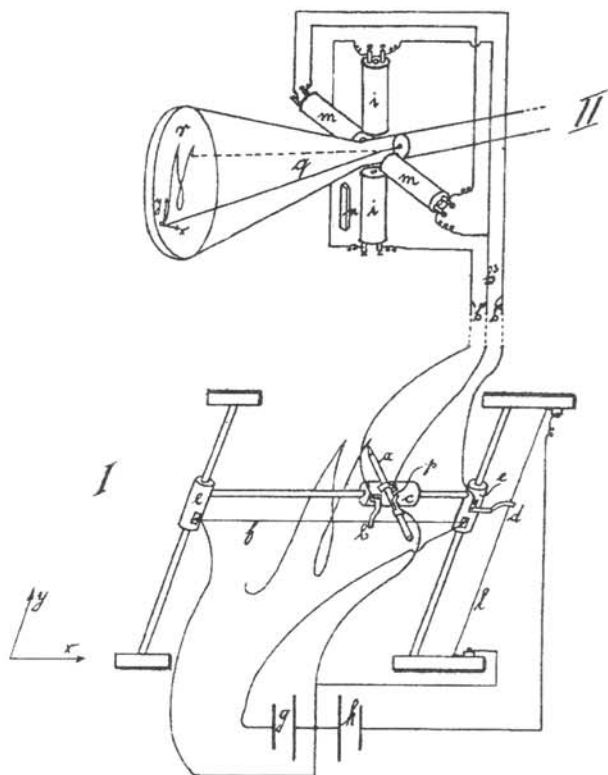
## Televizija v Nemčiji

Braunova asistenta Dieckmann in Glage sta 12.9.1906 v Strassburgu patentirala Braunovo elektronko za prenos črk in risb brez premičnih delov v sprejemniku. Slike kovinskih modelov sta skenirala z dvajsetimi kontaktnimi krtačami, ki so nadomeščale odprtine v Nipkovi plošči. Krtače so bile povezane z generatorjem žagaste napetosti v vodoravnih odklonskih tuljavah katodne elektronke in s kontaktnimi krtačami na drsečih žicah potenciometra, ki so odajale tok tuljavam za navpični odklon.

Ob stiku s prevodno točko na kovinskem modelu so krtače Nipkove plošče omogočile, da je stekel tok skozi elektromagnet, ki je odklonil elektronski curek v osciloskopu, da je zgrešil odprtino na svoji poti. Prevodni deli modela so se zato temno reproducirali na svetli podlagi zaslona osciloskopa. Celoten obrat Nipkove plošče je trajal 0,1 s, zato je lahko svetlobni zapis na zaslonu sledil premikom in vrtenju modela. Zaslon je bilo mogoče fotografirati, kar se je avtorjema zdelo posebno pomembno, in sta to kar dvakrat zapisala v svojem patentnem spisu. Čeprav je bil Dieckmannov aparat bolj faks kot televizija, je pomenil njegov sprejemnik napredek v elektronskem snemanju slike (Dieckmann, 1906; Zworykin, 1958, 7-9; Kleinert, 1993, 71).

Dember je na fizikalnem inštitutu visoke šole v Dresdenu maja 1925 odkril povečanje emisije pri sočasnem vzbujanju fotoplasti z elektroni in s fotoni. Uporabljal je difuzijsko črpalko s Kaiser Wilhelmovega inštituta v Berlinu pri raziskovanju odvisnosti dodatnega fototoka na aluminiju od intenzitete svetlobe pri konstantnem toku katodnih "žarkov". Fotoefekt je zaradi katodnih "žarkov" narastel, mejna valovna dolžina pa se je pomaknila proti dolgim valovom. Demberjevi poskusi so potrjevali Lenardovo teorijo, po kateri je povprečna energija vpadnih katodnih "žarkov" manjša od notranjega dela in zato ne zadostuje za izbijanje elektronov iz podlage. Zato elektroni ostanejo v kovini v vzbujenem stanju in jih potem lahko izbije iz podlage svetloba z manjšo energijo. B.V. Krusser je predložil konstruk-

cijo slikovne elektronke na osnovi Demberjevega odkritja (Dember, 1925, 529-530; Barancev, 1986, 131-136).



Zu der Patentschrift

№ 190102.

Slika 4. Shema Dieckmann-Glajewejeve naprave iz patentne prijave 12.9.1906

Sodelavec Telefunka in asistent fizikalnega inštituta v Leipzigu August Karolus (1893-1972) je izboljšal fotocelico z uporabo efekta Škota Johna Kerra (1824-1907) in jo uporabil za moduliranje svetlobe v televizijskem sprejemniku. 21.6.1924 je dobil nemški patent št. 471720 za skeniranje z dvema Nipkowima ploščama s po 48 luknjami, za katerimi je postavil Elster-Geitlove alkalijske fotocelice (Siemens, 1957, 100).

Mihály je poleti 1919 v Budimpešti javno predstavil svoj televizijski sistem "telehor". Leta 1924 je odšel v Berlin in od leta 1927 raziskoval televizijo za nemško Državno pošto, medtem ko je Eduard Belin raziskoval v Franciji tudi za Avstrijsko državno radijsko družbo RAVAG.

11.5.1928 so na razstavi radia v Berlinu poleg Telefunknove televizije, ki sta jo izdelala Karolus in Schröter, predstavili tudi Mihályjevo 30 vrstično televizijo, ki je zamenjala 10 slik velikosti 4 cm x 4 cm v sekundi. Mihály je uporabljal obločno luč z volframovo nitjo in Nipkovo ploščo iz pertinaxa s 30 luknjami (Goebel, 1976, 62). Marca 1929 je imela Državna pošta v Berlinu že televizijsko sliko z 900 točkami, vendar brez tona.

Allgemeinen deutschen Fernsehvereins je bila ustanovljena 13.9.1929 in je začela avgusta naslednjega leta v Berlinu izdajati revijo Fernsehen. Razen Codellija in Mihályja je večina drugih avtorjev zagovarjala prednost elektronske televizije s katodno elektronko pri sinhronizaciji in številu točk v sliki.

Največ razprav v reviji Fernsehen je objavljala Nemeč von Ardenne. V lastnem laboratoriju v Berlinu je vzporedno z Zworykinom v poznih dvajsetih letih razvil sodobno elektronsko puško s katodo, prekrito z oksidom. Zavzema se je za uporabo ultrakratkih valov v televiziji. Leta 1931 je opisal posredno segrevanje katode, ki preprečuje razprševanje katodnega materiala v katodni elektronki (Ardenne, 1930, 390 in 1933, 69).

Ardenne je uporabil Zworykinovo sugestijo (29.12.1923) o katodni elektronki kot skenerju s premično točko zapisa. Skenirani model enakomerne intenzitete, katerega sliko je želel prenesti, je upodobil na katodni elektronki. Prepuščeno ali odbito svetlobo je zbiral s fotocelico. Fototok je bil sorazmeren prepustnosti ali odbojnosti skenirane točke in je generiral signal za sliko. Če je svetlobo oddajal dlje, kot je bil čas prehoda posameznega elementa slike, se je skenirana točka raztegnila v črto in se je vodoravna ločljivost ustrezno zmanjšala. Prvotni skenerji s premično točko zapisa v katodni elektronki niso bili praktično uporabni, dokler niso začeli uporabljati učinkovitih fotopomnoževalk majhne vztrajnosti in visoke občutljivosti (Zworykin, 1958, 18-19).

Osnovni problem televizije s katodno elektronko je bila ostrina in svetlost točke zapisa ter sočasno krmiljenje svetlosti in porazdelitve točk v elektronki (Ardenne, 1930, 193 in 1931, 65). Ardenne je uporabljal Wehneltovo nizkonapetostno elektronko po Schröterjevi metodi "polovičnih slik" (Ardenne, 1930, 197, 199 in 1931, 66).

Med von Ardennejevimi sodelavci na Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung v Berlinu je bil tudi dr. Vladimir Šlebinger (r.1906). Med leti 1930-1933 je raziskoval skupaj z utemeljiteljem Hertzovega inštituta in njegovim direktorjem (med leti 1927-1936) Karlom Willyjem Wagnerjem (1881-1953) in prof. dr. Gustavom Engelbertom Leithäuserjem (r.1881). Slednji je 30.6.1933 opisal napravo za sprejem 90-vrstične slike velikosti 18 cm x 21,5 cm z mehanskim skeniranjem, ki jo je projekiral v predavalnici inštituta (Fernsehen 4, 1933, 40).

Leta 1932 je Šlebinger dobil patenta za sinhronizacijo slike v sprejemniku ter za svetlobno modulacijo katodnega "žarka". Leta 1933 se je pred nacizmom umaknil iz Nemčije in postal asistent Tržačana Maria Osane (1880-1958) na Institutu za elektrotehniko v Ljubljani. Tudi Osana se je ukvarjal s televizijsko tehniko od leta 1928 in je za prve poskuse o osnovah delovanja televizije zgradil aparat z Nipkovo ploščo (Sitar, 1989, 169).

22.3.1935 so v Berlinu predvajali televizijski program, ki je menjaval 25 slik s 180 vrsticami na sekundo. Leta 1936 so s Telefunknovim ikonoskopom in Farnsworthovo kamero prenašali letne olimpijske igre iz Berlina.

## Televizija v ZDA

Charles Francis Jenkins je začel raziskovati televizijo leta 1894. Le nekaj mesecev za Bairdom je 21.3.1925 razvil brezžični mehanski televizijski prenos na razdaljo več km. Patent zanj (št. 1642730) so mu priznali v Washingtonu 20.9.1927. Leta 1926 je patentiral "daljinski kino" (Friedel, 1930, 17; Borchardt, 1930, 94-95; Codelli, šk.19; Swift, 1950, 34).

20.5.1926 je Ives iz Bell Telephone Laboratories prijavil patent za televizijo v naravnih barvah z izboljšanim skeniranjem. Uporabljal je Nipkovo ploščo s fotocelicami, ki so pokrivalo posamezne dele spektra. Svetloba je padala na vrtljivo zrcalo skozi luknje v plošči. V sprejemniku je tok po vodniku reproduciral zapis na fotocelice, ki so bile povezane s posameznimi deli obrata plošče. Mehanizem vrtenja je bil tak, da je plošča naredila malo več ali malo manj obratov od komutatorja in tako dosegla spreminjanje vrstnega reda povezav med fotocelico in modulatorjem pri zaporednem skeniranju objekta.

Bellovi laboratoriji so ponujali v tem času najboljšo mehansko televizijo (Ives, 1929; Dinsdale, 1931, 288). Razvoj je tekel v dve smeri: "videofon", ki bi ob telefonu kazal še vidno sliko sogovornika, in brezžično televizijo, ki bi sliko ponudila ob zvoku radia. Reklamiranje proizvodov po radiu (in tisku) je postalo pred ekonomsko krizo tridesetih let tako donosno, da je usmerilo televizijo v brezžični razvoj.

Zworykin je med leti 1910-1912 študiral na Tehnološkem inštitutu v St. Petersburgu. Raziskoval je v Rosingovem laboratoriju, kjer je spoznal prednosti elektronskega sistema pred mehanskim. Po diplomi je študiral pri Paulu Langevinu (1872-1946) na Collège de France v Parizu. Med prvo svetovno vojno se je teorijski fizik Langevin ukvarjal tudi z radiotelegrafijo in katodno elektronko, medtem ko je Zworykin podobno delo opravljal v Ruski armadi.



Slika 5. Vladimir K. Zworykin (1889-1982)

Ob koncu 1. svetovne vojne je Zworykin odšel v ZDA. Sprva je delal za Westinghouse, kjer niso bili navdušeni nad modulacijo intenzitete curka elektronov v televiziji z osno simetrično mrežico, kar je Zworykin prijavil 29.12.1923. Zanj je v ZDA dobil patent št. 2141059 šele 20.12.1938. Še kot ruski državljani v službi Westinghousa je leta 1925 patent dvakrat dopolnil. Katodno elektronko je predelil s ploščo s 33 plastmi iz različnih snovi, ki je nadomeščala fluorescentni zaslon. Plošča je bila iz aluminija ali drugega dobrega prevodnika. Na njej je bila naprej plast izolatorja, aluminijevega ali magnezijevega oksida. Sledila je tanka plast fotoobčutljivega kalijevega hidrida, ki ga je napolnil do sive

barve, medtem ko bi bil pri večjih debelinah srebrn. Nanj je za kratek čas spustil vodik tako, da je dobil spojino svetlo modre barve, ki še ni prešla v vijolično.

Vsaka kroglica kalijevega hidrida je delovala kot fotocelica. Mozaični zaslon za zeleno, modro in rdečo barvo je postavil med leče. Fotoefekt na vsaki kroglici kalijevega hidrida je bilo pravzaprav prevajanje med kroglicami in mrežo. Elektroni s kalijevega hidrida niso prišli na zaslon zaradi vmesnega izolatorja, tako da je tok tekel samo med zaslonom in mrežico. Moduliralne je v skladu z generiranim tokom, ojačeno s triodo in oddan v anteno.

Zworykin je uporabljal izmenični tok frekvence 16 Hz, slike pa je menjaval dvakrat hitreje, po 32 na sekundo. Zaslone so bili iz spojin, občutljivih na različne barve, npr. cesijev klorid za rdečo (Zworykin, 1927, 1, 3, 5).

Od 18.11.1927 in v letu 1928 so opravili prve televizijske oddaje v ZDA (Swift, 1950, 61). 16.11.1929 je Zworykin na sestanku I.R.E. v Rochesterju (New York) poročal o kineskopu, ki ga je patentiral 22.2.1938 v ZDA pod št. 2109245. RCA, katere častni podpredsednik je postal leta 1954, je imela že tedaj na voljo delujoč televizijski sistem in potrebna finančna sredstva. Vendar je finančni zlom oktobra 1929 odložil trženje že končane tehnologije.

Leta 1930 je Zworykin postal vodja elektronskega laboratorija pri RCA, ki se je leta 1919 razvila iz Marconi-jevega podjetja v ZDA. 13.11.1931 je razvil "ikonoskop" in dobil zanj v ZDA patent št. 2021907 26.11.1938. Ikonoskop ni zmožel več kot 240 vrst, kljub temu pa je prvi našel praktično uporabo. Slika se je prenašala na mozaik medsebojno izoliranih srebrnih kroglic, ki so fluorescirale zaradi dodanega cesija. Kroglice so bile obenem fotokatode in plošče kondenzatorja. Druga stran podlage iz sljude je bila prekrita s kovinsko elektrodo, ki je bila obenem druga plošča kondenzatorja.

Vsak element slike je imel svojo fotocelico (kondenzator), tako da je bila gostota zrn mozaika okoli 100000 na  $\text{cm}^2$ . Osvetlitev fotocelice je bila odvisna od svetlosti pripadajočega elementa. Fototok je nabil kondenzator. Med rotacijo elektronskega žarka, ki ga je ikonoskop uporabljal kot komutator, so se kondenzatorji eden za drugim praznili preko upora. Padci napetosti na uporu so ustrezali svetlobni jakosti na posameznih elementih slike. Signale so nato ojačili in z njimi modulirali nosilni val. Ideje so leta 1931 razvili pri RCA s stroški 4 milijonov dolarjev in z njo po letu 1934 izpodrinili mehansko televizijo.

Pri analizatorju slike se je prenašala scena projicirala na fotokatodo. Tok fotoelektronov iz katode se je odklanjal s pravokotnima magnetnima poljema tako, da so šli skozi odprtino v zaporedju elektroni iz različnih elementov slike vzdolž skenirane črte in generirali slikovni signal. Nemški patent analizatorja Dieckmanna in R.Hella z dne 5.4.1925 št. 450187 je izboljšal Philo T.Farnsworth iz San Francisca s patenti št. 1773980 (7.1.1927) in št. 1986330 (17.4.1928). Dodal je longitudinalno magnetno polje za fokusiranje vzporedno osi, s katerim je dosegal ostro elektronsko sliko v ravnini odprtine. Ideje je dobil z branjem popularnih razprav Rusa Rosinga, ki je tudi po tej strani vplival na razvoj televizije v ZDA.

Leta 1931 je Farnsworth skeniral 200 000 elementov slike treh ljudi velikosti 4 x 2,75 inčev z izmenično

žagasto napetostjo frekvence 12 Hz in 4800 Hz. Oddajnik je bil Braunova elektronka z mrzlo katodo v visokem vakuumu in majhno fotokatodo na posrebnem steklu. Le majhen del fotokatore ni bil osenčen pred tlivno razelektrivijo. Fotokatodi vzporedna anoda je bila iz tanke plasti volframa na tankem okvirju iz volfram-niklja. Zaščita je bila tanka plast platine na notranji strani elektronke. V ravnini fotocelice je bil fluorescentni zaslon. Elektrone je pospeševal z napetostjo okoli 500 V in odklanjal s transverzalnimi magnetnim poljem.

Z izmenično žagasto napetostjo frekvence 3000 Hz in 15 Hz je skeniral 200 črt s 15 slikami na sekundo. Sprejemnik je bil "oscilit", podoben Zworykinovemu, z dvema medsebojno pravokotnima tuljavama. Anodna v obliki cevi je bila v gorišču elektronov, ki so leteli z oddajnika ali vlakna. Naprava je dajala boljšo sliko od mehanske televizije iz Bellovih laboratorijev. Konec leta 1931 so prodajali Farnsworthovo televizijo po 50 angl. funtov, adapter pa za dodatnih 20 funtov. Naprava je imela trajnost 1000 ur, cena obnove pa je bila 2-3 funte (Dinsdale, 1931, 286-288).

Farnsworthov analizator slike je dolgo tekmoval z Zworykinovim sistemom, dokler slednjemu 20.12.1938 niso priznali patenta (Zworykin, 1958, 18-19; Settel, 1978, 42, 53 in 55).

Naslednjih 30 let se niso mogli znebiti efekta ionizacije plinov zaradi preslabega vakuuma v katodni elektronki. Zato so uporabljali posebne "zanke" za ione, da bi preprečili destruktivno razprševanje z oksidom prekrte katode zaradi pozitivnih ionov, nastalih v elektronskem curku. Dokler niso dodali zaslona iz aluminija v katodno elektronko, so hitri negativni ioni večkrat prežigali središče fosfornega zaslona (Lafferty, 1981, 227-228).

Nezaželeni vpliv sekundarne emisije so v Zworykinovem laboratoriju pri RCA odpravili v ortikonu leta 1939 z uporabo počasnega komutacijskega žarka, ki pada povsod pravokotno na mozaik. Januarja 1946 so pri RCA razvili še 100 do 1000 krat občutljivejši slikovni ortikon. Super ortikon je prišel v uporabo leta 1947, manjši vidicon pa leta 1950 (Vadim, 1947, 168; Zworykin, 1958, 18; Ustinov, 1989, 121-123).

## Televizija v Sloveniji

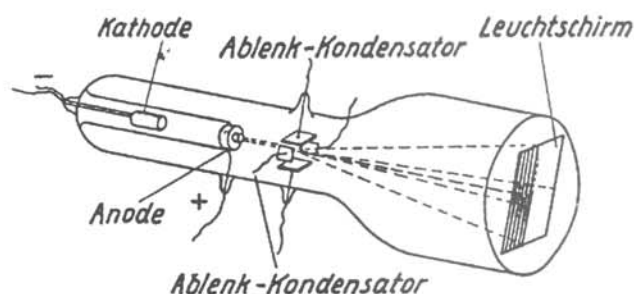
Hrvat Josip Sliškovič, inženir in univerzitetni profesor na Dunaju, je prvi v Avstriji prikazal televizijo lastne izdelave, s katero je lahko prenašal sence. Za skeniranje slike je uporabljal Nipkovo ploščo in fotocelico. O svojih izumih je predaval po vseh večjih mestih monarhije, tudi v Ljubljani (Codelli, šk.19).

Codelli je v Ljubljani razvijal svoj televizijski sistem v sodelovanju z Arcom, ki je bil direktor Telefunkna, od leta 1903. Prijateljela sta od leta 1907, čeprav je bil Codelli predvsem samouk, Arco pa je doktoriral v Strassburgu in bil med leti 1896- 1898 asistent Adolfa Carla Heinricha Slabyja (1849-1913), profesorja elektrotehnike na visoki tehnični šoli v Charlottenburgu. 12.1.1908 je Codelli predložil skeniranje televizijske slike z zrcali Wehneltovega valja s selenovimi celicami. Arco se je posvetoval s sodelavcem J.Schoemlichom in 28.1.1908 odgovoril, da je selen premalo občutljiv za svetlobo, da bi lahko sledil hitrim spremembam svetlobe in da bi bila dobljena slika premalo ostra (Arco, 1908, 3; 1930; Codelli, 1977, 120).

Baron Anton Codelli je bil rojen 22.3.1875 v Neaplju v družini italjanskega rodu, ki se je v 16.stoletju naselila v Gorico. Leta 1700 so kupili še Kodeljevo pri Ljubljani in ga obdržali do leta 1945.

Baron Anton Codelli je maturiral na dunajskem Theresianumu. Leta 1894 je po zgledu pokojnega očeta stopil v avstrijsko vojno mornarico, kjer je ostal do leta 1897. Leta 1906 je opravil šestmesečni strokovni tečaj pri Telefunknu. Umrl je leta 1954 v Portu Roncu pri Asconi v Švici. Decembra 1995 mu je bila odkrita spominska plošča na nekdanji Codellijevi graščini Turn na Kodeljevem.

Svoja raziskovanja televizije je Codelli nadaljeval na Arcovo spodbudo 14.12.1927. Sodeloval je z Schröterjem, direktorjem raziskovalnega oddelka Telefunkna v Berlinu med leti 1920- 1947, ki je že pred 1. svetovno vojno delal poskuse s katodnimi "žarki" v tlivki. V prvi strokovni razpravi v novi reviji Fernsehen je Schröter tako za sprejem, kot za skeniranje slike predložil uporabo katodne elektronke, polnjene z argonom pri tlaku stotinko ali tisočinko mm Hg (Schröter, 1930, 246 in 4). V istem volumnu Fernsehen je Codelli opisal svoj televizijski sistem brez katodne elektronke.



Slika 6. Skica Braunove katodne elektronke iz Schröterjeve razprave (1930, Fernsehen)

Schröter je 27.9.1930 prijavil patent za predvajanje "polovičnih" slik z zaporednim menjavanjem sodih in lihih vrstic, ki so ga v Nemčiji priznali 23.3.1933. Skupaj s Knollom je raziskoval prenos elektronskih slik v Telefunknovem televizijskem laboratoriju v Berlinu in objavil več knjig in zbornikov o televiziji.

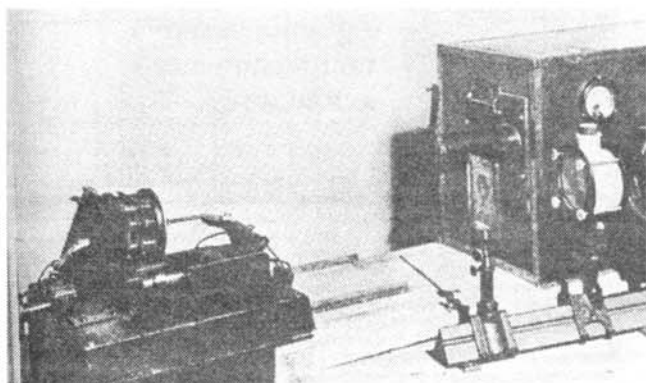
Codelli je 18.5.1928 v Nemčiji patentiral predvajanje slik vzdolž spirale. 22.6.1928 je zaključil pogajanja s Telefunknom, ki sta ga zastopala Schapira in Schröter. Telefunknen je odkupil 60% delež pravic do Codellijevega televizijskega sistema za cel svet razen ZDA. Do tedaj je imel Telefunknen v lasti le Karolusov televizijski sistem, ki ga je nameraval dopolniti s Codellijevimi izumi (NUK, III (155)).

14.11.1928 je Codelli poslal Schröterju opis svoje televizije s Kerrovo celico podobno kot v sistemu Karolusa. S Codellijevo pomočjo so napravo sestavili v Berlinu v šestih mesecih. 22.6.1929 je direktor dr.Karel Schapira pri Telefunknu izdal laboratorijsko potrdilo o



Slika 6. Anton Codelli (1875-1954) in kopija Codelli-jevega podpisa pod zapisnikom o pregovorih s Telefunknom, ki sta ga 22.6.1928 zastopala Shapira in Schröter, NUK, sign.ms 1397,iii(155).

izdelavi prototipa televizije po Codellijevem patentu, za katerega je bilo odobreno 25300 mark, od tega 13000 za odškodnino Codelliju in za njegovo potovanje v Berlin. Končna cena naprave je bila skoraj dvakrat višja (Codelli, šk.19; NUK, 141, Nr. 3458 in Nr. 3408 III).



Slika 7. Codellijev televizor iz leta 1930 (Sitar, 1987, 65)

17.1.1930 je Codelli opisal skeniranje z Nipkovo ploščo z dvema spiralama lukenj v skupno 25 kolobarjih. Za njima sta bili postavljeni Schröterjevi fotocelice, ki sta delovali izmenoma. Naprava je prenašala 12,5 slik s po 2500 elementi v sekundi. Tokove fotocelic je ojačeval de Forestov audionom, izdelan pri Telefunknu. Namesto Nipkovich plošč je lahko uporabil tudi L.Weillerjevo zrcalno kolo, prvič izdelano leta 1889 (Friedel, 1930, 15; Codelli, 1930, 110-111; Grabnar, 1977, 112).

Pri spiralnem skeniranju se je že majhna razlika v fazi na zunanjem robu poznala v središču slike, medtem ko se pri navadnem skeniranju fazne razlike same izničijo. Zato sta morala biti dušenje in frekvenca lastnega nihanja zrcala na sprejemni in oddajni strani Codelli-

jevega sistema natančno enaki, kar je bilo za tedanjo tehnologijo praktično neizvedljivo (Schröter, 1932, 52-53).

Snemanje slike z mehničnim skenerjem z zaznavno vztrajnostjo je povzročalo izgube in poškodbe slike. Le pri snemanju vzdolž spirale v Codellijevem sistemu so lahko točno prenašali slike v mehanski televiziji (Ardenne, 1932, 18).

Svojo stereoskopsko električno "daljno videnje" je Codelli med leti 1928-1931 patentiral v vseh pomembnejših evropskih središčih in v Kanadi, ne pa tudi v ZDA. Predsednik ljubljanske sekcije "Udruženja inženirjev in arhitektov" Milan Šuklje je 10.11.1933 menil, da je Codellijev odvetnik Abrahamson naredil napako, ko je zamudil rok 23.1.1931 za vlogo in plačilo zahteve za patent v ZDA. Zaradi nepravilne vloge 25.6.1927 in 29.12.1930 pod št. 60718 so Codellijev patent v ZDA zavrnil 18.8.1932. Kljub temu je multimilijonar in mecen Nikole Tesle (1856-1943) J. Pierpont Morgan iz Shortwave and TV Corporation 11.10.1932 prosil Codellijeva washingtonskega odvetnika Emila Bönnellycka za podatke o Codellijevem patentu. Vendar je pozneje Morgan 20.1.1933 zavrnil odkup Codellijevga patenta (Grabnar, 1977, 113).

52

Schröter, Zerlegungsmethoden des Fernsehens.

Gedanke der Spiralzerlegung ist jedoch später in verschiedenen Formen wieder-gekehrt. Zum Teil handelt es sich dabei um Optiken, in denen prismatische Körper oder gekreuzte Schlitze mit verschiedener Geschwindigkeit rotieren<sup>1</sup>. Gegen diese Vorrichtungen bestehen die in den Abschnitten D und G erhobenen Bedenken. Statt solcher erzwungenen Bewegungen des optischen Systems benutzt A. von Codelli<sup>2</sup>, um trotz großer spiegelnder Flächen mit geringer Antriebsleistung auszukommen, die freie, gedämpft abklingende Kreis-schwingung des zuvor von einem Drehfelde mittels Resonanz aufgeschaukelten Hohlspiegels (von 80 mm Durchmesser!). Da dieses aus Nachdenken über die

Slika 8. Schröterjev opis Codellijevga dela, objavljen v Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens, 1932, 52)

#### ÜBER HELLIGKEITSSTEUERUNG BEI KATHODENSTRAHL-RÖHREN UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG EINER NEUEN METHODE

von Manfred von Ardenne

Bei allen Fernsehverfahren, bei denen auf der Sendeseite mechanische, d. h. mit erheblicher Trägheit behaftete Zerleger angewendet werden, oder bei allen Verfahren, wo grundsätzlich mit der An-

spaltungen im Bilde führen, hat der Verfasser bereits früher an dieser Stelle hingewiesen. Höchstens in der Durchführung einer Spiralablastung (Codelli) läßt sich die Aufspaltung durch Trä-

Slika 9. Ardennejev citat Codellijevga dela (Fernsehen, 1932, 18)

Codelli je prvi na slovenskih tleh začel uporabljati katodno elektronko v televiziji šele v sodelovanju z ljubljanskim trgovcem z elektroopremo in radijsko tehniko Francijem Barom. Codelli je 14.3.1930 v odgovor na mesec dni starejše Schröterjevo pismo sporočil, naj televizijsko opremo iz Berlina dostavijo kar na Barov naslov na Mestnem trgu 5/1 v Ljubljani (Grabnar, 1977, 112; Codelli, ARS, šk.19 in NUK, 134).

Schröter je 11.5.1928 v Berlinu še razstavljal mehanski sistem, avgusta 1930 pa je že zagovarjal uporabo katodne elektronke. Tako sta Schröter in Codelli približ-

no istočasno sprejela "ameriško" inačico elektronske televizije, ki je pozneje prevladala.

Da bi se uveljavil v ZDA, je Codelli poleg mehanskega skeniranja in premičnih optičnih naprav kot tretjo možnost opisal povsem elektronsko televizijo brez premičnih mehanskih delov (Codelli, str. 12, 15). Uporabil je Farnsworthovi podobno Braunovo elektronko s fotokatodo (str. 16). Sliko je reproduciral z močno Braunovo elektronko, ki je imela obliko lijaka s preluknjano anodo in rahlo izbočenim fluorescentnim zaslonom. Katoda v obliki konkavnega zrcala je imela gorišče sredi zaslona (str. 38, 75). Snemalna elektronka je bila steklena posoda, pregrajena s stekleno ploščo v dva izpraznjena prostora, od katerih je bil drugi Braunova elektronka z vročo katodo (str. 44, 77-78).

Codelli je tudi v elektronski inačici obdržal osnovno idejo snemanja in sprejemanja slike vzdolž spirale tako, da je imela slika gostejše elemente v sredi kot na robovih (str. 40, 50, 75). Ideja je temeljila na fiziologiji očesa (str. 4-7), med prvimi pa jo je uporabil Britanec Alexander McLean Nicholson 7.12.1917 in 16.10.1923 v patentu št. 1470696 v New Yorku, ZDA. Za sprejemnik je uporabil Braunovo cev, v kateri je curek elektronov na fluorescentnem zaslonu risal sliko po Arhimedovi spirali. Dipl.ing. Paul Kirchhoff iz Frankfurta na Maini je svojo inačico, predloženo 6.9.1925, zaradi nasprotovanja Codellija in Telefunkna patentiral šele 14.8.1936 v Berlinu (Schröter, 1932, 51-52; Codelli, šk.19).

Razvoj televizijske tehnike po drugi svetovni vojni je bil v Sloveniji in tudi v Jugoslaviji povezan z dejavnostjo Instituta (pozneje Industrije) za elektrozveze v Ljubljani, ki je bil uradno ustanovljen v začetku leta 1948. Sprva so v njem delali tudi nemški strokovnjaki, med domačimi pa predvsem Wedam, organizacijski in tehnični vodja TV-laboratorija od poletja 1949 ali 1950. Kupili so super ortikon od RCA in upeljali 625-vrstični sistem Švicarja Gerberja, sicer zasnovan v Sovjetski zvezi. Na razstavi leta 1953 v dvorani TVD Partizan na Taboru v Ljubljani so improvizirali majhen TV studio s super ortikonom kot edino snemalno kamero (Wedam, 1993, 50-51). Avgusta 1956 so ob mednarodni razstavi elektrone v Ljubljani začeli predvajati slovenske filme, ki so jih oddajali s stolpa na Ljubljanskem gradu. Redne javne televizijske oddaje v Ljubljani so se začele 11.10.1958.

## Pregled stanja 100 let kasneje

Iz zgodovinskega pregleda razvoja televizije oz. katodne elektronke, kot enega od bistvenih sestavnih delov, so razvidna področja, kjer so se ideje najtežje spreminjale v delujočo in "ubogljivo" napravo. Po sto letih so rezultati obilno pomnoženi in razvejeni. Opis stanja danes je zaradi silovitosti razvoja zadnjih desetletij skoraj nemogoč, tveganje, da podatki ne izgubijo aktualnosti v času od pisanja do izida v reviji, veliko.

Razvrstitev elektronk, povezanih s televizijo, na katodne (za prikaz slike) in slikovne elektronke (za snemanje) je res najosnovnejša delitev glede na princip delovanja oz. funkcijo. Dodatno merilo delitve pa je namen uporabe: ali profesionalna ali široko tržišče.

Pri slikovnih elektronkah je ostala skoraj izključno profesionalna uporaba v vrhunskih studijskih kamerah, v cenениh kamkorderjih je snemalna komponenta polprevodna CCD ploščica s površino okoli 1 cm<sup>2</sup>. Pri

katodnih elektronkah so razmere drugačne: široko tržišče v milijonih elektronk na leto je pokrito z razmeroma skromnim številom tipov, od katerih je za TV standard izbranih le nekaj formatov v razmerju osi X:Y=3:2, diagonale pa so 37, 55, 63, 72 cm itd., HDTV (High Density Television) s predloženim formatom X:Y=16:9 se šele uvaja. Druga obsežna niša so računalniški monitorji s še skromnejšim izborom standardnega formata 3:2 in diagonalami: 14, 15 in 17 inč.

Bistveno pestrejše je področje profesionalne uporabe katodnih elektronk, ki zajema nekaj specializiranih področij: vojaški sistemi, navigacija letalskega in pomorskega prometa, merilna civilna tehnika, medicinske diagnostične naprave, računalniški monitorji za različne specifične namene, projekcijski TV monitorji itd. Formati so tu skoraj poljubni: od linijskega formata z eno samo osjo odklona do radarskih okroglih zaslonov z linearnim in krožnim odklonom. Diagonala slike sega od 1,3cm (=1/2 inče) pri naglavnih zaslonih (HUD, angl. head-up display) do premera nad 90 cm. Poleg uporabe kot barvni zaslon se katodne elektronke še vedno pogosto uporabljajo za prikaz črno-bele slike. Razlogov je več: slika je ostrejša in v barvni lestvici ni nujno bogatejša, ali pa je prednost drugje: manjša poraba električne energije, masa, enostavnost itd.

Tudi principov zapisa slike oz. simbolov je več: poleg skeniranja z dano frekvenco, ki je v uporabi v TV in računalniških monitorjih, še vektorski način (angl. stroke write), primeren za grafični prikaz simbolov, npr. za velike monitorje za CAD (angl. computer aided design), ki da mirnejšo in ostrejšo sliko linij in direkten časovni izpis signala, kar je v uporabi pri osciloskopih; danes je frekvenčno območje pri več deset GHz. V uporabo je prišlo več načinov izboljšave kontrasta: z antirefleksnimi in ozkopasovnimi spektralnimi filtri. Oba načina omogočata uporabo v najbolj neugodnih svetlobnih razmerah.

Načini prikaza so: direktno gledanje zaslona, projiciranje slike zaslona elektronke na opazovalni zaslon, ki je prepusten ali polprepusten, ki omogoča superpozicijo slike zaslona na poljubno ozadje, npr. že omejnjeni HUD. Razvile so se tehnike stereoskopskega (3D) opazovanja dveh slik, posnetih s specialno tehniko, ki se bo iz ozkih niš (aviacija, medicina) razširila na obetavno širše področje za prikaz navidezne resničnosti.

Ločljivost monitorjev, izražena s številom naslovljenih svetlobnih točk, danes že presega 4 milijone (kar ustreza 2000 vrsticam) s polnim spektrom barv. Težave nastopijo seveda pri procesiranju in prenosu signala, ki je potreben za naslovitev vseh teh točk.

Svetlost slike, potrebna za sprejemljivo dobro dojetje informacije, je lahko samo nekaj deset cd/m<sup>2</sup> pri okularnih monitorjih do 10000 cd/m<sup>2</sup> pri projekcijskih elektronkah, vendar je zahtevnost doseganja posameznih nivojev skrita za mnogimi dodatnimi parametri, kot je npr. anodna napetost itd.

Zahteve posamezne zvrsti elektronk se med seboj dokaj razlikujejo, zato je absolutne meje težavnosti izdelave težko postaviti enolično. Zamislimo si naslednji zgled. Impregnirana katoda z emisivnostjo nekaj 10 A/cm<sup>2</sup> se pri enaki obremenitvi lahko uporabi za: izboljšanje svetlosti ali ločljivosti ali velikosti zaslona. Posamična katodna elektronka pa ima izboljšano lastnost, kjer v končnih številskih vrednostih posameznih

količin vpliv same katode ni več prepoznaven. Enako velja za izboljšane nove tipe luminoforjev. Večji svetlobni izkoristek se kaže lahko: ali v večji končni svetlosti ali v boljši ločljivosti ob enaki svetlosti. Luminoforji, kjer so aktivatorji redke zemlje, so zaradi ozkega spektralnega izseva primernejši za monitorje z dobrim kontrastom kot navadni širokospektralni z večjim izkoristkom itd.

Katodne elektronke, uporabljene v vojaških sistemih, imajo poleg strogih optoelektronskih meril poudarjene zahteve za mehansko vzdržljivost na udarce in vibracije. Uporabnost v širokem razponu temperatur (od -40 do +70°C) jih še vedno uvršča med nenadomestljive, saj npr. LCD zaslone odpovedo v okolici 0°C.

Družina katodnih elektronk zajema skoraj nepregledno veliko tipov, z množico formatov in drugih prilagoditev za specialno uporabno okolje. Mnoge izboljšave, ki smo jim priča, so prišle do izraza ob pomoči zmogljive elektronske podpore, ki lahko nekatere hibe samih elektronk občutno popravi, npr. geometrijska korekcija odklonov, elektronsko optičnih aberacij, stabilnosti in korekcije barv itd.

Ob današnji razširjenosti in odličnim, pogosto izjemnim lastnostim jim je za naslednjih deset let, kljub prodoru ploščatih zaslonov, uporabnost zajamčena. Ob hitrem napredku na vseh področjih pa je napoved za še daljše obdobje nemogoča. Iz zgodovinskega pregleda razvoja televizije, oz. katodne elektronke kot enega od bistvenih sestavnih delov, so razvidna področja, kjer so se ideje najtežje spreminjale v delujočo in ubogljivo napravo.

## POMEMBNEJŠI DOGODKI V RAZVOJU TELEVIZIJE

dogodki v svetu

### *slovenski prispevki*

- 1817 Berzelius odkrije selen
- 1837 Becquerel odkrije fototok ob osvetlitvi selena
- 1843 Bainov slikovni telegraf
- 1845 Faraday odkrije sukanje polarizacijske ravnine svetlobe v magnetnem polju
- 1847 Bakewellov kopirni telegraf
- 1851 Hittorf razišče prevodnost selena
- 1858 Plücker odkrije odklon katodnih "žarkov" v magnetnem polju
- 1863 Caselli prvi praktično prenese slike od Pariza v Lyon
- 1869 Hittorf razišče svetlobne pojave v Geisslerjevi cevi
- 1881 Ayrton in Perry uporabita Faradayevo odkritje iz l. 1845
- 1883 Edison patentira termoiionsko emisijo
- 1884 Nipkova plošča
- 1887 Hertz odkrije fotoefekt
- 1890 Fleming pojasni Edisonovo odkritje termoiionske emisije
- 1893 fotocelica Elstra in Geitla
- 1897 Braun objavi prvo razpravo o katodni elektronki
- 1904 Wehneltova nizkonapetostna katodna elektronka
- 1906 de Forestova trioda

- 12.9.1906 (št.190102, Nemčija) Dieckmann in Glage uporabita katodno elektronko za prenos črk in risb
- 1907 Rosenthal uporabi fotocelico v svetlobni telegrafiji
- 1907 Rosingova televizija v St.Petersburgu
- 1908,1911 Campbell-Swintonova televizija v Angliji
- 1910 Liebenova trioda

### **1912 Nardinov rele**

- 1919 Mihály predstavi svoj TV sistem v Budimpešti
- 1922 Arthur Korn (r.1870) prenaša podobe čez Atlantik
- 29.12.1923 (št.2141059, ZDA,20.12.1938) Prvi Zworykinov patent TV
- 21.6.1924 (št.471720, Nemčija) Karolusov TV sistem
- 1924 Ardennejev sprejemnik in oddajnik s katodno elektronko
- 1925 Biard prenaša enostavne slike več kilometrov daleč
- 21.3.1925 (št.1642730, ZDA, 20.9.1927) Jenkins prenaša enostavne slike več kilometrov daleč
- 8.11.1925 Radiotelefof v Leningradu
- 18.10.1926 Bushove enačbe za gibanje elektronov v polju
- 7.1.1927 (št.1773980, ZDA) in 17.4.1928 (št.1986330, ZDA) Farnsworthov analizator
- 1928 Richardson dobi Nobelovo nagrado za raziskovanje termoiionske emisije
- 1928 Mihályjeva ter Karolus-Schröterjeva televizija v Berlinu

### **18.5.1928 (Nemčija) Codellijev TV sistem**

- 1929 predstavitev barvne TV v Bellovih telefonskih laboratorijih
- 16.11.1929 (št.2109245, ZDA, 22.2.1938) Zworykinov kineskop
- 27.9.1930(Nemčija,23.3.1933) Schröterjev prenos "polovičnih" slik
- 13.11.1931 (št.20021907, ZDA, 26.11.1938) Zworykinov ikonoskop

### **1932 Šlebingerjeva patenta**

- 1935 sprejemnik za barvno televizijo Avstrijca J.Naglerja
- 1946 ortikon
- 1947 super ortikon

### **1948 Institut za elektrozeve v Ljubljani**

- 1950 vidicon
- 1952 barvna televizija pri RCA: Ernest Orlando Lawrence (1901- 1958), Luis Walter Alvarez (r.1911) in Edvin Matisson McMillan (r.1907)
- 11.10.1958 prve javne TV oddaje v Ljubljani**

(opomba: številke v oklepaju zadevajo patente z datumi priznanja)

## LITERATURA

- Arco grof Georg, Pismo Codelliju iz Berlina v Ljubljano, 28.1.1908, 4 strani
- Pismo Codelliju iz Berlina na Dunaj, 23.4.1908, 3 strani (Codelli, šk.20)
- Pismo dr.Schapiri od Telefunkna, 15.9.1930, 2 strani (Codelli, šk.19)



- Ardenne Manfred von (r.1907), Verstärkermesstechnik, Instrumente und Methoden, Julius Springer, Berlin, 1929  
Die Braunsche Röhre als Fernsehempfänger, *Fernsehen*, 1 (1930) 193-202  
Zur Anwendung ultrakurzer Wellen für das Fernsehen, *Fernsehen*, 1 (1930) 390-392  
Über neue Fernsehender und Fernsehempfänger mit Kathodenstrahlröhren, *Fernsehen*, 2 (1931) 65-80  
Über fortschritte beim Fernsehen mit Kathodenstrahlröhren, *Fernsehen*, 2 (1931) 173-178  
Über Helligkeitssteuerung bei Kathodenstrahlröhren, *Fernsehen*, 3 (1932) 18-29  
Über eine indirekt geheizte Kathode für Braunsche Röhren, *Fernsehen*, 1 (1930) 67-69
- Baird John Logie (1888-1946), Television, a description of the Baird system by its inventor, *Wireless Word and Radio Review*, (21.1.1925) 533-535  
Improvements in or relating to the Transmission and/or Reproduction of Views, Scenes or Images by Wires or Wirelessly, Britanski patent št.266,564, prijavljen 1.9.1925 pod št.21,846/25, dopolnjen 1.7.1926, sprejet 1.3.1927
- Barancev A.I in V.A.Urvalov, Tehničeskie aspekti značenije radiote-flota B.L.Grabovskogo v istorii televidenija, *VIET*, 2 (1986) 130-38
- Borchardt dr.Curt (Charlottenburg), Historischen Daten aus der Vorgeschichte des Fernsehens, *Fernsehen*, 1 1930, 94-95
- Codelli baron Anton pl.Fahnenfeld (1875-1954), ROKOPISNO GRADIVO: Arhiv R Slovenije, fond graščinski arhiv, Gr A XVIII (citirano kot: Codelli)  
in: Narodna in univerzitetna knjižnica, rokopisni oddelek, sign.MS 1397 (citirano kot: Codelli, NUK).  
Ein neues Fernseh-System, *Fernsehen* 1(1930), št.3, str.107-114  
Codellijeva pisma Arcu 12.1.1908, nedatirano (februar-marec 1908) in 20.12.1927 (Codelli, šk.14). Prevod v: Dokumenti Slovenskega gledališkega muzeja, Ljubljana, 13 (1977) št.29, str.118-121  
3 strani dolg zapisnik pogajanj med Codellijem in Telefunknom z dne 22.6.1928 (Codelli, NUK, (155) III)  
Codellijevo pismo Schröterju, 14.11.1928, 9 strani (Codelli, šk.19)  
Specifikacija s patentnimi zahtevki, 17.1.1930, nemški tipkopis in angleški prevod na 15 straneh s 17 patentnimi zahtevki na 5 straneh in 6 skicami na 2 straneh (Codelli, šk.19)  
Codellijev 60 strani dolg angleški tipkopis z 62 patentnimi zahtevki na nadaljnjih 20 straneh, nedatiran (26.4.1930?) (Codelli, šk.19)
- Dember Harry (1882-1943), Über eine Beeinflussung der lichtelektrischen Elektronenemission durch Bestrahlung mit Kathodenstrahlen, *Z.Phys.* 33 (11.6.1925) 529-532
- Dieckmann Max (r.1882) in Gustav Glage, Verfahren zur Übertragung von Schriftzeichen und Strichzeichnungen unter Benutzung der Kathodenstrahlröhre, Patentschrift Nr.190102, 12.9.1906
- Dinsdale, A., Television by Cathode Ray, The New Farnsworth System, *Wireless Word and Radio Review*, 28 (1931) 286-288
- Friedel dr.W, Die geschichtliche Entwicklung des Fernsehens, *Fernsehen*, 1 (1930) 12-17
- Goebel Gerhard, Die Fernseh-Start in Deutschland, *Funkschau*, 19 (1978) 906-909
- Grabnar Boris, Nenavadni baron na Kodeljovem, Dokumenti Slovenskega gledališkega muzeja, Ljubljana, 13, št.29 (1977) str.110-114
- Ives Herbert E., Television, patent v ZDA št.1,738,007, prijavljen 20.5.1926 pod št.110,378, sprejet 3.12.1929
- Jenkins Charles Francis, Twin light-cell transmitter, patent v ZDA št.1,642,730, prijavljen 21.3.1925, sprejet 20.9.1927
- Južnič Stanislav, Anton III. baron Codelli - "izumitelj" televizije ?, *Kronika*, 30 (1982) 25-31  
Zgodovina elektronskega mikroskopa, *Vakuumist*, 14/4 (1994) 20-25
- Kleinert Andreas, Ferdinand Braun et les débuts de la TSF en Allemagne, *Revue d'histoire des sciences*, 46-1 (Jan-Mar 1993) 59- 71
- Lafferty James M, Vacuum: from art to exact science, *Physics today*, 34 (november 1981) 211-231
- Mihály Dežnes von (1894-1953), U"ber die Synchronisierung elektrischer Fernsehapparate, *Fernsehen* 1 (1930) 19-22. 52-57
- Ozvald Branko, Ljubljančan baron Anton Codelli - eden najplodovitejših izumiteljev na Slovenskem. Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike 11 (1991) 121-149  
Baron Codelli - izumitelj televizije, *Življenje in tehnika*, junij 1994, 39-45
- Sawyer W.E., Seeing by electricity, *Sci.American*, 42 (1880) 373-
- Schapira Karel, Pismo Codelliju 20.7.1929 (Codelli, šk.19)
- Schröter Fritz Georg Ernst (r.1886), Die Braunsche Röhre als Fernseher, *Fernsehen* 1 (1930) 4-8  
Aus der Entstehungsgeschichte der Glimmlampe, *Fernsehen*, 1 (1930) 244-249  
Pisma Codelliju 27.10.1928, 31.10.1928, 20.11.1928 in 14.3.1930 (Codelli, šk.19)  
Handbuch der Bildtelegraphie und des Fernsehens, bearbeitet und herausgegeben von F.Schröter, Verlag von Julius Springer, Berlin 1932  
Fritz Schröter in Max Knoll (1897-1969), Elektronische Bild- und Zeichenübertragung mit Isolator- bzw. Halbleiterschichten, *Physikalische Zeitschrift*, 38 (1937) 330-333
- Settel Irving in William Laas, A pictorial history of television, Grosset & Dunlap Inc, New York, 1969. Prevedeni izbor v: Istorija američke televizije, Univerzitet umetnosti, Beograd, 1978
- Siemens Georg, History of the house of Siemens, Karl Alber, Freiburg/Munich, 1957, II.del
- Sitar Sandi, Iz predzgodovine radijske in televizijske tehnike na Slovenskem, Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike, 10 (1989) 163-170. Sto slovenskih tnanstvenikov, Prešernova družba, 1987, str. 64-65
- Swift John, Adventure in vision. The First Twenty-Five Years of Television, John Lehmann, London, 1950
- Šuklje ing.Ivan (1881-1937), Codelli versus Abramsberg, Pisno mnenje o patentiranju Codellijevega izuma v ZDA, 10.11.1933 (Codelli, šk.19)
- Ustinov I.D, B.P.Borisov, Vidajuščisja izobretatel i učenii V.K.Zworykin (K 100-letiju so dnja roždenija), *VIET*, (1989), No 4. str.121-124
- Vadim Murašov, Kratek pregled televizije, *EV*, (1947), 166- 171
- Wedam Albin (r. 1921), Zakaj Codelli ni uspel s svojim televizijskim sistemom?, Dokumenti Slovenskega gledališkega muzeja, Ljubljana, 13 (1977) št.29, str.114-118  
Razvoj televizijske tehnike pri nas. V zborniku: Televizija prihaja, ur. Lado Pohar, RTV Slovenija, Ljubljana 1993, str.49-56
- Zajc Melita, Nevidna vez: rabe radiodifuzne televizije v Sloveniji, Znanstveno in publicistično središče, Ljubljana, 1995
- Zworykin Vladimir Kosma (1889-1982), Improvements in or relating Television Systems, patent v ZDA 13.7.1925 št.1,691,324, patent št.255,057 v Britaniji, prijavljen 3.7.1926 pod št.16,736/26, sprejet 31.3.1927  
The iconoscope-a modern version of the electric eye, *Proc IRE* 22 (1934) 16-32. Ponatis v *Proc.IEEE* 72 (1984) 724-730  
Zworykin in George A.Morton, *Television*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1954  
Zworykin, E.G.Ramberg in L.E.Flory, *Television in Science and Industry*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1958

## ZAHVALA

Za koristne napotke se zahvaljujem Branku Ozvaldu, univ. prof. v pokoju iz Ljubljane in dr. Francu Jurkoviču iz Fakultete za elektrotehniko računalništvo in informatiko v Mariboru.