zo skripta - Doc. Ing. Vladimír Kapoun, CSc.: PŘÍSTUPOVÉ A TRANSPORTNÍ SÍTĚ, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav telekomunikací, 1999, ISBN 80-214-1465-0

**0. PREHISTÓRIA A HISTÓRIA TELEKOMUNIKÁCIÍ**

Potrebu odovzdávať, oznamovať informácie mali ľudia už odpradávna. Spôsoby prenášania informácií však úzko súviseli s technickými prostriedkami, ktoré v danej dobe boli k dispozícii. Spoločnou pre všetky spôsoby bola snaha o rýchle doručenie neskreslenej správy, podľa možnosti v úspornej forme, prípadne aj utajenej, k správnemu adresátovi. Žiaľ, možno konštatovať, že hnacou silou vývoja v tejto oblasti boli hlavne tragické udalosti - vojnové konflikty, alebo ich príprava.

Spomeňme najprv predchodcov telekomunikácií, t. j. vysielanie, prenos, príjem a spracovanie informácií neelektrickými sústavami. Keď vynecháme „poštovú“ službu, t.j. prenos obrazov a písaného slova poslom, používal sa pre prenos informácie priestor, ktorý umožňoval šírenie správ optickou a akustickou cestou.

*Optické signály* sa spočiatku realizovali cez deň dymom, v noci ohňom. K prvým optickým signálom možno zaradiť indiánske dymové signály. Zachovala sa zmienka o ohňovom posolstve po dobytí Tróje gráckym vojvodcom Agamemnónom, ktorý reťazcom deviatich ohňov oznámil túto udalosť svojej manželke Klytaiméstre do Mikén v polovici 13. storočia p.n.l. Prvým oznamovacím systémom, prenášajúcim text bol vynález alexandrijských filozofov Kleoxéna a Démokleitosa v 5. storočí p.n.l., ktorí vo štvorci s 25 poľami používali pochodne, pričom ich umiestnenie v týchto poliach zodpovedalo určitému písmenu. Na utajenie používali už aj šifrovanie. V 4. st. p.n.l. Grék Tacitus zaviedol do ohňovej signalizácie časové kódovanie, keď o význame signálu rozhodoval čas, v ktorom bol oheň založený. Prvý náznak „optickej televízie“ pochádza z prvej polovice 3. storočia, kedy Alexander Veľký nechal umiestniť na maják pri vjazde do prístavu zrkadlo, v ktorom bolo možné sledovať, čo sa deje na blížiacich sa lodiach, pevnine i priľahlých ostrovoch.

V Holandsku sa v rokoch 1566 – 1575 používala signalizácia založená na rôznom postavení krídel veterných mlynov. Systém vlajkovej signalizácie pre námorníctvo, ktorá sa používa dodnes, je pripisovaný vojvodovi z Yorku z r. 1665. Dokonalej vlajkovej signalizácii sa pripisuje úspech bitky pri Trafalgare v r. 1805, kde anglické loďstvo pod vedením admirála Horacia Nelsona zdecimovalo francúzsko-španielsku flotilu. Do tejto spoločnosti patria aj bratia Chappovci z Francúzska, ktorí v r. 1792 vynašli optický telegraf – tachygraf. Išlo v podstate o semafory, kde rôzne polohy ich ramien niesli príslušnú informáciu, neskôr dokonca znaky abecedy, takže bolo možné prenášať ľubovoľne dlhú správu. Už o dva roky nato bola medzi mestami Paríž a Lille realizovaná 210 km dlhá semaforová linka s 23 stanicami. Po tejto linke bola v tom istom roku dopravená správa o dobytí Lille republikánskymi vojskami. Prenos trval 45 minút. V r. 1802 bolo vo Francúzsku už 6 liniek Chappovho telegrafu s 512 stanicami. Pre zrýchlenie prevádzky bol zavedený telegrafný slovník s 92 slovami a krátkymi vetami z nich vytvorenými. Princíp semaforov sa začal používať najmä na železnici, a to už od spustenia prvej koľajovej, parným strojom ťahanej a verejne prístupnej železnice v r. 1825 na trati Stockton-on-Tees - Darlington v Anglicku.

*Akustické signály* mali oproti optickým nevýhodu, čo sa týka dosahu aj pomalšieho šírenia. Médovia okolo r. 600 pr. n. l. zaviedli na šírenie rozkazov vladára Kyaxara reťaz volačov, čo zrýchlilo prenášanie správy 30-krát (o jej skreslení sa nehovorí). V záznamoch o galskej vojne z r. 58-50 pr. n. l. sa nachádza zmienka o linke „volačov“, pomocou ktorej správa prekonala za 1 hodinu 20 km. Prvý mechanický zosilňovač zvuku sa pripisuje Athanasisovi Kircherovi, který okolo r. 1650, vďaka náhodnému odpočúvaniu pri vyústení dymovodu, vynašiel zvukovod lievikovitého tvaru – hlásnu trúbu. Za prvé pokusy o prenos hlasu po vedeniach možno považovať tiež pokusy Angličana R. Cooka s napnutou niťou v r. 1667 (uvádza sa dĺžka 211 m). Niť bola zakončená krabičkami tvoriacimi mechanicko-akustické meniče. Dorozumievanie kovovým potrubím uskutočňoval v r. 1782 Španiel Dom Gauthey. Podobne Nemec G. Huth v r. 1796 robil pokusy s prenosom akustického signálu trúbkou. Výhodou oproti niti, ako média, bolo to, že prenos sa mohol uskutočniť aj za „roh“. Tento spôsob bol najviac rozšírený na lodiach.

V súvislosti s vyššie uvedeným zvukovodom, ktorý by sme trochu prehnane mohli považovať za predchodcu vlnovodu, môžeme uviesť príhodu, ktorú možno považovať za inteligentný vtip: Kapitán zo svojho mostíka volá zvukovodom do kotolne lode: „Koľko ?“ Z kotolne sa ozve: „Tridsať!“ Kapitán: „čoho tridsať?“ Odpoveď: „Čoho koľko?“ Príhoda ukazuje, aká dôležitá je presnosť vyjadrovania.

Skutočné telekomunikácie vznikli v súvislosti s vynálezmi v oblasti elektrotechniky. První zmínky o magnetizmu pochází z 6 století př.n.l. a připisují se Řekovi, jednomu ze sedmera mudrců, Thálesu z Mílétu (624-543př.n.l.). Ten pozoroval přitažlivé účinky jantaru třeného liščím ohonem. Ale až koncem 16. století Angličan William Gilbert objevil mimo jiné zemský magnetizmus a ve své knize „De madnete“ z r. 1600 zavedl také pojem „elektrický“ a dokumentoval svoje pokusy s elektroskopem, v němž se otáčela jehla jako magnetka kompasu. V 17. a 18. století prováděla řada lidí pokusy s elektřinou a magnetismem. Využití elektřiny ke sdělovacím účelům použil poprvé Švýcar Louis Georges Lasage v r. 1774, který sestrojil přístroj, založený na principu odpuzování zelektrizovaných kuliček, které byly označeny písmeny abecedy a uváděny do pohybu nábojem z třecí elektriky. Dostáváme se k *telegrafu,* kterýžto výraz poprvé použil, v souvislosti s návrhem neuskutečněného opticko-akustického sdělovacího systému mezi Vídní a Bratislavou, slovenský hudebník Jozef Chudý v díle „Beschreibung eines Telgraphs, welcher im Jahre 1787 zu Pressburg in Ungarn entdeckt worden“. Pro rozvoj telekomunikací byly důležité vynálezy galvanického článku (Alessandro Volta - 1799) a elektrolýzy (William Nicholson a Anthony Carlisle - 1801), na základě kterých Sommerring zkonstruoval elektrolytický telegraf, kterým v r. 1809 překonal vzdálenost asi 750 m. Dále to byl objev magnetického pole (Oersted 1819) a indukce, jehož výsledkem byl jehlový Schillingův telegraf (1835), u kterého byla ovládána výchylka magnetické jehly. Převratným způsobem zasáhl do telekomunikací vynález elektromagnetu v r. 1825 Angličanem Williamem Sturgeonem, který byl použit mnoha vynálezci. Největší úspěch zde slavil Americký vynálezce Samuel Morse, který v roce 1837 v New Yorku úspěšně vyzkoušel svůj zapisovací telegraf (relé v elektrickém okruhu), ke kterému přidal i kódovací tabulku (původní návrh Alfreda Vaila), známou jako -- --- .-. ... . --- …- .- .- -... . -.-. . -.. .- .

Bylo to v roce 1838 a o dva roky později si Morse nechal patentovat elektromagnetický telegraf zapisující značky na papír. První telegraf, tisknoucí písmena, sestrojil v té době údajně již zmiňovaný Alfred Vail, který využil nápadu Charlerse Wheatstona. Za zmínku stojí návrh Čecha Františka Adama Peřinu z r. 1843 o možnosti duplexního přenosu jedním telegrafním vedením. Následovalo období rozmachu telegrafní sítě a postupného zániku Chappových semaforů.

První telegrafní linka na našem území byla dokončena v r. 1848 mezi Vídní a Brnem. Až třetí pokus po uložení kabelu přes Atlantik se podařil, takže první telegrafní přenos se mohl uskutečnit 7. srpna 1858. Již 1. srpna však byl přenos přerušen pro protržení kabelu. V r. 1871 byla dokončena transsibiřská telegrafní linka Moskva - Vladivostok. Prvním, celosvětově rozšířeným tiskacím telegrafem byl aparát Angloameričana Davida Edwarda Hughese z. r. 1855, který dosáhl rychlosti až 25 slov za minutu.

Charles Wheatstone v r. 1867 zdokonalil původní Siemensův telegraf z r. 1854 a zvětšil rychlost ze 16-ti na 500 slov za minutu, vysílaných z děrovaného pásku. V r. 1877 následoval čtyřnásobný postupný telegraf Francouze Jeana Maurive Emila Baudota, který byl zaveden od roku 1920 i v Československu. Další zdokonalování telegrafních přístrojů souviselo s unifikací klávesnice, se zavedením star-stopového asynchronního vysílání, kdy se začal používat pojem „dálnopis“(1933) a zaváděním elektronických prvků do dálnopisu. Vrcholu svého rozšíření dosáhl dálnopis v osmdesátých létech, kdy bylo v celosvětové síti Telex asi dva miliony dálnopisů..

S vysíláním, přenosem a příjmem zvuků elektrickou cestou začal Francouz CH.Bourseul v r. 1849. Mikrofon byl založen na odporovém principu (membrána působící na kontakt protékaný stejnosměrným proudem) a sluchátko na elektromagnetickém principu (změna proudu elektromagnetem rozechvěje membránu). Vynález nebyl dále realizován, protože ho francouzská telegrafní společnost zamítla. Tušila velkou nastávající konkurenci? Stejný princip demonstroval v r. 1861 Němec P. Reiss, protože však použil pro kontakt membrány příliš kvalitní materiál (platina), neměl úspěch. Přístroj nazval „telefon“. Určitým zdokonalením měniče se mu o dva roky později podařilo přenášet „hudební zvuky“, nikoliv však řeč.

Až patent Američana skotského původu Alexandra Grahama Bella, podaný 14.2.1876, téměř současně s Elisha Grayem na federálním patentovém úřadě ve Washingtonu, znamenal počátek hromadného rozšíření telefonu. V boji o prvenství stojí za zmínku ještě jméno Itala Antonia Meucciho, který v r.1871 předvedl telefon zástupcům Western Union a předal jim i dokumentaci k patentování ve Spojených státech. Další osud patentu sice není znám, ale uvádí se, že Nejvyšší soud ve Washingtonu přiznal Meuccimu krátce před jeho úmrtím v r. 1889 „absolutní prioritu vynálezu telefonu“. Nakonec snad o prvenství Bella rozhodl až po 11 letech Haagský soud.

O tom, že se telefon rychle ujal, svědčí několik dalších údajů. Jeho první praktické využití se událo v domě na Exeter Place č. 5 v Bostnu. Uvádí se, že první srozumitelnou větou přenesenou telefonem, byla věta „Mr. Watson, come here, I want you!“ (Pane Watsone, pojďte sem, potřebuji Vás), když si Bell potřísnil oděv kyselinou. To bylo 10.3.1876. 25.června téhož roku předvedl Bell svůj telefon mezinárodní porotě na výstavě století ve Filadelfii, kde byl oceněn zlatou medailí. 9.října Bell telefonoval s Watsonem po 3 km dlouhé telegrafní lince Boston - Combridge, 12.2.1877 byla překlenuta vzdálenost již 22 km. Evropský primát v uvedení telefonu má Bratislava v jejímž Grassalkovičově paláci byly 28.10.1877 instalovány tři Bellovy telefony pro potřeby arcivévody Ferdinanda Habsburského. První 2,5 km dlouhá telefonní linka v Čechách byly instalována 10.4 1881 a spojovala kancelář dolu R.Hartmanna v Ledvicích s nádražím v Duchcově. Telefon se postupně šířil po celém světě. Již koncem roku 1898 byl ve Spojených státech zapojen milióntý telefon a jeho dnešní stav v celosvětovém měřítku dosahuje téměř jedné miliardy.

Ze začátku byly mikrofon a sluchátko oddělené, ale jejich umístění do společného držadla navrhl E.McEvoy a G.F.Pritchot již v roce 1877. Pojem „mikrotelefon“ pochází z roku 1888 od Pařížana CH.Clamonda.

Původní Bellův mikrofon s „kapalinovým odporem“, u kterého membrána pohybovala vodičem, nořícím se do vodivé kapaliny byl po čase nahrazen uhlíkovým, jehož vynálezcem byl Thomas Alva Edison, který na něj získal patent 27.4 1877. Tento odporový princip s méně kvalitním kontaktem - uhlíkovým práškem - mezi membránou a pevnou elektrodou, se pro svoji jednoduchost, levnost i dostatečný signál, udržel v mnoha případech až dodnes. Že není klasickým elektroakustickým měničem, tj. použitelným i jako sluchátko je zřejmé. Kdo nevěří, ať ho zkusí napájet střídavým proudem. Membrána se ani nehne.

Telefonní přístroj se razantně změnil až v poslední době, kdy zejména mikroelektronika a integrované obvody měly vliv nejenom na použité principy elektroakustických měničů, ale i na signalizační část (zvonek, číselnice). S přibývajícími možnostmi, které telefonní síť poskytuje, přibývá i tlačítek na něm, ovládání je složitější. Jistě ale není daleko doba, kdy na telefonním přístroji s displejem, budou kromě číselnice pouze tři tlačítka, známá z klávesnice PC, a to ←, → a Entr. Prvními dvěma zvolíme funkci, kterou potvrdíme třetím tlačítkem. Konečným cílem by měl být přístroj bez jediného tlačítka, snad až na kontakt vidlicového přepínače, vše budeme ovládat hlasem. Uzavře se tím ve spirále pomyslný kruh, protože to zde již bylo. Vždyť ještě před nedávnem (historicky vzato) stačilo zvednout mikrotelefon a vše jste domluvili se spojovatelkou, nejinteligentnější řídicí jednotkou všech dosud vynalezených spojovacích systémů, umějícím dokonce myslet!

O dalších koncových zařízeních jenom stručně. Použití bezdrátového telegrafu Rusem Alexandrem Stěpanovičem Popovem a Italem Guglielmo Marconim v roce 1896 bylo předzvěstí rozhlasového vysílání. Marconi již následujícího roku telegrafoval přes 12 km široký Bristolský záliv na vlně 1,25m. a v r. 1898 již přes 51 km široký La Manche. Předchůdcem magnetofonu byl telegraphon Dána W. Poulsena z roku 1898, u kterého se magnetický záznam zvuku prováděl na ocelovou strunu. První televizní přenos předvedl Skot J.Baird v Londýně (1926). Američan H.Aiken postavil velký elektromagnetický počítač v r. 1943. Převratný byl vynález tranzistoru J.Bardeenem, W.Brattainem a W. Shockleyem, který ovlivnil nejen koncová zařízení. Vzpomeňme ještě faxový přístroj, který byl v praktickém provozu použit poprvé v r. 1956 v Japonsku. První personální počítač byl vyvinut u fy IBM v r. 1981.V tomtéž roce Brit A. Osborne představil přenosový mikropočítač vážící 11 kg. Osobně sice zbankrotoval, ale jeho myšlenka nakonec slavila velký úspěch. AT & T uvedla v roce 1983 první komerční službu celulárních telefonů.

Aby koncová zařízení (výjimku tvoří počítače) plnila svou funkci, musí být propojeny přenosovými prostředky, tvořenými přenosovými médii a přenosovými prostředky.

Prvními přenosovými médii v telekomunikacích byly metalické vodiče, z nichž se nejvíce uplatňovala měď pro svoje dobré vodivé vlastnosti a poměrnou láci. Zpočátku se jednalo o nadzemní dvouvodičové vedení, umístěné na sloupech s různými skleněnými lahvemi, jako izolátory.

Snaha snižovat náklady na vedení je pochopitelná. Proto přišel velmi vhod objev C.A.von Steinheila v roce 1838, který při realizaci telegrafu u první německé železnice Norimberk - Furth zjistil možnost vedení zpětných proudů zemí. Toto zjištění našlo praktického upotřebení již za pět let, a to na 9-ti km úseku železnice Wiesbaden - Kasten. Tento objev přivítali později jistě i mnozí z nás, kteří s bubnem na zádech ve vojenském jako spojaři hledali vhodné uzemnění, aby spojení bylo co nejkvalitnější. V roce 1885 bylo např. ve Švýcarsku 34 jednodrátových meziměstských vedení. I první meziměstská linka Vídeň - Brno byla jednodrátová. Z důvodů vzájemného rušení a nespolehlivosti uzemnění se však toto řešení moc nerozšířilo a využívá se pouze jako provizórium. Za zmínku stojí první nadzemní dvoudrátové telegrafní vedení na našem území, které bylo dáno do provozu 1.3.1847 na trati Vídeň -Brno, které bylo ještě v témže roce prodlouženo do Prahy přes Olomouc.

Pro známé nevýhody nadzemních vedení byly hledány možnosti umístit vedení do země. Problém byl hlavně s izolací. Prvním podzemním „kabelem“ by bylo možné nazvat řešení, které realizoval ruský diplomat německého původu P.V.Schilling, autor tzv. jehlového telegrafu, když pro spojení mezi Zimním palácem a Admiralitou v Petrohradě použil vodiče, zalité asfaltem ve skleněných trubkách. Bylo to v roce 1832. O deset let později ruský fyzik německého původu B.S.Jakobi dokončil stavbu telegrafní linky Petrohrad - Kronštat, kde na podmořském úseku použil kabel s kaučukovou izolací vodičů v olověném plášti. V roce 1851 vyrobila firma Siemens & Halske kabel s olověným pláštěm a gutaperčovou izolací vodičů. Od roku 1856, kdy Američan C.W.Field položil na druhý pokus podmořský kabel mezi Cap Breton (Nové Skotsko) - Newfoundland, se množí pokládky podmořských kabelů. Pokusy s transatlantickým kabelem začaly v roce 1857, kdy se kabel po položení 610 km přetrhl. I druhý pokus příštího roku skončil neúspěchem již po 476 km. Stejné firmě Atlantic Telegrapf Co. se podařil až třetí pokus a její zakladatel odeslal 7.8.1858 zkušební telegram. Z neznámé příčiny však již 1.9.1858 došlo k přerušení spojení. Telegrafní síť se rozšiřovala po celé zeměkouli a v roce 1865, kdy 17. května byla v Paříži za účasti 20 států založena Mezinárodní telegrafní unie ( Union Internationale des Télégraphes - UIT) měřila délka tras těchto zemí 500.000 km a přepraveno po nich bylo celkem 30 miliónů telegramů. První evropská telefonní linka byla uvedena do provozu 5.11.1877 v Berlíně mezi hlavní poštou a telegrafním úřadem. První telefonní kabel položen přes Brooklinský most v New Yorku v roce 1880.

Potíže s přeslechy na symetrických párových vedeních byly definitivně odstraněny nesymetrickým, koaxiálním vedením. První koaxiální kabel byl vyroben fy Siemens v r.1884. K většímu rozšíření koaxiálních kabelů došlo až s vyššími požadavky na přenosové pásma. Posledním kvalitativním skokem v oblasti přenosových médií jsou optická vlákna. První přenos po skleněném vlákně uskutečnili Britové G.Hocharm a Ch.Kao v roce 1966. Optické kabely jsou v současné době nejperspektivnějším přenosovým médiem také pro velkou použitelnou šířku pásma (několik GHz). Daří se odstraňovat hlavní nedostatek optických vláken - velký útlum, takže vzdálenost opakovačů je dnes již několik desítek km. Začínají se uplatňovat i plastická vlákna, která však zatím mají podstatně větší útlum, a menší životnost.

Velkou úlohu v přenosových médiích hraje také prostor okolo nás. Skotský fyzik J.C.Maxwell v roce 1873 předpověděl existenci elektromagnetických vln. O dva roky později pozoroval jejich účinky T.A.Edison. První přenos elektromagnetických vln na vzdálenost 450 m předvedl 20.4.1880 D.E.Hughes v Londýně. Systematické pokusy s elektromagnetickými vlnami začal provádět až R.Hertz v pásmu několika metrů v roce 1887. G.Marconi v roce 1895 vysílal na vlnové délce 30 - 40 m signály do vzdálenosti 3 km, N.Tesla V New Yorku v roce 1897 na 30 km. a v roce 1899 vybudoval nad Colorado Springs jiskřiště o 200 kW a přijímal signály na vzdálenost až 1000 km. „Pořádek“ v éteru byl zaveden již na 1. mezinárodní radiotelegrafní konferenci v Berlíně roku 19O6, jejíž delegáti z 29 zemí stanovili tísňový signál SOS (Save our souls - spaste naše duše). Současné bezdrátové mikrovlnné a troposférické spoje umožňují realizovat pásma několik desítek Ghz. Éru družicových spojů odstartoval sovětský Sputnik 1 v r. 1957, aby v r.1965 americký Constat „zavěsil“ na geostacionární dráhu družici Early Bird pro 240 telefonních a jeden televizní kanál.

Vraťme se ale na počátek přenosových sítí. Nejelementárnější síť tvoří dvojice koncových zařízení (koncový provoz). Již zde vznikl základní problém - jak zvětšit dosah, tj. vzdálenost mezi koncovými zařízeními, omezený vlastnostmi přenosové cesty, zejména útlumem. Základním řešením bylo snižování impedance vedení, čehož se dosahovalo snížením jeho odporu (zvětšování průřezu vodičů) a pro střídavé signály též přídavnými indukčnostmi (pupinování - Američan srbského původu M.Pupin 1899, krarupování - Dán C.Krarup 1902), kterými se snížil útlum v propustném pásmu. Přesto na překlenutí velkých vzdáleností to nestačilo a bylo nutné signál po určitých vzdálenostech obnovit. Příkladem byly telegrafní stanice, ve kterých docházelo k příjmu zprávy a jejímu vyslání do dalšího úseku. Opakovače v současné digitální síti používají vlastně stejný princip. Dostáváme se tím k přenosovým prostředkům.

Novou možnost zvětšení dosahu úseku bez opakování poskytl vynález elektronky Britem J.A.Flemingem v r. 1904. Začala éra zesilovačů. Nejdříve elektronkových. Polovodiče na svůj objev však nenechaly dlouho čekat. Již v roce 1906 patent G.W.Pickarda na Silicon Detector zahajuje zkoumání v této oblasti, která se stala v současné době i zásluhou integrace obvodů do miniaturních součástek, motorem rozvoje nejen telekomunikací.

Snaha po plném využití vlastností přenosových médií se dostává do popředí se zvyšujícím se provozem v sítích. První vlaštovkou byl vynález sdruženého telefonního okruhu (fantom) Angličana F. Jacoba z roku 1882, realizovaný až v roce 1889. Důležitým kvalitativním zlomem v tomto směru byl patent Američana G.O.Squiera a Němce E.Rubera z r. 1908 na telefonii nosnými proudy s amplitudovou modulací. Kmitočtovou modulaci patentoval v r. 1934 Američan Armstrong, a pulsně kódovou modulaci (PCM) v r.1937 Brit A.H.Reeves. Ta se stala základem integrace telekomunikační techniky formou integrovaných digitálních sítí - IDN a umožnila integrovat různé druhy služeb formou ISDN.

Růstem počtu koncových zařízení bylo nutno řešit nový problém. Koncový provoz, kdy jsou příslušné dvojice koncových zařízení spojena pevným okruhem, byl zjevně nevyhovující. V současné době by např. znamenal, že každý telefonní účastník by měl u sebe téměř miliardru telefonů (pokud bychom mu měli zajistit plnou dostupnost na všechny ostatní účastníky)! A jaké potíže by mělo rozšiřování takové sítě, si jistě dovede každý představit.

Novým kvalitativním prvkem se tudíž stává spojovací uzel - ústředna, jejíž hlavní funkcí je směrování zprávy k adresátovi. Zpočátku to byly samozřejmě manuální ústředny. První byla bezšňůrová pro jednovodičové spojování, používaná v telegrafní síti (Steinheilův přepojovač). Spínačem byl kovový kolík, který zasunutím do otvorů dvojic na sebe kolmých lišt , tyto lišty a tím i vedení na ně připojenými, propojil. Byl to mladší bratr maticového spínače. První manuální telefonní ústřednu pro 20 účastníků uvedli do provozu 21.2.1878 v New Haven (USA). Evropské prvenství má Londýn (1879 - 10 přípojek), následovaný Curychem (1880), Berlínem (1881), Budapeští (1881), Moskvou (1882). 11.9.1882 zahájila činnost v Praze v domě U Richtrů na Malém náměstí telefonní ústředna s 11 účastníky, jejichž počet do konce roku 1883 čítal 187 a jednodrátová vedení měřila celkem 186 km. V budově hlavní pražské pošty na Jindřišské ulici byla v roce 1902 dána do provozu nová místní ústředna pro 2800 přípojek i meziměstská ústředna.

Hledání cest k budování velkých ústředen vytvářených z menších celků, vedlo k vynálezu multiplu v roce 1879. Jako vynálezci jsou uváděni Američané L.B.Firman a C.Sribner. Praktického uplatnění našel multipl již u šňůrových přepojovačů s kolíkem a svírkou ve spojovacím poli a je nedílnou součástí všech větších ústředen. Největší manuální ústředna se šňůrovými přepojovači a multiplovými svírkami byla v provozu v 20-tých letech ve Stckholmu, a čítala 60.000 účastníků. Byla sestavena z žárovkových přepojovačů, které byly poprvé použity v chicagské ústředně v roce 1894 a které postupně nahrazovaly do té doby používané klapkové přepojovače. Centrální řídicí jednotkou všech přepojovačů, ovládající spojovací pole manuálních ústředen, je spojovatelka. Její vysoká inteligence (vzhledem k místo ní v současné době používanému procesoru) umožnila vytvořit kybernetický stroj, dokonce celou rozsáhlou síť, kterou bylo možné řídit ústně! Jak již byla o tom zmínka v předchozích částech, směřujeme k tomuto ideálu i nyní (analýza řeči) kdy k ovládání tohoto kybernetického stroje bude postačovat max. jedno tlačítko (vidlicový přepínač), tak jako tomu bylo u telefonních. přístrojů s napájením z ústřední baterie a manuální provoz a vše další se vyřídí ústně.

I přes výše uvedené výhody byla manuální technika postupně vytlačena automatickými ústřednami. Hlavními důvody byla pomalost spojování a špatná „paměť“ spojovatelek. Neudržitelnost tohoto řešení nakonec dokumentuje i představa, že by všechny současné ústředny byly manuální. Jedinou výhodou by byla vysoká zaměstnanost.

Proces automatizace probíhal současně ve spojovacím poli i řízení. Patent Američanů T.J.McTighea a bratrů Connolyových obsahoval návrh číselnice i krokového mechanizmu. V první automatické ústředně, která byla uvedena do provozu v La Porte (USA) v roce 1892 byly vespojovacím poli použity voliče patentované bratry Strowgerovými již v roce 1889. Tyto voliče se 100 východy se staly základem i u nás rozšířeného, přímo řízeného, synchronního spojovacího systému P51. První evropskou automatickou ústřednu pro 900 přípojek uvedla do provozu fy Siemens & Halske v roce 1908 v německém Hildesheimu.

I když na princip zvětšování kapacity ústředen pomocí dalších volících stupňů - skupinářů, přišel A.B.Strowger již v roce 1896, hledali se další možnosti, jak tohoto cíle dosáhnou. V roce 1890 Američan R.Callender patentoval elektromotorový pohon voliče, jehož praktické využití předvedli bratří Lorimerové až o deset let později. Byl znám jako volič Rotary. Pamětníci jej mohli zažit i u nás, konkrétně v Brně na Poštovské ulici, kde systém Rotary 7a se společným pohonem voličů běžel od roku 1930 do roku 1960. Následovaly další elektromagnetické spínače - křížový spínač Švédů Betulandera s Palmgeemem v r. 1919, jazýčkové relé z laboratoří fy Bell z r. 1940, kódové spínače fy Ericsson a maticové spínače různého provedení. Ve spojovacím poli se spínače s mechanickými kontakty udržely déle než v řízení. Důvodem je jejich malý odpor v sepnutém stavu.

Prvním elektronickým spínačem, který ve spojovacím poli použila fy Ericsson v roce 1938, byla výbojka. Že pokusy s elektronickými kontakty ve spojovacím poli neměly dlouho úspěch svědčí i to, že další pokusnou ústřednu s elektronkami instalovali až v roce 1952 v Richmondu u Londýna. Vadil především vysoký odpor v sepnutém stavu (stovky Ω ). Ten značně zvyšoval útlum v přenosovém řetězci, ve kterém se vyskytovalo i několik kontaktů v sérii. Hlavní přednost elektronických spínačů - rychlost spínaní - však ještě v době manuálních meziměstských ústředen byla nevyužitelná.

Mezníkem ve využití elektronických spínačů ve spojovacím poli se stal nový princip spojování s časovým dělením, který byl poprvé použit francouzskou fy CGCT v roku 1945. Ale až rozvoj polovodičové techniky a mikroelektroniky přispěl k širokému užití v současných digitálních ústřednách.

V řízení automatických spojovacích systémů se používaly především logické reléové obvody. Jejich náhrada elektronickými logickými obvody umožnila, díky jejich podstatně rychlejší činnosti, zvýšit koncentraci řízení, tj. snížení počtu řídicích jednotek.

Plného uplatnění v řízení spojovacích systémů dosáhla elektronika až pokrokem v počítačové oblasti. Hlavním řídicím prvkem se stal mikroprocesor. Řízení je realizováno programem v pamětech. Společný princip ve spojování a přenosu - digitální - se tak stal základem pro integraci nejenom techniky, ale i služeb.

Závěrem povídání o historii telekomunikací nemohu nespomenout zakladatele nové matematické disciplíny - teorie hromadné obsluhy, dánského inženýra Agnese Krarupa Erlanga (1878 - 1929). Tato teorie vznikla v okamžiku, kdy bylo potřebné řešit vysoké náklady zejména na svazky okruhů mezi ústřednami. Obsluhovým systémem je ústředna se svým spojovacím polem i řídicími jednotkami. Erlang využil teorie pravděpodobnosti na odvození základních vztahů mezi kvantitativními parametry obsluhového systému - intenzitou vstupního toku požadavků (voláními), počtem obsluhových linek (počet okruhů), případně počtem čekacích míst ve frontě, a parametry vyjadřujícími jakost obsluhového systému - ztrátami, případně čekacími dobami. Byla po něm pojmenována i jednotka intenzity provozního zatížení [erl], přičemž jeden erl. znamená, že okruh byl obsazen 1 hod.