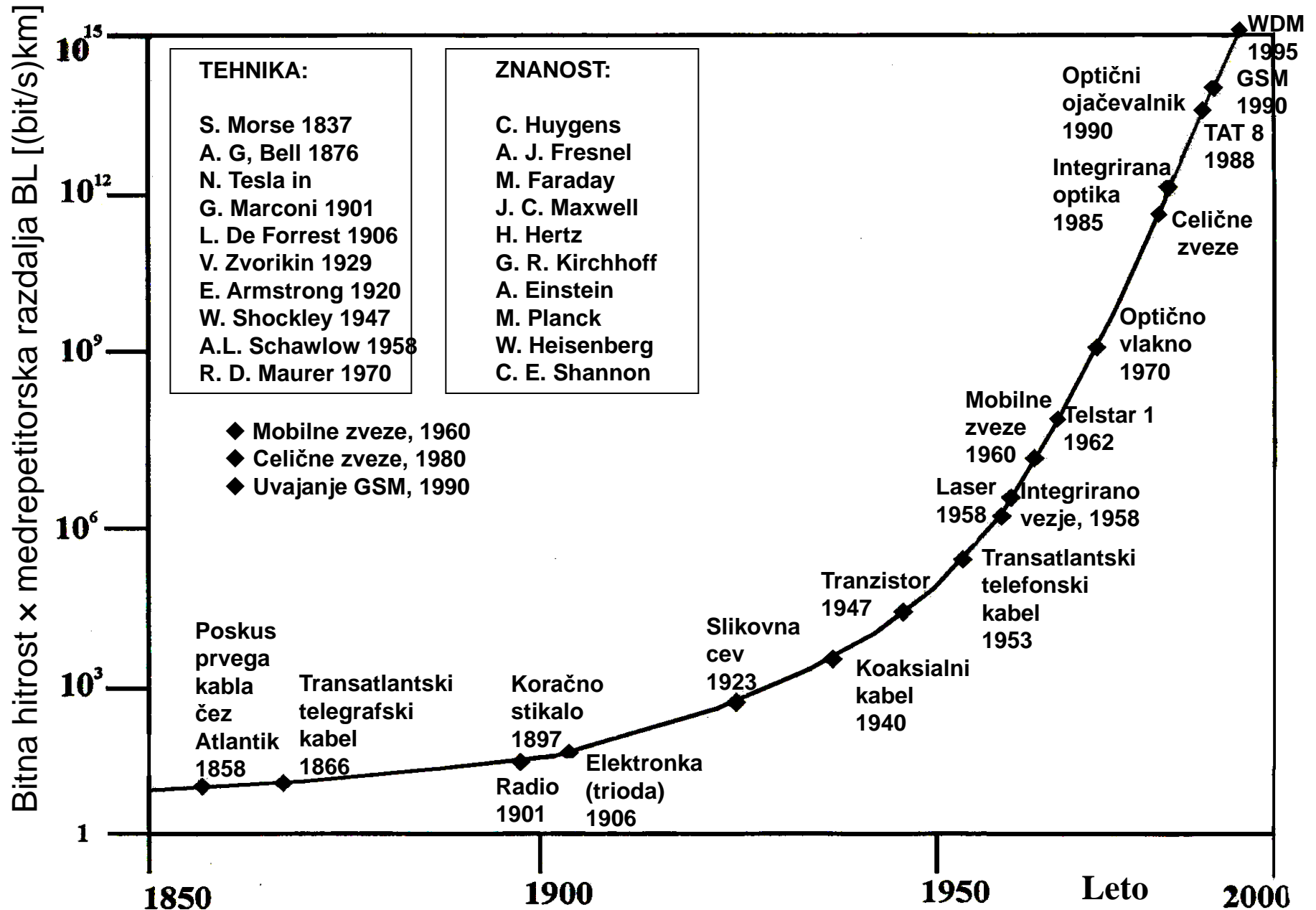


Iz zgodovine telekomunikacij (1)

- Razvoj radijskih komunikacij
 - prednosti in pomanjkljivosti
- Razvoj optičnih komunikacij
 - prednosti in pomanjkljivosti
- Nekaj mejnikov razvoja

Razvoj telekomunikacij splošno



TEHNIKA:

S. Morse 1837
 A. G. Bell 1876
 N. Tesla in
 G. Marconi 1901
 L. De Forrest 1906
 V. Zvorikin 1929
 E. Armstrong 1920
 W. Shockley 1947
 A.L. Schawlow 1958
 R. D. Maurer 1970

ZNANOST:

C. Huygens
 A. J. Fresnel
 M. Faraday
 J. C. Maxwell
 H. Hertz
 G. R. Kirchhoff
 A. Einstein
 M. Planck
 W. Heisenberg
 C. E. Shannon

- ◆ Mobilne zveze, 1960
- ◆ Celične zveze, 1980
- ◆ Uvajanje GSM, 1990

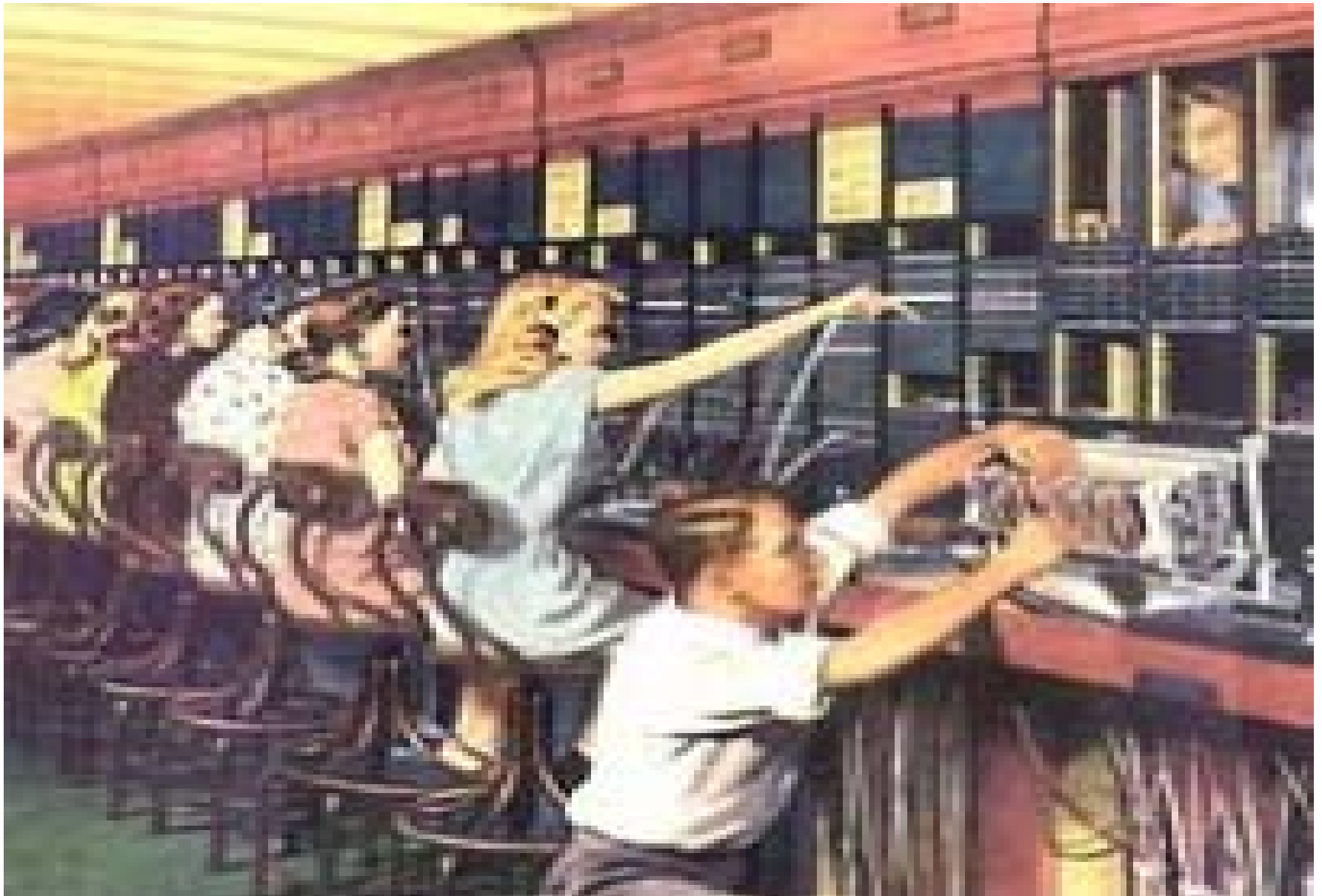
Morsejev aparat



Kronologija uvajanja radijskih zvez na velike razdalje

- **1901:** Prvo čezatlantsko brezžično sporočilo
- **1920:** Sto radijskih postaj za svetovno brezžično telefonijo na velike razdalje
- **1965:** Prvi GEOS Early Bird (240 telefonskih kanalov)
- **1980:** Intelsat V. (12.500 telefonskih kanalov)

Nekoč



Kronologija polaganja čezatlantskih podmorskih kablov

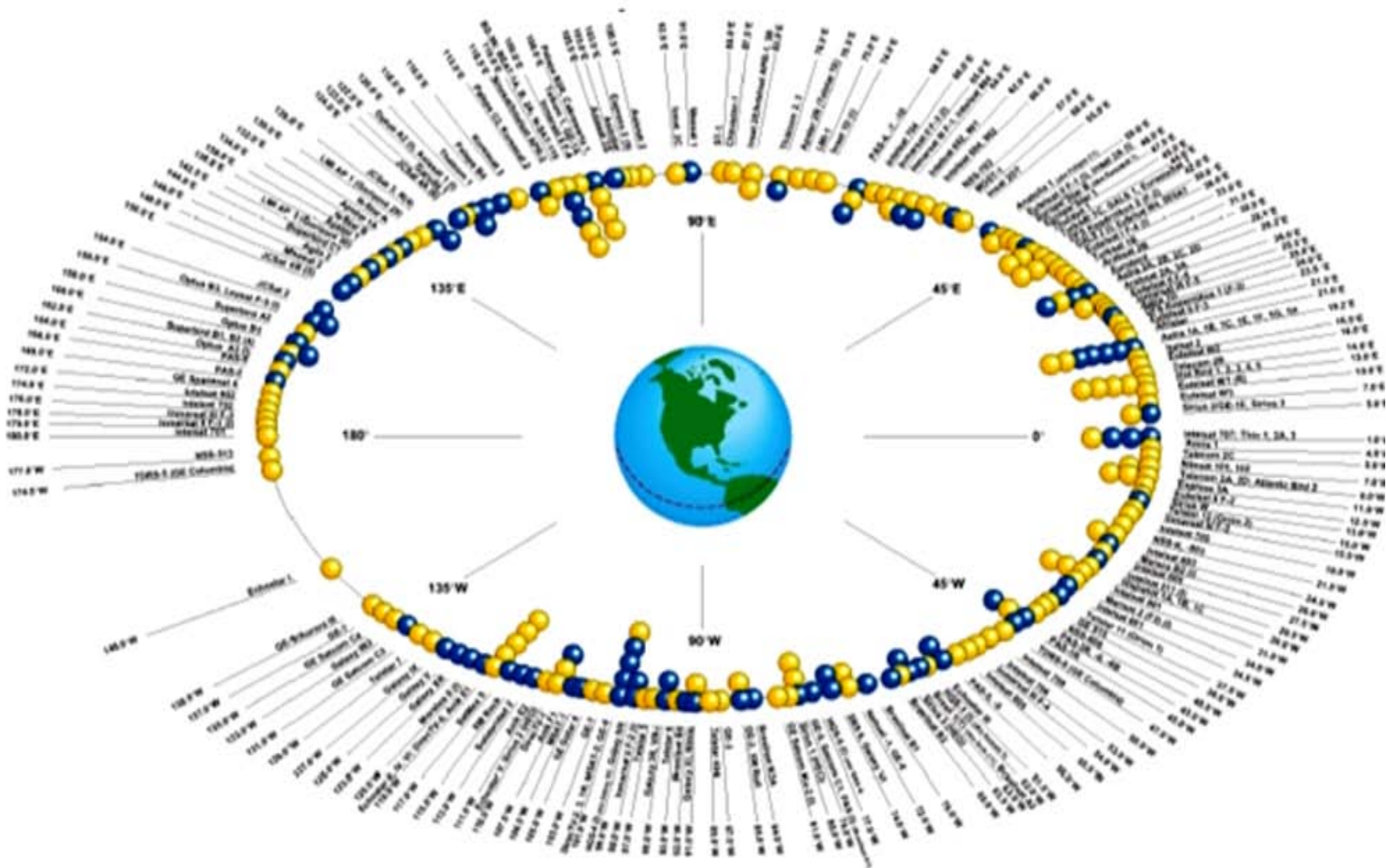
- 1858 Prvi čezatlantski telegrafski kabel (okvara po 3 tednih)
- 1866 Prvi delujoči čezatlantski telegrafski kabel
- 1956 Prvi delujoči čezatlantski telefonski kabel (36 govornih kanalov)
- 1988 Prvi čezatlantski optični kabel (40.000 telefonskih kanalov)
- 2008 Skupna bitna hitrost vseh optičnih kablov pod Atlantikom je okoli 0,5 Tb/s
- 2020 Skupna bitna hitrost vseh optičnih kablov pod Atlantikom naj bi znašala okoli 50 Tb/s
- Zmogljivost zveze: bitna hitrost B x medrepetitorska razdalja L (B.L (b/s).km)

Transatlantski Cu kabl



Splošne karakteristike radijskih komunikacij

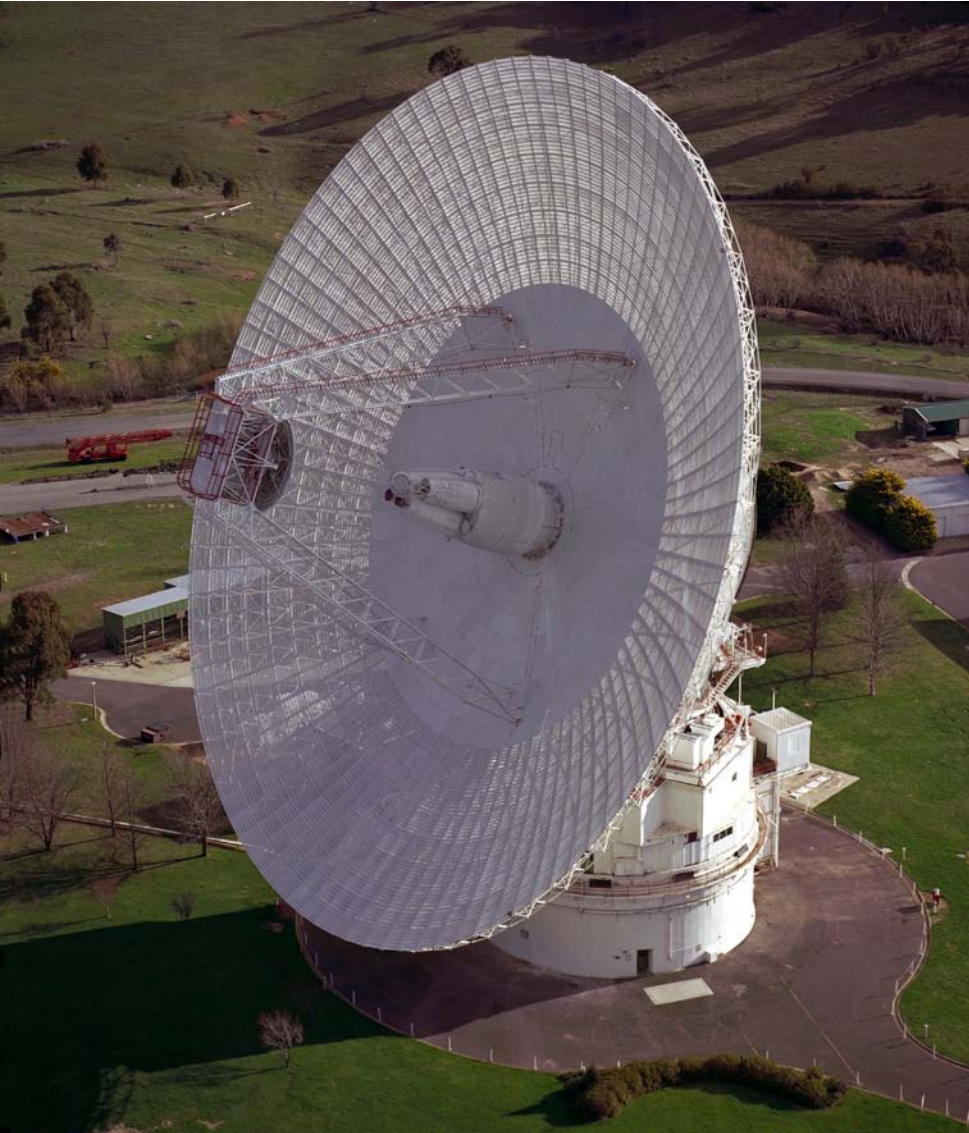
GEOS komunikacijski sateliti



Zemeljske postaje satelitskih zvez



Radiokomunikacije



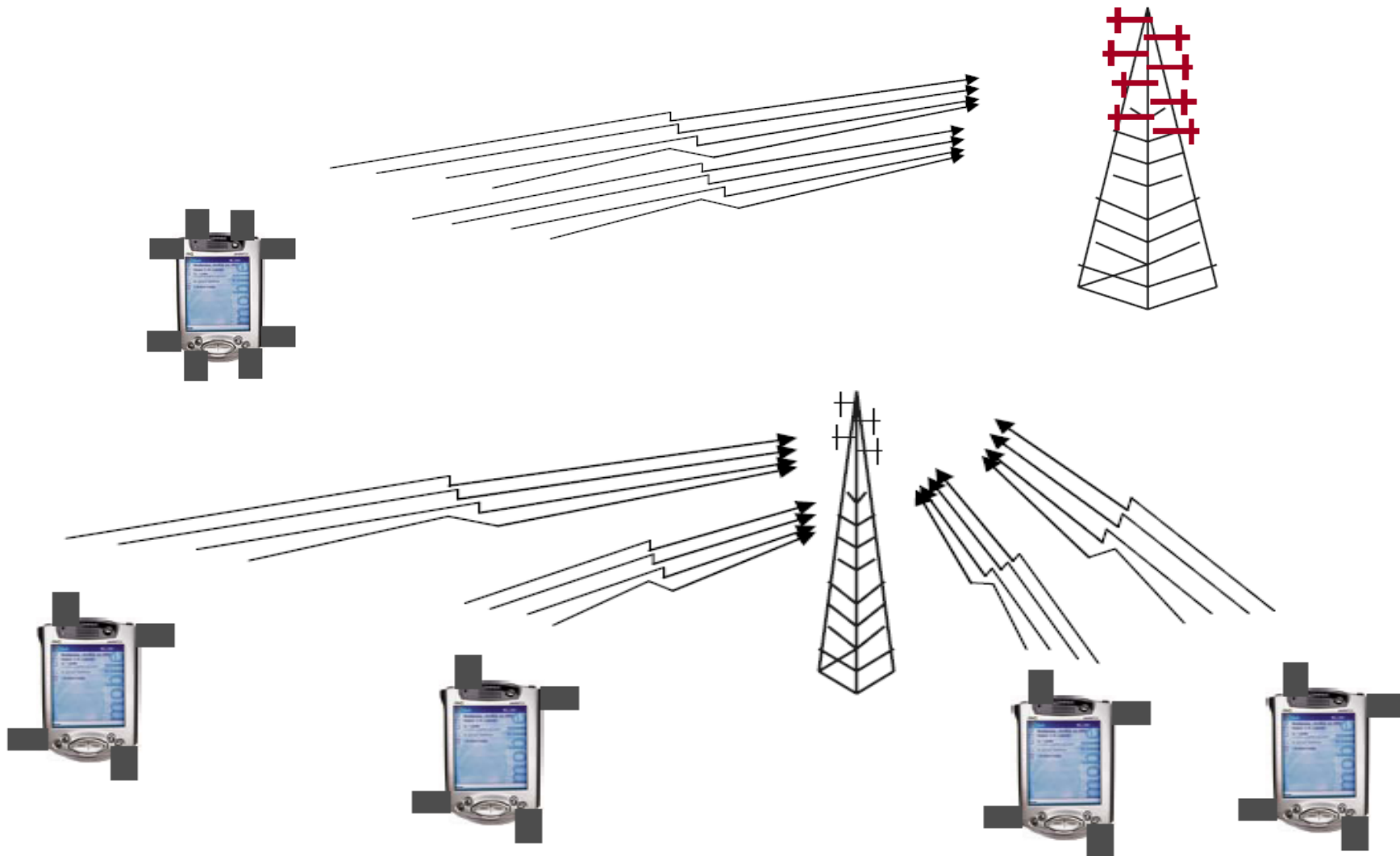
Satelitska zemeljska antena



Usmerjene zveze

Radiokomunikacije

Zveze mnogo točk–mного točk MIMO



Radijske komunikacije - prednosti

→ Fiksne in zlasti mobilne zveze

Radijske zveze so pomembne za profesionalne fiksne zemeljske zveze in so **nenadomestljive** za mobilne zemeljske, pomorske, zračne in satelitske zveze ter za celične osebne komunikacije.

→ Radijski spekter (potencialno 0 - 300 GHz, praktično 0 - 60 GHz)

Potrebna je zelo ekonomična izraba spektra zaradi omejene širine.

→ Nizka raven radijskega šuma

Termični šum v radijski zvezi je mogoče omejiti in doseči visoko občutljivost sprejema. Zanj potrebujemo nizko moč na ravni -50 do -100 dBm in manj.

→ Usmerjeno sevanje anten omogoča velik do izreden dobitok moči

Dobitek antene pomeni dejansko **brezšumno** ojačenje velike vrednosti do 50 dB in več.

→ Visoka moč oddajnika

Odsotnost nelinearnih pojavov omogoča oddajanje visoke moči 1 - 1000 W, vendar se visokim močem izogibamo iz ekoloških razlogov.

Radijske komunikacije - omejitve

→ Visoko slabljenje na prenosni poti

Osnovno slabljenje je odvisno od frekvence in razdalje in ima lahko znatno vrednost tudi na krajših razdaljah. Pri frekvenci 1 GHz in razdalji 1 km znaša osnovno slabljenje 92,4 dB.

→ Sprejemanje zunanjih motenj

Radijska zveza je odprta prenosna pot, ki je dostopna za zunanje vplive. Za zmanjševanje le-teh so potrebne adaptivne antene in posebni sprejemni načini.

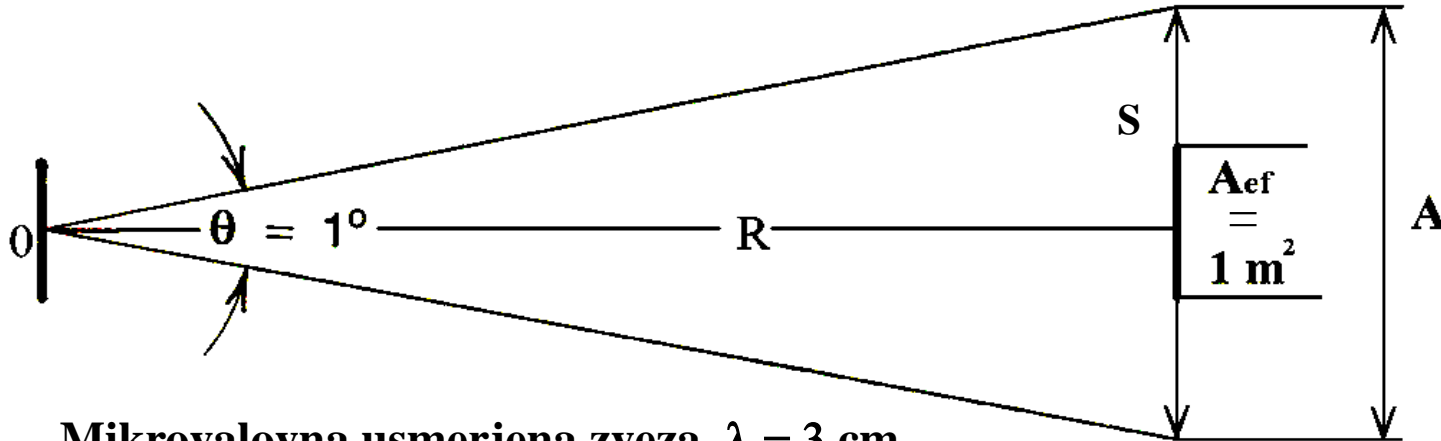
→ Naključni pojavi, večstezni sprejem

V danih pogojih razširjanja valov prihaja lahko do sprejema po več poteh. Posledica interference signalov je presih (fading) in disperzija, z njo pa tudi popačitev signala.

– Nove radijske tehnologije

OFDM in MIMO so novejša in uspešna radijska tehnologija za izboljšanje kakovosti sprejema.

Osnovno slabljenje radijske zveze



Mikrovalovna usmerjena zveza, $\lambda = 3 \text{ cm}$

razdalja

površina osvetlitve

osnovno slabljenje

slabljenje

R

$$A = R^2 \theta_{st}^2 \frac{\pi}{4} \left(\frac{\pi}{180} \right)^2$$

$$L = 20 \log \frac{4\pi R}{\lambda}$$

$$L = 10 \log \frac{A}{A_{ef}}$$

$R = 10 \text{ km}$

$$A = 2,4 \cdot 10^4 \text{ m}^2$$

$L = 132,5 \text{ dB}$

$L = 43,8 \text{ dB}$

$R = 100 \text{ km}$

$$A = 2,4 \text{ km}^2$$

$L = 152,5 \text{ dB}$

$L = 63,8 \text{ dB}$

$R = 40.000 \text{ km}$

$$A = 3,8 \cdot 10^5 \text{ km}^2$$

$L = 204,5 \text{ dB}$

$L = 115,8 \text{ dB}$

Visoko slabljenje pokrivamo z visokim dobitkom G antene !

Pravilo: podvojitve razdalje R daje za 6 dB večje slabljenje L



Dobitek parabolne antene v dBi

Premer antene

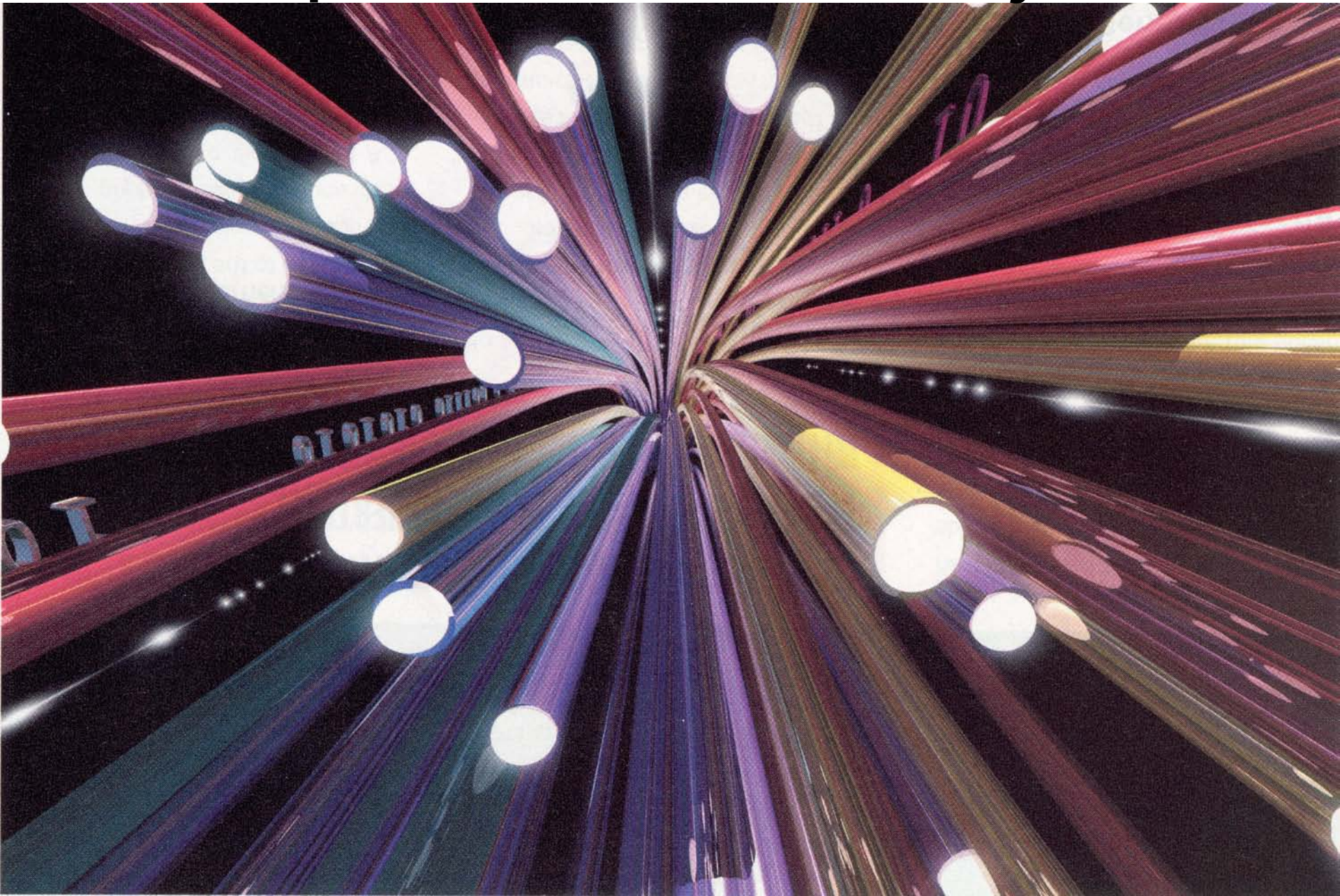
Frekvenca

	2 ft (0.6m)	4 ft (1.2m)	6 ft (1.8m)	8 ft (2.4m)	10 ft (3.0m)	12 ft (3.7m)	15 ft (4.5m)
2 GHz	19.5	25.5	29.1	31.6	33.5	35.1	37
4 GHz	25.5	31.6	35.1	37.6	39.5	41.1	43.1
6 GHz	29.1	35.1	38.6	41.1	43.1	44.6	46.6
8 GHz	31.6	37.6	41.1	43.6	45.5	47.1	49.1
11 GHz	34.3	40.4	43.9	46.4	48.3	49.9	51.8
15 GHz	37	43.1	46.6	49.1	51	52.6	NA
18 GHz	38.6	44.6	48.2	50.7	NA	NA	NA
22 GHz	40.4	46.4	49.9	NA	NA	NA	NA
38 GHz	45.1	51.1	NA	NA	NA	NA	NA

Slabljenje na zvezi se zmanjša za vsoto dobitka oddajne antene in dobitka sprejemne antene

Splošne karakteristike optičnih komunikacij

Optične komunikacije



Optične komunikacije

Danes:

- Gb/s do Tb/s prenos po vlaknu
- Medojačevalna dolžina 60 - 100 km
- Globalne razdalje
- Stacionarni Tx/Rx
- Povezava z radiokomunikacijami v LAN, MAN

Optične komunikacije - prednosti

- **Izjemno širok prenosni spekter in izjemno visoka prenosna zmogljivost**
Potencialni prenosni pas vlakna v področju nizkega slabljenja sega do **50 THz**. Dosežena (l. 2007) največja eksperimentalna prenosna zmogljivost vlakna je 25,6 Tb/s (1 Tb/s je ekvivalent za 15 milijonov (!!!) telefonskih pogovorov po 64 kb/s). V zadnjem času se pojavlja težnja po racionalni izrabi spektra (npr. optičnega vlakenskega ojačevalnika, ki je **5 THz**) oz. večanju spektralnega izkoristka optične zveze. **Prihodnje zveze bodo Tb/s.**
- **Nizko slabljenje in znatna prenosna razdalja**
Z vlaknom slabljenja **0,2 dB/km** je mogoče premostiti razdaljo 100 km pri oslavitvi signala za 20 dB. Z optičnim ojačenjem in regeneracijo je mogoče doseči čezoceanske razdalje. Ojačevani segment zveze ima dolžino 60 do 100 km (žične zveze nekaj km).
- **Odpornost na motnje in visoka zanesljivost prenosa**
Optično vlakno je vase zaprt prenosni vod, ki se ne sklaplja z zunanji polji ali motnjami. BER v optičnih komunikacijah je običajno 10^{-9} in je lahko **10^{-12}** do 10^{-15} .
Optična zveza, ki uporablja izjemno nizko število fotonov/bit, je iz fizikalnih razlogov varna na presluh (kvantna kriptografija, kvantna distribucija ključa).

Optične komunikacije - omejitve

→ Omejitev moči v vlaknu pod največ 10 mW

Pri večjih močeh se pojavlja nelinearnost vlakna s številnimi škodljivimi posledicami (skrajševanje dosega, nižanje spektralnega izkoristka).

→ Visoka raven optičnega šuma

Kvantni šum v optični zvezi s plazovno fotodiodo in šum ojačene spontane emisije v ojačevani optični zvezi sta optična šuma, ki močno prevladujeta nad termičnim šumom. Za sprejem potrebujemo visoko moč na ravni -40 do -20 dBm.

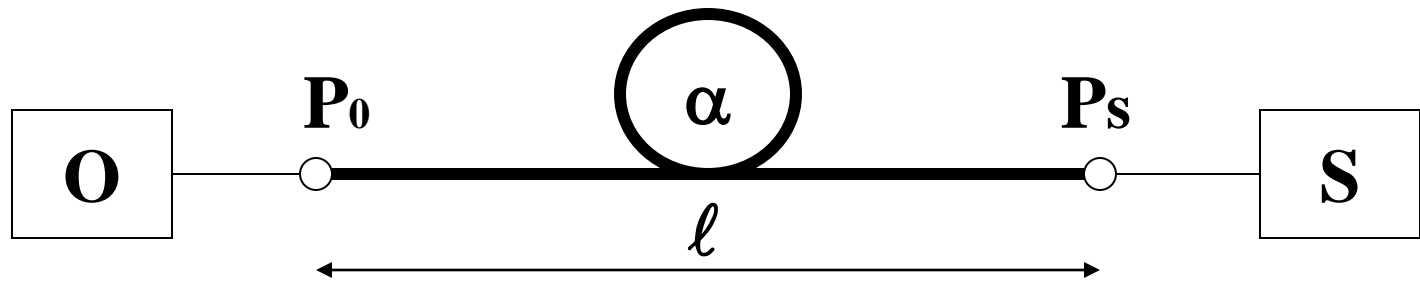
→ Nizek spektralni izkoristek 0,4 do 0,8 b/s/Hz v obstoječih zvezah

Optične komunikacije uporabljajo preprosto intenzitetno modulacijo (IM) in direktno detekcijo (DD). Tudi ob širokem razpoložljivem spektru postaja visok spektralni izkoristek vedno bolj pomemben. Povečuje se zanimanje za uvajanje digitalnih modulacij in koherentnega (homodinskega) sprejema.

→ Omejitev bitne hitrosti zaradi kromatske in polarizacijske rodovne disperzije

Potrebni so posebni ukrepi za kompenzacijo obeh disperzij zlasti nad 10 Gb/s oziroma 40 Gb/s. Pojavlja se zanimanje za proučevanje uporabe OFDM.

Osnovno slabljenje optične zveze



$\alpha = 0,2 \text{ dB/km}$, vlakno SSMF (jedro iz materiala $\text{SiO}_2 - \text{GeO}_2$)

$\alpha_{\min} = 0,17 \text{ dB/km}$, vlakno PSCF (jedro iz materiala SiO_2)

$l = 10\text{km}$, $L = \alpha l = 2\text{dB}$ SSMF, $\lambda = 1,5\mu\text{m}$

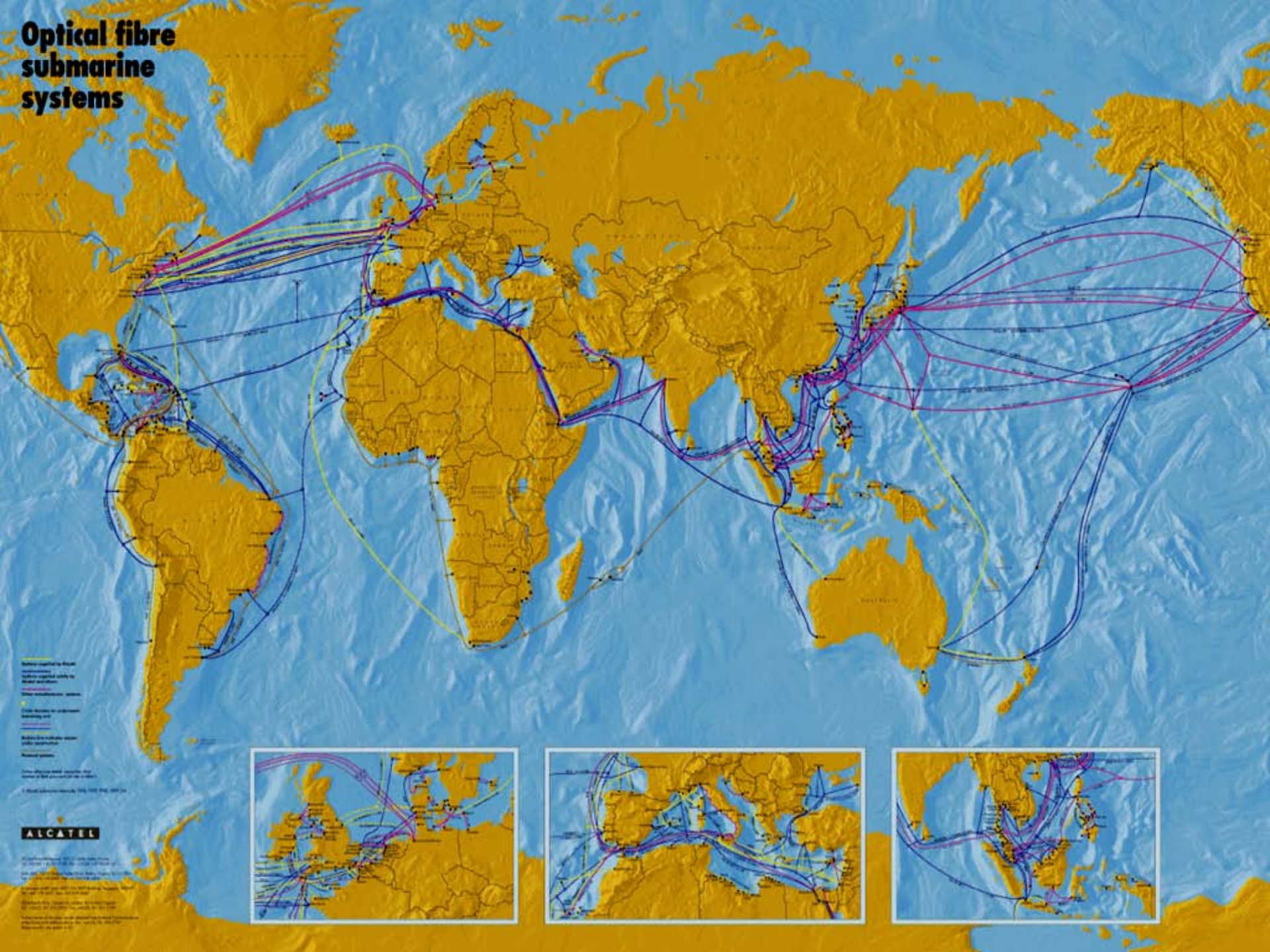
$l = 100\text{km}$, $L = \alpha l = 20\text{dB}$ SSMF, $\lambda = 1,5\mu\text{m}$

$l = 300\text{km}$, $L = \alpha_{\min} l = 45\text{dB}$ PSCF, $\lambda = 1,5\mu\text{m}$

(300 km je največja dosežena razdalja brez vmesne prekinitve)

Pravilo: podvojitve dolžine vlakna daje podvojitve slabljenja v dB

Optical fibre submarine systems

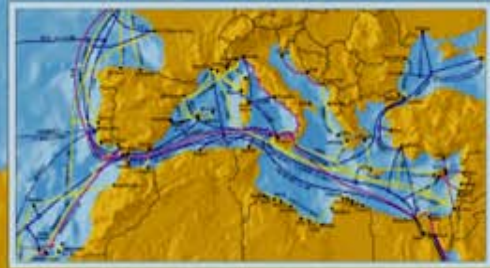


Systems supported by major telecommunications operators
 Systems supported solely by state operators
 Systems supported by state operators
 Cable systems for submarine monitoring and research
 Systems for military or other special operations
 Research systems

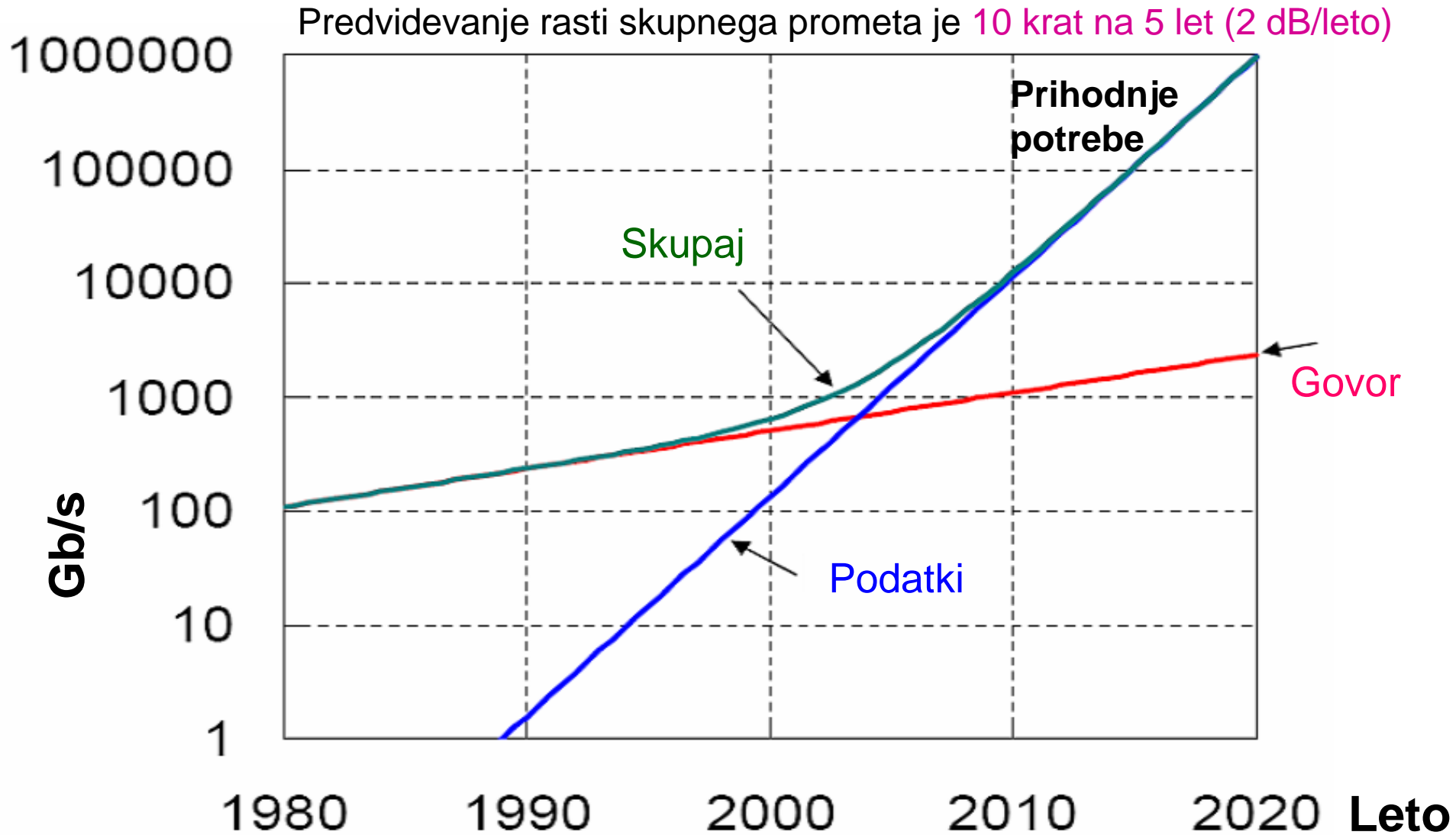
© 2008 Alcatel-Lucent. All rights reserved. This document is confidential and its contents may be subject to change without notice.

ALCATEL

Alcatel-Lucent is a global leader in providing solutions for the world's most demanding networks. Our expertise spans across all major network domains, including fixed, mobile, and IP networks. We are committed to delivering innovative and reliable solutions that meet the needs of our customers around the world.

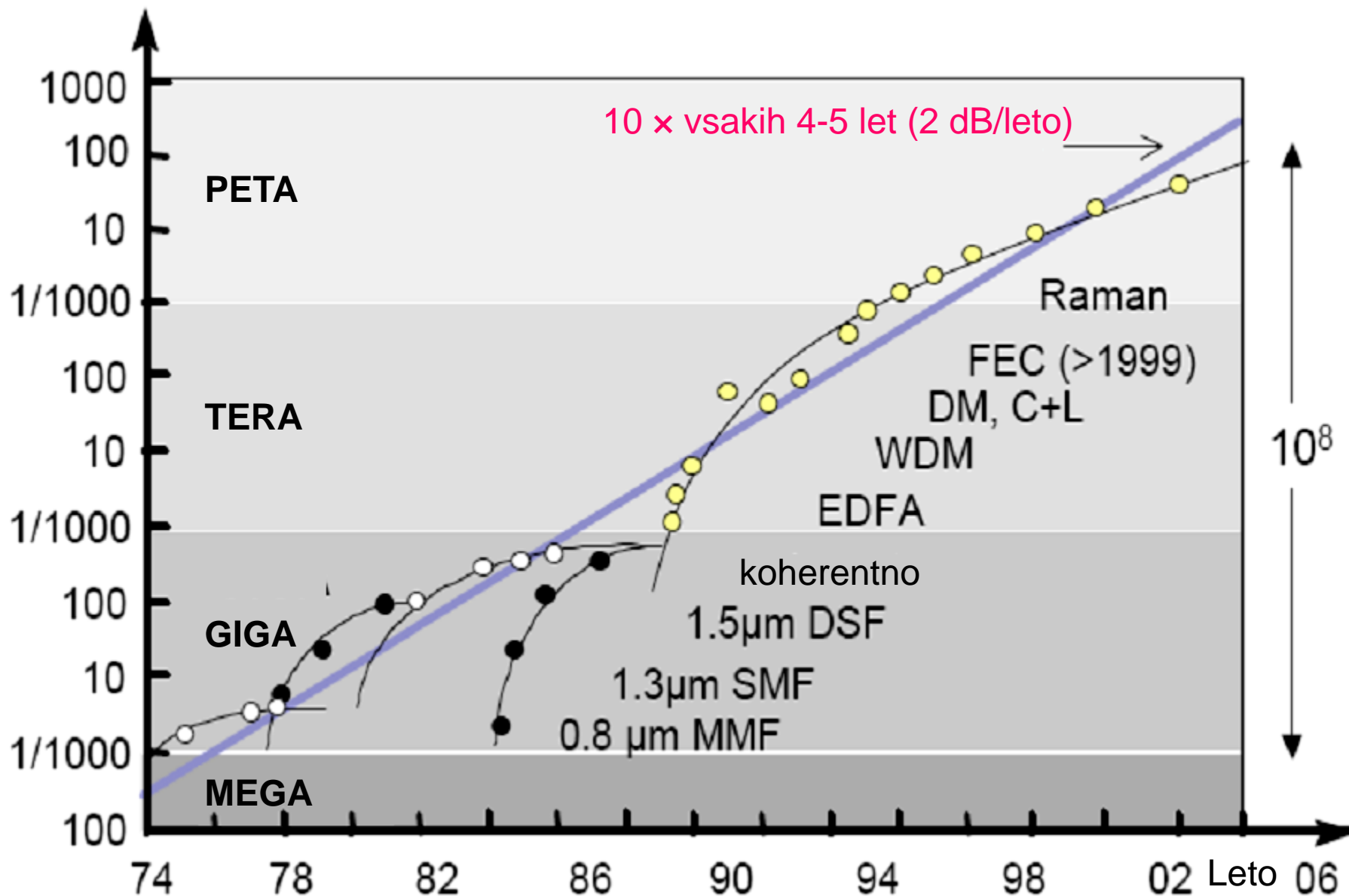


Predvidevanje rasti omrežnega prometa

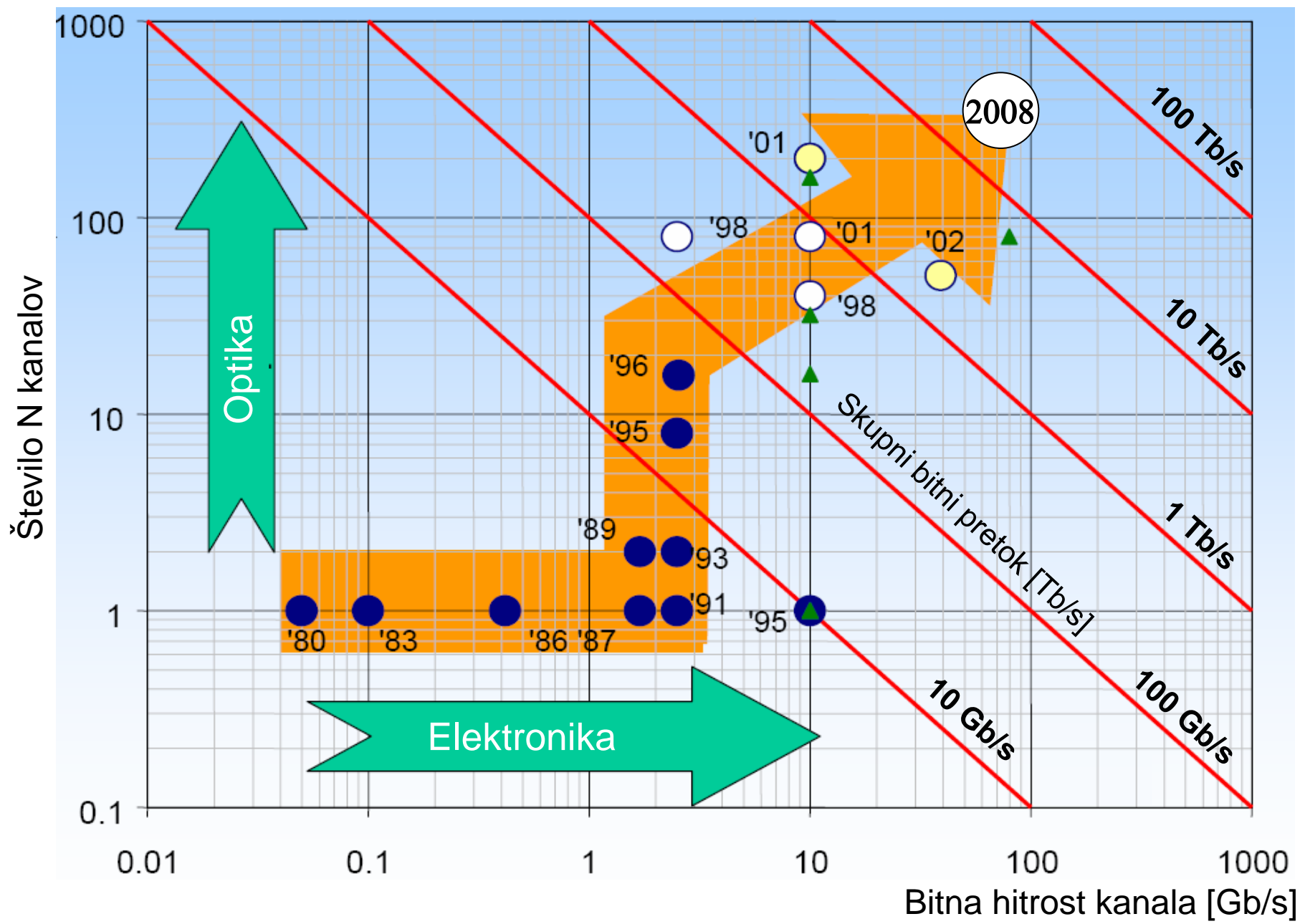


Generacije optičnih tehnologij

Bitna hitrost x medrepetitorska razdalja BL [(b/s)km]



Bitna hitrost–delež elektrone in optike

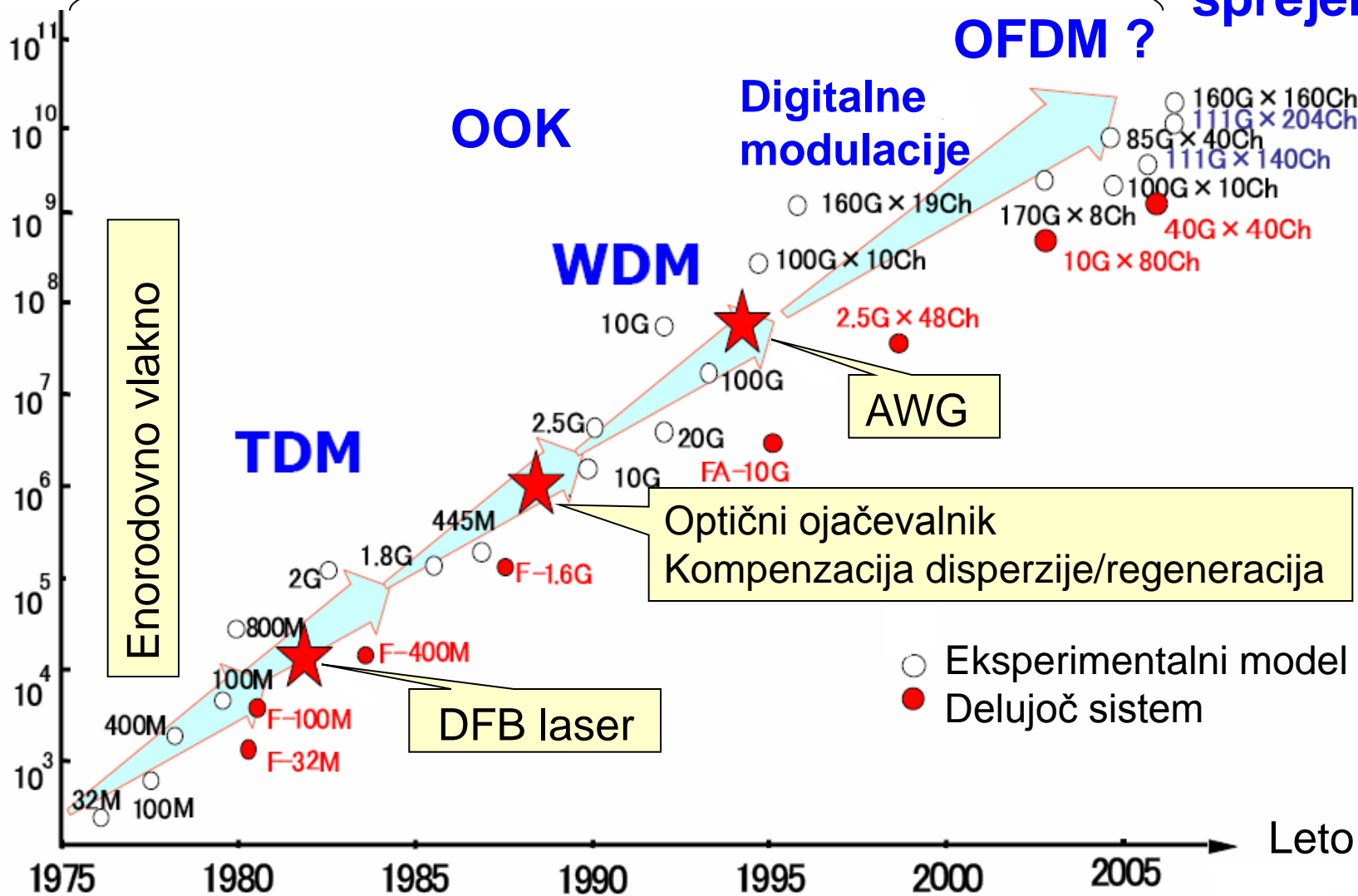


Razvoj ključnih delov in sistemov

Direktni sprejem

Koherentni sprejem ?

Bitna hitrost (Mb/s) x Dolžina vlakna (km)



Najzaslužnejši v telekomunikacijskih tehnologijah

- IKT – informacijsko-komunikacijske tehnologije

- Claude Shannon, 1948, komunikacijski kanal

- Radijske komunikacije

- Lee De Forrest, 1906, trioda

- Nikola Tesla, 2000, radijski prenos

- Edwin Armstrong, 1918, heterodinski sprejem
1933, frekvenčna modulacija

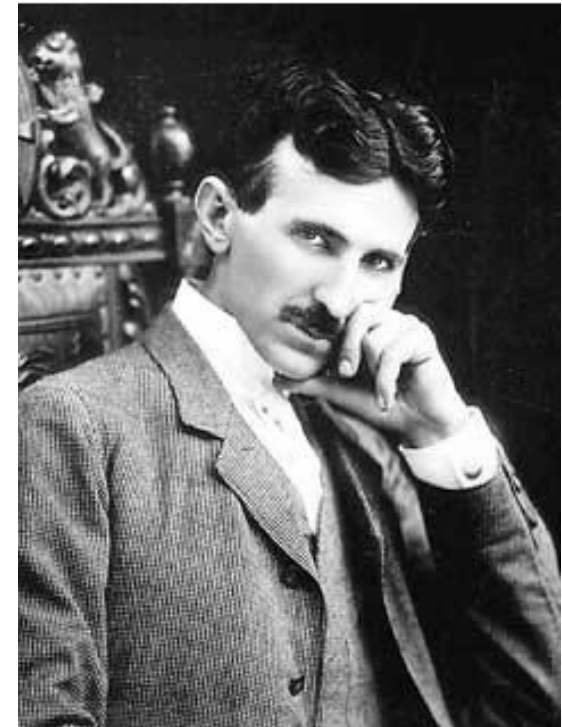
- W. Shockley, J. Bardeen, W. Brattain, (Nobel),
1948, tranzistor

- Robert Noyce, Jack Kilby, 1959, integrirano vezje

- Optične komunikacije

- Charles Kao, George Hockham, 1966, napoved možnosti razvoja

- Kapron, D. Keck, R. Maurer, P. Schultz, 1970, optično vlakno



Edwin Armstrong – utemeljitelj sodobne radiotehnike



Edwin H. Armstrong

1890 - 1954

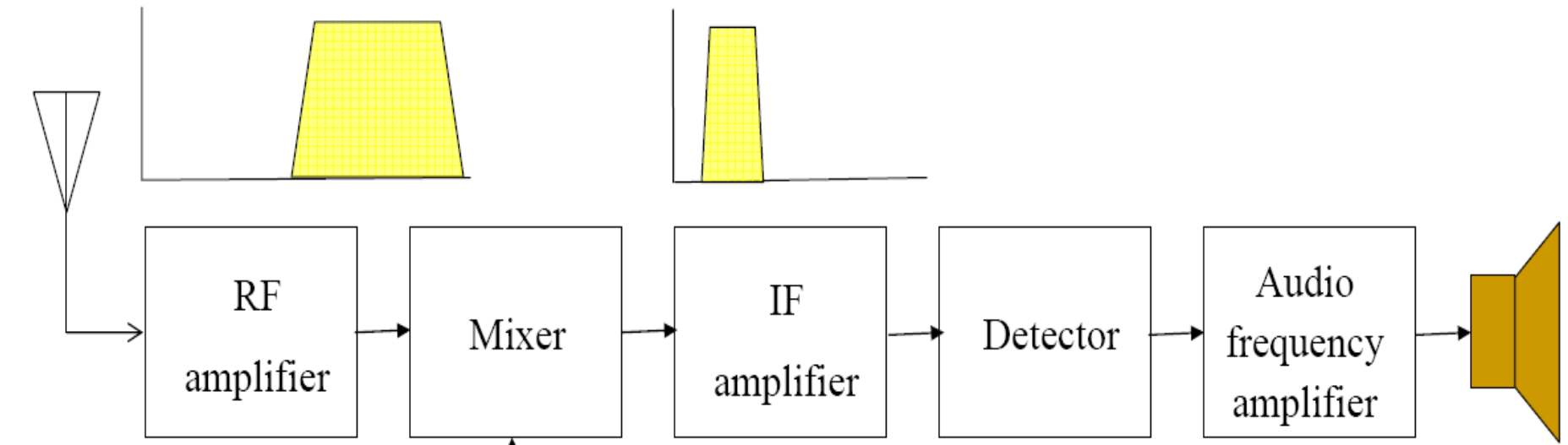


1918 Heterodinski sprejem

1922 Regenerativna povratna vezava

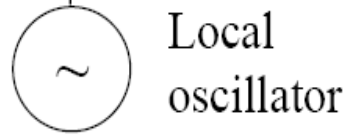
1933 Frekvenčna modulacija

Mešalni princip radijskega sprejema



$$A_c[1 + m(t)] \cos 2\pi f_c t$$

$$\frac{A_c[1 + m(t)]}{2} \cos 2\pi f_{IF} t$$



$$A_c[1 + m(t)] \cos 2\pi f_c t \cos 2\pi f_{LO} t$$

$$= \frac{A_c[1 + m(t)]}{2} [\cos 2\pi(f_{LO} - f_c)t + \cos 2\pi(f_{LO} + f_c)t] \quad f_{LO} = f_c + f_{IF}$$

Rojstvo komunikacijske teorije

The Bell System Technical Journal

Vol. XXVII

July, 1948

No. 3

A Mathematical Theory of Communication

By C. E. SHANNON

INTRODUCTION

THE recent development of various methods of modulation such as PCM and PPM which exchange bandwidth for signal-to-noise ratio has intensified the interest in a general theory of communication. A basis for such a theory is contained in the important papers of Nyquist¹ and Hartley²



Kapaciteta kanala

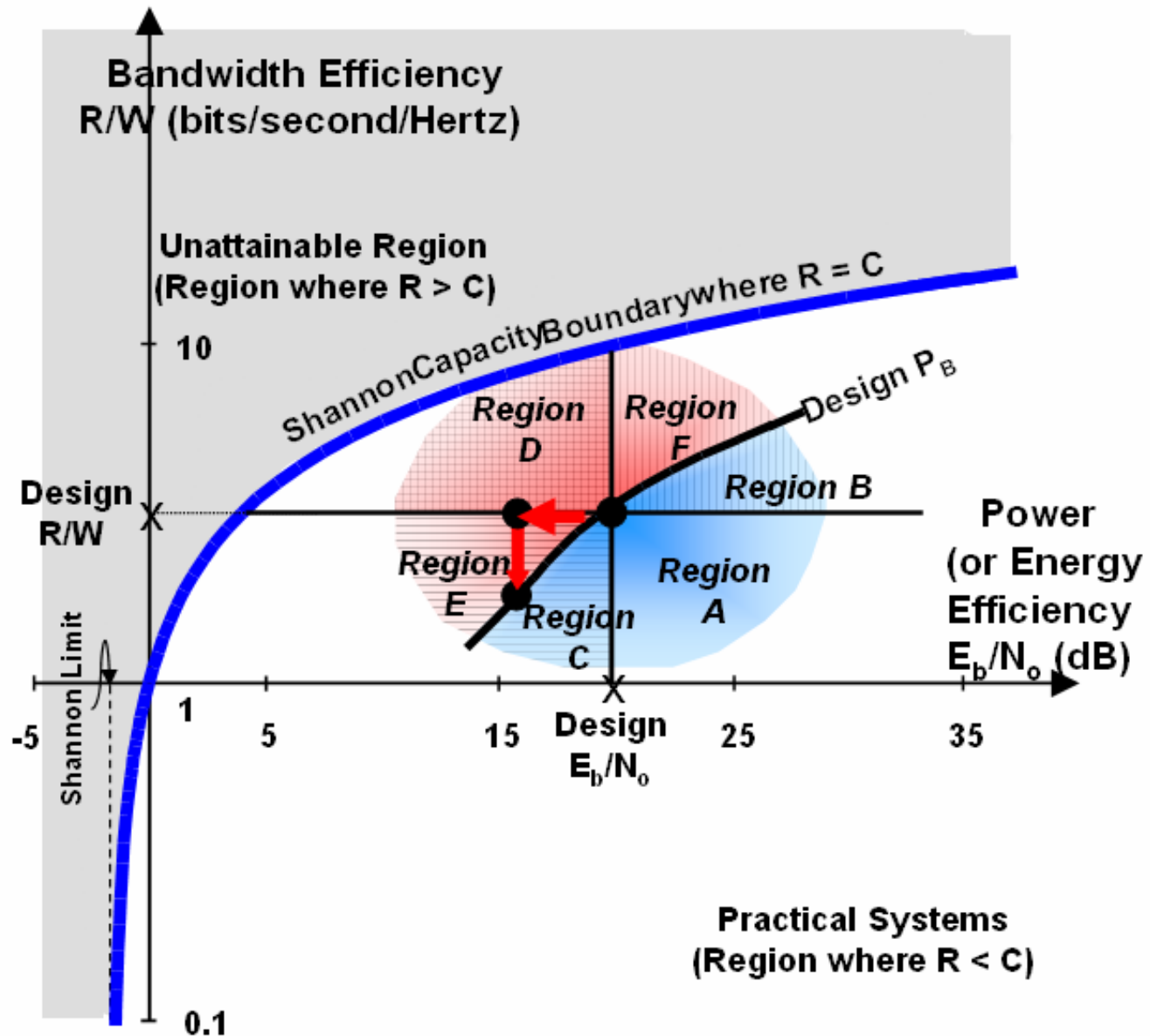
- Linearni kanal
- Aditivni beli Gaussov šum

$$C = \Delta f \log_2(1 + S/N) \text{ bit/s}$$

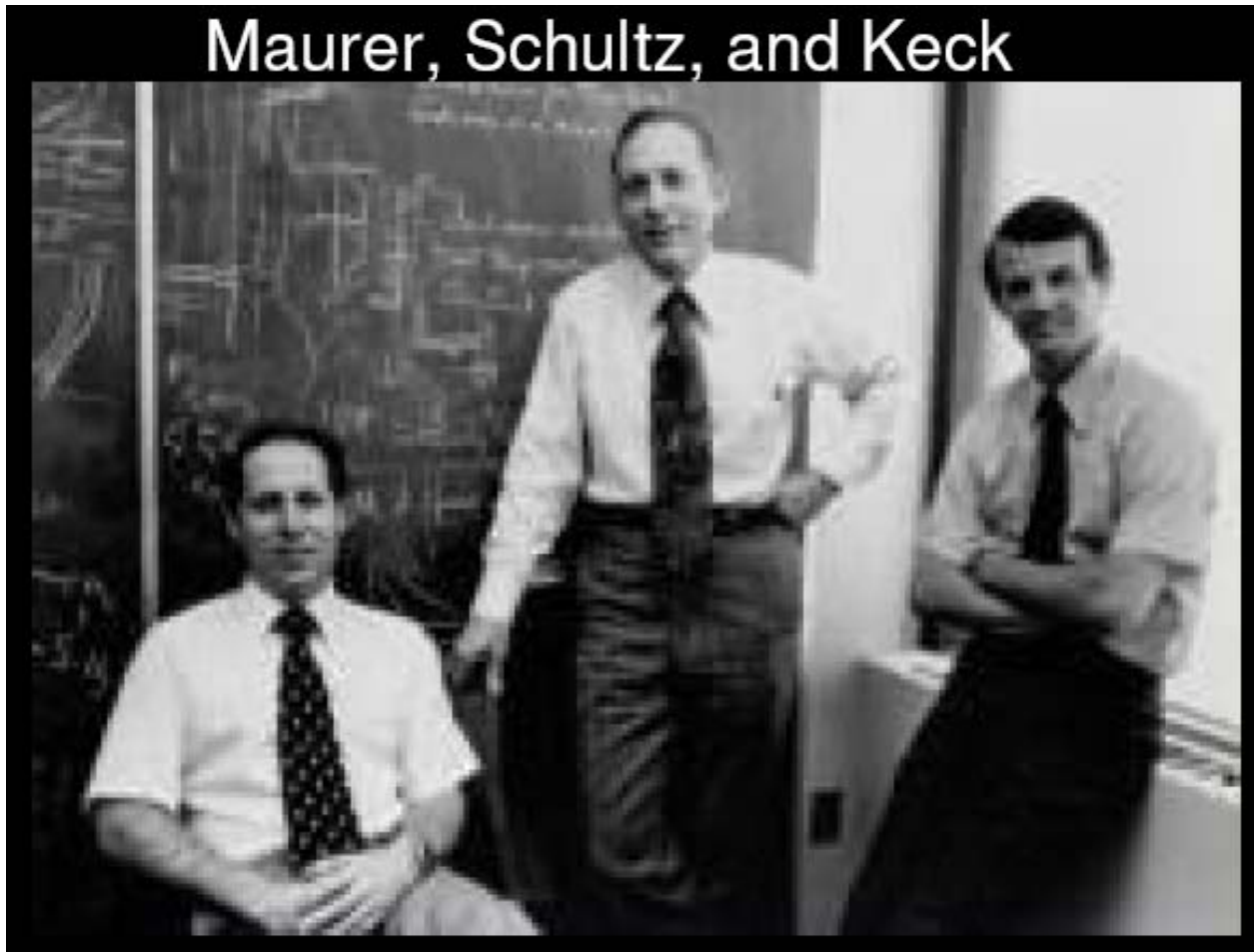
$$S = E_b C ; \quad N = N_0 \Delta f$$



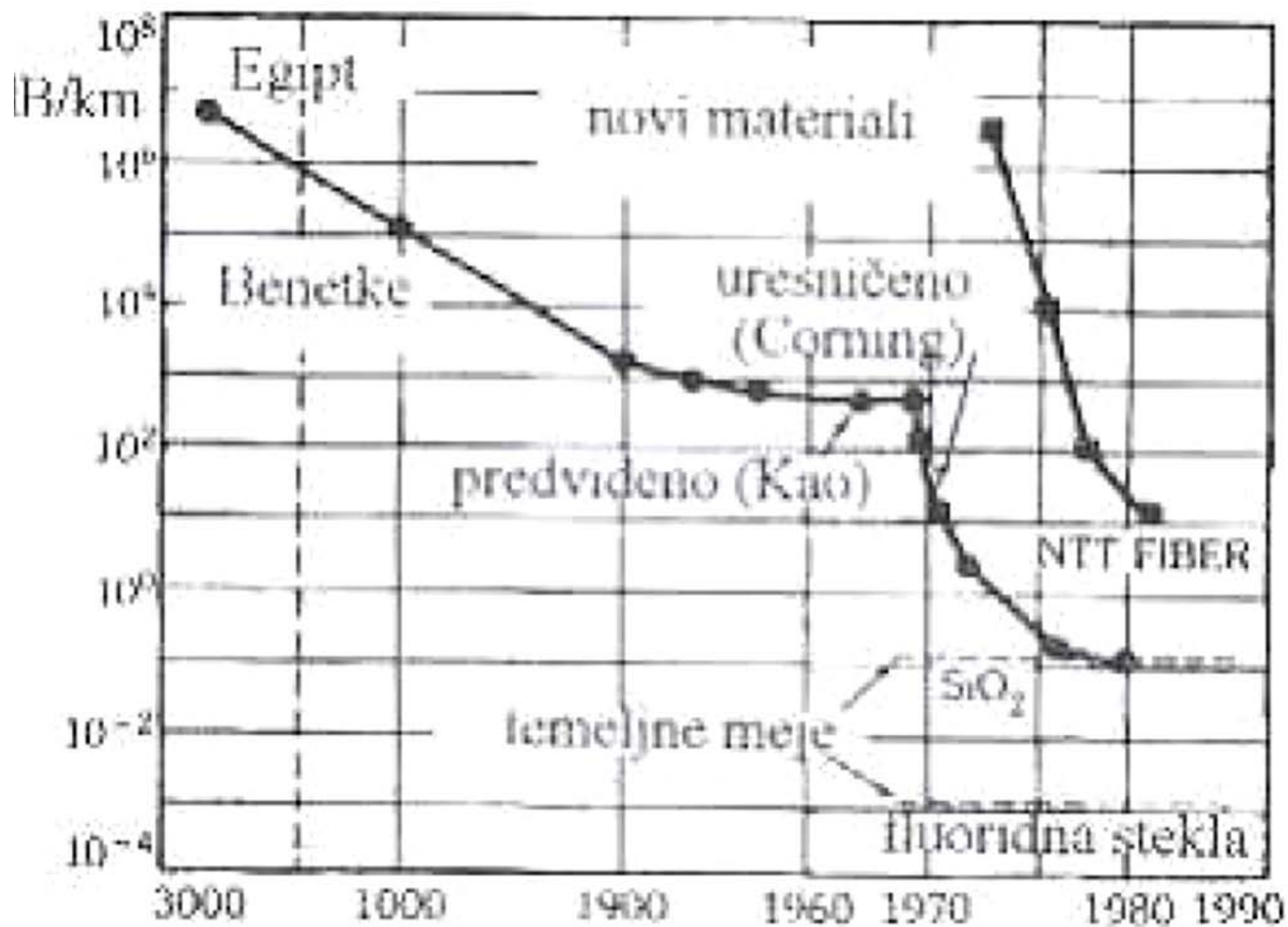
How to Do Moore with Less!



Razvoj optičnega vlakna pri Corningu, 1970



Čiščenje optičnega vlakna

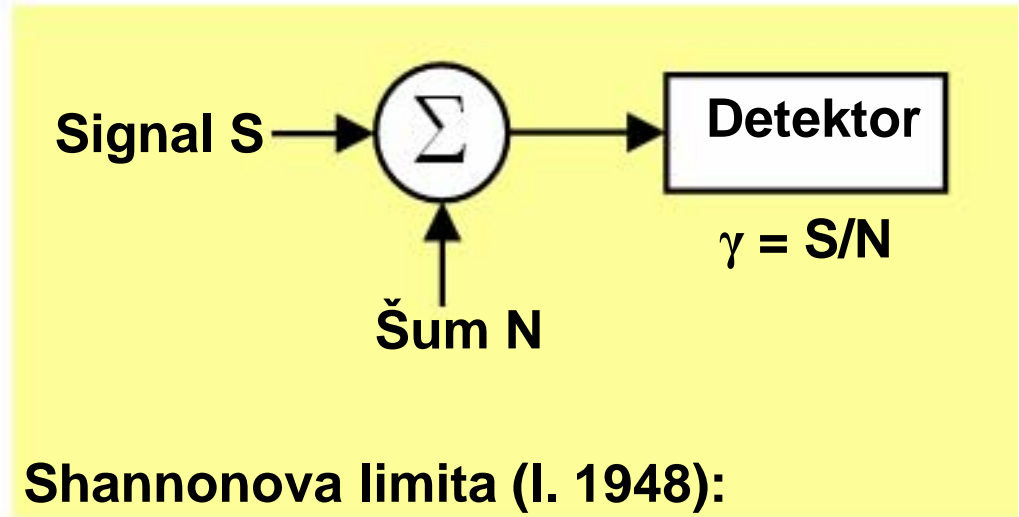


Claude Shannon – utemeljitelj teorije prenosa informacije

- Linearni kanal
- Aditivni beli Gaussov šum



• Claude E. Shannon
1916–2001



Shannonova limita (l. 1948):

$$C = \Delta f \log_2(1 + \gamma) \quad \text{Bit/s}$$

$$\eta = \frac{C}{\Delta f} = \log_2(1 + \gamma) \quad \text{Bit/s/Hz}$$

Edwin H. Armstrong – utemeljitelj sodobne radiotehnike


http://www.flux.utah.edu/~rolke/content/CE-seminar.ppt#693,7,Better Sound Quality: FM Radio - Mic...

Datoteka Edit Browse Pojdi na Priljubljene Pomoč

Nazaj Iskanje Priljubljene

Naslov http://www.flux.utah.edu/~rolke/content/CE-seminar.ppt#693,7,Better Sound Quality: FM Radio Pojdi Links

Better Sound Quality: FM Radio



1933: Edwin H. Armstrong patents FM radio (better quality than AM)

1940s: analog television transmissions start in North America and Europe.

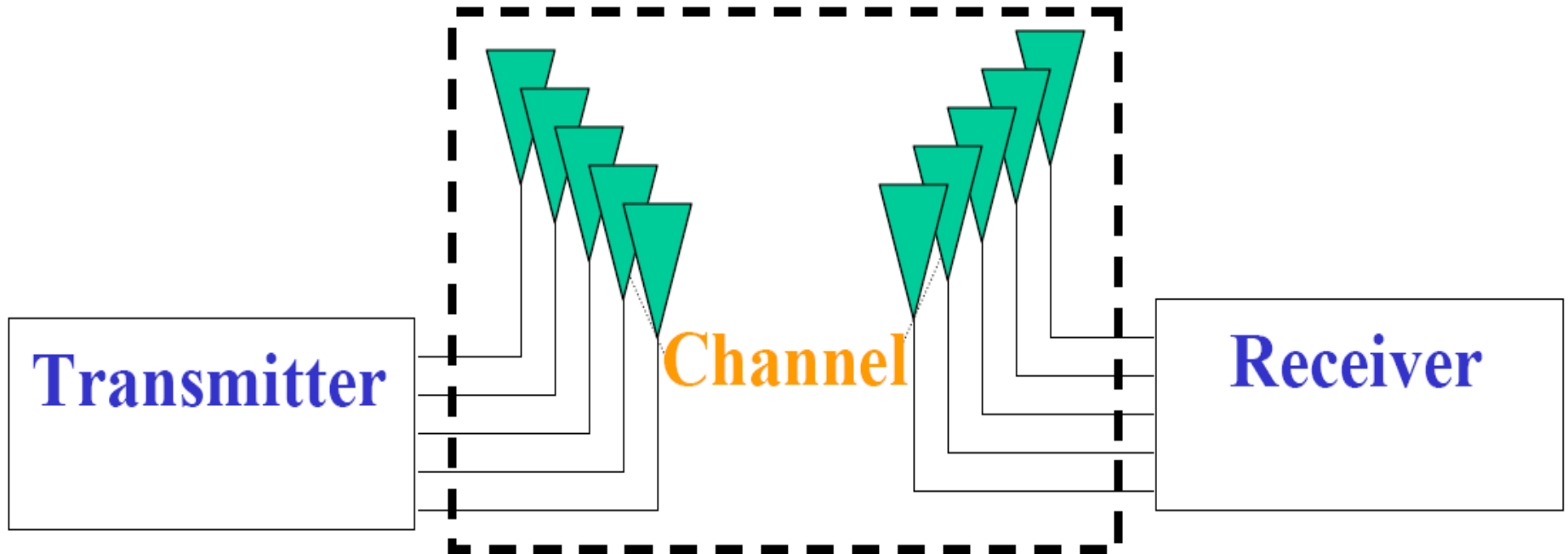
Utemeljitelj sodobne radiotehnike:

- 1918 Heterodinski sprejem
- 1922 Regenerativna povratna vezava
- 1933 Frekvenčna modulacija

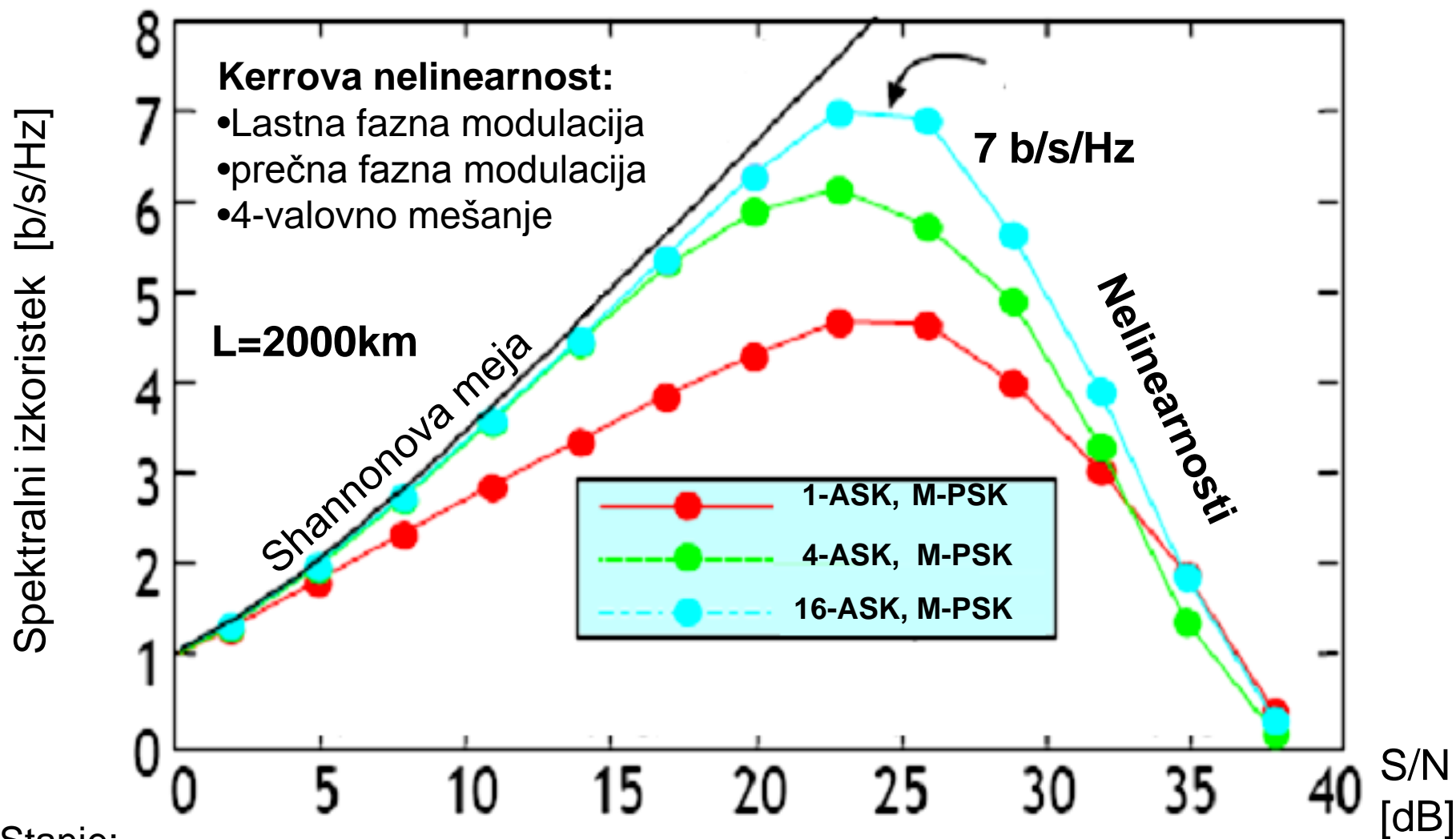
EDWIN H. ARMSTRONG
1890 - 1954

Radiokomunikacije

Zveza točka – točka preko velikega števila prenosnih poti in frekvenčnih kanalov



Spektralni izkoristek v nelinearnem kanalu



Stanje:

- Največji spektralni izkoristek je 7 b/s/Hz. Praktični sistemi zaostajajo do 10 krat.
- Praktični sistemi lahko prenašajo do 5 Tb/s na razdaljo 2000 km. Sistemi v razvoju prenašajo 10 krat več.

- Information is transmitted through noisy communication channels
 - Ralph Hartley and Claude Shannon (at Bell Labs), the fathers of Information Theory, worked on the problem of efficiently transmitting information; i. e. **decreasing the uncertainty** in the transmission of information.



Hartley, R.V.L.,
"Transmission of
Information", *Bell
System Technical
Journal*, July 1928,
p.535.

C. E. Shannon, "A mathematical
theory of communication," *Bell
System Technical Journal*, vol. 27,
pp. 379-423 and 623-656, July
and October, 1948.

