

1 k P z t e æ a c o : i e j o a i c e u i i j

(Ključne točke za ispit)

P v t t o æ e e d i a j a c u i i j

- – Samuel Morse izumio telegraf.
- – Alexander Graham Bell patentirao telefon.
- 1 • – Prva izravna telefonska linija u Hrvatskoj.
- 1 • – Prvi uspješan bežični prijenos preko Atlantika (Guglielmo Marconi).
- – ARPANET (prethodnik interneta).
- – Prvi eksperimentalni mobilni poziv (Motorola).
- – Prvi komercijalni mobilni sustav (NMT 450 MHz, Skandinavija).
- r M • – Osnivanje 984 (Groupe Spéciale Mobile) pod CEPT-om.
- 1 • – Prvi GSM poziv u Finskoj (operator Radiolinja).
- – Prvi međunarodni roaming (Finska i UK) i prva SMS poruka.

v z a 2 b G æ o g g e i j

- – Definirani osnovni parametri GSM standarda.
- – GSM postaje međunarodni standard (ETSI).
- – GSM faz 2: početak prijenosa podataka i faksa.
- R • – Uvođenje 1002 (mobilni internet) i prvi 3G natjecaji.
- 1 • – Prva 002 (WCDMA). G a e 3
- – za brži prijenos podataka.
- – P (Arzi 002 download) i preko 1.5 milijardi GSM korisnika.
- L E • – Prva 002 (4G).
- 1 • – Preko 6.5 milijardi GSM korisnika globalno.

t G e o g g i j

- v p ve e æ a o s i j j i
 - p (<2 GHz): valobudnost, loša prijemnost.
 - p (2–10 GHz): veća snaga, veća brzina.
 - V p (mmWave, 20–100 GHz): ekstremne brzine, kratak domet.
- : niska latencija (<1 ms), masivni IoT, podrška za autonomna vozila.
- A): G a d ced G .
 - Integracija AI/ML za upravljanje mrežom.
 - Poboljšana podrška za industrijske aplikacije (IIoT).
 - Planirano uvođenje od 2025.

4 t G e æ g i j

- v v 02030. o o d e e u j

- **z** : **č e a č u j**
H ◦ Spektar do (tera**T**itne brzine). **3**
◦ Dinamičko prebacivanje između Wi-Fi, satelita i mobilnih mreža.
◦ Napredniji MIMO i energetska učinkovitost.
- **P** : holografske komu**n**ikacije, precizna robotika, integracija s kvantnim računalima.

v z g . S o a i o i i i

- **v** **a p t** **s o v i s t o** (posredništvo pojedinih dobavljačima).
- **P v** **p v** **o p e r** (zbog broja poverljivih uređaja).
- m Z** **v** **t z a** **e t** **e e n** (pričistačute identifikacija, zaštita podataka).

z o . 6 0 0 i 3

- **v** : **C e i i j**
◦ Potpuna konvergencija fiksnih i mobilnih mreža.
◦ Globalna pokrivenost brzim internetom.
◦ Razvoj i priprema za **6 G** i kvantne komunikacije.
- **v T** **e d o i**
◦ Dominacija OTT (Over-The-Top) usluga (npr. Netflix, Zoom).
◦ Rast IoT uređaja (50+ milijardi do 2030.).

Z a a 7 č u j

- Mobilne tehnologije ključne za digitalnu transformaciju društva.
- omogućit će **6 G** i **6 G** aplikacije (autonomna vozila, pametni gradovi).
- **v z i g**urnost, energetska učinkovitost, regulativa.

h P m n k z t v e æ a c 2 0 i e j o o ä i a c u i i j

(Ključne točke za ispit)

O s S o 7 o d e i j

- **v** : **o e S i j**
1. (prijenos bitova). **č i i i**
2. **V** (upravljanje okvi**e**ma i greškama).
3. (uslужeravanje po**d**ataka). **i**
4. **P** (kontrola toke i pouzda**n**ost). **i**
5. (upravljanje se**d**ij **S o e a**). **j i**
6. **P** (enkripcija, de**d**od **e s**ija).
7. **p A** (krajnje korisni**č**ke apli**k**acije). **i j**
- : Standardizacija komu**n**ikacije izm**j**edu uređaja.

m v 2e . e c v o f s j a i u i

- **p** : a s o i
 - **v** ($f < 2 \text{ GHz}$): Veći domet, loša propusnost u gradovima.
 - **v** ($2 \text{ GHz} < f < 5 \text{ GHz}$): Revidirana između dometa i brzine.
 - **V** **v** ($f > 5 \text{ GHz}$): Kratak domet, ekstremne brzine (primjena u urbanim područjima).
- **V** : $(\lambda = \frac{c}{f})$, gdje je $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$.

t a g . a a i i o g i a g i i i

- : Binarni (0/1), lakša obrada, manje osjetljiv na šum.
- **A** : Kontinuirani, osjetljiv na smetnje.
- **A p v** : t e a
 1. **vz** (teorem: $C = 2f \log_2(\frac{P}{P_{\min}})$).
 2. **v** (dizajnirana za amplitudu, IQSNR je $6.02 \times \text{bitova}$).
 3. (pretvorba u binarni zapis).

4 a d c e u i j

- **V** : t s e
 - **A** **A p** : Informacija u amplitudi (osjetljiva na šum).
 - **v** : Informacije u frekvenciji (robustnija).
 - **P** : Informacija u fazi (najkompleksnija).
- t a g e a d c e u i j
 - **A** (jednostavna, loša otpornost na šum).
 - (bolja otpornost, veća potrošnja spektra).
 - **P** (najrobusnija, koristi se u GSM-u).

P p a a g a c s a g i j

- : e o e i
 - (kratkotrajni/dugotrajni gubitak signala).
 - (odbijanje od objekata).
 - (ogib oko prepreka).
 - (raspršenje na raznim objektima).
- t ISI (interferencija).

p t . 6 a u e i j

- **V** : t s e
 - : Podjela frekvencijskog spektra.
 - : Podjela vremenskih intervala (GSM koristi kombinaciju FDMA/TDMA).
 - : Jedno razdvajanje (robustno, složeno).

- : Prostorno razdvajanje (čelijska struktura).
- P t: ed s t edo ci i
- A : Jednostavno, ali nefleksibilno.
- : Aleksibilno, zahtjeva složenu kontrolu snage.

r k n p e s 7 t s a i v j a f u u e e i a c j i j

- : e e i j
 - Smanjuju potrebnu snagu, povećavaju kapacitet.
 - Veličina ovisi o frekvenciji (veća frekvencija = manje ćelije).
- P v a a f e e i a c j i j
 - : 7-frekvencijski model (pčinovna upotreba na udaljenim ćelijama).
 - : Prilagodba prenošenju i interferenciji.

A t 8 e e

- V : t s e
 - 120° pokrivenost, ea baze stanice).
 - (za specifična područja poput tunela).
- : Daljina antene proporcionalna valnoj duljini (($\lambda/4$) ili ($\lambda/2$)).

P h n k v t e a a c t v e: 5 b j s a j i e w a g i i j

(Ključne točke za ispit)

n v v v o v e e o o d a a j a i

- : t t a s u u
 - (core): Prolazi svjetlost (promjer: 8–62,5 μm).
 - (cladding): Reflektira svjetlost natrag u jezgru.
- P a a s z i t e t a m a n i c k i h o š e d e n j a .
- V v : t s a a a
- (MMF ◦ V) : Veći promjer jezgre (50–62,5 μm), kraći domet (<2 km).
- (MF ◦ J) : manji promjer (8–15 μm), duži domet (>100 km).
- p p t: z o č o o i i i
- nm (1. generacija) (2. generacija) (3. generacija)
- : G c u i i
 - P : 0,2–3 dB/km (ovisno o valnoj duljini).
 - p : Kromatska (ovisna o valnoj duljini) i modalna (samo kod MMF).

k p e a t c e o č i o j a i a c u i i j

- 1) : g e a 4 9 i 7 j
- nm ◦ Valna duljina: , MMF, LED izvori.

5 / 13

- **P** : **e c i j i i**
 - **P** : Jednostavna i osjetljiva.
- (**D** ◦ **v** : **a PA**) : Visoka osjetljivost, pojačanje.
- **t** : **t e i e**
 - Mjera kvalitete: ($\text{BER} = \frac{\text{Pogrešni bitovi}}{\text{Ukupno bitova}}$).
 - Zahtjev: ($\text{BER} < 10^{-12}$).

P **p t o t z o j e e i**

- **P** : **a o č a g e u**
 - ($P^*\{\text{rx}\} = P^*\{\text{tx}\} - \alpha L - \text{gubici konektora/spojeva} - \text{margina}$).
 - : 5–8 dB (sigurna zaliha).
- : **t a o i**
 - Gubici u vlaknu (α), disperzija, nelinearni efekti.
- **v z** : **a s t d o i e**
 - Visoke brzine ograničene disperzijom, duži dometi prigušenjem.

p **t p 80 ž e i a a č i i j**

- **t** : **o s a c a a e u i j**
 - Zaštitni omotači, armature, minimalni radijus savijanja.
- **P** : **a a a č j**
 - : Pojačanje u optičkoj domeni (1550 nm).
 - : O-E-O **egz** (manje efikasn).

R **n z P t e a c v v e i o j a i j o e g e i e c e i j**

(Ključne točke za ispit)

) **r PhH P** **z . e o a o ž g a a i e i a i j i j**

- : **a a t e s e i i**
 - Uveden 1970-ih za digitalni prijenos govora.
 - Koristi TDM (Time Division Multiplexing).
 - : E1 (2,048 Mbit/s), E2 (8,448 Mbit/s), E3 (34,368 Mbit/s), E4 (139,264 Mbit/s).
 - : **t e d o c i**
 - Ograničen kapacitet (do 140 Mbit/s).
 - Složeno multipleksiranje/demultipleksiranje (planina multipleksora).
 - Nema globalnog standarda (različiti standardi u Europi, SAD-u i Japanu).

r rhH **2 . S a 6 ž g a a i e i a i j i j**

- : **a a t e s e i i**
 - Sinkronizirana mreža s jedinstvenim standardom.

- **T** : STM-1 (155,52 Mbit/s), STM-4 (622,08 Mbit/s), STM-16 (2,488,32 Mbit/s), STM-256 (39,813,12 Mbit/s).
- **1 v** : **T O S i**
 - Sastoji se od zaglavlja (SOH) i virtualnog spremnika (VC-4).
 - Frekvencija: 8.000 okvira/sekundi.
- : **t ž e e e e i**
 - Terminalni multipleksor (TM), Add-Drop multipleksor (ADM), Digitalni prospojoinik (DXC), Regenerator.
- **P** : Fleksibilnost, podrška za PDH, ATM, IP.
- : 5% kapaciteta za upravljanje, osjetljivost na softverske greške.

I M rWh V P a p 3 oltē es j a ui i j

- **P p** : Više valnih duljina prenosi se istim vlaknom.
- **V** : **t s e**
- **DM** ◦ **W W**) : **es e**
 - Do 160 kanala s razmakom <1 nm (C i L-pojas: 1530–1625 nm).
 - Brzine: 100 Gbit/s po kanalu (ukupno do 16 Tbit/s).
 - Primjena: Dalekometni linkovi, podmorski kablovi.
- **DM** ◦ **W W C**) : **a G s e**
 - Do 18 kanala s razmakom 20 nm (1260–1610 nm).
 - Jeftiniji (nehladeni laseri), za kratke udaljenosti.
- **p** : Multipleksori/demultipleksori, optički filtri, EDFA pojačala.

rKh 4 w f .S a fve j et ed e ò g i

- : **a a t es e i i**
- Odvaja **v k** (softverski kontroler) od **p i u v vt a** (fizički uređaji). **e**
- **P** : **t ed s i**
 - Centralizirano upravljanje, dinamička konfiguracija.
 - Podrška za virtualizaciju i automatizaciju.
- **A** : **t t ea i u**
 - **v** : Povezuje aplikacije s kontrolerom (API).
 - **ž** : Povezuje kontroler s fizičkim uređajima (npr. OpenFlow).
- **P** : Upravljanje prometom, zaštita od DDoS napada, optimizacija resursa.

I nV w t . d/ d ž o á u i d ui i

- : **a a t es e i i**
- Virtualizacija mrežnih funkcija (firewall, usmjerivači) na standardnom hardveru.
- **P** : **t ed s i**
 - Smanjenje CAPEX/OPEX.
 - Brže uvođenje usluga, fleksibilnost.
- **p** : **ot o e e**
 - VNF (Virtualne Mrežne Funkcije), MANO (Management and Orchestration).

- **Performanse**, sigurnost, interoperabilnost s postojećom infrastrukturom.
- **Komplementarni** (SDN upravlja mrežom, NFV virtualizira usluge).

v t č6 e do uji i

- | | | | | | |
|-----------|-----------|----------|----------|-----------|---|
| DN | NF | v | o | e: | Grafika: Dimačko upravljanje resursima u "pametnim" mrežama. |
| | | | | | : Zahtijeva fleksibilne mreže s niskom latencijom. |
| | | | | | : SDN/NFV omogućavaju napredne zaštitne mehanizme (npr. Moving Target Defense). |

h k P m n k z tʃ e æ z a c a : ɒ p o j ɪ i a c d o u i G i j

(Ključne točke za ispit)

Gæ e ʋ e o t i s æ j a i i u

- **A v (Ga) b g s æ i u i**
 - **AP** (Advanced Mobile Phone System): Prvi analogni sustav (800 MHz, SAD).
 - (Nordic Mobile Telephone): Radi na 450/900 MHz, velik domet (25 km).
- **(G) a g t s æ i i i u i**
 - (Global System for Mobile Communications): Europski standard, podrška za SMS i roaming.
 - (Code Division Multiple Access): Višestruki pristup kodnom podjelom (IS-95).

P p z **G** v a e a t **x** i d j o e s g e u u

- o **P** (General Packet Radio Service): Prva podrška za IP promet.
- o (Enhanced Data Rates for GSM Evolution): Brzine do 384 kb/s.
- V**) : **z** **G** **s** **o** **e** **3** **i**
- o (W-CDMA): Brzine do 2 Mb/s.
- o **P** **A** **P** : Nadogradnja za brže preuzimanje/otpremanje (14,4 Mb/s / 5,76 Mb/s).
-) : **4** **T** **G**
- o (Long Term Evolution): IP-baziran, brzine do 299,6 Mb/s.
- o **A** **T** : Ispunjuje 4G-Advanced zahtjeve (1 Gb/s za stacionarne korisnike).
- : **G**
- o Ultra-niska latencija (<1 ms), masivni IoT, mmWave tehnologija.

It Sea i u

- **p** : **ot o e e**
 - (**B**ase **T**ransceiver **S**tations): Radio veza s mobilnim uređajima.
 - (**B**ase **S**tation **C**ontrolle**r**): Upravlja BTS-ovima, kontrolira resurse.
 - (**M**obile **S**witching **C**enter): Prospaja pozive i povezuje s fiksnom mrežom.
 - (**H**ome **L**ocation **R**egister): Centralna baza pretplatnika.
 - (**V**isitor **L**ocation **R**egister): Privremena baza aktivnih korisnika u području.
 - (**A**uthentication **C**enter): Provjerava autentičnosti i enkripcija.
- **i** : **t f d e a o i i**
 - (**I**nternational **M**obile **S**ubscriber **I**dentity): Jedinstveni korisnički ID.

- **P p P P): sa d o i**
 - Pretplata/naknada ili minimalna mjesečna potrošnja (obavezan iznos).
 - Uključeni promet (minute, SMS, internet) u pretplatu.
 - Cijene po destinacijama (unutar mreže, fiksne/mobilne mreže, međunarodne).
 - Dodatni troškovi: roaming, uređaji uz ugovor (popust za duže ugovore).
- n k n**
 - Račun se plaća potrošnje (na kraju mjeseca).
- **P p P P): æ d i**
 - Cijene poziva/SMS/interneta bez pretplate.
 - Unaprijed plaćanje (bonovi).
 - Opcija paketa (npr. 10 KM za 150 minuta + 500 MB).

• **v aO č s æ u i i**

- Vremenska jedinica naplate poziva (npr. 1 sekunda, 60 sekundi).
- Kraći interval = povoljnije za korisnika.
- Primjer: Ako je interval 60 sekundi, poziv od 30 sekundi naplaćuje se kao 1 minuta.

P B p 2 . e sA toi e dæ j a i i

• **:T fa a i**

- Minimalna mjesečna potrošnja: 50 KM (sve uključeno).
- Cijene:
 - Unutar mreže: 0,24 KM/min (obračun: 10 sekundi).
 - Ostale mreže: 0,24 KM/min.
 - Međunarodni: 1,20 KM/min.
 - SMS: 0,1 KM/poruka.

k ◦ **p z** (100 KM + 50 SMS): **77**

• **:T fa a i**

- Mjesečna naknada: 30 KM + dodatni troškovi.
- Besplatno: 100 minuta unutar mreže.
- Cijene:
 - Unutar mreže: 0,18 KM/min (obračun: 60 sekundi).
 - Ostale mreže: 0,18 KM/min.
 - Međunarodni: 0,80 KM/min.
 - SMS: 0,08 KM/poruka.

k ◦ **KMp 1 z : ao . osua 0 i2 i**

• **Z** : Tarifa A je povoljnija za navedenu potrošnju.

Tp fa . e o 3 ei i j

- Dodatne pogodnosti uz fiksnu naknadu:
 - Besplatni minuti/SMS/internet.
 - Niže cijene za odabrane usluge.

◦ Primjeri:

- 5 KM/mjesečno za 1000 minuta + 5 GB.
- 3 KM/mjesečno za 50% popusta na pozive unutar mreže.

4 p f a . e g e i u

/• P v p v s p o t e a e g i e u

- Dijeljenje uključenog prometa (npr. 160 KM za 5 korisnika).
- Besplatni pozivi/SMS unutar grupe.
- p v z G : e d e f a u a u i i
- Različite tarife s besplatnom komunikacijom između članova.

p v č o o u j i j i

- **R** (Average Revenue per User): Prosječna potrošnja po korisniku.
- : Odljev korisnika iz mreže. u
- t : Povezivanje mreža različitih operatera.
- T : Završetak poziva u mreži drugog operatera (naplata po minuti).
- T : Naknada za prijem poziva (veća za mobilne operatore).

d e . f a e i o j l e i

- : t a o i
- Troškovi terminacije i tranzita.
- Cijene konkurencije.
- Kvaliteta i pokrivenost mreže.
- p v : z C e e o i j i
- Unutar mreže: Bez troškova terminacije.
- Ostale destinacije: Troškovi terminacije + tranzit + zarada.
- : C e e a i s s
- Unutar mreže: Niska cijena (bez terminacije).
- Inozemstvo: ~0,15 KM/SMS (zbog EU troškova).
- p t : t e e t o e
- Ovisi o veleprodajnim cijenama i kapacitetu mreže.

n k n(5 t d 7 c f a u u p d e a i o 0 2 2 .

- , : Brži i pouzdaniji.
- z s g e M i n i m a l n a g a r a n t i r a n a b r z i n a u m j e s t o k o l i č i n e p r o m e t a .
- p T o i n t e g r a c i j a s i p a m e t n i m g u d u v i m a , z d r a v s t v o m , e n e r g e t i k o m .

P k l r z v e a z a c a 7 0 9 2 i c s j e o u u

(Ključne točke za ispit)

v V z od 0 0u2 i uj

- : Transformacija tečkom operateraju "pametno društvo" (*smartphone society*) bazirano na 5G tehnologiji.

k (N rN phn lv tñ e æ uþw G æ Tye d/si ec) :o og s o 0 0 i2i

1 Kapacitet w od posto00h mreža. i

- 1Kašnjenje ≤ (za zahtjevne aplikacije).
- "Pametne mreže" s ekstremnom automatizacijom.
- Personalizirana iskustva i "mreže na zahtjev" (*cloud* rješenja).
- Održavanje energetske efikasnosti unatoč rastu prometa.

- WW p v : ed ā i j

k m r r sa 7 d osia ji 000i2on 2020.aed i ji u j

- Dominacija M2M komunikacije (*machine-to-machine*) i "nevidljive tehnologije" (*calm computing*).

- žv p 2Gp e e to s i i u

- Z v :tza æ G ij

1o Bzine M 1vrhun/ke) i 0 Gs (korisnička00 s

- w p 0004Gš ē oa ei
- w p 00 š .e oe i aed ij u j
- p v 00torija0% e s i

- Ultra-pouzdanost i niska potrošnja baterije uređaja.

- vz z :a ae a o G j

- Istraživanje i prototipi (2015–2018).
- Standardizacija (2018–2020).
- Komercijalizacija (nakon 2020).

- v :Go te a c e i i i ij

- 5GPPP (EU), 5G Forum (Koreja), METIS, ETSI, NGMN.

T , T o . o 3o i

- : f e c e i i i j

- : Mreža fizičkih uređaja spojenih na Internet (npr. pametni termostati).
- : Industrijska primjena IoT-a (automatizacija proizvodnje, logistika).
- : Integracija ljudi, procesa, podataka i uređaja u jedinstven ekosustav (Cisco).

- p : č e euþ i j

- Zdravstvo, pametni gradovi, agrikultura, energetika, pametni domovi.

- v z z a o i

- (glavna pretpostavka 60% korisnika).
- Heterogenost protokola i tehnologija.
- Potreba za Pv (128-bitne adrese za milijade uređaja).

p 4 TT @ . a c e i i j

- **Over-the-Top usluge** koje izobiluju tradicionalne operatere (npr. Viber, Netflix).
- **StratEGIJA**
 - Smanjenje prihoda operatera od poziva, SMS-a i roaminga.
 - Primjer: **Yp** smanjio međunarodni promet za **40%**.
- **Strategija**
 - Fokus na kvalitetu mreže i brzinu pristupa.
 - Razvoj vlastitih OTT usluga ili partnerstva s OTT pružateljima.

Strategija

- **Tip**: **ekonomski**
 - Pad prihoda uslijed OTT aplikacija i povećanja CAPEX/OPEX troškova.
- **Problemi**
 - Potreba za **promjenom** (od prodaje minuta/SMS prema brzini i uslugama).
- **Strategija**
 - **Integracija** IoT, **Cloud**.
 - **Promjena** (umjesto mrežne) **inicijativa**.
 - Globalizacija i ulaganje u 5G/IPv6 infrastrukturu.

Začetak

- **Proces**: **često** **poslovni**
 - Prelazak s "tehnološkog" na "poslovni" model (*business-driven*).
- **Primeri**
 - 5G i IoT kao temelj **industrije 4.0** (*Industry 4.0*).
- **Primeri**
 - Hitna prilagodba poslovnih procesa.
 - Investicije u 5G, IoT i sigurnosne standarde.
 - Suradnja s globalnim inicijativama.