

HTTP 3.0

Internet bez TCP — QUIC protokol 🚀

U ovoj lekciji:

- 🧐 Zašto HTTP/2 nije dosta?
- ⚡ QUIC — brži od TCP-a na UDP-u
- 🔒 0-RTT i TLS 1.3 ugrađeni od startu
- 📊 Statistike i budućnost HTTP-a

Sadržaj predavanja

01

Recap: HTTP/2 ograničenja

TCP HOL, connection migration, 0-RTT

02

UDP & QUIC protokol

Connectionless, multiplexing bez TCP

03

HTTP/3 značajke

0-RTT, QPACK, connection ID

04

Performanse & Statistike

Benchmarki, adopcija, Google/Meta

05

Podrška & Demo

Preglednici, CDN, YouTube resursi

06

Budućnost HTTP-a

HTTP/3 beyond, WebTransport,
MASQUE

01 Recap: Zašto HTTP/2 nije dovoljan?

HTTP/2 je riješio puno problema HTTP/1.1 — ali TCP ima fundamentalna ograničenja koja HTTP/2 ne može zaobići.



TCP Head-of-Line Blocking (ostaje!)

HTTP/2 riješio je HOL na aplikacijskom sloju, ali TCP sloj i dalje blokira sve streamove ako se izgubi jedan paket. Jedan paket = cijela konekcija stoji.



Sporo uspostavljanje konekcije (1-2 RTT)

TCP zahtijeva 3-way handshake (1 RTT) + TLS 1.2 handshake (2 RTT) = 3 RTT ukupno. Na mobilnim mrežama s visokom latencijom (100-300ms) ovo je ogromna cijena.



Loš doživljaj pri promjeni mreže (Connection Migration)

Kada mobitel prelazi s WiFi-a na 4G/5G, IP adresa se mijenja → sve TCP konekcije se gube → cijela stranica mora se reconnectati. Posebno boli za video streaming.



TLS kao opcija (ne i obaveza)

TCP ne ugrađuje sigurnost. TLS je 'nadodan' odozgo. HTTP/3 (QUIC) ima TLS 1.3 ugrađen u sam protokol od temelja — nema mogućnosti slanja nešifiranog prometa.

02 TCP vs UDP – Temelj razlike

Svojstvo	TCP	UDP	QUIC (UDP+)
Konekcija	Obavezna (3-way HS)	Connectionless	Optimizirana (0-1 RTT)
Jamstvo isporuke	✓ Da	✗ Ne	✓ Da (app. sloj)
Redoslijed paketa	✓ Garantiran	✗ Nije	✓ Po streamu
HOL Blocking	✗ Da (cijela veza)	✓ Nema	✓ Nema (per-stream)
Multipleksiranje	✗ Nema nativno	✗ Nema nativno	✓ Ugrađeno
TLS / Sigurnost	Opcijsko (nije ugrađeno)	Opcijsko	✓ TLS 1.3 ugrađen
Connection Migration	✗ IP promjena = prekid	✓ Moguće	✓ Connection ID
Overhead zaglavlja	Veliki (20+ bajtova)	Mali (8 bajtova)	Manji od TCP+TLS
Implementacija na	OS kernel	OS kernel	User-space (fleksibilno)

💡 QUIC nije samo 'UDP s jamstvom' — to je potpuno novi transportni protokol implementiran na application layeru, koji uzima najbolje od TCP i UDP.

02 QUIC – Quick UDP Internet Connections

QUIC je transportni protokol razvijen od strane Googlea (2012.), standardiziran od IETF-a (RFC 9000, Svibanj 2021.). Temelji se na UDP-u, ali implementira pouzdanost, multipleksiranje i TLS 1.3 na razini aplikacijskog sloja — bez izmjena u OS kernelu.

Arhitektura

- Implementiran u user-spaceu
- Ne ovisi o OS kernel ažuriranjima
- Može se brzo mijenjati i ažurirati
- Google ga ažurira svaki tjedan
- IETF RFC 9000 (2021) = standardiziran

Sigurnost

- TLS 1.3 je ugrađen u QUIC
- Nemoguće koristiti bez enkripcije
- 0-RTT: sigurna veza bez handshake
- Sva zaglavlja su enkriptirana
- Sprječava middlebox interference

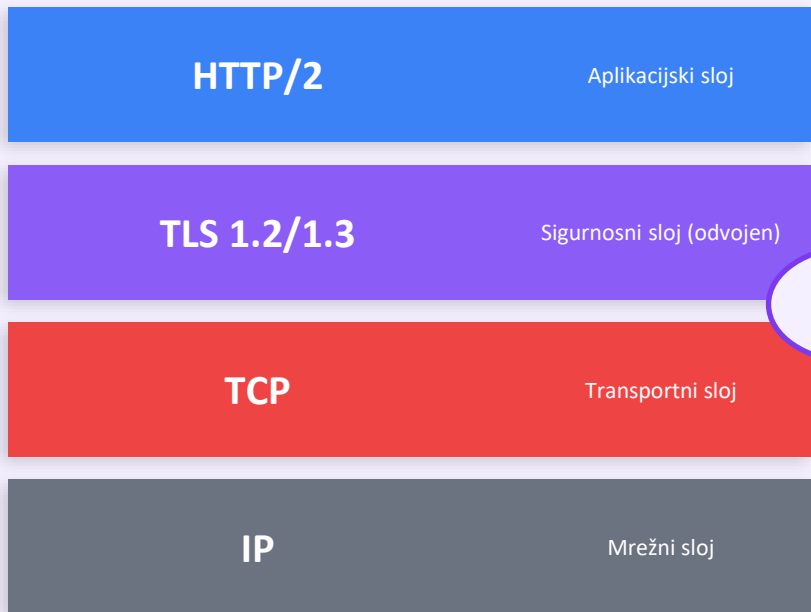
Performanse

- 0-1 RTT za uspostavu konekcije
- Per-stream HOL blocking sloboda
- Connection ID (ne IP-based)
- Bolje na mobilnim mrežama
- Forward Error Correction (FEC)

02 Protokol Stack: HTTP/2 vs HTTP/3

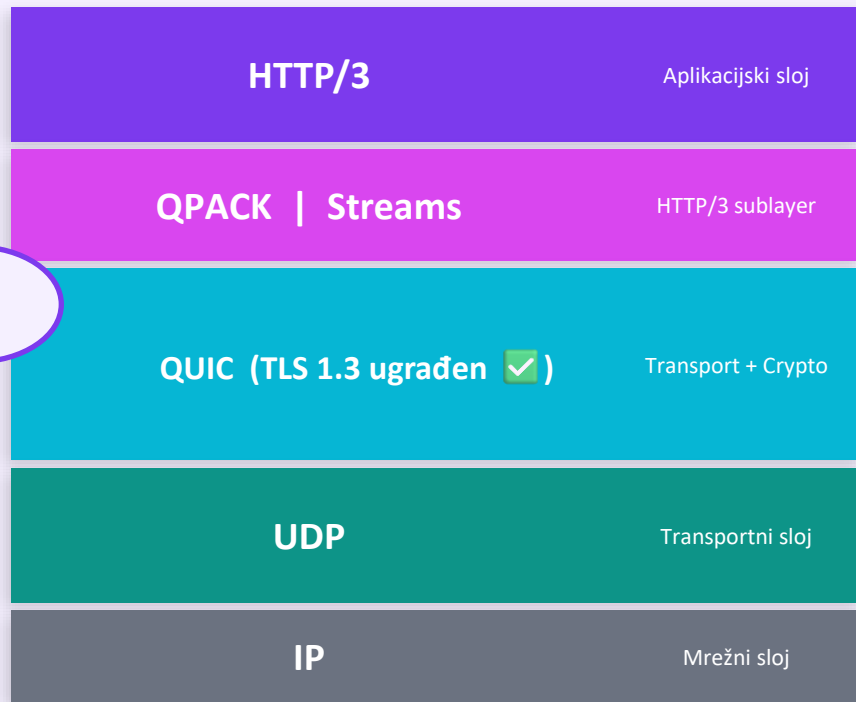
HTTP/2 i HTTP/3 izgledaju identično izvana, ali potpuno se razlikuju ispod haube:

HTTP/2 Stack



VS

HTTP/3 Stack



03 0-RTT — Brza uspostava konekcije

RTT = Round Trip Time — vrijeme putovanja paketa od klijenta do poslužitelja i natrag

TCP + TLS 1.2

Stara metoda (HTTP/1.1 / HTTP/2)

TCP SYN → 1 RTT

← TCP SYN-ACK

TCP ACK →

TLS Client Hello → 2 RTT

← TLS Server Hello

TLS Finished →

← TLS Finished

HTTP Request → 3+ RTT

3+ RTT za podatke

QUIC (1-RTT)

Prva QUIC konekcija

Initial Packet → 0 RTT

(QUIC+TLS Hello)

← Handshake Packet

(TLS Finished)

HTTP/3 Request → 1 RTT

1 RTT za podatke

QUIC (0-RTT)

Ponovna konekcija (Session Resumption)

Initial + Early Data → 0 RTT! 🚀

(HTTP/3 Request)

← Response

Server odmah šalje

podatke bez čekanja!

0 RTT za podatke ⚡

⚠️ 0-RTT ima security tradeoff: ranjivo na Replay napade — treba koristiti samo za idempotentne zahtjeve (GET, ne POST).

03 Connection Migration – Veza koja prati tebe

Tvoj mobitel svako malo mijenja IP adresu (WiFi → 4G → 5G). TCP to mrzi. QUIC to voli.

HTTP/2 (TCP) — Connection Loss 💀

📺 Klijent: IP 192.168.1.5 (WiFi)

🎬 Netflix stream: OK ✅

🚶 Korisnik izlazi iz kuće...

📶 Klijent: IP 10.0.0.1 (4G)

❌ TCP konekcija: PREKINUTA!

🔄 Novo TCP handshake + TLS...

⌚ Video se bufferira, korisnik čeka

HTTP/3 (QUIC) — Seamless Migration ✅

📺 Klijent: IP 192.168.1.5 (WiFi)

🎬 Netflix stream: OK ✅

🚶 Korisnik izlazi iz kuće...

📶 Klijent: IP 10.0.0.1 (4G)

🔑 QUIC Connection ID: ostaje isti!

✅ Stream nastavlja automatski!

🎬 Video teče bez prekida 🚀

🔑 QUIC Connection ID nije vezan uz IP adresu ili port — konekcija postoji sve dok obje strane imaju isti Connection ID.

03 HTTP/3 – 6 Ključnih Značajki



Connection Migration

WiFi → 4G bez prekida



TLS 1.3 ugrađen

Nema nešifriranog QUIC-a



0-RTT Handshake

Ponovne veze bez čekanja



QPACK Kompresija

Naslijeđuje HPACK koncepte



Per-Stream HOL Sloboda

Svaki stream neovisan



UDP Base

Bez kernel izmjena, brže

03 Per-Stream HOL Blocking – QUIC pobjeđuje

HTTP/2 multipleksira streamove ali na jednoj TCP konekciji — jedan izgubljen TCP paket blokira SVE streamove! QUIC to rješava.

HTTP/2 — TCP packet loss blokira sve

✗ TCP Packet Loss!

II Stream #1 (HTML) — BLOKIRAN čeka retransmisiju

II Stream #3 (CSS) — BLOKIRAN čeka retransmisiju

II Stream #5 (JS) — BLOKIRAN čeka retransmisiju

II Stream #7 (Image) — BLOKIRAN čeka retransmisiju

HTTP/3 — Gubitak paketa = 1 stream

✓ Stream #1 → HTML teče normalno!

⚠ Stream #3 → CSS (retransmit...)

✓ Stream #5 → JS teče normalno!

✓ Stream #7 → Image teče normalno!

HTTP/2: 1 izgubljen paket → svi streamovi stanu | HTTP/3 (QUIC): 1 izgubljen paket → samo taj stream čeka!

03 QPACK — Kompresija Zaglavlja za HTTP/3

HPACK (HTTP/2) nije kompatibilan s QUIC-om jer pretpostavlja redosljed paketa. QPACK to rješava.

HPACK (HTTP/2) — Problem s QUIC-om

HPACK zahtijeva:

- Statičnu i dinamičnu tablicu zaglavlja
- Zajednički kontekst koji se ažurira
- Strogi redosljed ažuriranja tablice

Problem s QUIC-om:

- QUIC streamovi dolaze u neredosljedu
- Ako tablični update dođe kasno → blokiraj!
- Time se vraća HOL blocking koji smo željeli riješiti! ❌



QPACK (HTTP/3) — Rješenje ✅

QPACK rješava:

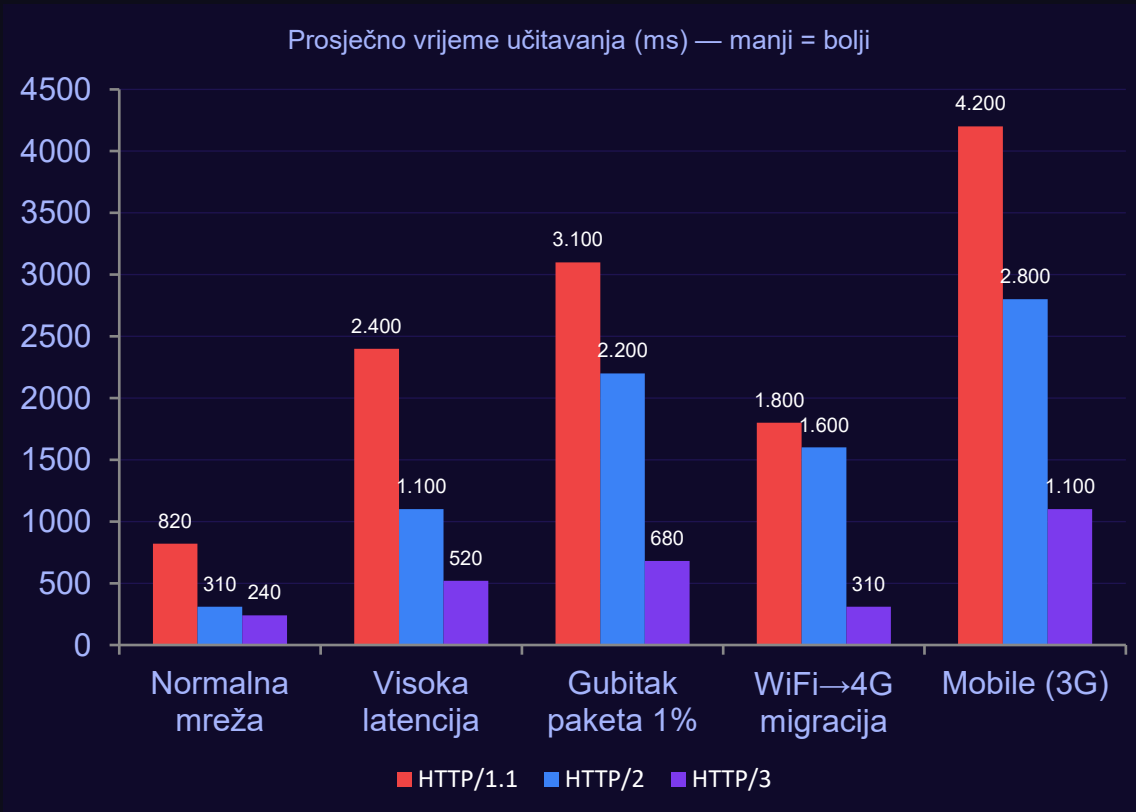
- 2 zasebna QUIC streama za tablice:
 - Encoder stream
 - Decoder stream

Svaki header blok je samostalan:

- Može se dekodirati bez čekanja
- Statična tablica (61 predefiniranih)
- Dinamična tablica = opt-in po potrebi ✅

→ Nema HOL blockinga zbog kompresije! ✅

04 Performanse — HTTP/1.1 vs HTTP/2 vs HTTP/3



 **~45%**

Brže od HTTP/2

 **~80%**

Brže na mobilnoj
migraciji

 **0-RTT**

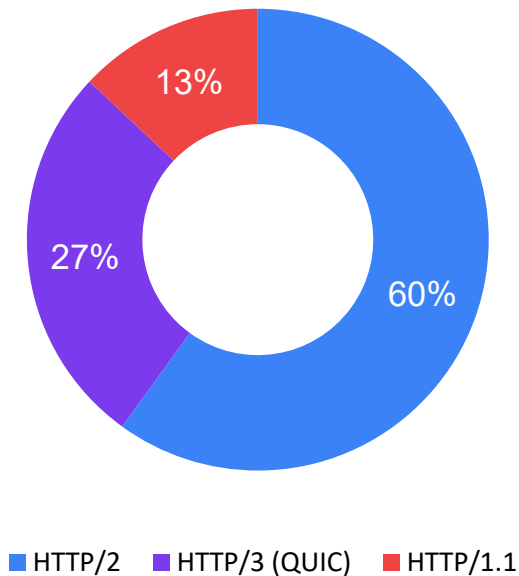
Ponovna konekcija

 **~13%**

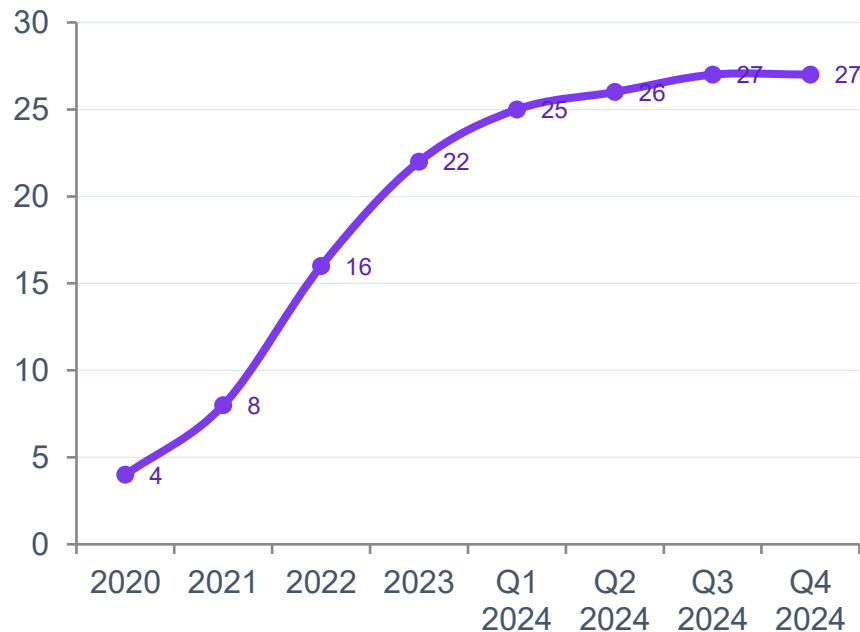
Google Cloud
ubrzanje

04 Globalna Adopcija HTTP/3 (2024)

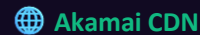
Distribucija protokola (web, 2024)



Rast HTTP/3 adopcije (%)



Tko već koristi HTTP/3:



05 Podrška Preglednika i Poslužitelja



Chrome

od v87+

Puna QUIC/HTTP3 podrška



Firefox

od v88+

HTTP/3 enabled by default



Safari

od v14+

HTTP/3 podrška (Webkit)



Edge

od v87+

Chromium baza, puna podrška



Opera

od v73+

Chromium baza



Samsung

od v12+

Mobile podrška



Poslužitelji i CDN koji podržavaju HTTP/3 / QUIC:

Web Serveri: nginx 1.25+ • Apache (mod_quic) • H2O • LiteSpeed • Caddy

Cloud / CDN: Cloudflare • Google Cloud CDN • Akamai • AWS CloudFront • Fastly

App Serveri: Node.js (quic mod) • Netty • Quiche (Rust) • MSQUIC (.NET)

05 Demo & YouTube Resursi



YouTube Videi — Obavezno pogledaj!



HTTP/2 in 100 Seconds — Fireship 🔥 — Fireship (preporučeno!)

 <https://www.youtube.com/watch?v=a-sBfyiXysl>



HTTP/3 is everywhere but nowhere — Theo (t3.gg) — Theo - t3.gg

 <https://www.youtube.com/watch?v=ai8cf0hZ9cQ>



QUIC Protocol — How it works — Eye on Tech

 <https://www.youtube.com/watch?v=j9QmMEWmcfo>



HTTP/1.1 vs HTTP/2 vs HTTP/3 — Hussein Nasser — Hussein Nasser

 <https://www.youtube.com/watch?v=UMwQjFzTQXw>



Provjeri HTTP/3 za web stranicu: <https://http3check.net> | <https://cloudflare-quic.com>



Statistike: <https://w3techs.com/technologies/details/ce-http3> |



Kompletna Usporedba: HTTP/1.1 vs HTTP/2 vs HTTP/3

Svojstvo	HTTP/1.1	HTTP/2	HTTP/3
Transport	TCP	TCP	UDP (QUIC)
Protokol format	Tekstualni	Binarni	Binarni (QUIC)
Multipleksiranje	✗ Ne	✓ Streamovi	✓ QUIC streams
HOL Blocking	✗ Aplikacijski	⚠ TCP ostaje	✓ Riješen!
Kompresija zaglavlja	✗ Nema	✓ HPACK	✓ QPACK
Server Push	✗ Ne	✓ Da (ograničen)	⚠ Da (rijetko)
TLS / Sigurnost	Opcijsko	De facto	✓ Obvezno (TLS 1.3)
Conn. Migration	✗ Ne	✗ Ne	✓ Connection ID
0-RTT Handshake	✗ 3+ RTT	✗ 1-2 RTT	✓ 0 RTT (resume)
Adopcija (2024)	~13%	~60%	~27%
RFC Standard	RFC 2068 (1997)	RFC 7540 (2015)	RFC 9114 (2022)

06 Budućnost HTTP-a — Što dolazi?



Kratkoročno (2025-2026)



HTTP/3 adopcija nastavlja rasti prema 50%



Server Push zamjenjuje 103 Early Hints (HTTP/2+)



WebTransport API — bidirekcijski streaming nad QUIC



MASQUE protokol — tuneliranje (VPN-like) nad HTTP/3



Srednji rok (2026-2027)



HTTP/3 postaje default na svim major CDN-ovima



QUIC v2 (RFC 9369) — još bolji za multipath



Multipath QUIC — više mrežnih putanja istovremeno



HTTP/3 u IoT uređajima i embeddenim sistemima



Dugoročno (2027+)



HTTP/4? Moguće ali nije u planu (IETF focus: QUIC v2)



Post-Quantum kriptografija u TLS 1.4 za QUIC



Semantic Web protokoli nad HTTP/3



6G mreže dizajnirane s QUIC kao temeljem



06 WebTransport & MASQUE – Budućnost Streaminga



WebTransport API

W3C Draft Standard

WebTransport je novi Web API koji omogućava bidirekcijsku komunikaciju između klijenta i poslužitelja koristeći HTTP/3 / QUIC. Zamjenik WebSocket-a za low-latency scenarije.

Use-cases:

- Online gaming (niska latencija)
- Live video streaming
- Real-time collaboration
- IoT telemetrija



MASQUE Protocol

RFC 9298 (2022)

MASQUE (Multiplexed Application Substrate over QUIC Encryption) omogućava tuneliranje TCP/UDP prometa kroz HTTP/3 konekciju. Osnova za moderne VPN protokole.

Use-cases:

- Apple Private Relay (iCloud)
- VPN protokoli nove generacije
- IP hiding & privacy
- CDN proxy tuneliranje



HTTP/3 Prioritizacija

RFC 9218

Extensible Prioritization Scheme for HTTP — novi standardizirani način prioritizacije resursa koji radi s HTTP/2 i HTTP/3. Nadomješta stare dependency tree mehanizme.

Use-cases:

- Critical CSS/JS odmah
- Slike po prioritetu
- API pozivi ispred medija
- Core Web Vitals optimizacija

Nedostaci i Izazovi HTTP/3 / QUIC



Veće CPU opterećenje

QUIC u user-spaceu troši ~2× više CPU od TCP-a. Mrežne kartice imaju hardware offload za TCP, ali ne i za QUIC (za sada). Za visoko-prometne servere ovo je značajan overhead.



UDP blokiran u enterprise mrežama

Vatrozidi i proxy serveri u korporativnim mrežama često blokiraju ili throttlažu UDP promet osim DNS-a. HTTP/3 se tada automatski fallbacka na HTTP/2 — ali to znači sporije veze.



Teško debuggiranje i monitoring

Sve QUIC komunikacije su obvezno šifrirane (TLS 1.3 built-in). Nema mogućnosti da proxy ili firewall čita sadržaj. Wireshark može čitati QUIC ali samo s ključevima za dešifriranje.



UDP amplifikacijski napadi

UDP je ranjiviji na DDoS amplifikacijske napade. QUIC ima ugrađene zaštite (address validation, token mechanism), ali implementacija mora biti pažljiva. Mlada ekosustav = manje testirana.



Složenost implementacije

QUIC je izrazito kompleksan protokol za implementirati ispravno. Postoje reference implementacije (quiche, ngtcp2, msquic), ali divergencija između implementacija je čest izvor problema.

Sažetak — Što smo naučili danas?

1 HTTP/2 riješio je puno, ali TCP HOL blocking, sporo uspostavljanje veze i loše connection migration ostali su neriješeni problemi.

2 QUIC (Quick UDP Internet Connections) je novi transportni protokol nad UDP-om koji implementira multipleksiranje, TLS 1.3 i connection migration u user-spaceu.

3 HTTP/3 (RFC 9114, 2022) koristi QUIC umjesto TCP. Rezultat: 0-RTT veze, per-stream HOL sloboda, seamless mobilna migracija, QPACK kompresija.

4 HTTP/3 koriste Google, Meta, Cloudflare — ~27% weba 2024. Budućnost donosi WebTransport, MASQUE i Multipath QUIC za još veće performanse.

Pitanja?

