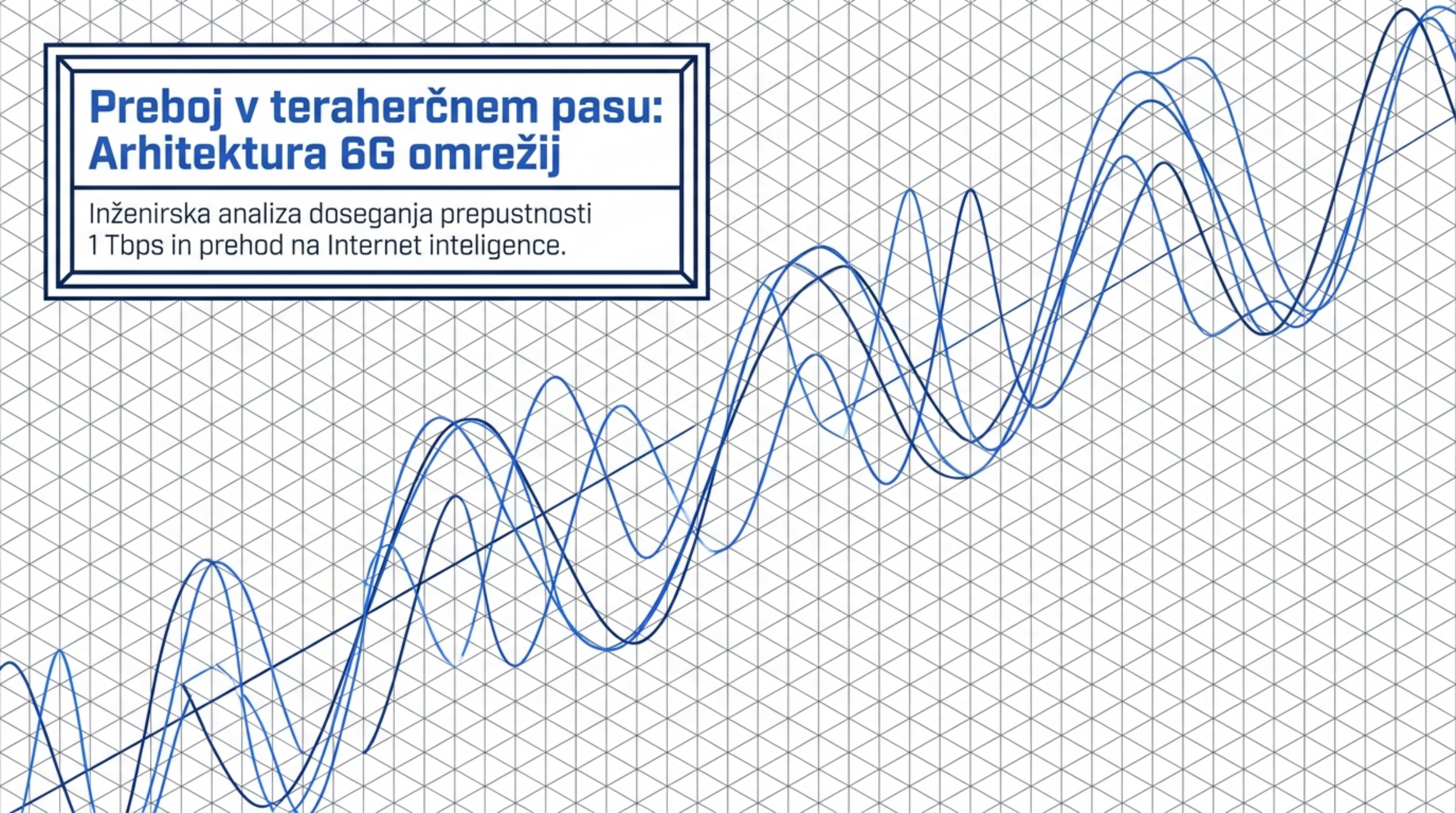


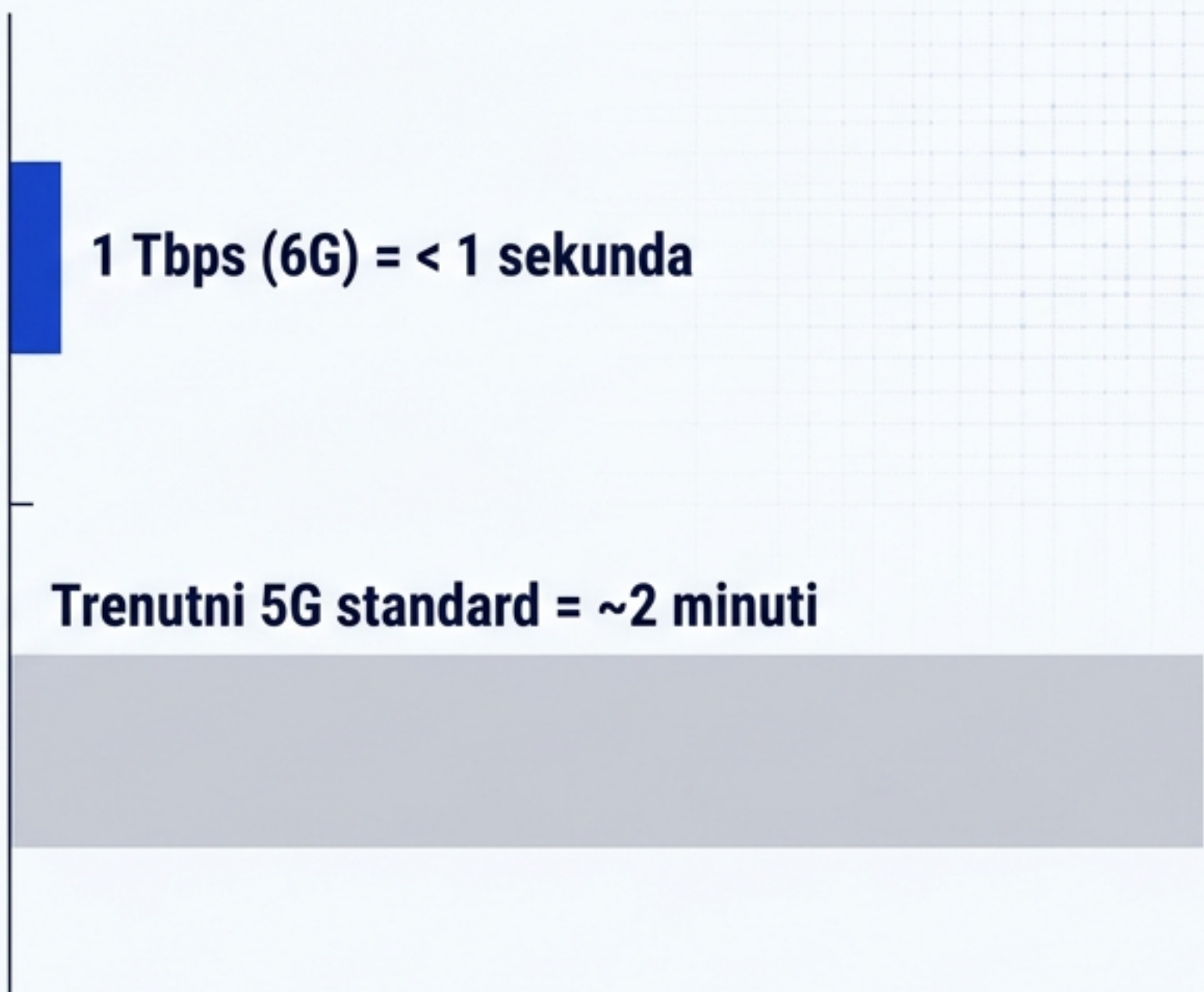
Preboj v teraherčnem pasu: Arhitektura 6G omrežij

Inženirska analiza doseganja prepustnosti
1 Tbps in prehod na Internet intelligence.



1 Tbps

Inženirski mejnik: Kitajski raziskovalci so v laboratoriju dosegli stabilno hitrost 1 Terabit na sekundo.



1 Tbps (6G) = < 1 sekunda

Trenutni 5G standard = ~2 minuti

Praktični kontekst: Prenos 20 celovečernih filmov. Eksponentni skok hitrosti napoveduje prehod na arhitekturo brezžične strojne komunikacije.



Fizika 5G omrežja: Krajši radijski valovi zahtevajo tisoče manjših oddajnikov (koncept omrežja majhnih žarnic namesto enega stadionskega reflektorja).

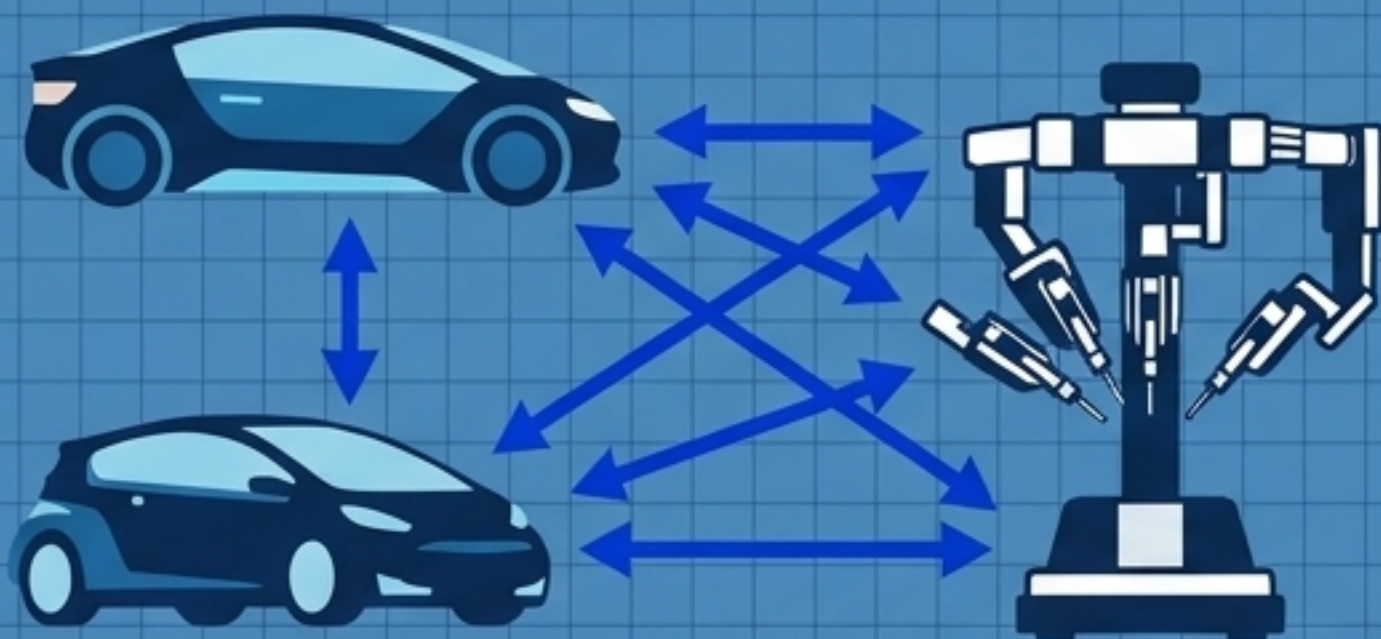
Stopnja implementacije: Več kot 1,5 milijarde aktivnih povezav do leta 2023. Omogoča operacije na daljavo in pametno logistiko.

Tehnično dejstvo: 5G je bil v osnovi zasnovan kot inženirski nosilni most, ne kot končni cilj.



Trenutna paradigma:
Ljudje in naprave

Enosmerna poraba.
Visoka toleranca na napake
- zakasnitev neopazna.

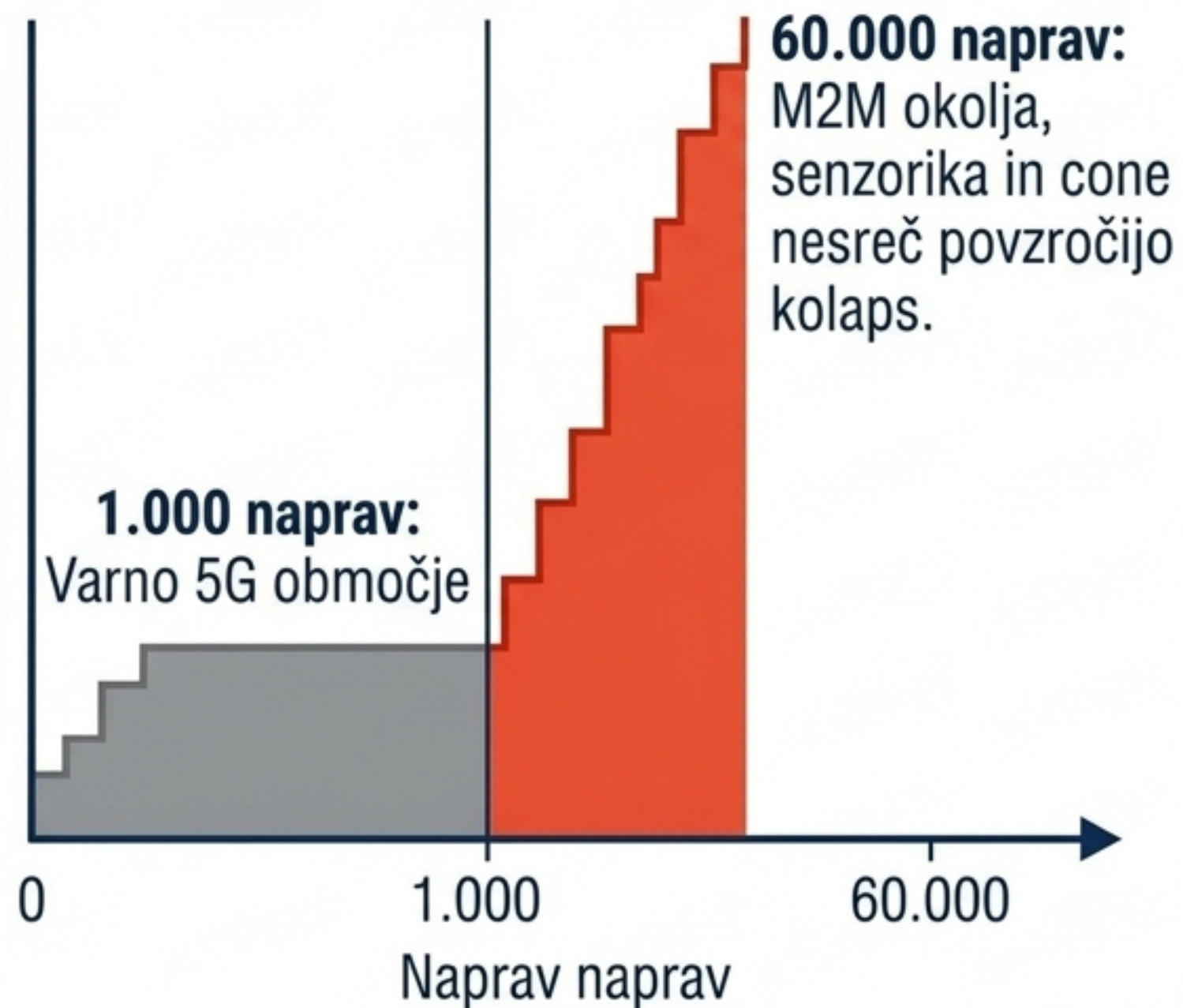


Nova paradigma:
Internet intelligence

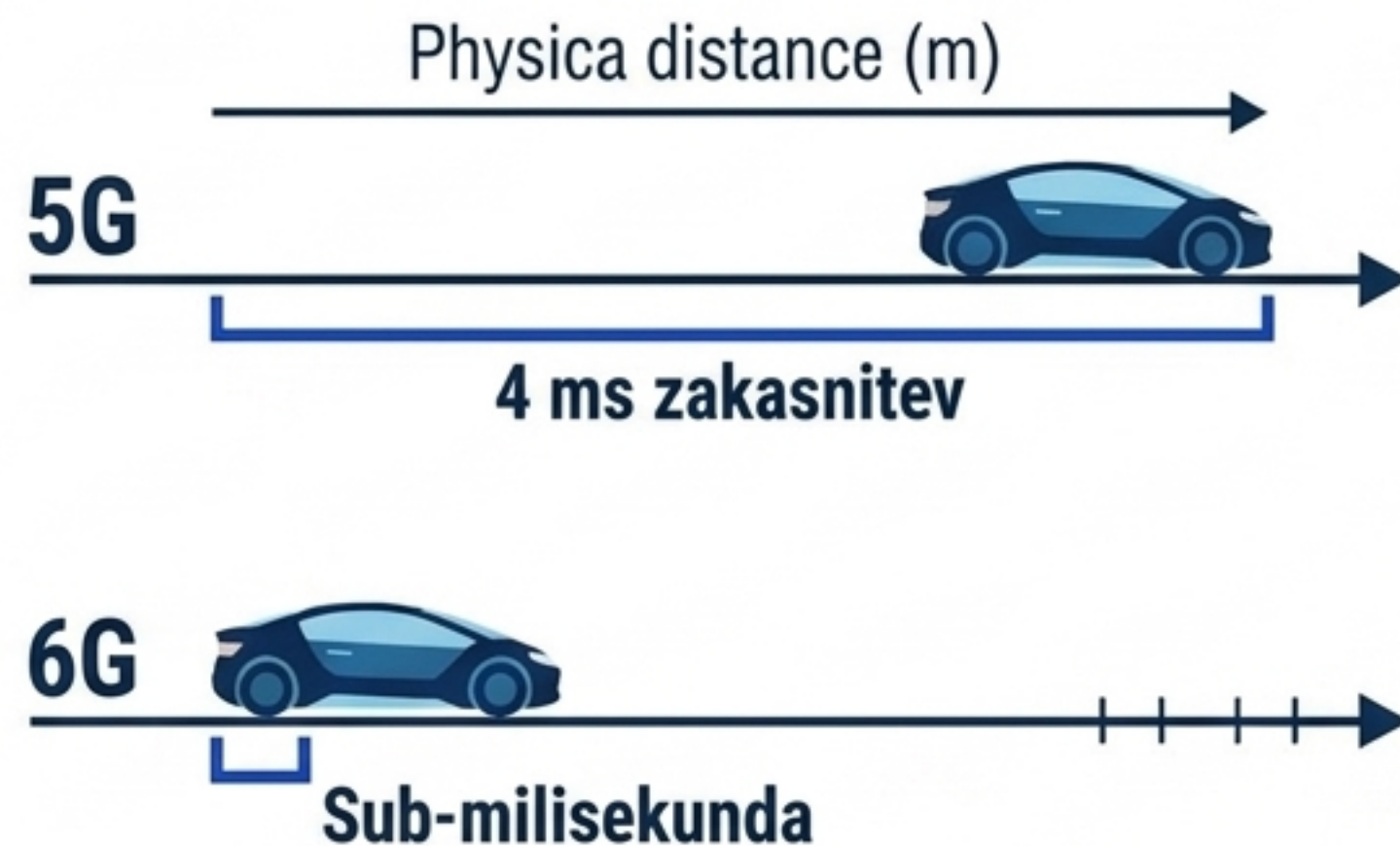
M2M sinhronizacija.
Ničelna toleranca na napake
- življenjsko kritično.

Nova zahteva omrežja: Prehod z enosmerne porabe multimedije na avtonomno odločanje strojev v delčku sekunde.

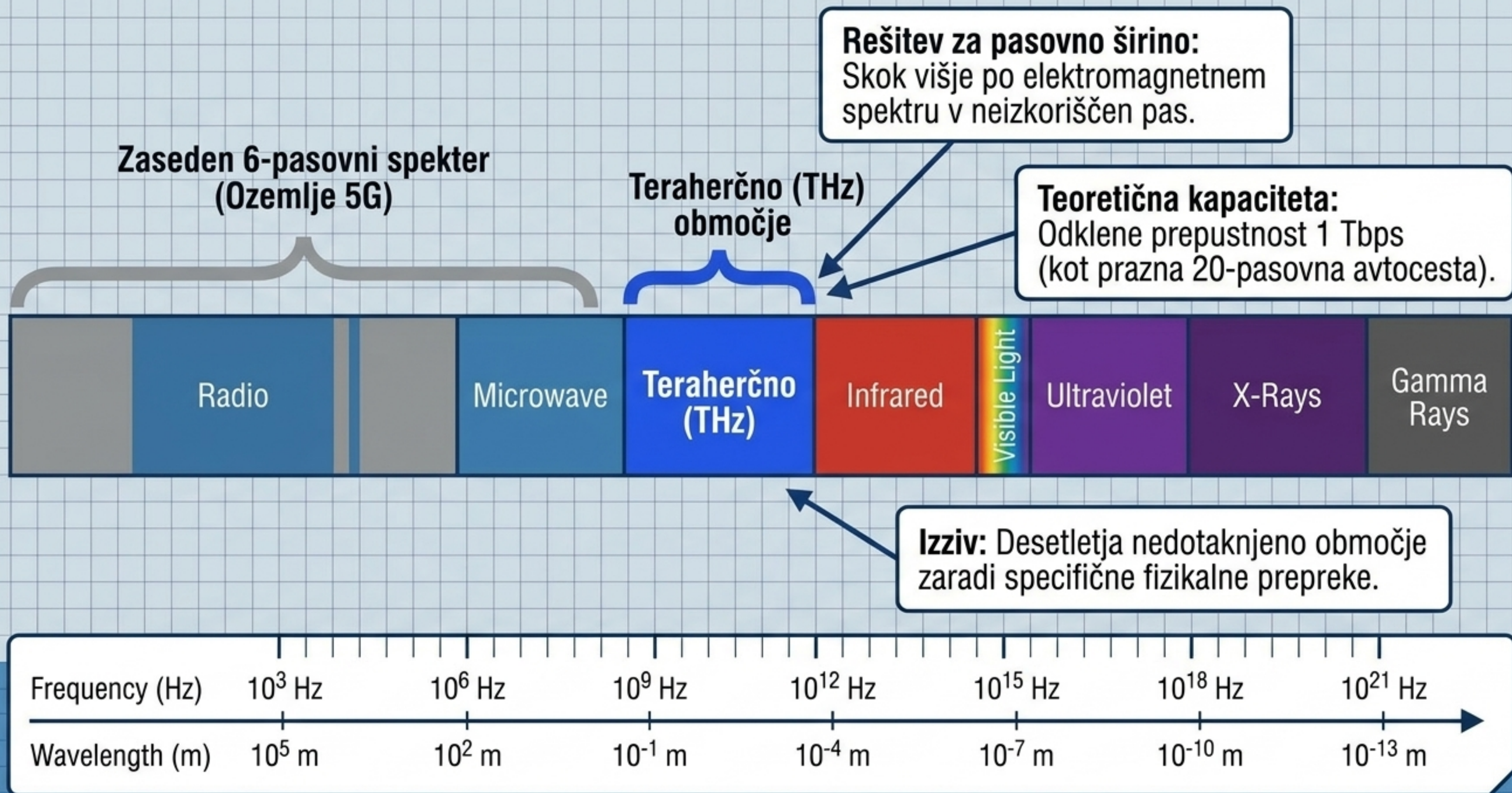
Kapacitetni limit



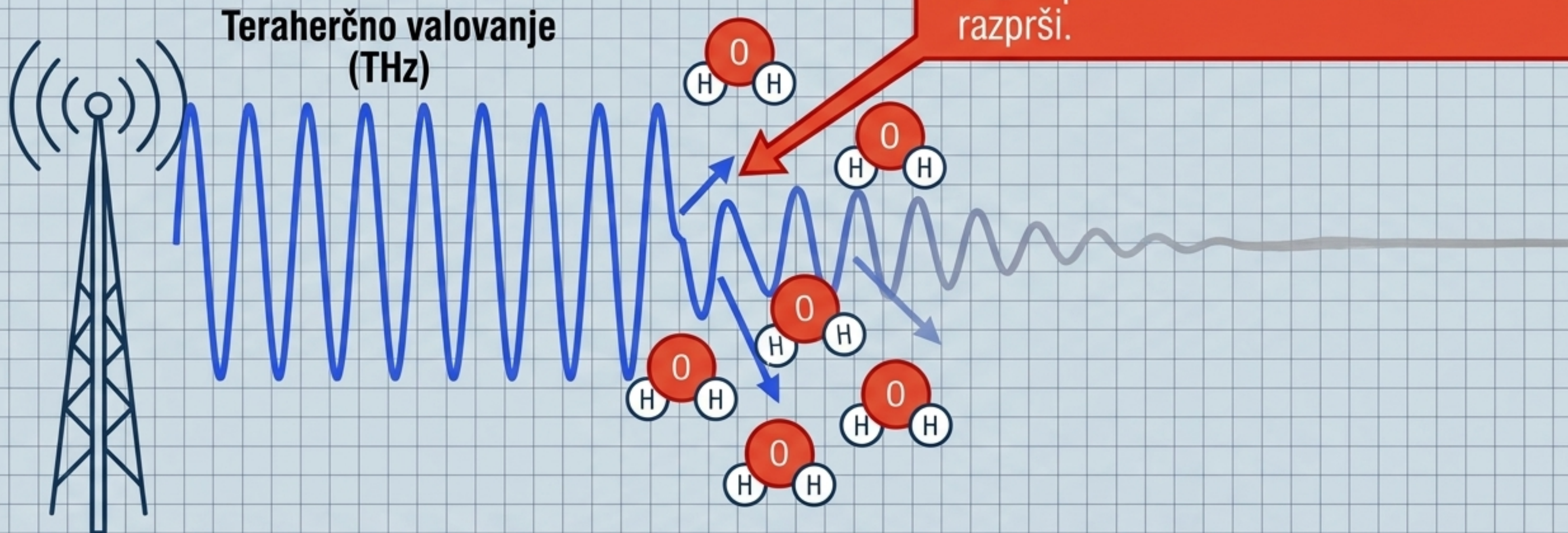
Latenca kot nevarnost



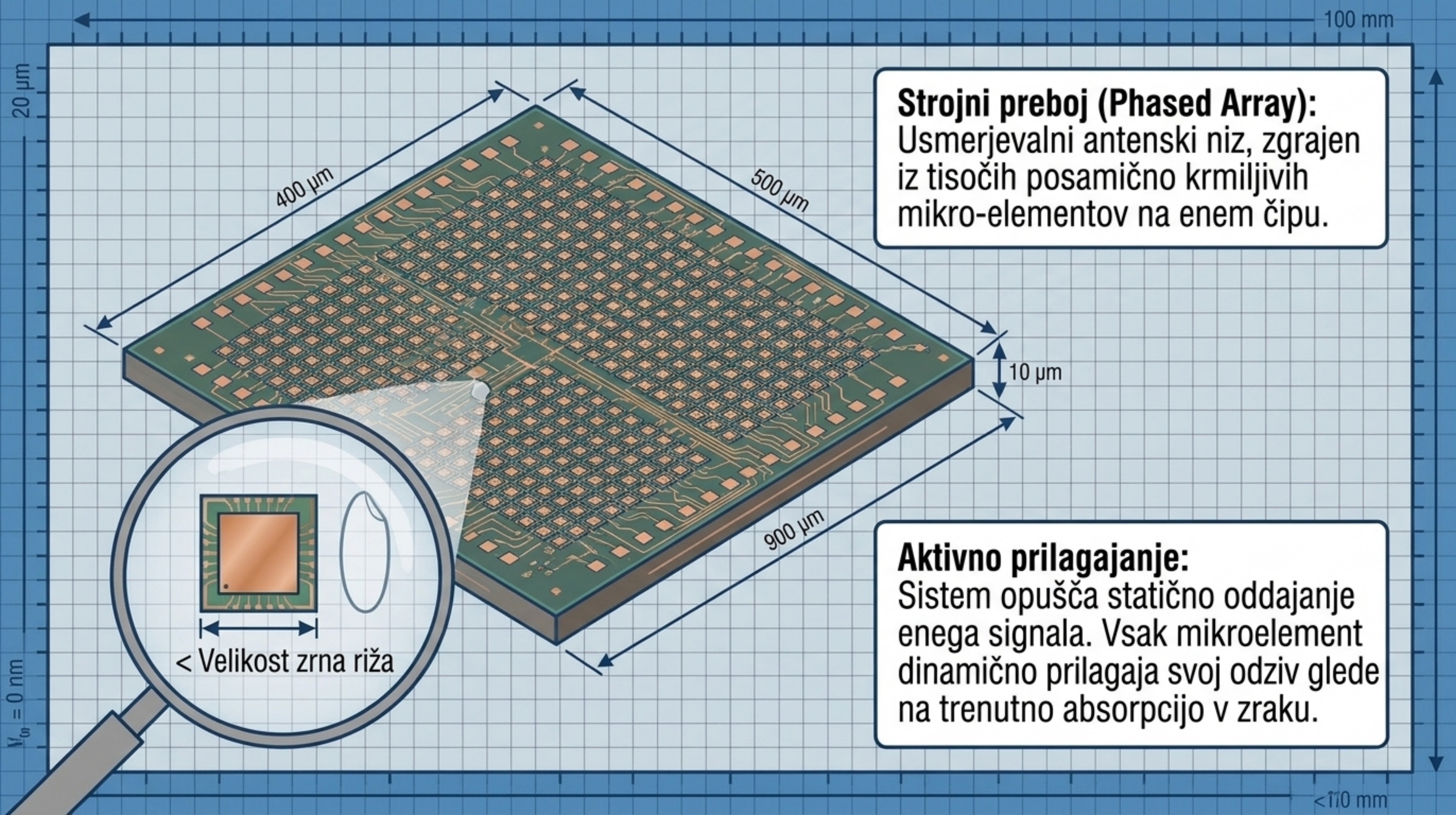
Pri robotski kirurgiji ali avtonomni vožnji
4 ms zamik predstavlja mejo med gladkim
delovanjem in nevarno napako.



Atenuacija signala zaradi vlage



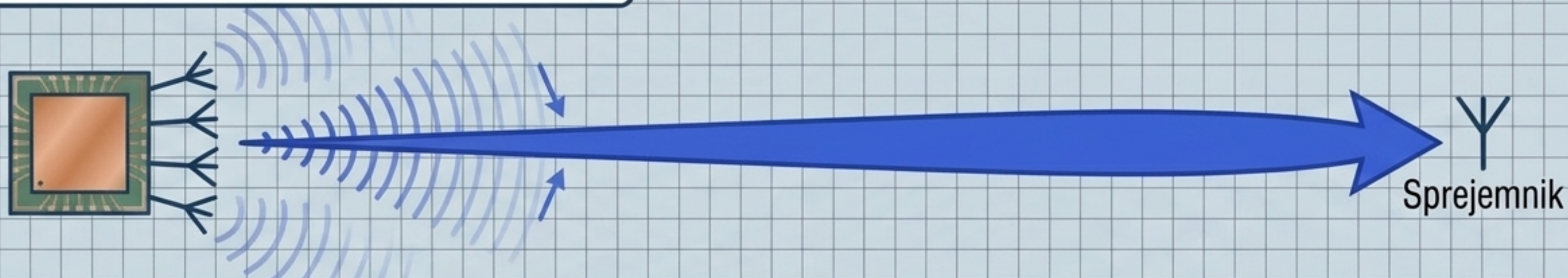
Vodni zid: V suhem laboratoriju je doseg THz signala izjemen. Zunaj, v vlažnem zraku, se signal popolnoma sesuje že po nekaj metrih.



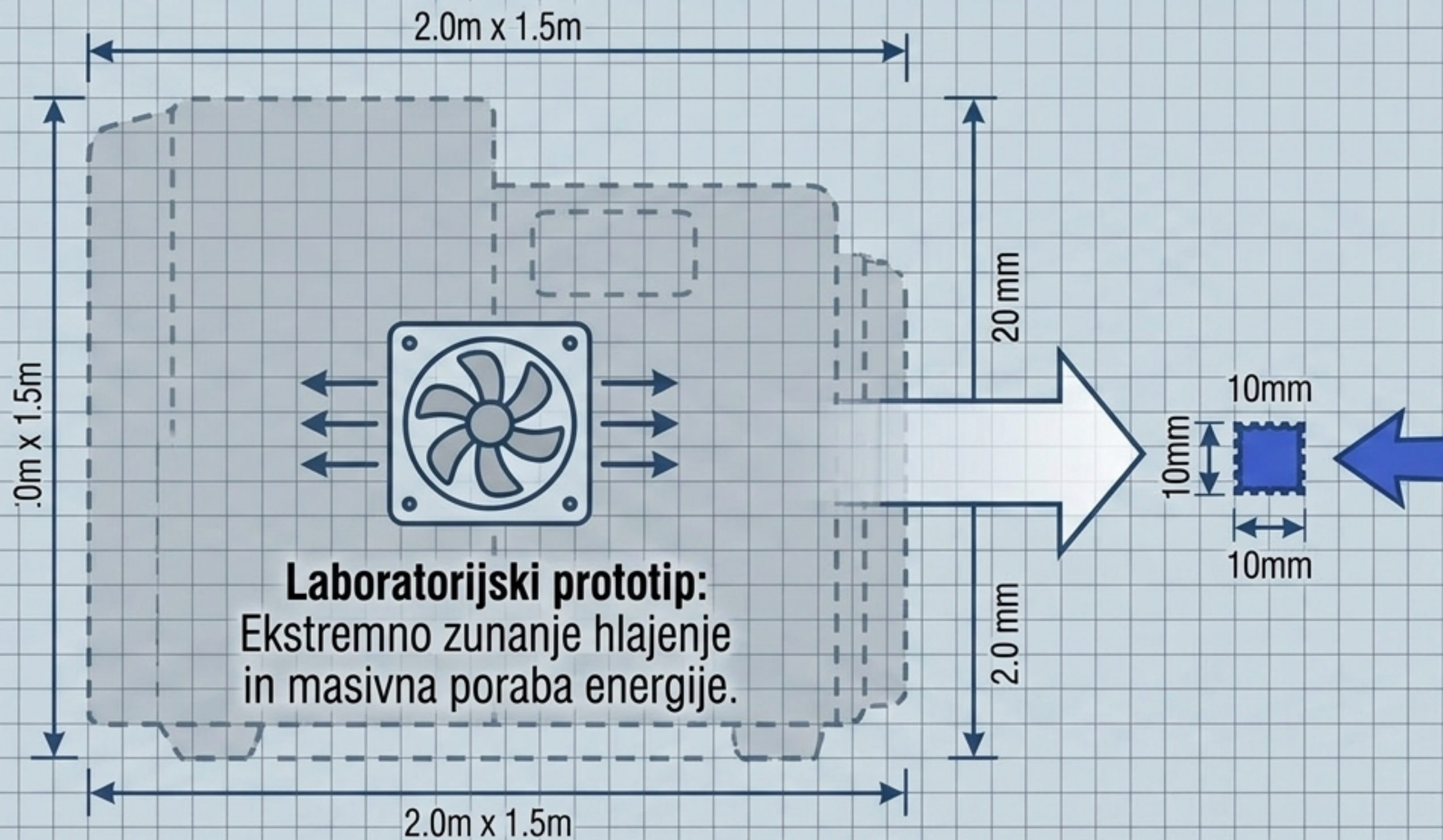
Fizična analogija



Tehnični princip: Beamforming



Princip represurizacije: Antenski niz ne le oddaja, ampak na podlagi povratnih informacij v realnem času aktivno ohranja 'pritisk' in fokus signala tisočkrat na sekundo.



Nova arhitektura:
Popolna integracija
na čip. Hlajenje ni več
tehnična ovira.

Skalabilnost strojne opreme: Minimalizacija dimenzij in termalnih zahtev je ključni inženirski prehod, ki znanstveni eksperiment pretvori v komercialni produkt.

Shenzhen: 40 mestnih blokov

1 Armirani beton
in kovina

2 Stalne
industrijske
vibracije

3. Poletna zračna
vlažnost > 80 %

Terensko pilotno okolje (2024):

Testiranje v najtežjih
možnih pogojih za
radijske signale.

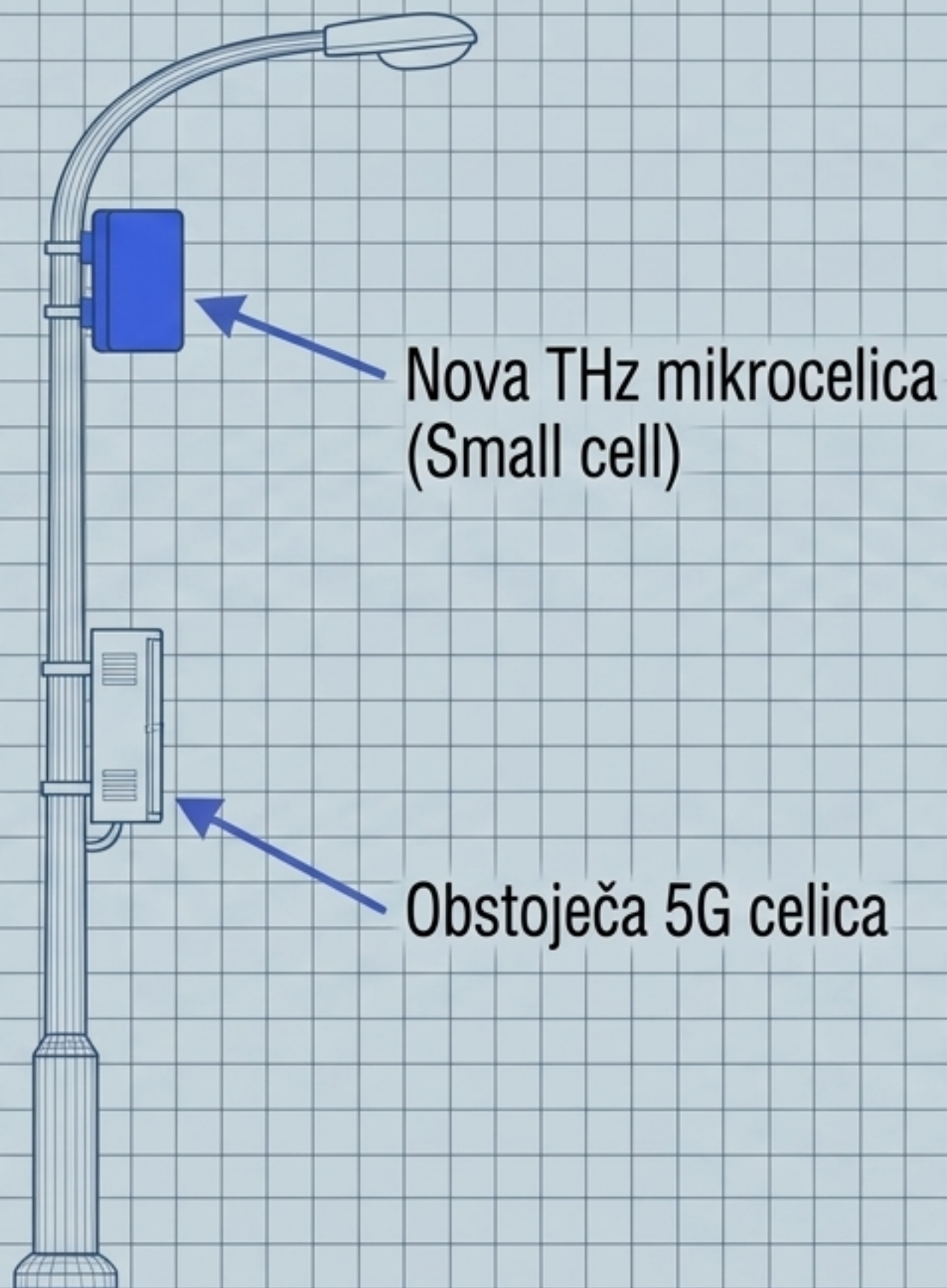
Cilj testa je preveriti,
ali miniaturni
antenski nizi zdržijo
‘vodni zid’
atenuacije v praksi,
ne zgolj v
računalniški
simulaciji.

Laboratorijski maksimum: 1 Tbps (1000 Gbps) 

Terenski rezultat: 860 Gbps



- V urbanem okolju z 80 % vlažnostjo so ohranili izjemno povprečno hitrost 860 Gbps ob stabilni povezavi.
- **Inženirski pomen:** Padeč hitrosti izven laboratorija je pričakovan; razlika 140 Gbps velja za napako pri zaokroževanju napram zgodovinskim neuspehom.
- **Kapaciteta:** 860 Gbps omogoča prenos celotnega arhiva Kongresne knjižnice v manj kot 5 sekundah.



Implementacija na obstoječo infrastrukturo

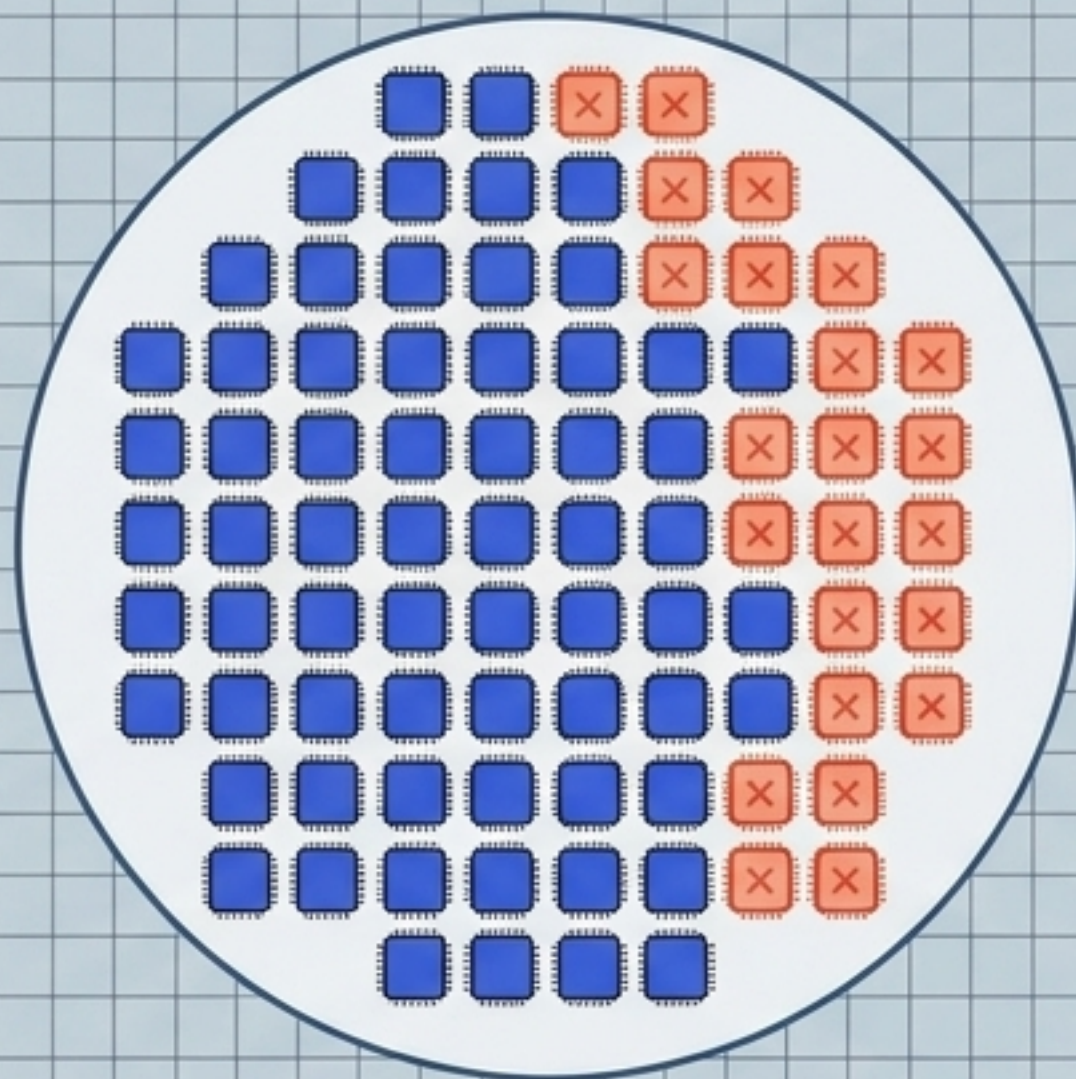
- Arhitekturna združljivost (Piggybacking): Nove enote so nameščene neposredno na obstoječo infrastrukturo.
- Ekonomika implementacije: Drastično znižanje kapitalskih izdatkov (CapEx). Ni potrebe po gradnji novega fizičnega omrežja.
- Časovni prihranek: Ekipa lahko enoto namesti v nekaj urah z obstoječimi orodji za 5G.



Tržna validacija: Pilotni rezultati so sprožili plaz patentov na temo prilagodljivih antenskih nizov.

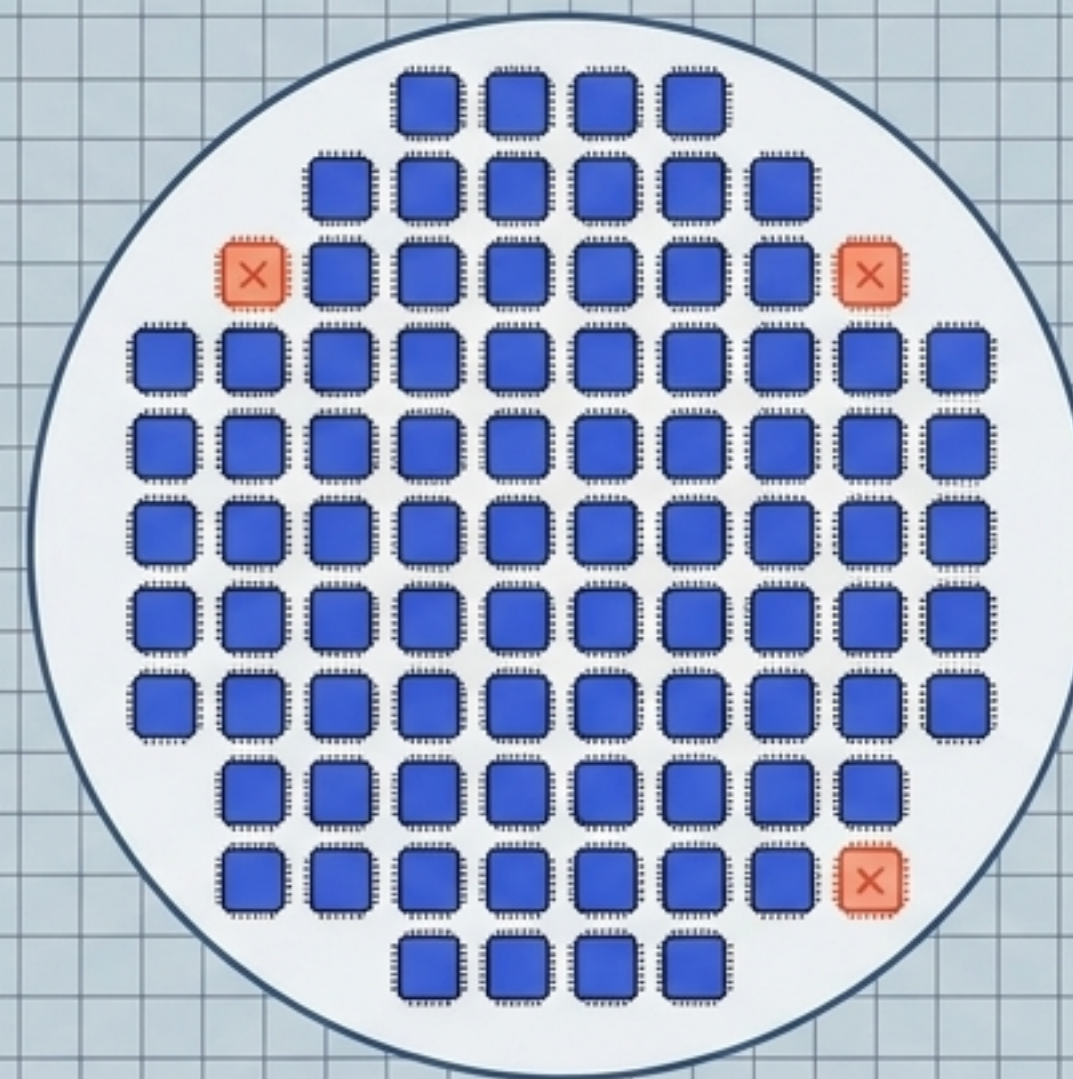
Globalna tekma: Standardizacija ne nastane v izolaciji, temveč kot mozaik patentov več držav in mednarodnih konzorcijev.

Trenutno ozko grlo



Izkorístek pod 70 % (Zgodnje serije)

Cilj za množično proizvodnjo



Zahtevan izkorístek > 90 %

Proizvodno ozko grlo: Za ekonomsko upravičeno vgradnjo v milijone naprav bo nujno odpraviti napake v litografiji in stabilizirati proizvodne procese, imenovane 'Yield Rates'.

Časovnica do standardizacije:

Trenutno smo v fazi uvodnega kroga dirke.
Inovacija mora dozoreti do stopnje konsolidacije.

2024

2028

2030+

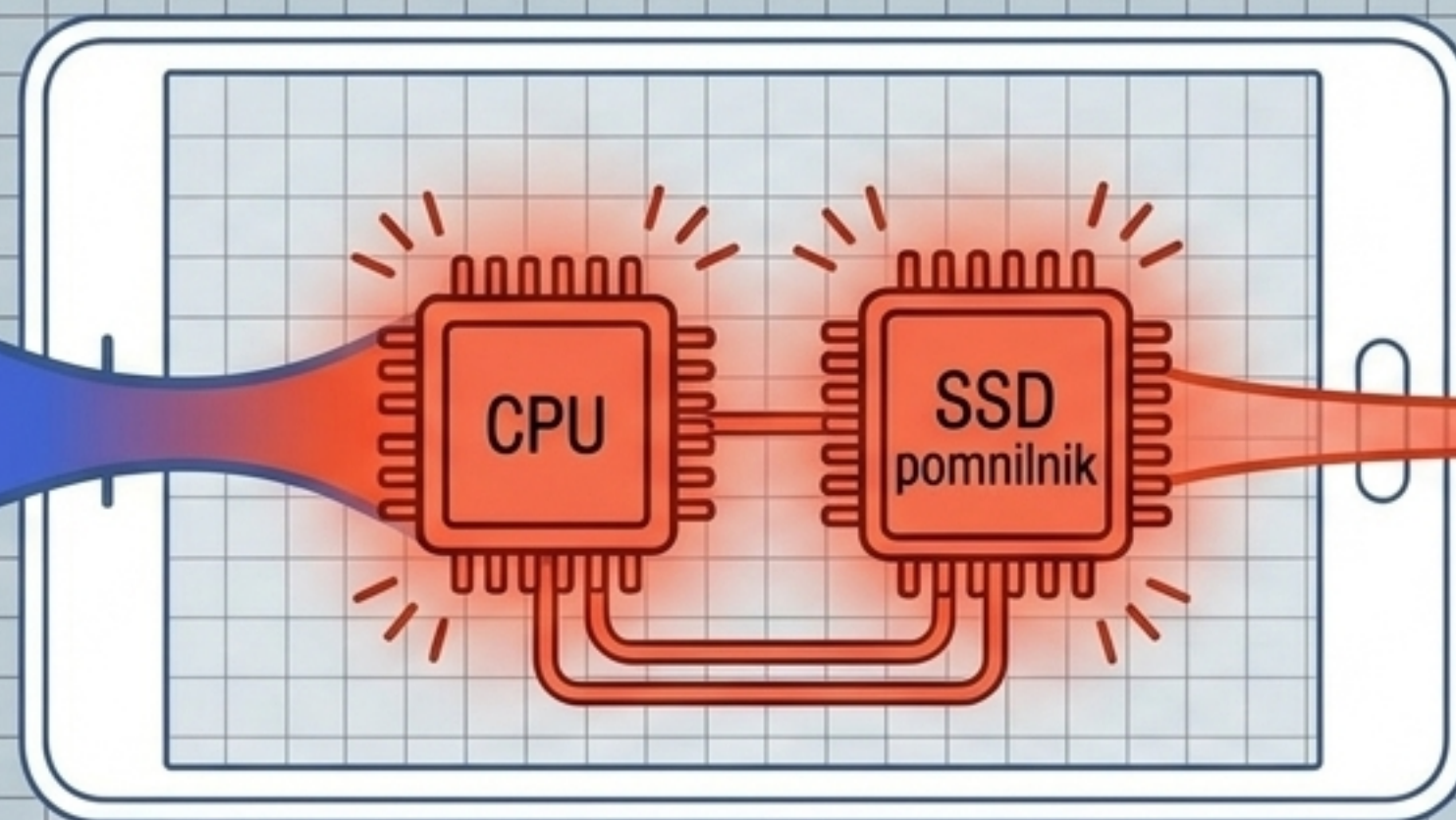
Terenski pilotni testi in
validacija v urbanih
območij.

Pričakovana potrditev
globalnih 6G standardov
s strani 3GPP.

Predviden začetek
komercialne množične
uporabe in končne
naprave.

[Parameter]	5G (Trenutni Standard)	6G (Teraherčna Arhitektura)
Frekvenčni pas	Mikrovalovi	Teraherčno valovanje
Prepustnost (Max)	10–20 Gbps	1 Tbps
Min. latenca	~4 ms (Streaming)	Sub-milisekunda (Kritično)
Glavni uporabnik	Človek / Media	AI Stroji / Avtonomija (M2M)
Strukturni izziv	Gostota naprav v bazni celici	Atenuacija (slabljenje zaradi vlage)

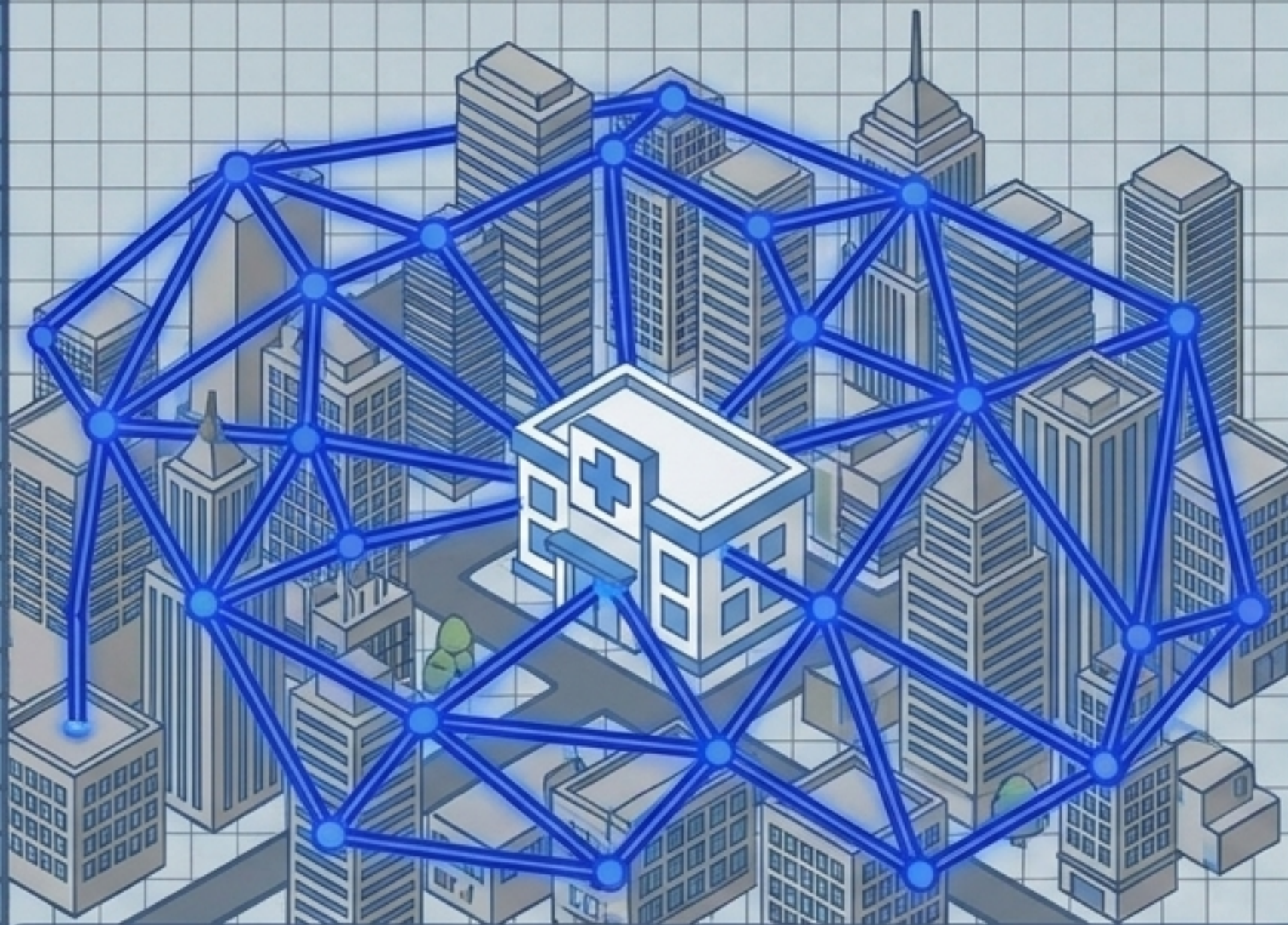
Omrežje: Dostava 1 Tbps



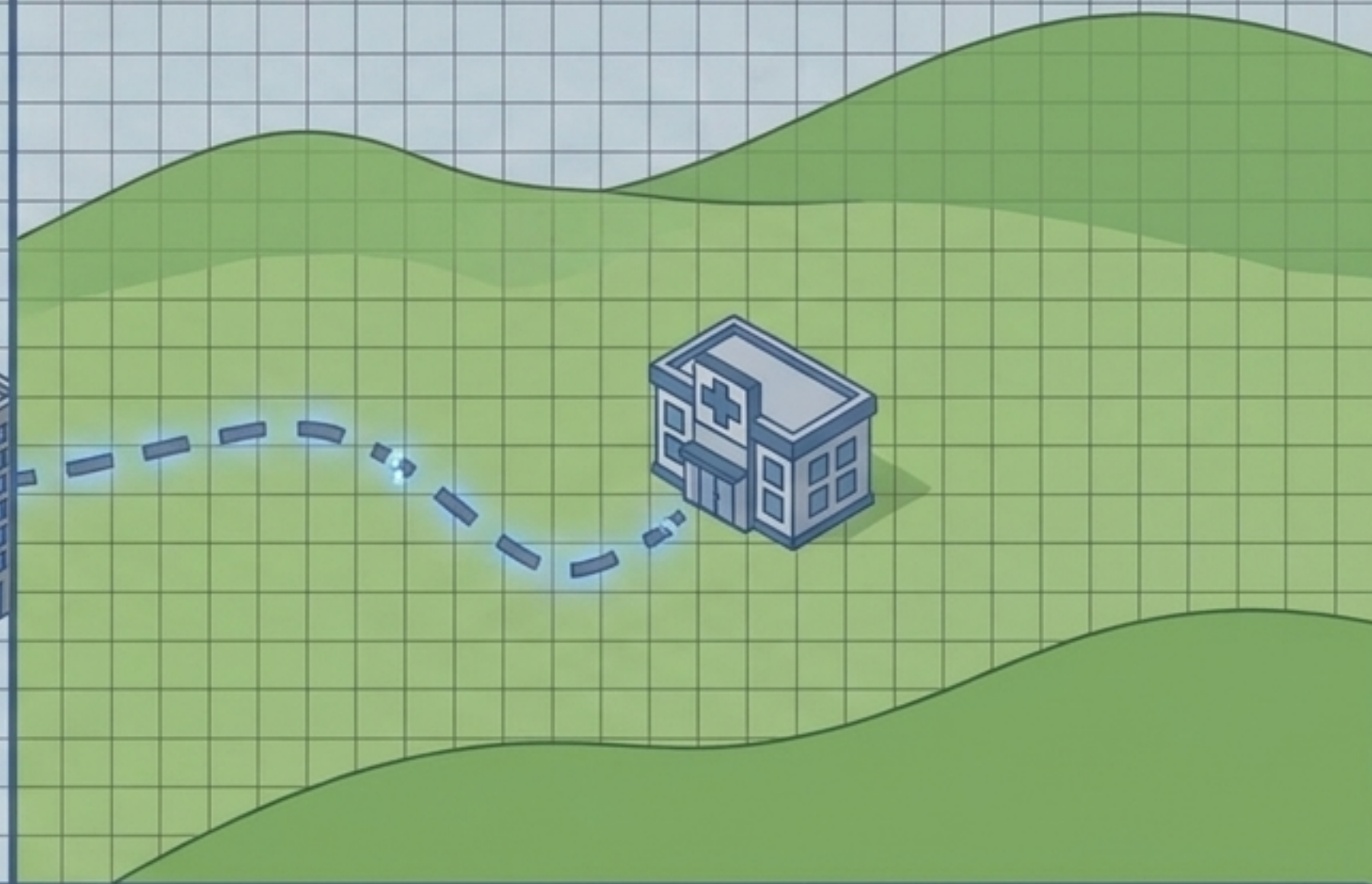
Paradoks strojne opreme: Četudi omrežje dostavi 1 Tbps, večina današnjih SSD pogonov in procesorjev nima ustreznih hitrosti pisanja in branja za obdelavo teh podatkov.

Zakon verige: 6G preboj bo od proizvajalcev zahteval popolnoma novo generacijo notranje strojne arhitekture pri končnem uporabniku.

Urbana središča

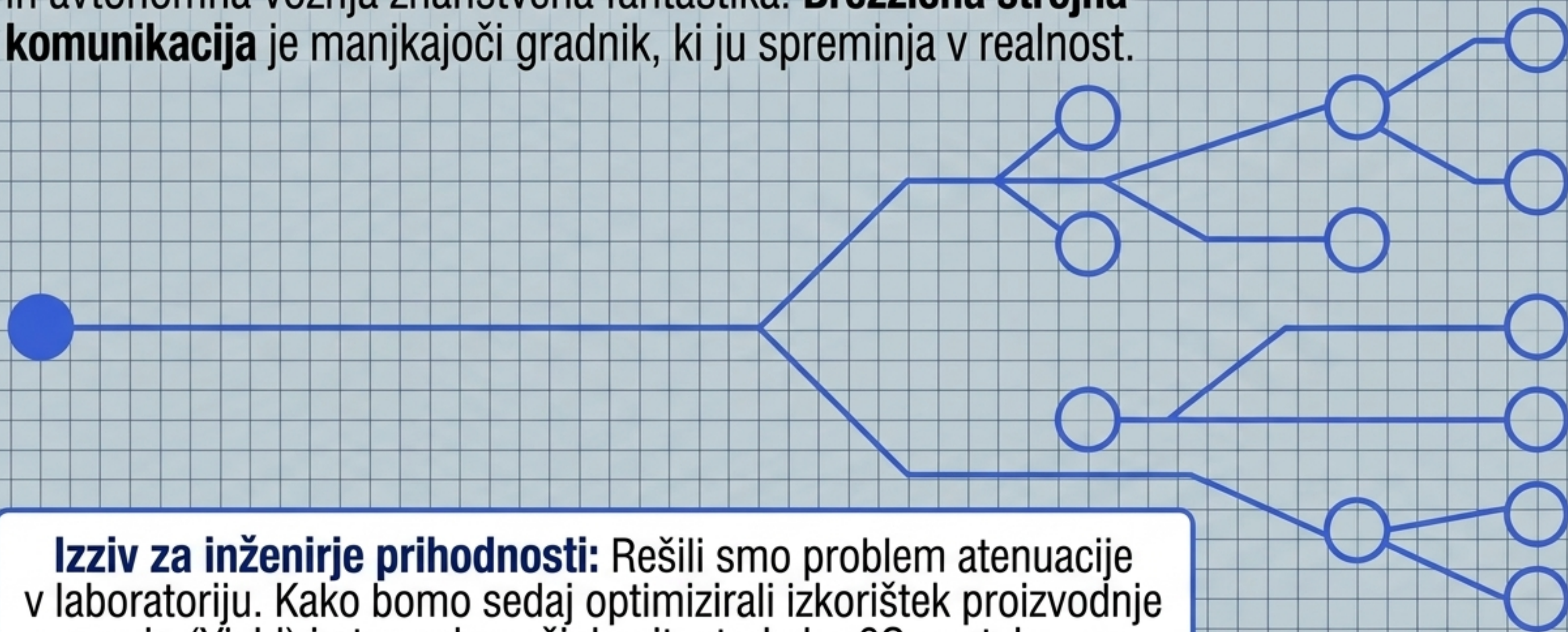


Podeželska območja



Sistemsko tveganje digitalnega razkoraka: Nova infrastruktura zahteva enormne kapitalne izdatke (CapEx), zato se najprej gradi v bogatih velemestih. **Paradoks koristi:** Odročna območja ostajajo na repu, čeprav bi daljinska M2M kirurgija in avtonomija prek 6G največji preskok v kakovosti življenja prinesla prav tja.

Perspektiva: Pred desetletjem sta bila oddaljena robotska kirurgija in avtonomna vožnja znanstvena fantastika. **Brezžična strojna komunikacija** je manjkajoči gradnik, ki ju spreminja v realnost.



Izziv za inženirje prihodnosti: Rešili smo problem atenuacije v laboratoriju. Kako bomo sedaj optimizirali izkorišček proizvodnje rezin (Yield) in termalno učinkovitost, da bo 6G postala ekonomsko vzdržna za globalno implementacijo do leta 2030?