

KIBERNETSKO-FIZIČNI NAČRT

Termodinamika, algoritmi
in dvosmerna simbioza
med umetno inteligenco
ter energetiko.

Vključuje analitiko in
projekcije Mednarodne
agencije za energijo (IEA)
do leta 2035.



Oblak ima fizično realnost

Umetna inteligenca (UI) ni le koda. Je termodinamični proces, ki zahteva elektrone za računanje in vodo za hlajenje.

VNESITE ZAHTEVO...

Metrics Dashboard

RAST RAČUNSKE MOČI

Od leta 2014 se je količina izračunav za učenje najosodobnejših modelov povečala za 350.000-krat.

350.000X

FIZIČNA OBREMENITEV

En tipičen podatkovni center za UI porabi toliko električne energije kot 100.000 gospodinjstev. Največji v gradnji presegajo mejo 2 milijonov gospodinjstev.



TRŽNA REALNOST

Od 15 bilijonov USD rasti tržne kapitalizacije S&P 500 od leta 2022, ishaja 12 bilijonov USD iz podjetij, povezanih z UI.

13 BIL. USD

4 BIL. USD



Kibernetetsko-fizična povratna zanka



Elektroni poganjajo algoritme. Algoritmi optimizirajo elektrone.
Inženirski izziv tega desetletja je uravnovežiti to dvosmerno
simbiozo preden strojna oprema preseže zmogljivost infrastrukture.

Taksonomija energetske intenzivnosti UI

AI Model Life Cycle



Cena sklepanja na poizvedbo (Inference Cost per Task)



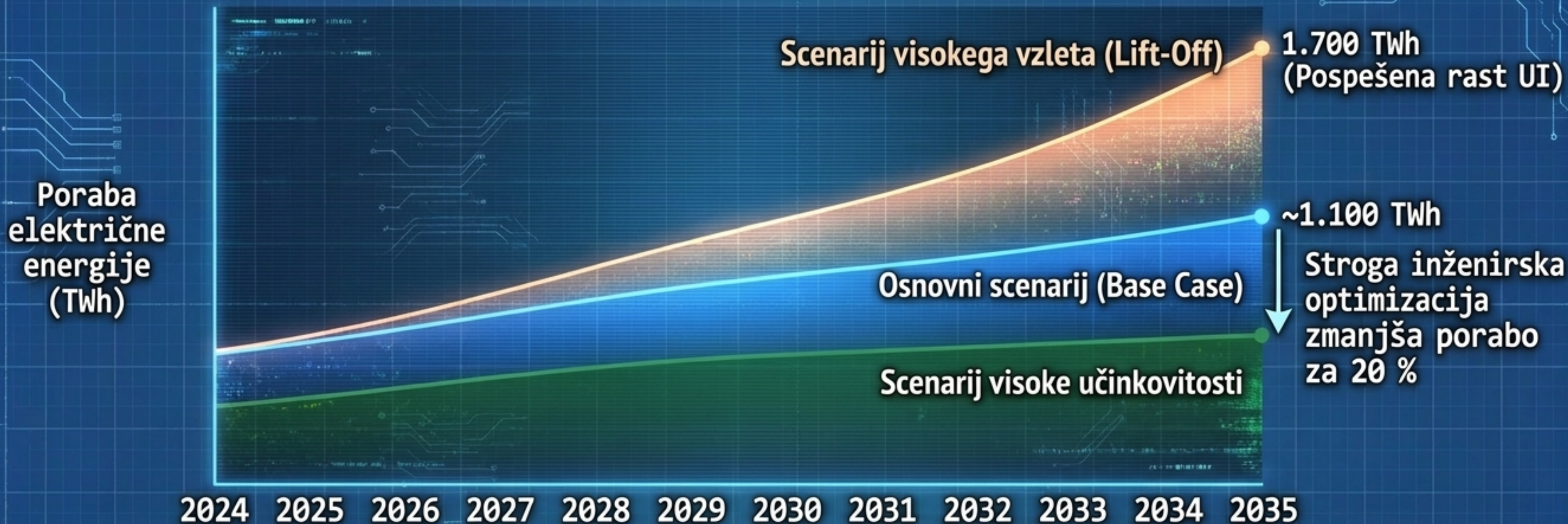
Strojna in programska optimizacija podatkovnih centrov

Pristop	Mehanizem	Potencialni prihranek energije do 2030
Združevanje (Batching)	Združevanje več poizvedb za hkratno obdelavo prepolovi porabo električne energije na nalogo pri GPU-jih.	
Mešanica strokovnjakov (MoE)	Selektivno aktiviranje samo tistih delov nevronske mreže, ki so potrebni za določeno poizvedbo.	
Robno računalništvo (Edge Computing)	Izvajanje sklepanja na lokalnih napravah namesto v centralnih podatkovnih centrih.	
Nevromorfno in kvantno računalništvo	Radikalno zmanjšanje energije z oponašanjem arhitekture človeških možganov.	

Paradoks učinkovitosti: Učinek odboja



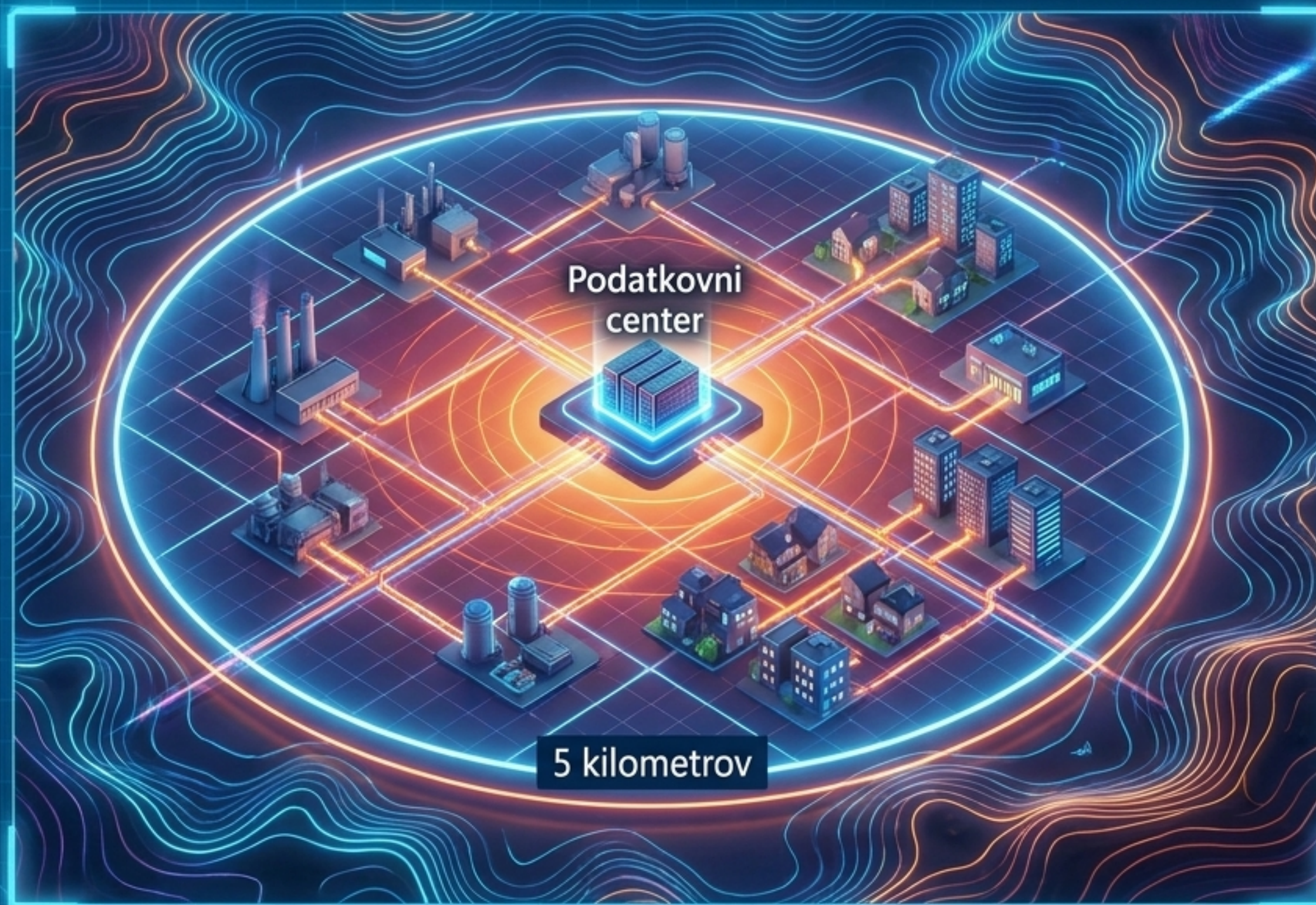
Makro projekcije: Pritisk na elektroenergetsko omrežje



V ZDA bo inštalirana zmogljivost podatkovnih centrov do leta 2035 prevzela podoben delež vršne moči kot celoten industrijski sektor. Skupne investicije v podatkovne centre bodo do 2030 dosegle 4,2 bilijona USD.



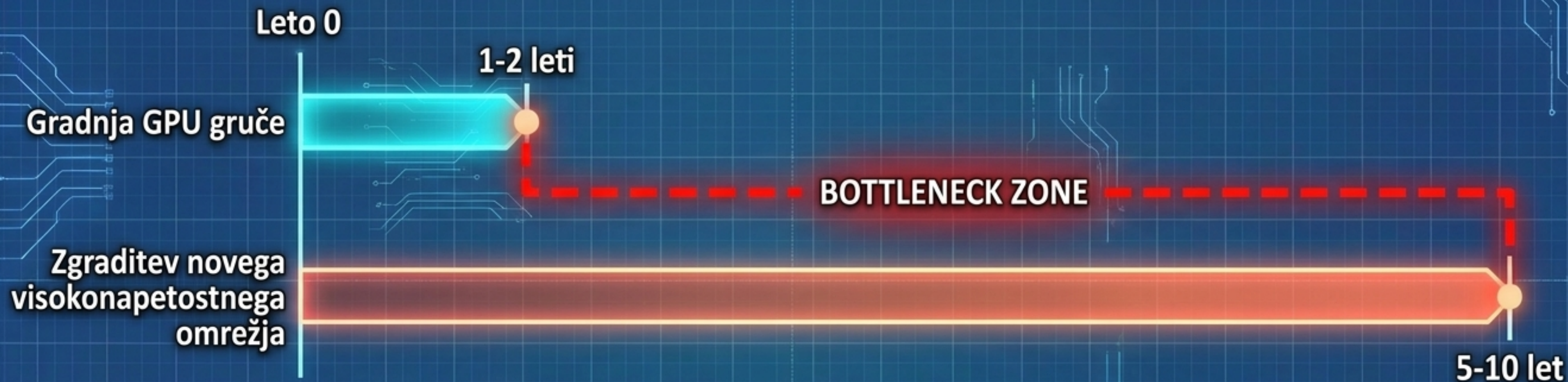
Termodinamika hlajenja: Omejitve prenosa toplote



Podatkovni centri oddajajo ogromno odpadne toplote. Ponovna uporaba te toplote (npr. za daljinsko ogrevanje mest) je **termodinamično omejena na bližino odjemalcev**.

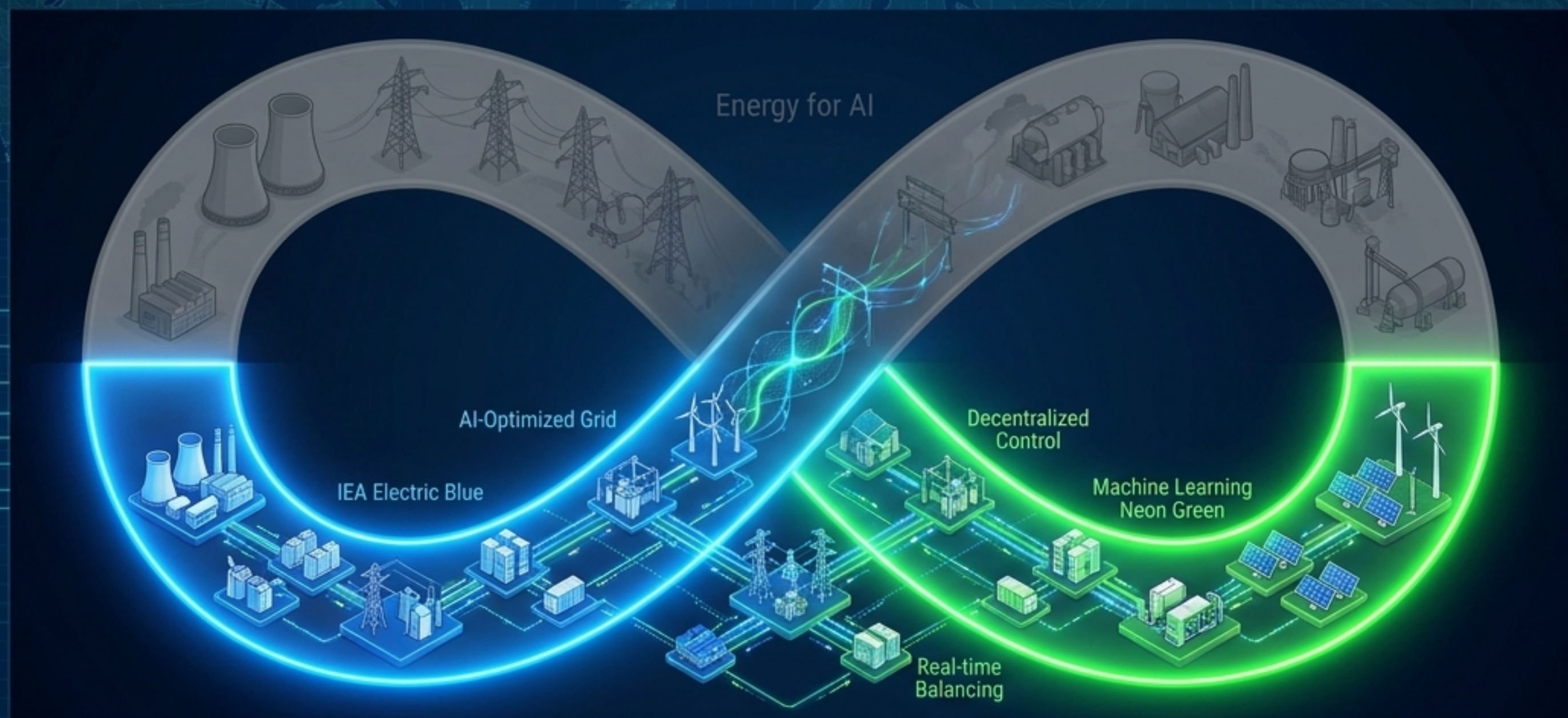
- Učinkovita raba samo v radiju 5 kilometrov.
- Okoli 10 % potreb po ogrevanju stavb v Evropi je znotraj 5 km od podatkovnega centra v območju daljinskega ogrevanja.
- To bi lahko nadomestilo 5 Mt emisij CO₂, vendar zahteva sinhronizacijo gradnje podatkovnih centrov z obstoječimi toplovodi.

Infrastrukturno ozko grlo: Fizične meje priključitve



V nekaterih regijah (ZDA, Evropa) podatkovni centri čakajo na priključitev na omrežje do 10 let. Približno 20 % globalne izgradnje podatkovnih centrov je ogrožene zaradi zastojev v omrežju.

Obrat paradigme: Algoritmi kot rešitev



Sistem je preveč kompleksen in spremenljiv za tradicionalno deterministično krmiljenje. Električno omrežje se spreminja iz enosmernega cevovoda v decentraliziran, digitaliziran biološki sistem, kjer umetna inteligenca deluje kot centralni živčni sistem.

Predikcija kompleksnih sistemov: Vreme in obremenitev

Obremenitev vetra in sonca
(Variabilna)

Obremenitev podatkovnega centra
(UI usklajevanje)

Algoritmično
uravnoteženje
obremenitve



Google DeepMind: Napovedovanje moči vetra s pomočjo nevronske mreže je povečalo finančno vrednost vetrne energije za 20 %.



Numerični modeli vs. UI: AI lahko skrajša čas izračuna vremenske napovedi z več ur na eno minuto in porabi le eno tisočino električne energije v primerjavi s superračunalniki.

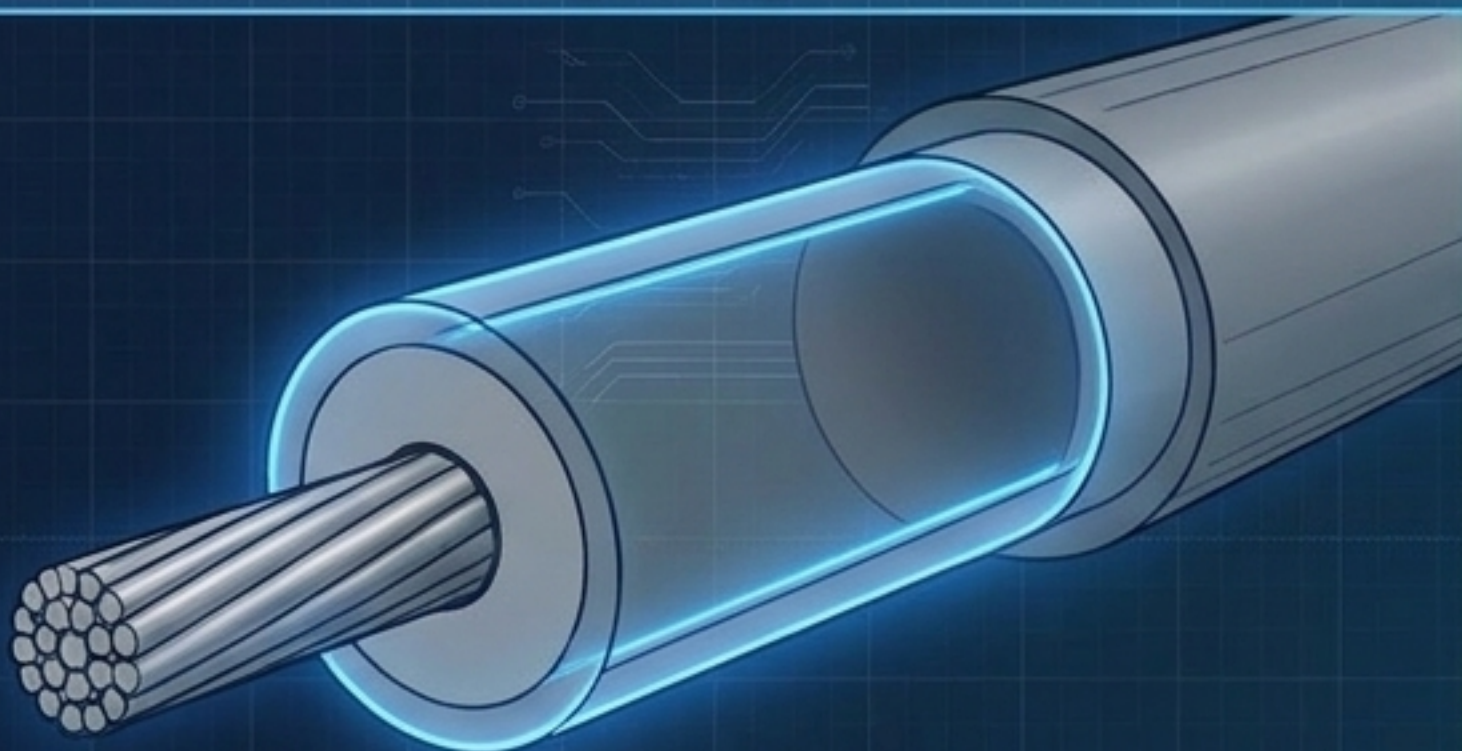


Sistemska optimizacija: Zmanjšanje globalnega omejevanja vetra in sonca za 1 % bi prihranilo 14 milijard kubičnih metrov zemeljskega plina.

> PREDVIDEVANJE_JE_KLJUČNO_ZA_ENERGETSKO_VARNOŠĆ_IN_TRAJNOŠĆ

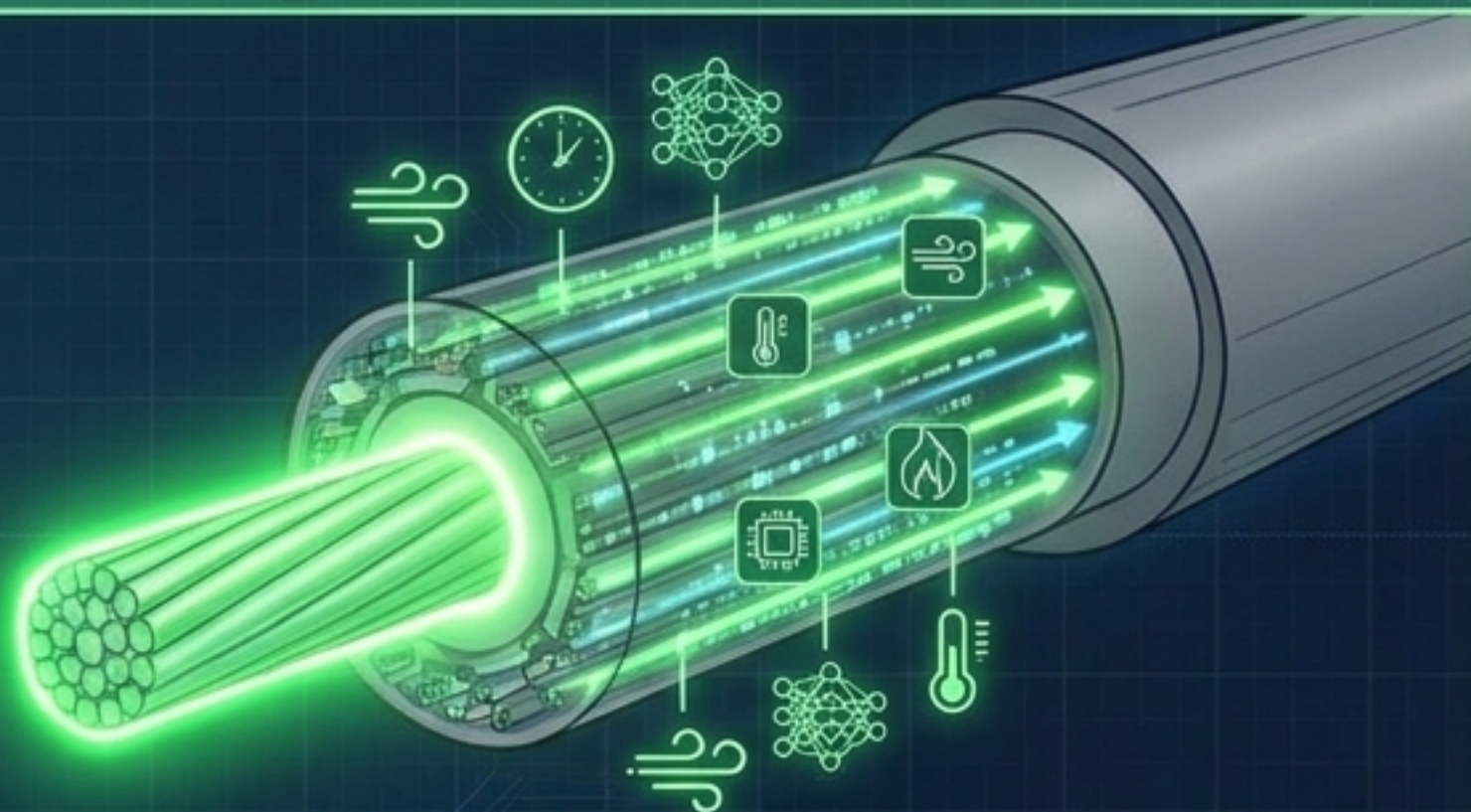
Strojništvo v realnem času: Dinamično ocenjevanje zmogljivosti vodov (DLR)

Statično ocenjevanje (Danes)



Predpostavlja najslabše vremenske pogoje (vroče, brez vetra). Vodi delujejo globoko pod fizičnimi termalnimi mejami. Neizkoriščena zmogljivost.

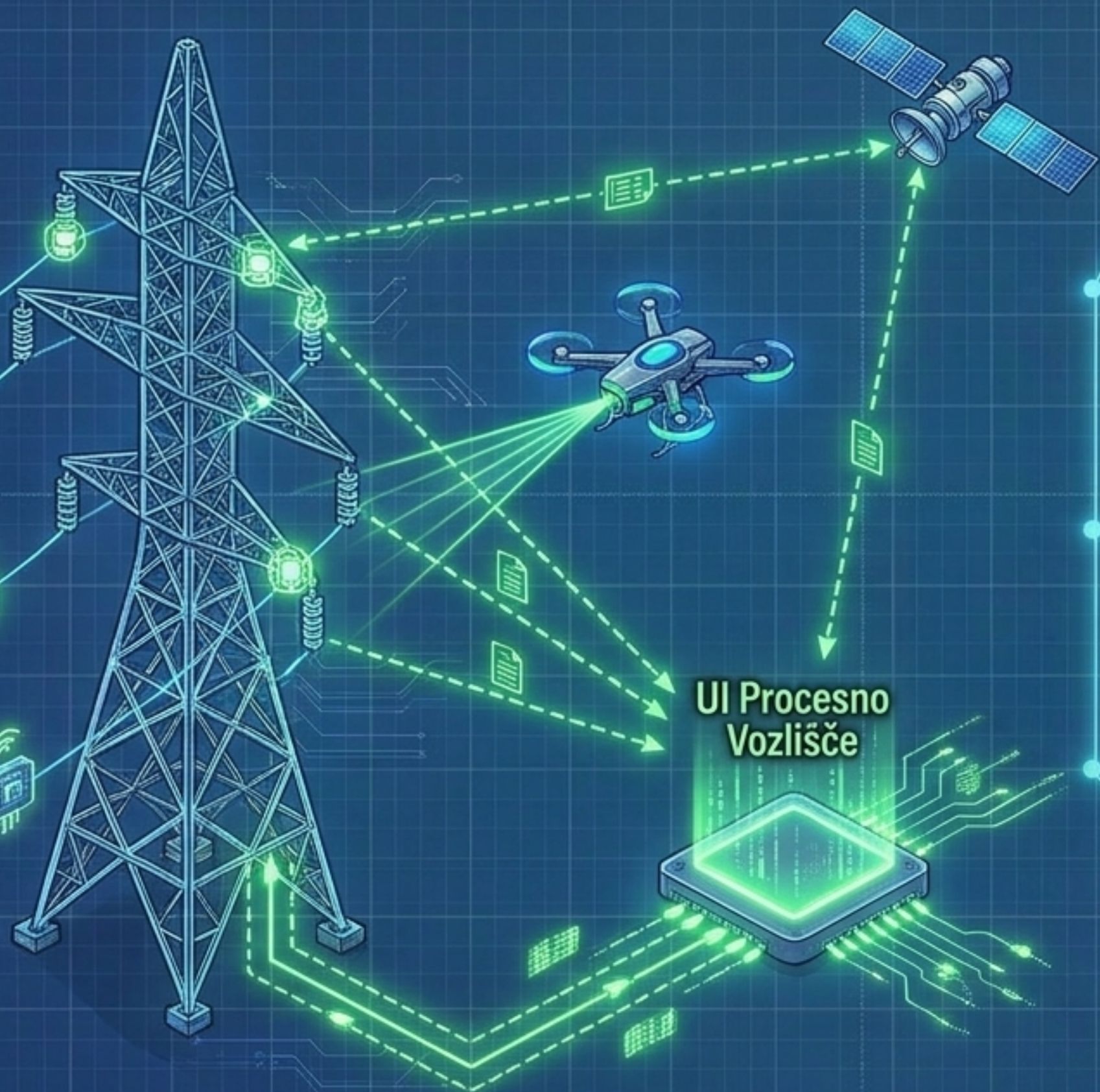
Algoritemsko DLR (Jutri)



UI in senzorji v realnem času računajo hlajenje vetra in termalno obremenitev. Varno poveča prepustnost daljnovodov.

DLR sistemi lahko takoj sprostijo 15 % do 30 % dodatne zmogljivosti na obstoječih vodih (do 175 GW globalno) brez gradnje enega samega novega stebra.

Detekcija in odpornost omrežja (Resilience)



Lokalizacija napak: UI zmanjša čas trajanja izpadov (SAIDI) za 30-50 % s takojšnjo geolokacijo okvar na nekaj metrov natančno.



Satelitska detekcija požarov: Mikrosateliti z vgrajeno UI lahko zaznajo gozdne požare velikosti 5x5 metrov 500-krat hitreje kot tradicionalne zemeljske metode (v manj kot 20 minutah).



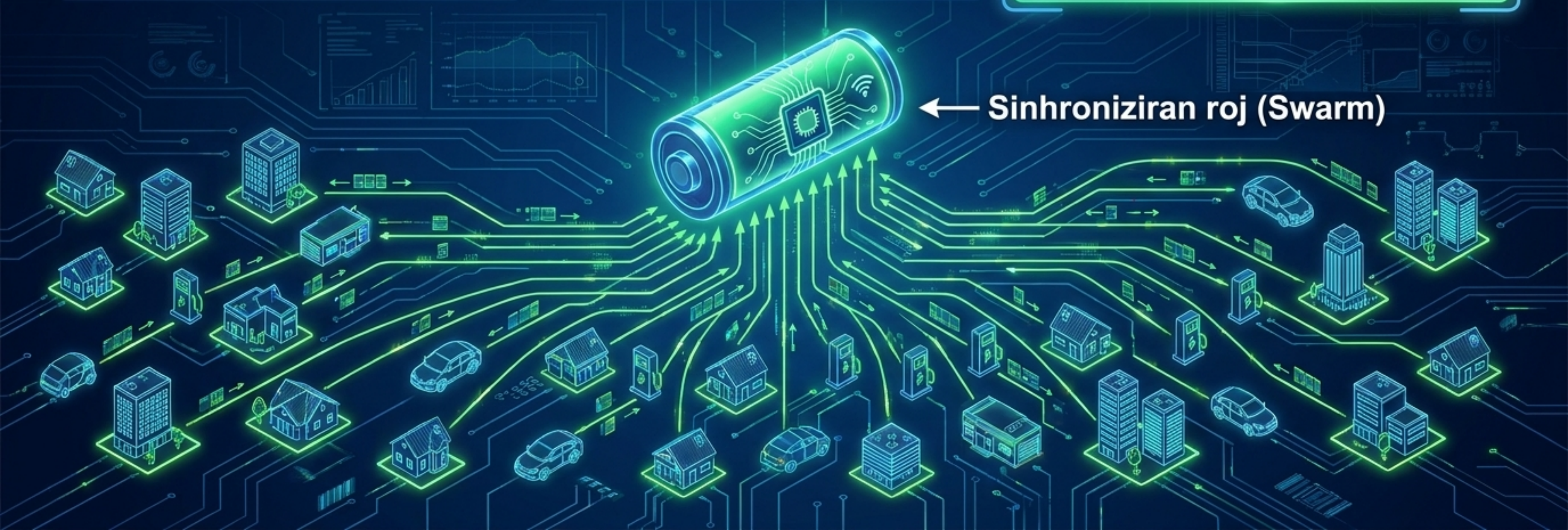
Prediktivno vzdrževanje: Enedis uporablja strojno učenje za napovedovanje izpadov zaradi neviht s 90 % natančnostjo pred samim dogodkom.

Upravljanje končne rabe: Zgradbe kot virtualne baterije

Zgradbe porabijo 50 % svetovne elektrike in ustvarijo 70 % vršne obremenitve.

S strojnim učenjem se posamezni pametni termostati, polnilnice EV in HVAC sistemi združijo v sinhroniziran roj (swarm).

Potencial: Široka uporaba UI v digitaliziranih stavbah lahko do leta 2035 omrežju doda **več kot 400 GW** prilagodljive zmogljivosti (približno 10 % vršne obremenitve v razvitih gospodarstvih), s čimer se izognemo vžigu plinskih vršnih elektrarn.



← **Sinhroniziran roj (Swarm)**

Časovni imperativ: Inovacije ne smejo čakati

Zgodovinsko povprečje: 30 do 55 let

Izum v laboratoriju

(litij-ionske baterije, fotovoltaika.
Tudi nevronske mreže so potrebovale 35 let)

Komercializacija

Podnebni cilji 2050

Stari način eksperimentalnega razvoja v laboratorijih po principu "poskusi in zgreši" (trial-and-error) je prepočasen za energetski prehod.

Zlom kombinatorne kompleksnosti

Človeški pristop



Energijski materiali obsegajo milijarde možnih atomskih kombinacij. Človeški poskusi obdelajo le delček.

UI Algoritem



Le 0,01 % vseh možnih materialov iz perovskita (za cenejše in boljše sončne celice) je bilo eksperimentalno proizvedenih.

Vzornik iz medicine: AlphaFold je pospešil odkrivanje struktur proteinov za 45.000-krat. UI zdaj prinaša to raven pospeška v iskanje novih energetskih materialov.

Tarče za UI pospešek v razvoju materialov



1. Baterije nove generacije:

Iskanje alternativ litiju in kobaltu. Baterijska 'gigatovarna' generira 10 milijard podatkovnih točk na dan, kar UI uporablja za odkrivanje napak in optimizacijo sinteze.



2. Katalizatorji za e-goriva in vodik: Pospešeno presejalno testiranje (*high-throughput screening*) za učinkovite, trpežne elektrokatalizatorje.



3. Lovljenje CO2 (CCUS):

Algoritemsko snovanje molekul z visoko afiniteto do CO2 in nizko energetska porabo za regeneracijo.



4. Dekarboniziran cement:

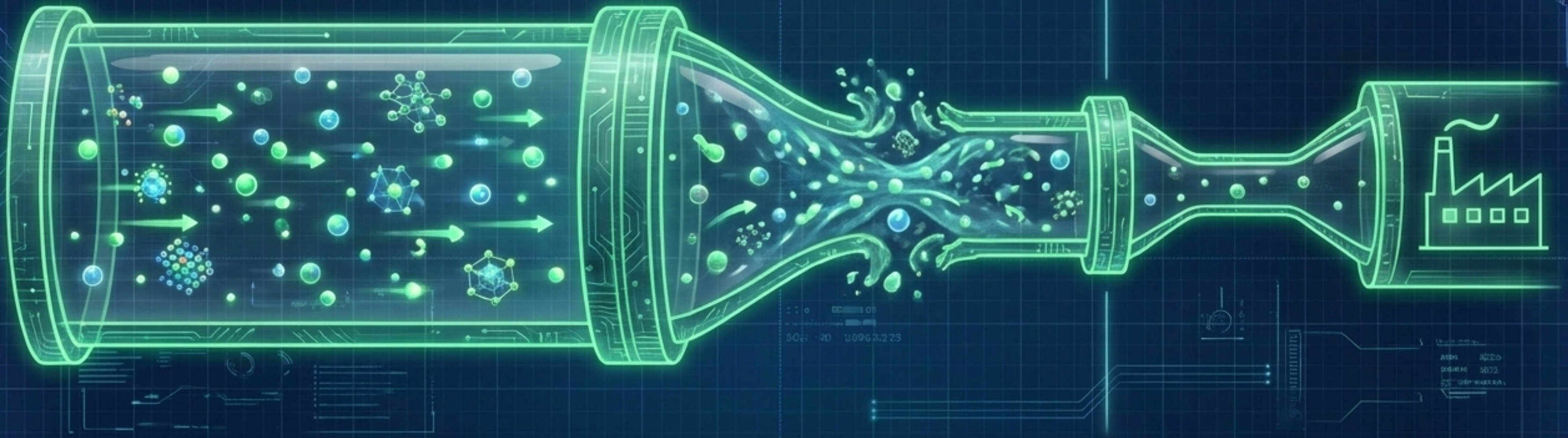
UI je že zasnovala betonske mešanice za podatkovne centre Meta z do 40 % nižjimi emisijami ogljika, ob ohranitvi strukturne trdnosti.

Prepustnost inovacij: Odkritje ni enako implementaciji

Odkritje v laboratoriju

Skaliranje procesa

Masovna proizvodnja



Čeprav UI drastično skrajša čas odkrivanja novih materialov, to predstavlja le prvi korak.



Uspešna integracija zahteva vključitev v globoko zakoreninjene, obsežne industrijske dobavne verige. UI je treba uporabiti tudi za napovedovanje obnašanja materialov v realnih obremenitvah, optimizacijo proizvodnih linij in digitalne dvojčke tovarn (Digital Twins).

Ranljivost strojne opreme: Kritični minerali



Koncentracija rafiniranja galija

Ni algoritmov brez čipov, ni čipov brez kritičnih mineralov. Dobavne verige za infrastrukturo umetne inteligence so izjemno zgoščene.

- Samo v ZDA se čaka na proizvodnjo transformatorjev pogosto več let.
- **Galij (Gallium):** Ključen element za polprevodnike visokih zmogljivosti. Povpraševanje podatkovnih centrov po galiju bi lahko do leta 2030 doseglo 11 % današnje svetovne ponudbe.
- Trenutno se 98 % svetovnega galija rafinira v Kitajski.

Digitalni razkorak in preskakovanje tehnologij

Trgi v razvoju
(Emerging Markets)



A

Tradicionalna pot

Pomanjkanje klasične infrastrukture in zanašanje na modele iz razvitega sveta.

B

Preskok (Leapfrogging)

UI orodja in satelitski podatki omogočajo decentralizirana, algoritemsko krmiljena mikro-omrežja.

Podobno kot so države v razvoju preskočile fiksno telefonijo naravnost na mobilna omrežja, lahko UI omogoči preskok na pametna mini-omrežja brez potrebe po masovni klasični centralizirani infrastrukturi.

Inženirski izziv: Hibridni strokovnjaki

Koncentracija talentov za UI po sektorjih

Tehnologija in finance

Energetika in komunala

Energetski sektor kronično zaostaja
(40 % nižja koncentracija).

Prihodnost zahteva inženirje, ki razumejo obojno - fiziko energetskih sistemov (termodinamiko, prenos toplote, visoko napetost) IN arhitekturo podatkovnega znanja (Python, strojno učenje, optimizacijske algoritme).

Čisti 'koderji' ne razumejo fizikalnih omejitev omrežja.

Čisti 'energetiki' ne znajo izkoristiti prediktivne analitike.

Sinteza: Zapiranje kibernetsko-fizične zanke

Energija za UI

Demand: ~1.700 TWh do 2035.

Fizične omejitve

Constraint: 5km radij za toplotne črpalke, 10-letne čakalne dobe za omrežje.

Simbiozna zanka

UI za energetiko

Grid: DLR sprosti +30 % zmogljivosti, 400 GW fleksibilnosti objektov

Algoritemske rešitve

R&D: 45.000x pospešek v razvoju materialov za CCUS in baterije

UI ni grožnja energetiki, temveč njen najbolj zmogljiv instrument. Vendar se digitalna eksponentna rast ustavi ob termodinamičnih zidovih, če je inženirji ne integrirajo pravilno.

Vaš načrt za prihodnost

Energetska tranzicija ne bo rešena le z gradnjo večjih turbin. Rešena bo z matematiko, termodinamiko in kodo.

> Postanite arhitekti sistemov, kjer elektroni in algoritmi delujejo v popolni simbiozi. Razumevanje strojne opreme in programske logike je zdaj ena in ista inženirska disciplina. ■