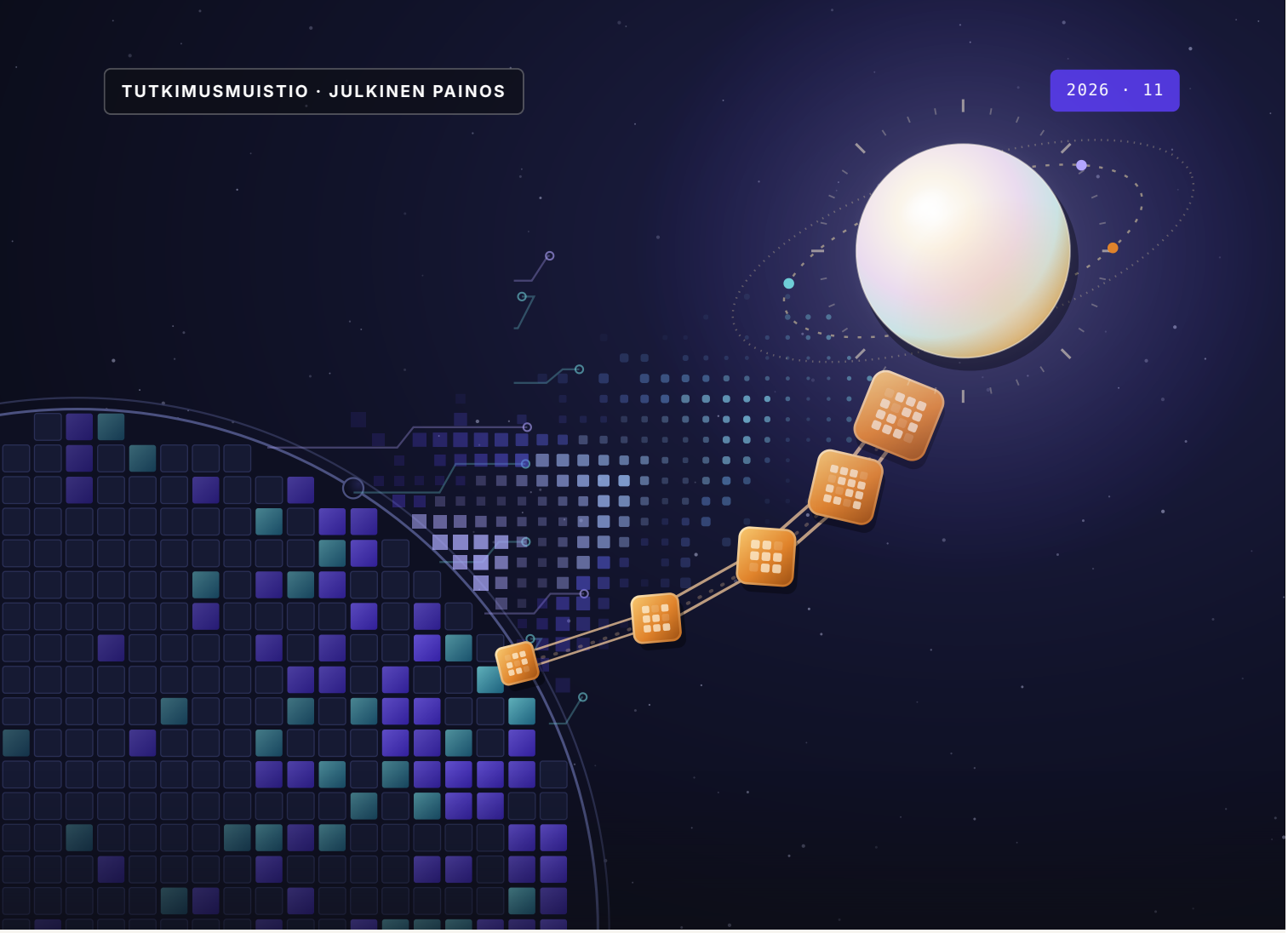
TUTKIMUSMUISTIO · JULKINEN PAINOS

2026 · 11



HYÖTYTYÖN TODISTE · KRYPTO × PII

Laskenta konsensuksena

Tekoäly × krypto × sirut 2026, lähtökohtana Pearlin hyötytyön todiste

Pearl · Hyötytyö · DePIN ja agentit · ASIC-talous · Prosessisolmut · Vaiheittaiset budjetit

JOHTOPÄÄTÖS

Pearl osoittaa, että matriisikertolasku voi suojata lohkoketjun, mutta ei vielä, että työ on hyödyllistä. Koko tekoäly × krypto -alalla maksettu kysyntä on inferenssissä, datassa ja yksityisyydessä, ja ASIC kannattaa vain, jos potti on suuri, säännöt ovat vakaat ja sirulla on toinen markkina.

Tan Shuai

Teknologi ja perustaja · tekoälytutkija ja -kehittäjä

tanshuai.com · i@tanshuai.com

Tiedot 13.11.2026 tilanteen mukaan

Rahamäärät Yhdysvaltain dollareina

SISÄLLYS

Sisällys



◆ **Tiivistelmä** — Teoreema pätee, kannustin ei — 04

01 **Rajaus ja menetelmä** — Rajaus, menetelmä ja neljä testiä — 07

02 **Pearl · mekanismi** — Pearl: matriisikertolasku konsensuksena — 08

03 **Pearl · talous** — Pearl: mittakaava, liikkeeseenlasku ja hyötyvaje — 10

04 **Pearl · säännöt** — Pearl: sääntöriski, numeriikka ja hallinto — 12

05 **Hyötytyöketjut** — Hyötytyöketjut: matriisit eivätkä nollatietotodisteet pysäytä ASICeita — 13

06 **Laajempi kenttä** — Muu tekoäly × krypto -ala: todellista mutta pientä kysyntää, ja arvo siirtyy osakkeisiin — 15

07 **ASIC-talous** — ASIC-kysymys: yksi kaava, kolme mittapuuta — 18

08 **Siru kerrallaan** — Viisi sirutyyppiä, viisi vastausta — 20

09 **Prosessisolmut** — Prosessisolmut: anna suurimman elinkaarikustannuksen valita — 24

10 **Vaiheittainen budjetti** — Mallista piihin: vaiheittainen budjetti ensimmäiselle sirulle — 27

11 **Mahdollisuudet** — Missä mahdollisuudet ovat, ja mitä tekisin — 29

12 **Seurattavat merkit** — Mitä seurata, marraskuu 2026 – 2027 — 31

13 **Kysyttävät kysymykset** — Kysymyksiä, joita et kysynyt mutta olisi pitänyt — 32

◆ **Kirjoittajasta** — Tan Shuai — 34

◆ **Lähteet** — 35

KUVIOT

Kuviot



KUVIO 01	Tekoäly × krypto kuudella sektorilla: missä maksettu kysyntä on todellista	06
KUVIO 02	Pearlin kokonaislukutyössä GPU:illa on yhteinen energiakatto	09
KUVIO 03	Pearlin kuusi ensimmäistä kuukautta: hashrate seuraa hintaa, säännöt muuttuvat	11
KUVIO 04	Tukikerroin: montako kertaa ulkoiset tulot verkko maksaa	15
KUVIO 05	Miksi tehokkuus lakkaa kannattamasta: ASIC pitää enintään 1 − 1/k tuloista	18
KUVIO 06	Useimmat potit ovat pienempiä kuin yhden sirun suunnittelubudjetti	20
KUVIO 07	Viisi sirutyyppiä, viisi vastausta	23
KUVIO 08	Huippusolmun kiekko maksaa kymmenen kertaa kypsän solmun kiekon	25
KUVIO 09	Osta näyttöä ennen maskeja: vaiheittainen budjetti ensimmäiselle sirulle	28

Merkinnät tekstissä

- **arvio** — kirjoittajan laskelma tai päätelmä lähteistetystä datasta
- **myyjän väite** — tuotetta myyvän yrityksen julkaisema, ei riippumattomasti todennettu
- **analyysi** — kirjoittajan tulkinta näytöstä

Tämä on käännös englanninkielisestä painoksesta; jos ne eroavat, englanninkielinen painos on ratkaiseva.

Tiedot 13.11.2026 tilanteen mukaan · Rahamäärät Yhdysvaltain dollareina

TIIVISTELMÄ

Teoreema pätee, kannustin ei

JOHTOPÄÄTÖS

Pearl osoittaa, että ”laskenta konsensuksena” toimii insinöörityönä, mutta ei vielä, että se on hyödyllistä.

≈90 EH/s
Pearlin verkko 13.11.2026, jossa yksi H on yksi INT7-kertolasku-yhteenlasku

≈1 %
Pearlin lohkoista sisältää oikeaa tekoälytyötä (Blockworks, 28.10.2026)

≈70 milj. $
vuodessa todennettavaa ulkoista tuloa Bittensorilla, vastaan yli 300 miljoonan dollarin liikkeeseenlasku

175–180×
Aleon todistajapalkkiot suhteessa maksuihin vuoden 2025 kolmannella neljänneksellä

R × (1 – 1/k)
sellaisen ASICin voittokatto, joka on k kertaa marginaalilouhijaa halvempi arvio

≈1,5 milj. $
mitattuun piihin N7:llä mallin, FPGA:n ja MPW:n kautta, ennen ≈3,5 milj. dollarin maskisarjaa arvio

Pearl

13. marraskuuta 2026 Pearlin verkko toimi noin 90 EH/s:n teholla. Sen konsensuskoodissa yksi ”tiiviste” on yksi kokonaislukujen kertolasku-yhteenlasku, joten verkko vastaa noin 122 000 H100:n kokonaislukuläpäisyä. Silti vain noin 1 % lohkoista sisältää oikeaa tekoälytyötä, eikä ainoaa julkista inferenssikumppanuutta enää tarjota palveluntarjoajansa serverless-rajapinnassa. Syy on taloudellinen, ei kryptografinen: GPU, joka louhii palvellessaan inferenssiä, ansaitsee vain noin 1–27 % omistetun louhijan hashratesta, joten rationaaliset louhijat kertovat satunnaisia matriiseja.

Maksettu kysyntä

Koko tekoäly × krypto -alalla todennettavaa maksettua kysyntää on kolmessa paikassa: inferenssin, datan ja yksityisyyden myynnissä. Bittensorin todennettava ulkoinen tulo on noin 70 miljoonaa dollaria vuodessa, siitä noin neljä viidesosaa laskenta- ja infrastruktuurialiverkoista. Grass ilmoittaa 17 miljoonan dollarin datatulot vuoden 2026 ensimmäiseltä puoliskolta. Luottamuksellinen inferenssi luotetuissa suoritusympäristöissä on tuotannossa. Sen sijaan tekoälyagenttien todella käynnistämät maksut ovat noin 5 000–11 000 dollaria kuussa, eikä zkML:llä ja hajautetulla koulutuksella ole vielä julkistettua maksavaa kysyntää.

Tuki ja arvo

Tukikerroin on rehellisin terveystarkastus. Aleon todistajapalkkiot olivat noin 175–180 kertaa sen maksut; Bittensorin liikkeeseenlasku on noin 4–11 kertaa sen todennettava tulo; Renderin markkina-arvo on noin 360 kertaa sen ketjussa maksetut maksut; ja Pearlin louhijoiden noin 460 miljoonan dollarin vuositulot ovat enimmäkseen lohkotukea, lähes irrallaan maksetusta tekoälykysynnästä. Tuki on kylmäkäynnistyksen polttoainetta, ei liiketoimintamalli. Samaan aikaan arvo siirtyy tokeneista osakkeisiin: neljä osakeyhtiötä, jotka käyttävät keskitettyä infrastruktuuria ja kryptonatiivia jakelua, on arvostettu noin 8,5 miljardiin dollariin, suunnilleen samaan kuin protokolla- ja sovelluskerroksen tekoälytokenit yhteensä.

ASICit

Sirujen osalta ASICin voittokatto on karkeasti laskentayksikön tulo kertaa (1 − 1/k), missä k kertoo, montako kertaa halvempi se on kuin marginaalilaitteisto. Koska termi on kovera, tehokkuus yli k = 5–

10:n tuo lähes lainkaan lisävoittoa; lopputuloksen ratkaisevat potin koko, se, kuinka kauan säännöt pysyvät, ja se, onko sirulla toinen markkina. Vastaukseni sirutyypeittäin: älä tee nyt tape-outia omistetusta INT7-Pearl-sirusta, vaan panosta inferenssi edellä -kiihdyttimeen, joka voi myös louhia; pysy uutena tulokkaana erossa myyntiin tarkoitettujen bitcoin-louhijoiden markkinasta; älä rakenna pienenä tiiminä erillistä koulutussirua; rakenna inferenssisiruja, kun asiakas on sidottu; suojaudu ZK-kiihdyttimillä ja asemoidu ajoissa FHE:hen.

Solmut ja budjetit

Prosessisolmu tulisi valita sirun elinkaarikustannuksen suurimman erän mukaan: energia ympäri vuorokauden toimiville siruille, paketointi ja muisti koulutussiruille, SRAM vai HBM -päätös inferenssisiruille. Ja ensimmäinen siru kannattaa hankkia vaiheittain, ensin malli, sitten FPGA, sitten monen projektin kiekko ja vasta sitten maskisarja, jotta protokollan muutos maksaa prototyypin hinnan eikä tape-outin hintaa. Mahdollisuudet ovat siellä, missä alat risteävät: krypto ensimmäisenä asiakkaana, tekoäly toisena markkinana.

Kysymys	Arvio	Keskeiset luvut (lähteet luvuissa)
① **Toimiiko Pearl, ja onko sen työ hyödyllistä?**	Toimii: lohkoketju, jota suojaa matriisikertolasku suuressa mittakaavassa. Ei vielä hyödyllinen: lähes kaikki louhinta tehdään satunnaisilla matriiseilla	Noin 90 EH/s 13. marraskuuta 2026; 1 H = 1 INT7-kertolasku-yhteenlasku; noin 1 % lohkoista tekoälytyötä
② **Missä on todellinen maksettu kysyntä tekoäly × krypto -alalla?**	Inferenssissä, datassa ja yksityisyydessä. Agenttimaksut, zkML ja hajautettu koulutus ovat yhä ennen kysyntää	Bittensor noin 70 miljoonaa dollaria vuodessa todennettavaa tuloa; Grass 17 miljoonaa dollaria H1 2026; agenttimaksut noin 5 000–11 000 dollaria kuussa
③ **Kannattaako ASIC rakentaa?**	Vain jos potti on suuri, säännöt ovat vakaat ja sirulla on toinen markkina. Nykyään mikään verkko ei tarjoa kaikkia kolmea	Voittokatto ≈ R × (1 − 1/k); bitcoin noin 11,5 miljardia dollaria louhijoiden vuosituloja, Pearl noin 0,46–0,49 miljardia, Kaspa noin 18 miljoonaa
④ **Mitä siruja pienen tiimin kannattaa rakentaa?**	Inferenssi edellä -kiihdyttimiä, jotka voivat myös louhia; inferenssisiruja sidotulle asiakkaalle; varhaista FHE-työtä. Ei myyntiin tarkoitettuja bitcoin-louhijoita eikä koulutussiruja	Kaspan paras ASIC tienaa 0,86 dollaria päivässä; 3/2 nm:n suunnittelubudjetit 60–400 miljoonaa dollaria tai enemmän
⑤ **Mikä prosessisolmu?**	Suurin elinkaarikustannus ratkaisee: energia, paketointi ja muisti tai muistiarkkitehtuuri	TSMC N2 noin 30 000 dollaria kiekolta vastaan noin 3 000 dollaria N28:lla; HBM ja CoWoS noin 63 % H100:n kustannuksesta
⑥ **Mitä ensimmäinen siru maksaa, ja miten se kannattaa hankkia?**	Neljässä vaiheessa: malli, FPGA, monen projektin kiekko, sitten maskit. Pysähdy ennen maskeja, jos säännöt tai ostaja eivät ole selvillä	Kaupallinen MPW-paikka 50 000–500 000 dollaria; N7-maskit noin 3,5 miljoonaa dollaria; 7/6 nm:n suunnittelubudjetti 15–100 miljoonaa dollaria

KUVIO 01

Tekoäly × krypto kuudella sektorilla: missä maksettu kysyntä on todellista

Todennettava maksettu kysyntä vs. tuki- ja arvostussignaalit, marraskuu 2026

Hyötytyöketjut 01

TODELLISTA MUTTA PIENTÄ

≈70 milj. $ / v

Bittensorin todennettava ulkoinen tulo

Signaali: liikkeeseenlasku 4–11× tulot; Pearl ≈1 % tekoälylohkoja

Mekanismit toimivat; hyöty vaatii maksajia

Hajautettu laskenta 02

TODELLISTA MUTTA PIENTÄ

2,35 milj. $ / v

Renderin ketjussa maksetut maksut, suurimmat todennettavat

Signaali: markkina-arvo ≈360× maksut

Enimmäkseen perusinferenssin jälleenmyyntiä

Koulutus ja inferenssi 03

VOITTO OSAKKEISIIN

100+ milj. $ / v

Prime Intellect, osakeyhtiö keskitetyillä GPU:illa

Signaali: Gensynin koulutus-mainnet ei käytössä

Edistys on todellista; voitto menee osakkeisiin

Todennettava tekoäly 04

VARHAINEN

398

Phalan TEE-pilven maksavaa käyttäjää, vuoden 2025 lopussa

Signaali: ei julkistettua maksettua zkML:ää

TEE:t tuotannossa; zkML varhain

Agenttimaksut 05

ENNEN KYSYNTÄÄ

5–11 t. $ / kk

x402-maksut, jotka agentit todella käynnistivät

Signaali: ≈200 milj. tapahtumaa, enimmäkseen signalointia

Raiteet tulivat ensin; kysyntä ei

Dataverkot 06

OIKEITA OSTAJIA

17 milj. $

Grassin datatulot, 1. vuosipuolisko 2026 (oma ilmoitus)

Signaali: markkina-arvo ≈10× vuositasoinen tulo

Harvoja sektoreita, joilla on oikeita ostajia

Lähde: DefiLlama, SubConnect (hoge.gg:n kautta), TRM Labs, Phala, Dealroom, SiliconANGLE, CoinGecko, Blockworks; kirjoittajan synteesi.

01 RAJAUS JA MENETELMÄ
Rajaus, menetelmä ja neljä testiä

Miksi tämä raportti, ja miksi nyt

Huhtikuussa 2026 uusi lohkoketju, Pearl, vei tuotantoon pitkäaikaisen ajatuksen: annetaan louhijoiden kilpailla lohkoista tekemällä niitä matriisikertolaskuja, joilla tekoäly toimii, tiivistämisen sijaan. Kuudessa kuukaudessa sen verkko saavutti noin 90 EH/s ja sen token noin 500 miljoonan dollarin markkina-arvon. Samaan aikaan tekoälylaskennan markkinapaikat, hajautetut koulutusverkot, agenttien maksuraiteet ja dataverkot keräsivät miljardeja, ja bitcoin-louhijat alkoivat muuttaa sähköpaikkojaan tekoälydatakeskuksiksi. Halusin tietää, millä näistä on oikeita asiakkaita, onko räätälöidyssä piissä järkeä missään niistä ja mitä prosessisolmua ja mitä valmistamoa sirutiimi voi todella käyttää.

Neljä testiä mille tahansa tekoäly × krypto -hankkeelle

Gridcoinia käsitellyt tietoturvatutkimus vuodelta 2017 esitti, että hyödyllinen laskenta voi suojata lohkoketjun vain, jos se on vaikea ratkaista, helppo todentaa ja helppo palkita. Lisään neljännen testin. Yhdessä ne ratkaisevat suurimman osan siitä, mitä seuraa.

01 **Vaikea ratkaista.** Rehellisen laskennan on oltava halvin tapa tuottaa kelvollinen todiste; oikotietä ei saa olla.

02 **Helppo todentaa.** Työn tarkistamisen on maksettava paljon vähemmän kuin sen tekemisen, tai verkko maksaa kahdesti.

03 **Helppo palkita.** Protokollan on pystyttävä laskemaan palkkio pelkästä todisteesta luottamatta kolmanteen osapuoleen.

04 **Joku maksaa tuotoksesta.** Ellei verkon ulkopuolinen asiakas maksa tuloksesta, ”hyödyllinen” työ on tukea, johon on liitetty tarina.

Tiivistepulmat läpäisevät kolme ensimmäistä testiä ja epäonnistuvat neljännessä. Todelliset tekoälytehtävät läpäisevät neljännen mutta epäonnistuvat toisessa: tekoälylaskennan todistaminen nollatietotodisteella maksaa 100–10 000 kertaa itse laskennan, ja oppimisen todiste -järjestelmien on osoitettu olevan halvalla huijattavissa. Pearlin kohinainen matriisikertolasku on ensimmäinen uskottava silta, joka läpäisee todennustestin ja pysyy samanmuotoisena kuin tekoälylaskenta.

Miten työskentelin

Tämä on kirjoituspöytätutkimusta, tehty samalla tavalla kuin arvioisin sirua tai liiketoimintasuunnitelmaa. Luin Pearlin koodin, sen protokollaehdotukset ja valkoisen kirjan; ketjudataa riippumattomasta täydestä solmusta; yritysten tiedotteita ja tulosjulkistuksia; kryptografian, tietokonearkkitehtuurin ja koneoppimisen julkaisuja; valmistamojen ja myyjien hintatietoja; sekä alan ja teknologia-alan lehdistöä. Jokaisella luvulla on päiväys. Kun johdan luvun itse, sanon sen ja merkitsen sen `arvio`. Luvut, jotka vain myyjä ilmoittaa, on merkitty `myyjän väite`; tulkintani näytöstä on merkitty `analyysi`. Rahamäärät ovat Yhdysvaltain dollareina. Tilanne on 13. marraskuuta 2026.

LUKU 02

02

PEARL · MEKANISMI

Pearl: matriisikertolasku konsensuksena

Ajatus teoreemasta mainnetiin

Huhtikuussa 2025 Ilan Komargodski ja Omri Weinstein julkaisivat artikkelin ”Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication”. He rakentavat hyötytyön todisteen mille tahansa matriisitulolle vain 1 + o(1) kertaa naiivin kertolaskun lisäkustannuksella; sen turvallisuus perustuu satunnaisten matala-asteisten lineaariyhtälöerien ratkaisemisen vaikeuteen, mikä on konjektuuri, ei todistus. Artikkeli nimeää alan todellisen vaikeuden: hyötytyön todiste vakiokertoimisella lisäkustannuksella on triviaali mutta hyödytön; vaikeaa on pitää rehellinen laskenta halvimpana tapana voittaa, kun louhijat valitsevat omat syötteensä.

Pearlin mainnet käynnistyi 27. huhtikuuta 2026 klo 09.00 UTC. Louhijat laskevat kohinaisen tulon (A + E)(B + F), jossa matala-asteinen kohina johdetaan BLAKE3-sitoumuksesta, ja poistavat sitten kohinan saadakseen A·B:n. Kunkin tulosruudun akkumulaattorin tila tiivistetään arpalipuksi; voittanut ruutu avataan ja todistetaan rekursiivisella, alle 60 kt:n Plonky2-nollatietotodisteella lohkosertifikaatin sisällä, jonka enimmäiskoko on 65 kt. Todennus on pieni, vakiokokoinen todiste, riippumaton matriisin koosta: yhtä halpa tarkistaa kuin tiivistepulma, vaikka itse laskenta voi olla hyödyllistä.

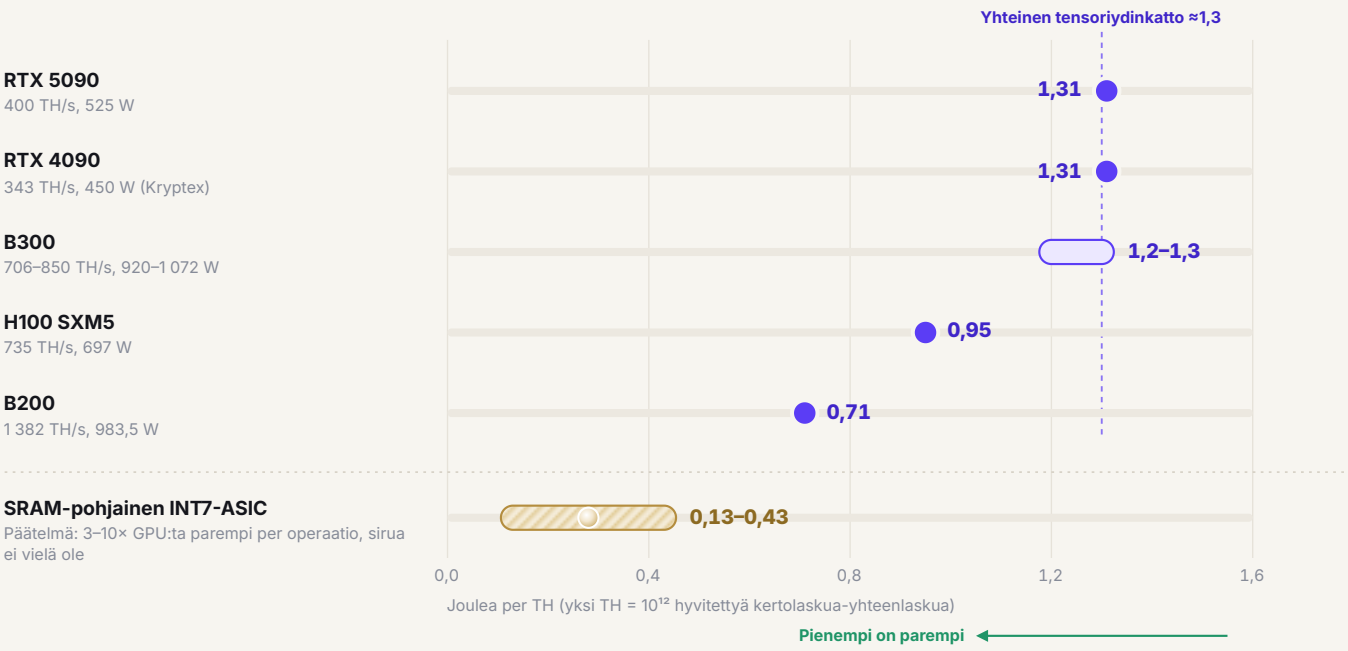
Yksi kertolasku-yhteenlasku on yksi ”tiiviste”

Sirusuunnittelijalle tärkein tosiasia on yksikkö. Pearlin konsensuskoodi skaalaa kunkin yrityksen tavoitteen ruudun koolla kerrottuna pistetulon pituudella, joten **1 H on täsmälleen yksi hyvitetty INT7 × INT7 → INT32 -kertolasku-yhteenlasku (MAC)**. Lohkosta 96 251 alkaen rankirangaistus vaatii kohinan asteeksi vähintään 128; minimiasteella 1 H on yhä 1 MAC. Pearlin ”EH/s” tarkoittaa siis kirjaimellisesti 10^18 kokonaislukujen kertolaskua-yhteenlaskua sekunnissa: **ensimmäistä kertaa lohkoketjun turvabudjetti on hinnoiteltu tekoälykiihdyttimien tensoriläpäisyllä.** Mitatut GPU-hashratet asettuvat 60–95 %:iin kunkin kortin tiheästä INT8-kertolasku-yhteenlaskuhuipusta, mikä sopii tähän tulkintaan.

Laitteisto	Pearl-hashrate	Teho	Joulea biljoonaa MACia kohti (J/TH)	Lähde (päiväys)
RTX 5090	400 TH/s	525 W	1,31 arvio	Kryptex (12. marraskuuta)
RTX 4090	noin 305 TH/s (yhteisön haarukka 280–330); Kryptex ilmoittaa 343 TH/s	450 W (Kryptex)	1,31 (Kryptexin luvuilla) arvio	prlstats (3. lokakuuta); Kryptex
H100 SXM5	735 TH/s	697 W	0,95 arvio	PeakMiner, prlstatsin kautta (19. syyskuuta)
B200	1,382 PH/s	983,5 W	0,71 arvio	PeakMiner, prlstatsin kautta
B300	706–850 TH/s	920–1 072 W	1,2–1,3 arvio	prlstats; SimeonOnSecurity

KUVIO 02 **Pearlin kokonaislukutyössä GPU:illa on yhteinen energiakatto**

Joulea biljoonaa INT7-kertolaskua-yhteenlaskua kohti (J/TH) mitatulla Pearl-hashrate-tasolla; pienempi on parempi



Lähde: Kryptex (12. marraskuuta 2026); PeakMiner- ja SRBMiner-mittaukset prIstatsin kautta; SimeonOnSecurity; ASIC-haarukka on kirjoittajan päätelmä, ei mittaus.

Taulukossa on kaksi sirusuunnittelijalle merkittävää yksityiskohtaa. Ensinnäkin kuluttajien RTX 4090- ja 5090-kortit ja datakeskusten B300 lähentyvät noin 1,3 J/TH:iin, ja paras kortti, B200, yltää vain noin 0,71 J/TH:iin. Kymmeniä tuhansia dollareita maksava datakeskus-GPU kuluttaa lähes yhtä paljon energiaa kokonaislukujen kertolaskua-yhteenlaskua kohti kuin pelikortti, mikä viittaa tensoriydinten yhteiseen energiakattoon INT8-MACia kohti, ja juuri tämän katon omistettu siru voisi murtaa. Toiseksi B300 on hitaampi kuin B200: NVIDIA leikkasi INT8-läpäisyä jyrkästi Blackwell Ultrassa, joten kokonaislukutyön on kuljettava sillä sirulla hitaampaa polkua. Valtavirran tekoälypii siirtyy INT8:sta kohti FP8:aa ja FP4:ää. Kun konsensuksen valitsema lukuformaatti erkanee laitteiston suunnasta, protokolla joutuu muuttamaan sääntöjään, ja se on FP8-haarautuman ja myöhemmin tässä raportissa esittämäni ASIC-arvion juuri.

LUKU 03

03

PEARL · TALOUS

Pearl: mittakaava, liikkeeseenlasku ja hyötyvaje

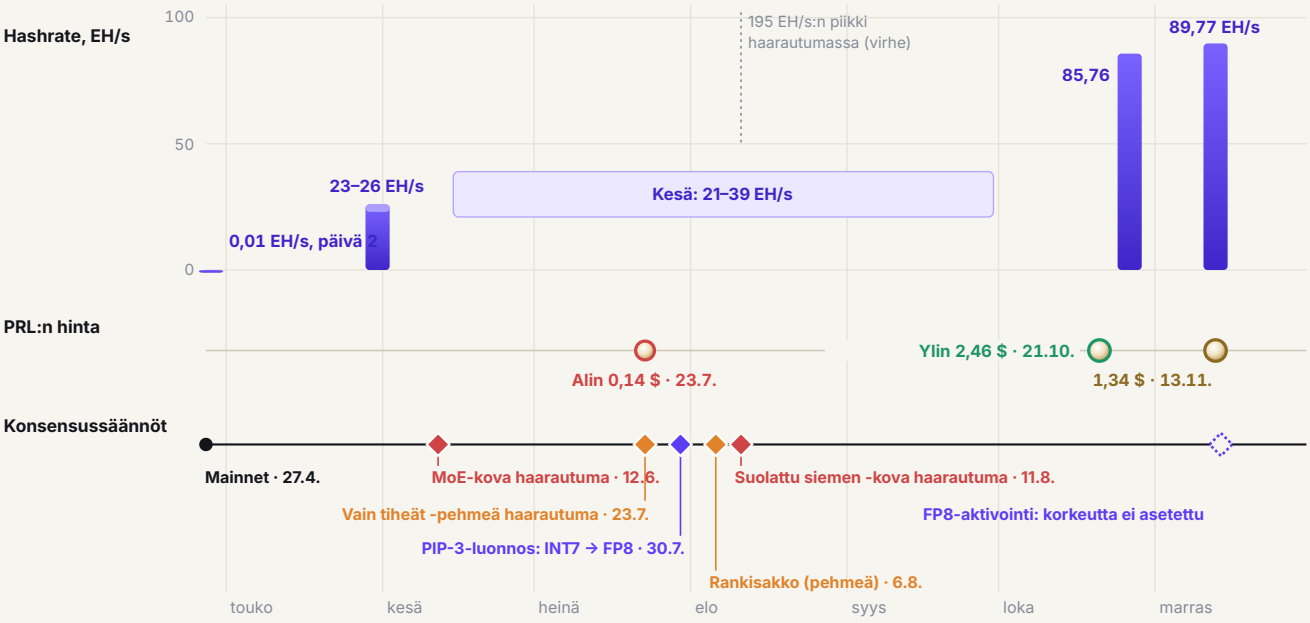
0,01:stä 90 EH/s:iin kuudessa kuukaudessa

Mittari	Arvo (13. marraskuuta 2026)	Peruste ja lähde
Verkon hashrate	Noin 90 EH/s (perustaso 89,77; saman päivän vaihteluväli 88,20–93,22; 12. marraskuuta päivänsisäinen huippu 110–123)	Riippumaton täysi solmu prlstats; Kryptex
Vaikeustaso ja lohkokorkeus	58 841 982 ja 142 530	prlstats
Vastaava laitteisto	Noin 122 000 H100:aa tai 225 000 RTX 5090:ää	735 ja 400 TH/s korttia kohti arvio
Hinta, markkina-arvo ja täysin laimennettu arvo	1,32–1,34 dollaria; noin 500 miljoonaa dollaria; noin 2,8 miljardia dollaria (CoinGecko-sijoitus 101)	CoinGecko
Kaikkien aikojen huippu ja pohja	2,46 dollaria (21. lokakuuta) ja 0,1399 dollaria (23. heinäkuuta)	CoinGecko
Louhitut kolikot	377,6 miljoonaa PRL:ää, 17,98 % 2,1 miljardin enimmäismäärästä	prlstats
Lohkotuki ja päivittäinen liikkeeseenlasku	Noin 2 173 PRL:ää ja noin 0,97–1,03 miljoonaa PRL:ää	prlstats; Kryptex
Uusi tarjonta seuraavien 12 kuukauden aikana	Noin 78 % nykyisestä tarjonnasta	prlstats
Louhijoiden tulot	Noin 1,25 miljoonaa dollaria päivässä (malli), noin 460 miljoonaa dollaria vuodessa	prlstats
Tulo hashrate-yksikköä kohti, R	Noin 14–15 dollaria per PH/s päivässä; RTX 5090 tienaa noin 5–6 dollaria päivässä	arvio; Kryptex
Oikeaa tekoälytyötä sisältävät lohkot	Noin 1 % (arvio 28. lokakuuta)	Blockworks
Poolien keskittyminen	Kryptex löysi 46,4 % lohkoista viimeisten 24 tunnin aikana; kaksi suurinta poolia noin 62 %	prlstats
Haltijoiden keskittyminen	Osoitteiden Gini-kerroin 0,969; 100 suurinta osoitetta hallussaan 53,0 %	prlstats

Pearlin hashrate on lähes viiveellinen funktio sen hinnasta. Käynnistystä seuraavana päivänä verkko toimi noin 0,01 EH/s:n teholla; toukokuun loppuun mennessä se saavutti 23–26 EH/s. Kesän aikana hinta laski noin 86 % toukokuun huipustaan, ja hashrate liikkui sivuttain 21–39 EH/s:ssa. Kun hinta nousi syys- ja lokakuussa noin kymmenkertaiseksi, hashrate saavutti 85,76 EH/s 27. lokakuuta ja noin 90 EH/s marraskuussa. Elokuun 11. päivän piikki 195 EH/s:iin osui haarautuman kohdalle, ja se on luettava estimointivirheeksi. Energiankulutus kasvoi samalla: yksi tutkimus arvioi koko verkon kulutukseksi noin 112 MW 24 EH/s:n tasolla, ja prlstatsin malli arvioi sen nyt noin 190–215 MW:ksi.

KUVIO 03 **Pearlin kuusi ensimmäistä kuukautta: hashrate seuraa hintaa, säännöt muuttuvat**

Verkon hashrate, kolme hintapistettä ja jokainen konsensusmuutos, 27.4.–13.11.2026



Lähde: prlstatsin täysi solmu ja aikasarjat; Kryptex; CoinGecko; Pearlin params.go ja PIP-3. Elokuun 11. päivän piikki on haarautumakohdan estimointivirhe.

Liikkeeseenlasku vahvistaa refleksiivisyyttä

Tarjonnan enimmäismäärä on 2,1 miljardia kolikkoa, eikä puoliintumisia ole: lohkotuki pienenee tasaisesti kaavalla E(t) = S·H / ((t + H)(t + H − 1)), jossa H = 650 226. Liikkeeseenlasku lasketaan kuitenkin lohkoissa, ei ajassa, ja varhainen vaikeustaso alkoi liian matalalta ja mukautui hitaasti. **Ensimmäisenä päivänä louhittiin noin 44,06 miljoonaa kolikkoa ja kuuden ensimmäisen päivän aikana noin 120 miljoonaa**, noin 32 % nykyisestä tarjonnasta arvio. Viimeaikaiset lohkot, noin 171–183 sekunnin välein, tulevat yhä nopeammin kuin 194 sekunnin tavoite. Tuloksena tarjonta kasvaa noin 78 % seuraavien 12 kuukauden aikana, laimennus, joka louhijoiden, laitevalmistajien ja haltijoiden on kaikkien kohdattava.

Louhinnan talous seuraa tästä. Koko verkon louhijoiden tulot ovat noin 1,25 miljoonaa dollaria päivässä (malli); Kryptexin päivittäinen liikkeeseenlasku kerrottuna nykyhinnalla antaa noin 1,35 miljoonaa dollaria päivässä, joten **tulo hashrate-yksikköä kohti R ≈ 14–15 dollaria per PH/s päivässä** arvio. RTX 5090 tienaa noin 5–6 dollaria päivässä. H100 tai H200 tienaa noin 11 dollaria, kun taas halvin julkinen tilausvuokra on noin 2,09 dollaria korttia kohti tunnilta, noin 50 dollaria päivässä, joten korttien vuokraaminen pelkkään louhintaan tuottaa raskasta tappiota. R heilahtelee voimakkaasti: prlstatsin aikasarjan mukaan se oli noin 10 dollaria elo- ja syyskuussa ja hetkellisesti noin 33 dollaria lokakuun puolivälissä arvio. Muutamassa viikossa käynnistyksestä RTX 5090:n arvioitu päivätulo puolittui noin 33,80 dollarista noin 17,19 dollariin. Pilvi-GPU:iden vuokraaminen louhintaan kannatti vain ensimmäisinä viikkoina ja lokakuun hintapiikin aikana.

Teoreema pätee; kannustin ei

Todellinen ongelma on kysyntä, ei kryptografia. Pearlin ainoa julkinen kaupallinen integraatio on Together AI:n Gemma-4-31B-it-pearl-päätepiste, joka julkaistiin 15. toukokuuta yli 25 % tavallista hintaa halvempana, ja alennus rahoitettiin liikkeeseenlaskun odotetulla tulevalla arvolla. 13. marraskuuta mallin sivu osoitti, että se **ei ole saatavilla Togetherin serverless-rajapinnassa**. Kesäkuussa 8 012 verkossa olevan louhintainstanssin laskenta, noin 21 % verkosta, päätyi siihen, että verkko ei tuottanut lainkaan hyödyllistä tekoälylaskentaa (tekijä kutsuu näyttöä viitteelliseksi, ei ratkaisevaksi), ja osoitti, että poolit hyväksyivät puhtaasti satunnaisista matriiseista rakennettuja osuuksia. 28. lokakuuta Blockworks arvioi, että **vain noin 1 % lohkoista sisältää oikeaa tekoälytyötä**; ilman sitä Pearl on sen mukaan pienempi, heikommin suojattu ja nopeammin inflatoituva bitcoin.

Syyn voi laskea. Inferenssipuolen lisäkustannus on aidosti pieni: Pearl raportoi 5,08 %:n kasvun päästä päähän -ajassa Llama 70B:lle neljällä H200:lla, ja riippumaton testi mittasi 9,2 %:n läpäisyn menetyksen yhdellä Hopper-GPU:lla. Louhintapuoli ansaitsee liian vähän. Virallinen vLLM-liitännäinen louhii vain vähintään 1 024 tokenin prefill-erissä eikä koskaan dekoodausvaiheissa. Inferenssiä palveleva kortti saa noin 27 % omistetun louhijan hashratesta puhtaalla prefill-liikenteellä, noin 5,4 % chat-sekoituksella, josta 80 % on dekoodausta, ja vain noin 1 % dekoodauspainotteisella liikenteellä. Ilman maksettua inferenssikysyntää rationaalinen louhija kertoo satunnaisia matriiseja; protokolla todentaa, että sitoutetut matriisit kerrottiin rehellisesti, ei sitä, olivatko ne hyödyllisiä. **Teoreema pätee; kannustin ei.** Pearlin hyödyllisyys on ketjun ulkopuolinen kaupallinen ongelma: jonkun on maksettava inferenssistä.

LUKU 04

04 PEARL · SÄÄNNÖT
Pearl: sääntöriski, numeriikka ja hallinto

Neljä haarautumaa kahdessa kuukaudessa

Pearlin toinen puoli on se, kuinka nopeasti sen säännöt muuttuvat. Kesä–elokuussa 2026 laboratorio toi neljä konsensusmuutosta kovakoodatuilla korkeuksilla: asiantuntijasekoitusmallien kovan haarautuman (lohko 71 935, noin 12. kesäkuuta), vain tiheät mallit -pehmeän haarautuman (91 630, noin 23. heinäkuuta), rankirangaistuksen pehmeän haarautuman (96 251, noin 6. elokuuta) ja suolatun siemenen kovan haarautuman (99 000, noin 11. elokuuta). Suolatun siemenen haarautuman jälkeen vanhat louhijat pystyivät tuottamaan vain virheellisiä osuuksia; rankirangaistus leikkasi korkea-asteisten kokoonpanojen tehollista hashratea 50–87,5 %.

Seuraava askel on PIP-3, yhä luonnos: se siirtää louhinnan INT7:stä FP8 × FP8 → FP32 -muotoon ja vaatii bittitarkat laiteprofiilit **tukien vain kahta arkkitehtuuria, Hopperia ja Blackwellia**. Asiakirja kutsuu laitteistoriippuvuutta liukulukuprotokollien välttämättömäksi pahaksi ja varoittaa, että mikä tahansa toleranssi todennuksessa houkuttelee grinding-hyökkäyksiin. 12. marraskuuta fp8-scheme-haaran mainnet-parametrit eivät asettaneet aktivointikorkeutta. Nykyisen luonnoksen mukaan RTX 40 -sarjaa, A100:aa ja AMD:n kortteja ei hyväksytä, kun taas prlstatsin matalan luottamuksen malli arvioi, että noin 82 % hashratesta tulee kuluttajakorteilta. Haarautuman läpi pakottaminen uhkaa ketjun jakautumisella tai louhijoiden vastareaktiolla.

Lukuformaatin trilemma

Pearl kohtaa trilemman: lukuformaatti voi olla hyödyllinen tekoälylle (FP8 tai FP4), bittitarkasti todennettava laitteistojen välillä ja laitteistoneutraali, mutta enintään kaksi kolmesta. INT7-järjestelmä on todennettava ja neutraali mutta erkanee tekoälypiin suunnasta. FP8 sallittujen luettelolla on hyödyllinen ja todennettava mutta sitoo konsensuksen yhteen valmistajaan. FP8 toleranssilla on hyödyllinen ja neutraali mutta avaa oven grinding-hyökkäyksille. Tensoriydinten liukulukuaritmetiikka ei yleensä noudata numeerista standardia eikä ole toistettavissa sukupolvien välillä; esimerkiksi Hopperilla FP8-akkumulointi säilyttää vain 13 murto-osan bittiä ja katkaisee. Sirusuunnittelijan näkökulmasta ”Hopper-profiili” on täysin määrätty aritmetiikka, jonka ASIC voisi toteuttaa bitilleen, ehkä GPU:ta tehokkaammin. Se olisi kuitenkin harmaan alueen liiketoimintaa protokollan ilmaistua tarkoitusta vastaan, ja hallintoriski olisi hyvin suuri analyysi.

Hallinto

Hallinto on keskittynyttä. Laboratorio kirjoitti jokaisen protokollaehdotuksen; haarautumat aktivoituvat kovakoodatuilla korkeuksilla ilman louhijoiden signalointia; toista asiakasohjelmatoteutusta ei ole; eikä lokakuun alkuun mennessä ollut julkaistu kolmannen osapuolen auditointia solmusta tai nollatietopiireistä. Israelilainen sanomalehti TheMarker raportoi, että laboratorio keräsi noin 120–130 miljoonaa dollaria salaisella rahoituskierroksella (noin 55 miljoonaa dollaria osakepääomaa sekä noin 75 miljoonan dollarin GPU-infrastruktuurirahasto); Pearl ei ole vahvistanut sitä virallisia

kanavia pitkin. ”Ei sijoittajaosuutta tokenista” ja ”yritys, jolla on pääomasijoittajaomistajia” voivat molemmat olla totta, mutta jännite säilyy: tekoälytulot voivat virrata osakkeisiin, kun laimennus osuu tokenien haltijoihin.

Kokonaisuutena Pearl on tähänastisista ”laskenta konsensuksena” -kokeista puhtain: uusi mekanismi, ketjussa todennettava, ja yksikkö, joka vastaa yksi yhteen tekoälylaitteistoa. Hyöty ei kuitenkaan ole saapunut, ja sen turvabudjetti, hashrate ja louhijoiden innostus riippuvat kaikki tokenista, jonka pääasiallinen kysyntä on vielä muodostumatta ja jonka tarjonta kasvaa noin 78 % 12 kuukaudessa. Blockworksin kolmea signaalia kannattaa seurata: sujuuko päivitys ongelmitta, nouseeko tekoälytyötä sisältävien lohkojen osuus merkittävästi ja siirtääkö yksikään inferenssipalvelun tarjoaja louhintatuloja asiakkailleen.

LUKU 05

HYÖTYTYÖKETJUT

05 Hyötytyöketjut: matriisit eivätkä nollatietotodisteet pysäytä ASICeita

Kaspa: matriisi ei ole hyödyllinen eikä ASIC-suojattu

Kaspa on oppikirjaesimerkki. Sen kHeavyHash sijoittaa 64 × 64 -matriisi-vektoritulon 4-bittisillä arvoilla kahden tiivisteen väliin, ja tulo heitetään pois. Noin 16 kuukautta marraskuun 2021 reilun käynnistyksen jälkeen IceRiver julkisti ensimmäiset Kaspa-ASICit 14. maaliskuuta 2023, ja vuoden 2023 loppuun mennessä GPU-louhinta oli ohi. Kun RTX 4090:ää (3,8 GH/s ja 300 W) verrataan Bitmainin KS7:ään (77 J/TH), tehokkuusero on noin **1 000-kertainen** arvio. Juhlan jälkeen tuli puristus: 13. marraskuuta verkko toimi 358,9 PH/s:n teholla, noin 64 % alle elokuun 2024 1 EH/s:n, ja paras KS7 tienaa vain **0,86 dollaria päivässä** 0,10 dollarin kilowattituntihinnalla.

Aleo: nollatieto ei myöskään pysäytä erikoislaitteistoa

Aleon todistajapulma on suunniteltu jäljittelemään SNARK-todisteen tuottamisen työtä; se ei todista käyttäjien transaktioita, ja hanke toivottaa ZK-ASICit avoimesti tervetulleiksi. Noin viisi kuukautta syyskuun 2024 mainnetin jälkeen omistettuja koneita toimitettiin. Vuoden 2025 kolmannella neljänneksellä todistajat saivat 31,2 miljoonaa ALEOta (noin 7,8 miljoonaa dollaria), kun verkko keräsi maksuina vain noin 43 000–44 000 dollaria: **tukikerroin noin 175–180**. Hinta laski varhaisen kaupankäynnin noin 9 dollarista 0,22 dollariin neljänneksen loppuun mennessä, ja ARC-46 vaatii nyt 100 000–2,5 miljoonan ALEOn panoksen ratkaisua kohti, mikä muuttaa louhinnan panoskynnykseksi.

Qubic ja Bittensor

Qubic markkinoi ”hyödyllistä työntodistetta”, joka kouluttaa sen Aigarth-neuroverkkoa, mutta sen laskennan näkyvin tuotos vuosina 2025–2026 oli muiden ketjujen lohkoja. Ensin se louhi Moneroa ja nosti osuutensa alle 2 %:sta toukokuun 2025 puolivälissä yli 25 %:iin heinäkuun loppuun mennessä ja väitti elokuussa 51 %:n osuutta, mikä aiheutti kuuden lohkon uudelleenjärjestelyn (toisen lähteen mukaan 18). 1. huhtikuuta 2026 se siirtyi louhimaan Dogecoinia ASICeilla ja käytti tuotot takaisinostoihin ja polttoihin. Sen tekoälykoulutuksen hyödyllisyydestä ei ole riippumatonta näyttöä, ja sen markkina-arvo laski noin 280–300 miljoonasta dollarista noin 50 miljoonaan dollariin 13. marraskuuta. Se paljasti myös ulkoisvaikutuksen: ketju, joka maksaa yleiskäyttöisestä laskennasta, luo suuren, vuokrattavan ja koordinoidun hashrate-poolin, joka voidaan kääntää CPU-ystävällisiä ketjuja vastaan.

Bittensor ei ole työntodiste vaan panospainotettu subjektiivinen pisteytys: validoijat pisteyttävät louhijat, ja painot leikataan panospainotettuun mediaaniin. Se on tämän ryhmän ainoa verkko, jolla on mittavaa ulkoista tuloa. SubConnect-indeksi, joka laskee vain todennettavat ulkoiset asiakkaat, näyttää marraskuun 2026 alussa noin **70 miljoonaa dollaria vuodessa** (noin 35 miljoonaa dollaria 1. syyskuuta), josta 78–82 % laskennasta ja infrastruktuurista; marraskuun alun hinnoilla sen liikkeeseenlasku ylittää kuitenkin 300 miljoonaa dollaria vuodessa, joten tulot kattavat vain

9–23 %. Tuloarviot vaihtelevat suuresti perusteen mukaan, noin 17 miljoonasta dollarista (Artemis) 172 miljoonaan dollariin vuositasolla itse ilmoitetuista kokonaissummista. Huhtikuussa 67 aliverkkoa 128:sta poltti yli 99 % kannustimistaan, ja kun johtava tiimi Covenant lähti hallintokiistan vuoksi, TAO laski 24 % muutamassa tunnissa.

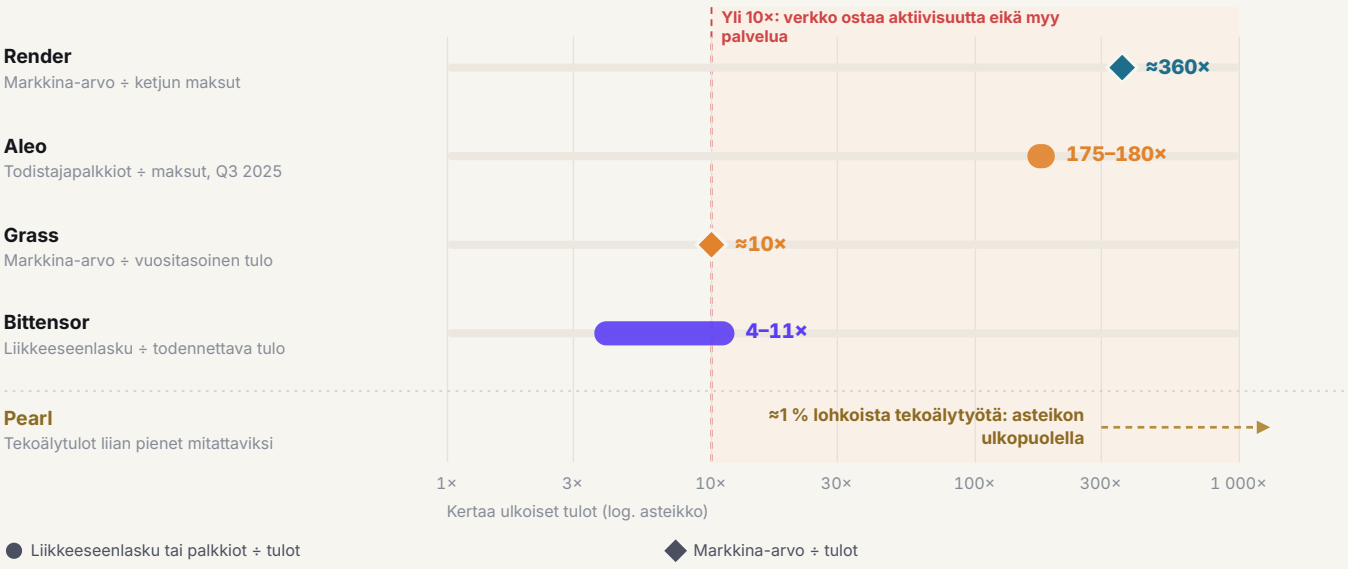
Historia antaa saman vastauksen

Primecoinin alkulukuketjut oli nopea todentaa, mutta kukaan ei tarvinnut niitä. Gridcoin nojasi kolmansien osapuolten tilastosivustoihin BOINC-panosten todistamisessa, ja tutkijat väärensivät lohkoja tekemättä mitään laskentaa. Filecoinin tallennustodisteet toimivat teknisesti, mutta vuoden 2025 kolmannella neljänneksellä käyttöaste oli vain 36 %, ja 99,5 % sen 793 000 dollarin maksuista oli sakkoja, perusmaksujen ollessa vain 4 100 dollaria.

Hanke	Työ tai konsensus	Markkina-arvo (päiväys)	Laitteistopolku	Maksettu kysyntä vs. tuki	Arvio
Pearl	Kohinainen matriisikertolasku (INT7-MAC sekä ZK-sertifikaatti)	Noin 500 miljoonaa dollaria (13. marraskuuta)	GPU:t; FP8-luonnos hyväksyisi Hopperin ja Blackwellin	Noin 1 % lohkoista tekoälytyötä; louhijoiden tulot enimmäkseen tukea	Uskottavin mekanismi; kysyntä todistamatta
Kaspa	kHeavyHash (64 × 64, 4-bittinen matriisi-vektoritulo tiivisteiden välissä)	Noin 840 miljoonaa dollaria (13. marraskuuta)	ASICit noin 16 kuukautta käynnistyksestä; nyt pelkkiä ASICeita	Ei väitä hyödyllisyyttä; louhijoiden tulot noin 18 miljoonaa dollaria vuodessa arvio	Matriisi ei ole hyödyllinen eikä ASIC-suojattu
Aleo	Synteettinen SNARK-pulma sekä panostodiste	Noin 118 miljoonaa dollaria (Q3 2025 lopussa)	Omistetut koneet noin viiden kuukauden jälkeen	Todistajapalkkiot noin 175–180 kertaa maksut	Synteettistä työtä, tuen ajamana
Qubic	”uPoW” (väittää kouluttavansa Aigarthia)	Noin 50 miljoonaa dollaria (13. marraskuuta)	CPU ja GPU; ASICit Dogecoinille huhtikuusta 2026	Ei riippumatonta näyttöä hyödyllisyydestä; laskentaa käytetty ulkopuoliseen louhintaan ja takaisinostoihin	Laskennan kokoamista tekoälytarinaan käärittynä
Bittensor	Yuma-konsensus (panospainotettu pisteytys)	Noin 2,55 miljardia dollaria (11. marraskuuta)	Yleiskäyttöiset GPU:t; ei ASIC-polkua	Noin 70 miljoonaa dollaria vuodessa todennettavaa tuloa vastaan yli 300 miljoonan dollarin liikkeeseenlasku	Ainoa, jolla on mittavaa ulkoista tuloa; silti 4–11-kertainen tuki
Filecoin (vertailukohta)	Replikointi- ja aika-tila-todisteet	Noin 1,5 miljardia dollaria (Q3 2025 lopussa)	—	Käyttöaste 36 %; neljännesvuoden perusmaksut 4 100 dollaria	Hyödyllinen, mutta kysyntää liian vähän

KUVIO 04 **Tukikerroin: montako kertaa ulkoiset tulot verkko maksaa**

Liikkeeseenlasku tai markkina-arvo jaettuna verkon ulkopuolelta maksetuilla tuloilla, logaritminen asteikko



Lähde: Blockworks (Aleo Q3 2025), DefiLlama (Renderin maksut), CoinGecko, hoge.gg (Bittensor), Dealroom (Grass), Blockworks 0xResearch (Pearl); kirjoittajan laskelma.

Opetus laitteistolle: kiinteä, säännöllinen työ, josta maksetaan likvidillä tokenilla, saa ASICit noin 3–16 kuukaudessa, usein haastajilta ennen vakiintuneita. ”Hyödyllisyys”-väitteet pitivät vain siellä, missä ulkopuolinen asiakas maksaa tuotoksesta. Ja jumiin jäävän laitteiston päätekijät ovat korkea tuki suhteessa tuloihin ja kehittäjien määräysvalta työfunktioon.

LUKU 06

LAAJEMPI KENTTÄ

06 Muu tekoäly × krypto -ala: todellista mutta pientä kysyntää, ja arvo siirtyy osakkeisiin

Hajautetut laskentamarkkinat

Hajautetulla laskennalla on maksavia asiakkaita, mutta kysyntä on pientä, keskittynyttä ja enimmäkseen avoimien mallien inferenssin jälleenmyyntiä. Ketjussa todennettavat maksut ovat pieniä: DefiLlaman mukaan Renderin maksut olivat viimeisen vuoden aikana noin 2,35 miljoonaa dollaria ja Livepeerin noin 680 000 dollaria, ja koko DePIN-sektori ansaitsi vuonna 2025 vain noin 72 miljoonaa dollaria ketjussa näkyviä tuloja. Itse ilmoitetut luvut ovat suurempia mutta väljästi määriteltyjä: Aethir ilmoittaa tilikaudelta 2025 ”yli 127,8 miljoonan dollarin” tulot kertomatta, onko kyse bruttolaskutuksesta vai protokollan osuudesta. Tokenien arvot ja tulot ovat erkaantuneet molempiin suuntiin: Renderin markkina-arvo on noin 360 kertaa sen ketjussa maksetut maksut, kun taas Aethirin noin 87,7 miljoonan dollarin markkina-arvo on alle sen itse ilmoittamien tulojen arvio.

Väite 70–85 % halvemmasta hinnasta pätee vain hyperskaalaajien tilaushintoihin verrattuna. 3. marraskuuta H100:n painotettu keskihinta Akashissa oli noin **2,73 dollaria GPU-tunnilta** (vaihteluväli 2,04–3,16 dollaria), alle AWS:n noin 6,88 dollarin ja Google Cloudin 11,06 dollarin, mutta yli Vast.ain noin 1,73 dollarin, RunPodin yhteisöpilven 1,99 dollarin ja vuoden varauksen noin 2,44 dollarin (muiden alustojen hinnat luettu 12. syyskuuta; julkaisija Akash on asianosainen).

Kysyntä on enimmäkseen OpenRouterin kautta jaeltua perusinferenssiä, noin 1,7 miljardia tokenia päivässä AkashML:ssä ja yli 4 miljardia io.netissä, ja se kilpailee suoraan jokaisen neopilven kanssa. Suurimmat ”hajautetun laskennan” dollarit keskittyvät uudelleen: Axe Compute, jolla on Aethirin tokenia kassavarana, allekirjoitti viisivuotisen, 1,5 miljardin dollarin arvoisen sopimuksen oman 9 200 B300:n klusterinsa vuokraamisesta, kun sen tulot vuoden 2026 ensimmäisellä neljänneksellä olivat 35 000 dollaria.

Hajautettu koulutus ja inferenssi

Koulutus internetin yli on osoitettu 8–40 miljardin parametrin kokoluokassa. Pluralis-8B koulutettiin 40 päivää 330 solmulla, enimmäkseen kuluttaja-GPU:illa, ja se saavutti 63 % keskitetyn H100-vertailukohdan tehokkuudesta, joskin sen artikkeli myöntää, ettei ajo ollut hajautettu ja että se tarvitsi Pluraliksen omia solmuja ja pääsyä valvovan tahon. Nous Researchin Psyche sai päätökseen 40 miljardin parametrin Consilience-esikoulutusajon. Kärkimittakaavassa työ keskittyi uudelleen: Prime Intellectin INTELLECT-3, 106 miljardin parametrin asiantuntijasekoitusmalli, koulutettiin kahden kuukauden aikana 512 H200:lla, jotka oli yhdistetty 400 Gbps:n InfiniBandilla. Rajoitteet ovat selvät: solmut tarvitsevat vähintään 200 Mbit/s:n kaistan ja noin 100-kertaisen viestinnän pakkauksen, ja luottamus ja todennus riippuvat yhä operaattorin etuoikeutetuista rooleista.

Raha meni osakeyhtiöille, jotka myyvät keskitettyjä tuotteita. Prime Intellectillä oli yli 100 miljoonan dollarin vuositasoiset tulot ennen kuin se keräsi heinäkuussa 130 miljoonaa dollaria miljardin dollarin arvostuksella; yksityinen inferenssisovellus Venice ilmoittaa yli 70 miljoonan dollarin vuositasoiset tulot ja voittoa vuoden 2026 ensimmäisestä neljänneksestä lähtien (yrityksen luvut), keräsi 65 miljoonaa dollaria miljardin dollarin arvostuksella ja toimii vuokratuilla GPU:illa. Tokenipuolella Gensynin keskeinen koulutusverkko on yhä ”päättämättä” ja sen token on arvoltaan noin 17,2 miljoonaa dollaria; tekoälynatiivin layer-1-ketjun Ritualin token laski 72 % huipustaan mainnetin jälkeen (vain otsikko).

Todennettava tekoäly

Tuotanto valitsi luotetut suoritusympäristöt (TEE). Hopperin luottamuksellinen laskenta lisää tyypillisiin LLM-kyselyihin alle 7 % lisäkustannuksen ja suurille malleille lähes ei mitään; Phalan tuotannon lisäkustannus on noin 0,5–5 %, mutta vuoden 2025 lopussa sen 10 004 käyttäjästä 398 maksoi. TEE:n luottamuksen juuri on siruvalmistaja: lokakuussa 2025 julkistettu TEE.fail käytti alle 1 000 dollarin DDR5-väylän väliinkytkintä attestointiavainten poimimiseen täysin päivitetyistä Intel TDX- ja AMD SEV-SNP -koneista, mikä puolestaan heikentää NVIDIAn GPU-luottamuksellista laskentaa, ja molemmat valmistajat sanovat fyysisten hyökkäysten olevan uhkamallinsa ulkopuolella. Juuri tämä on DePIN-asetelma, jossa solmujen operaattoreilla on fyysinen pääsy. zkML pystyy nyt todistamaan kokonaisen LLM:n: Lagrangen DeepProve todistaa GPT-2:n noin 174 tokenia minuutissa ja Gemma 3:n noin 86, kertaluokkien päässä tuotantoinferenssistä ja ilman julkistettua maksettua käyttöä.

Agenttimaksut ja data

x402 on paras varoittava esimerkki. TRM Labs laskee tunnettujen välittäjien selvittäneen toukokuusta 2025 lähtien noin 198,9 miljoonaa transaktiota ja 52,7 miljoonaa dollaria, 99,6 % USDC:nä; kun omat maksut, eräajovirrat ja alle kymmenen ostajan myyjät poistetaan, agenttien todella käynnistämä osuus on vain 0,6–7,5 %, **noin 5 000–11 000 dollaria kuussa**. Artemis arvioi, että yli 95 % toiminnasta on protokollan signalointia eikä ostamista ja myymistä. Samaan aikaan vakiintuneet toimijat standardoivat raiteita: x402 Foundation perustettiin Linux Foundationin alle 14. heinäkuuta, ydinjäseninä Visa, Mastercard, Stripe, Google, AWS, Cloudflare ja Coinbase, ja Tempo, joka kirjoitti Machine Payments Protocolin yhdessä Stripen kanssa, käynnisti mainnetinsa maaliskuussa 5 miljardin dollarin arvostuksella. Agenttitokenien alustat toimivat yhä laukaisualustalogiikalla: Virtuals ilmoittaa itse 479 miljoonan dollarin ”aGDP:n”, ja ElizaOS:n perustaja julisti sen tokenin kuolleeksi ryhmäkannesovinnon jälkeen. Arvon kaappaavat todennäköisemmin vakaakolikoiden liikkeeseenlaskijat ja vakiintuneet maksutoimijat; kryptoalan omaleimainen rooli voi tässä olla agenttien identiteetti ja vastuuvelvollisuus.

Data on harvoja alasektoreita, joilla on oikeita ketjun ulkopuolisia ostajia. Grass ilmoittaa 17 miljoonan dollarin datatulot vuodelta 2025 ja toiset 17 miljoonaa dollaria vuoden 2026 ensimmäiseltä puoliskolta, tavoittelee 75 miljoonaa dollaria vuodelle ja sanoo olevansa kannattava; GRASS on arvoltaan noin 328 miljoonaa dollaria, noin kymmenen kertaa sen

vuositasolle laskettu ensimmäisen vuosipuoliskon tulo arvio. Sen vallihauta on hajautetun kotitalouskaistan keräysmittakaava, ei krypto itse. Data-DAO:illa ja datamarkkinapaikoilla ei ole näkyvää maksettua kysyntää: Vana on arvoltaan noin 21,5 miljoonaa dollaria ja Ocean noin 27,6 miljoonaa dollaria, ja Ocean on oikeudenkäynnissä Fetch.ain kanssa. Henkilöllisyyden todiste saa todellisia integraatioita agenttien lisääntyessä: World sanoo todentaneensa lähes 18 miljoonaa ihmistä, ja Zoom, Docusign ja Tinder tukevat osia World ID:stä.

Pääoma on äänestänyt

Sektori	Todennettava maksettu kysyntä	Tuki- ja arvostussignaalit	Arvio
Hyötytyöketjut	Bittensor noin 70 miljoonaa dollaria vuodessa todennettavaa ulkoista tuloa; Pearl noin 1 % lohkoista tekoälytyötä	Aleo 175–180 kertaa; Bittensor 4–11 kertaa; Pearl enimmäkseen tukea	Mekanismeilla on arvoa; hyöty vaatii maksavia asiakkaita
Hajautetut laskentamarkkinat	Ketjun maksut noin 0,68–2,35 miljoonaa dollaria vuodessa (Livepeer, Render); itse ilmoitetut 4–128 miljoonaa dollaria	Renderin markkina-arvo noin 360 kertaa maksut	Todellista mutta pientä, enimmäkseen perusinferenssin jälleenmyyntiä
Hajautettu koulutus ja inferenssi	Osakeyhtiöt: Prime Intellect yli 100 miljoonaa dollaria vuodessa, Venice yli 70 miljoonaa (keskitetty infrastruktuuri)	Gensynin koulutus-mainnet ei käytössä; Ritualin token −72 % huipustaan	Tekninen edistys on todellista; voitot menevät osakkeisiin
Todennettava tekoäly	TEE:t tuotannossa (Phalalla 398 maksavaa käyttäjää); ei julkistettua maksettua zkML:ää	—	TEE:t hyödyllisiä; zkML varhain
Agenttimaksut	Agenttien käynnistämät virrat noin 5 000–11 000 dollaria kuussa	Noin 200 miljoonaa transaktiota, enimmäkseen signalointia ja spekulaatiota	Raiteet ensin, kysyntä myöhemmin
Dataverkot	Grass 17 miljoonaa dollaria H1 2026 (oma ilmoitus)	GRASS noin 10 kertaa vuositasoinen tulo	Harvoja sektoreita, joilla on oikeita ostajia

Kun kuusi sektoria asetetaan rinnakkain, johtopäätös on yhtenäinen: **tuki on kylmäkäynnistyksen polttoainetta, ei liiketoimintamalli.** 13. marraskuuta CoinGeckon tekoälykategorian kokonaisarvo oli noin 18,6 miljardia dollaria, mutta siitä noin 56 % on yleiskäyttöisiä layer-1-ketjuja kuten NEAR ja ICP sekä konsensustason hankkeita kuten TAO, panostettu TAO (mahdollisesti laskettu kahteen kertaan TAOn kanssa) ja Pearl; protokolla- ja sovelluskerroksen tekoälytokenit ovat yhteensä noin 8 miljardia dollaria tai vähemmän arvio. Se on suunnilleen neljän osakeyhtiön yhteenlaskettu arvostus: Tempo (5 miljardia dollaria), Nous (raportoidusti 1,5 miljardia), Prime Intellect (1 miljardi) ja Venice (1 miljardi). Kryptoalan pääomasijoitukset ovat jumissa noin 4,5–5 miljardissa dollarissa neljänneksessä, ja kasvu tulee tekoälyyn liittyvästä infrastruktuurista, jonka osuus julkistetuista summista nousi 8,1 %:sta 18,2 %:iin vuoden 2026 kolmannella neljänneksellä; ja vuonna 2025 lanseeratuista 118 tokenista 84,7 % käy kauppaa alle lanseeraushintansa. Yhdellä lauseella: **krypto hoitaa jakelun ja selvityksen, osakkeet vievät voitot**, ainakin vuonna 2026.

LUKU 07

07 ASIC-TALOUS
ASIC-kysymys: yksi kaava, kolme mittapuuta

Yksi kaava: miksi tehokkuus lakkaa kannattamasta, kun k > 5

Olkoon R laskentayksikön päivittäinen tulo (verkon louhijoiden tulot jaettuna verkon hashratella), c laskentayksikön päivittäinen kustannus marginaalilaitteistolla (Pearlissa GPU:lla) ja k se, montako kertaa halvempi ASIC on kuin tuo marginaalilaitteisto (c_ASIC = c/k). Niin kauan kuin GPU:t pysyvät marginaalilouhijoina, vapaa markkinoille tulo ja sieltä poistuminen painavat R:n kohti c:tä, joten ASIC ansaitsee R − c/k laskentayksikköä kohti:

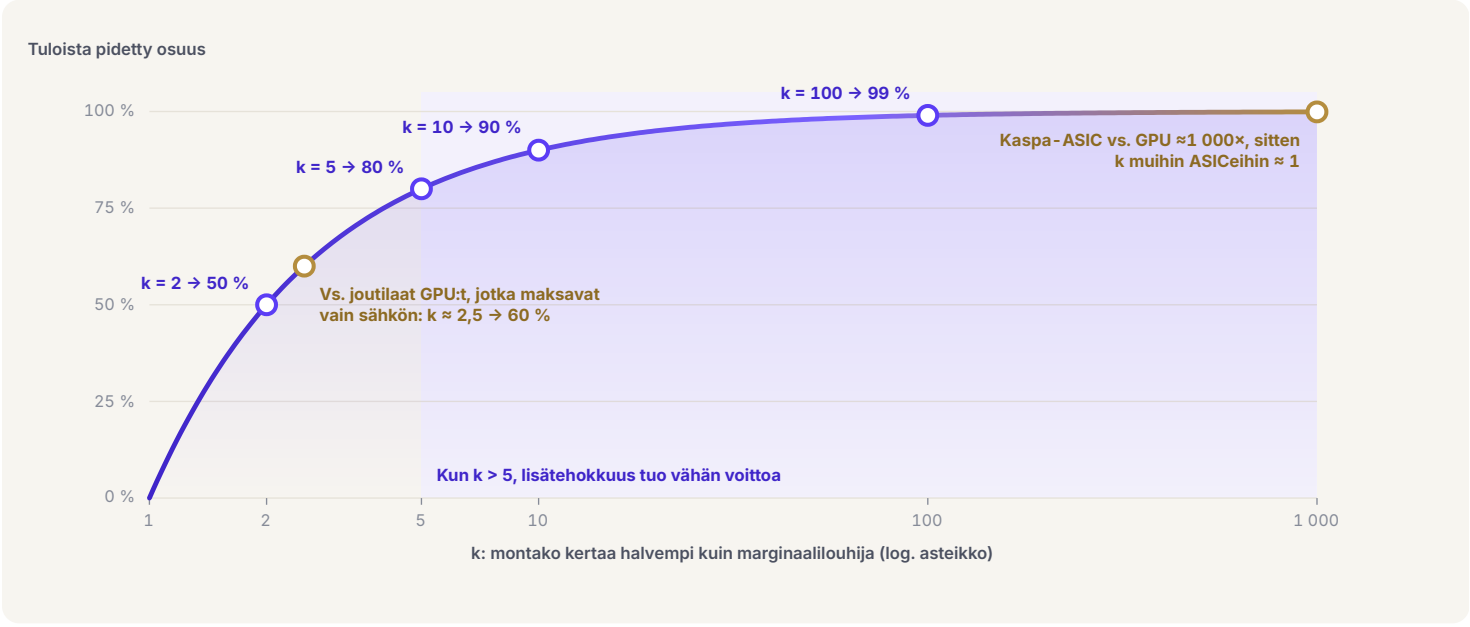
ASICin voittokatto ≈ R × (1 − 1/k)

Koko verkon tasolla ASIC-laivaston vuotuisen bruttovoiton katto on karkeasti verkon louhijoiden tulot × (1 − 1/k), ja vain siihen asti, kunnes ASICit korvaavat GPU:t marginaalilouhijoina.

Kaavalla on kolme seurausta. Ensinnäkin (1 − 1/k) on kovera: kun k = 2, ASIC pitää 50 % tuloista, kun k = 5, 80 %, kun k = 10, 90 %, kun k = 100, 99 %. **Kun k ylittää 5–10, lisätehokkuus tuo lähes lainkaan lisävoittoa**; R:n ja potin koko ratkaisevat. Toiseksi vertailukohta nollautuu: kun ASICit ovat marginaalilouhijoita, k on mitattava muihin ASICeihin nähden. Kaspan ASICeilla oli noin 1 000-kertainen tehokkuusetu GPU:ihin nähden, mikä toi vain lyhyen tuulivoiton; nykyään paras KS7 tienaa 0,86 dollaria päivässä. Kolmanneksi GPU-ystävällisellä ketjulla kuten Pearlilla vertailukohta ei usein ole GPU:n ostohinta vaan **joutilaan GPU:n sähkö**: oma RTX 5090, teho 525 W, ja 0,10 dollarin kilowattituntihinnalla maksaa sähkönä noin 1,26 dollaria päivässä ja tienaa noin 5–6 dollaria arvio. Uppokustannuksiksi muuttuneisiin GPU:ihin nähden jopa ASICilla, joka käyttää viidesosan energiasta, on tehollinen k vain noin 2,5, jos sen poistot vastaavat sen sähkökustannusta, ja voittokatto noin 60 % R:stä (havainnollistava oletus).

KUVIO 05 **Miksi tehokkuus lakkaa kannattamasta: ASIC pitää enintään 1 − 1/k tuloista**

Tulojen osuus, jonka ASIC voi pitää marginaalilouhijaan nähden, kustannusedun k mukaan



Lähde: Kirjoittajan malli: kun marginaalilaitteisto asettaa hinnan, laskentayksikön tulo lähestyy sen kustannusta; Kaspan ja RTX 5090:n luvut raportista.

Kolme mittapuuta: potti, takaisinmaksun mittakaava ja säännöt

Ensimmäinen mittapuu on **potti**. Kun marraskuun ensimmäisen viikon noin 2 893 BTC:n lohkopalkkiot (noin 222 miljoonaa dollaria) lasketaan vuositasolle, bitcoin-louhijat ansaitsevat noin 11,5 miljardia dollaria vuodessa arvio. Pearlin louhijat ansaitsevat noin 0,46–0,49 miljardia dollaria (nykyhinnoilla); Aleon todistajapalkkiot vuoden 2025 kolmannelta neljännekseltä vuositasolle laskettuina noin 31 miljoonaa dollaria; ja Kaspan louhijat 1,945 KAS:n lohkopalkkiolla ja kymmenellä lohkolla sekunnissa noin 18 miljoonaa dollaria arvio. **Kaspan louhijoiden koko vuoden tulot ovat vähemmän kuin yhden 5/4 nm:n sirun suunnittelubudjetin alapää (noin 30 miljoonaa dollaria).**

Toinen mittapuu on **NRE:n takaisinmaksuun tarvittava hashrate**:

h* = NRE ÷ [R × (1 − 1/k) × T × p]

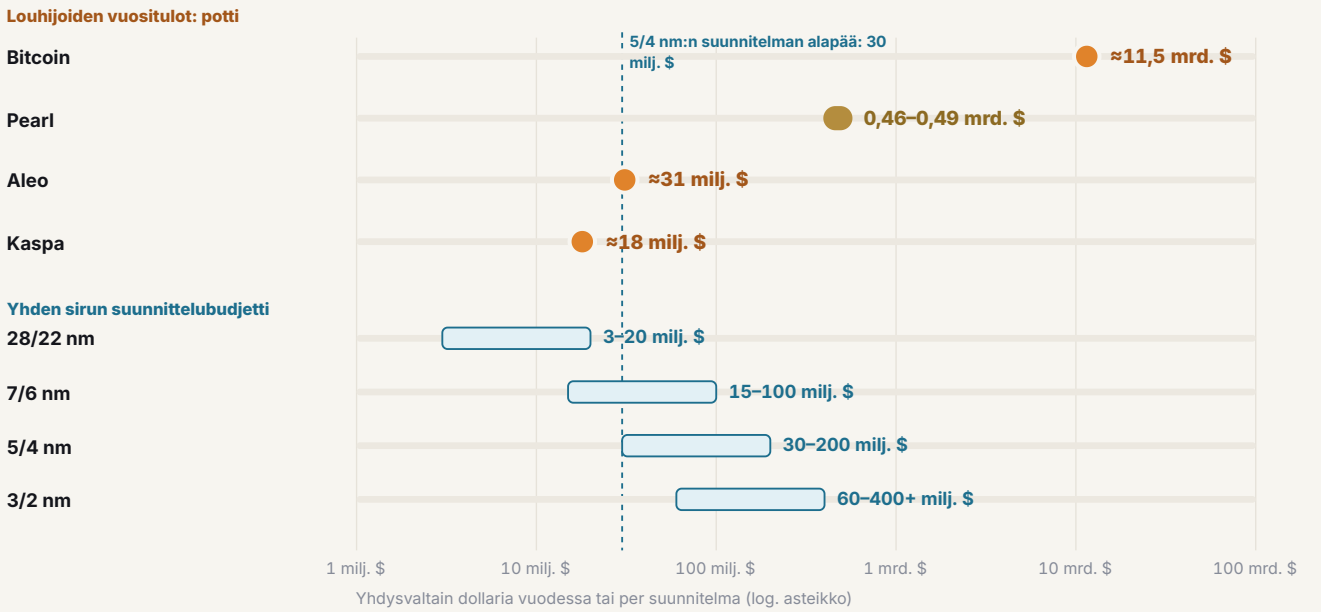
missä T on hyödyllinen ikkuna päivinä ja p todennäköisyys, että säännöt pysyvät muuttumattomina tuona aikana. Pearlille otetaan R = 14 dollaria per PH/s päivässä, k = 5, T = 365 päivää ja 20 miljoonan dollarin NRE (N7/N6-toistorakennesiru; Silicon Analystsin keskitason solmujen 5–30 miljoonan dollarin ja AnySiliconin 7/6 nm:n laskenta-ASICien 15–100 miljoonan dollarin haarukoiden alapäässä, koska louhintasiru käyttää vähän IP:tä ja toistuvaa rakennetta; oma oletukseni). Kun p = 1, se tarvitsee noin **4,9 EH/s** koko vuoden ajan, noin 5 % verkosta; kun p = 0,5, noin **9,8 EH/s**, noin 11 %; ja jos R putoaa takaisin kesän noin 10 dollarin tasolle, jopa p = 1 vaatii noin 6,9 EH/s arvio. Mittakaava ei ole saavuttamattomissa. Ongelma on p ja T.

Kolmas mittapuu on **sääntöriski**, ja se on usein ratkaiseva. Moneron ASICin vastainen haarautuma vuonna 2018 jätti Bitmainin X3:n tyhjän päälle ja maksoi verkolle hetkellisesti lähes puolet sen hashratesta. Sian saman vuoden haarautuma teki Bitmainin ja Innosiliconin louhijoista käyttökelvottomia, kun taas kehittäjiin kytkeytyneen Obelisk-louhijan käytetty hinta nousi 2 499 dollarista yli 5 000 dollariin. Hieman yli kuukausi Ethereumin Mergen jälkeen alle 20 % entisistä Ethereum-louhijoista oli löytänyt uutta työtä. **Joka hallitsee työfunktiota, hallitsee laitteistosijoittajien kohtaloa**, ja Sia osoittaa, että ”ASIC-vastustuskyvystä” voi tulla kehittäjien oma vallihauta. Laitteisto, jolla on toinen markkina, selviää: Mergen jälkeen GPU:t siirtyivät tekoälyyn ja pilveen, kun taas yhden algoritmin ASICit ahtautuivat Ethereum Classiciin. Ikkuna myös kutistuu: Kaspan ensimmäinen ASIC vei noin 16 kuukautta, Aleon noin viisi, ja ensimmäisenä tehokkuusrajalle ehtii usein haastaja eikä vakiintunut toimija.

Verkko	Louhijoiden vuositulot (noin)	Marginaali- tai vertailulaitteisto	Sääntöjen vakaus	Uuden tulokkaan saatavilla oleva k	Arvio
Bitcoin	11,5 miljardia dollaria	Bitmain S23 XP Hyd (8,9 J/TH, 25,5 dollaria per TH)	Hyvin korkea	≤1	Suuri potti, mutta k kuuluu vakiintuneille
Pearl	0,46–0,49 miljardia dollaria (nykyhinnoilla)	Omat tai joutilaat GPU:t (rajakustannus ≈ sähkö) ja datakeskus-GPU:t	Hyvin matala: neljä haarautumaa kahdessa kuukaudessa; FP8-sallittujen luettelo vireillä	Ehkä 3–10 kertaa tehokkuudessa analyysi ; vähemmän uppokustannus-GPU:ihin nähden	Potti on riittävän suuri; sääntöriski kaataa sen
Aleo	Noin 31 miljoonaa dollaria (Q3 2025, vuositasolla)	IceRiver AE2 ja muut omistetut koneet	Keskitaso: ARC-46-panoskynnys	≈1	Pieni potti, ja kynnys nousee
Kaspa	Noin 18 miljoonaa dollaria	KS7 (77 J/TH)	Korkea	≈1	Vuositulot alle yhden 5/4 nm:n suunnittelubudjetin alapään

KUVIO 06 **Useimmat potit ovat pienempiä kuin yhden sirun suunnittelubudjetti**

Neljän verkon louhijoiden vuositulot vs. yhden sirun suunnittelukustannus prosessisolmuittain, log. asteikko



Lähde: Hashrate Index (bitcoin, marraskuu 2026), prlstats ja Kryptex (Pearl), Blockworks (Aleo, Q3 2025), minerstat (Kaspa), AnySilicon (suunnittelubudjetit, 2026); kirjoittajan vuositasolle laskemat.

”Suuren potin, vakaiden sääntöjen ja k > 1:n” nelikenttä on nykyään tyhjä: bitcoinilla on potti ja vakaat säännöt, mutta sen k kuuluu vakiintuneille; Pearlin potti on riittävän suuri, mutta sen säännöt ovat epävakaimmat; Kaspalla ja Aleolla on riittävän vakaat säännöt ja liian pienet potit.

LUKU 08

08 SIRU KERRALLAAN
Viisi sirutyyppiä, viisi vastausta

Pearl-tyyppinen PoUW: ei omistettua INT7-sirua; panosta louhijaan, joka voi palvella inferenssiä

Peruste ASICille on todellinen. Vain noin 1 % lohkoista sisältää nykyään tekoälytyötä, joten valkoisen kirjan taloudellinen argumentti, että omistettu ASIC menettää kyvyn tehdä hyödyllistä työtä ja ansaitsee siksi vähemmän, on juuri nyt heikoimmillaan. GPU:n kalleimmat osat, HBM ja CoWoS-paketointi, ovat noin 63 % H100:n valmistuskustannuksesta, logiikkasirun osuuden ollessa vain noin 9 %. Siru, joka ei tee muuta kuin 7-bittisiä kokonaislukujen kertolaskuja-yhteenlaskuja, pitää operandinsa sirun omassa SRAMissa ja toimii matalalla jännitteellä, voisi uskottavasti saavuttaa 3–10-kertaisen edun saman solmun GPU:hun nähden energiassa operaatiota kohti ja suuremman edun kustannuksessa operaatiota kohti [analyysi; mittauksia ei vielä ole]. Vastaperusteet ovat painavampia. Valmistamojen toimitusajat huippusolmuissa voivat ylittää 50 viikkoa, ja uusi tiimi tarvitsee noin 18–24 kuukautta aloituksesta volyymiin arvio; siihen mennessä, kun siru valmistuu, Pearl on hyvin voinut siirtyä FP8:aan ja sitten FP4:ään. Ja koska PIP-3 määrittelee hyväksytyn aritmetiikan laitteiden sallittujen luettelon kautta, INT7-siru yksinkertaisesti lakkaisi toimimasta, kun se aktivoituu.

Johtopäätökseni on siis: **älä tee nyt tape-outia omistetusta INT7-Pearl-sirusta.** On kaksi parempaa panosta. Toinen on inferenssi edellä -kiihdytin, joka voi myös louhia: rakennettu yleisen INT8/FP8-GEMM:n ja SRAMissa pidettävien

operandien ympärille, jotta arvo päätyy todelliselle inferenssimarkkinalle, jos pääsy louhintaan evätään. Toinen on osallistua protokollakeskusteluun ja ajaa valmistajaneutraalia kanonista aritmetiikkaa, jonka ASIC voi toteuttaa täsmälleen, yhdessä sitoumuksen kanssa algoritmin vakaudesta, mikä on edellytys sille, että ”suuren potin, vakaiden sääntöjen ja k > 1:n” nelikenttä voi olla olemassa. Siihen asti arkkitehtuurin voi validoida FPGA:illa tai kypsän solmun monen projektin kiekoilla (MPW), jolloin NRE-riski pysyy miljoonan dollarin luokassa. Luku 10 muuttaa tämän vaiheittaiseksi budjetiksi.

Bitcoin-tyyppiset louhijat: vakiintuneet omistavat k:n, ja sähkö on niukka resurssi

Bitcoinin sääntöriski on matalin, mutta kilpailu painaa uuden tulokkaan k:n alle 1:n. Bitmainin S23 XP Hyd yltää 8,9 J/TH:iin, maksaa 25,5 dollaria per TH ja toimitetaan marraskuusta alkaen; lippulaivan tehokkuus parani S21:n 17,5 J/TH:sta vuonna 2023 8,9 J/TH:iin, noin 49 % kolmessa vuodessa. Vuosina 2027–2028 volyymitoimituksiin tulevan uuden tulokkaan pärjääminen vaatisi noin 8 J/TH tai parempaa arvio. Haastajat lähtevät: Canaan raportoi vuoden 2026 toisen neljänneksen tuloiksi 31,9 miljoonaa dollaria ja bruttotappioksi 29,3 miljoonaa dollaria ja ohjeisti kolmannelle neljännekselle vain 11–15 miljoonaa dollaria; Bitdeerin omien laitteidensa myynti ulkopuolisille ostajille laski kolmannella neljänneksellä 0,3 miljoonaan dollariin konsernin bruttokatteen ollessa 3,4 %; Auradine nimesi itsensä uudelleen Velaura AI:ksi ja kääntyi tekoälysiruihin; ja Core Scientific perui noin 15 EH/s:n tilauksen 3 nm:n koneita Blockin Proto-yksiköltä ja kirjasi 41,9 miljoonan dollarin tappion.

Myös kysyntä kutistuu. 9. marraskuuta hashprice oli noin 31,89 dollaria per PH/s päivässä, termiinikäyrä huhtikuuhun 2027 asti oli keskimäärin noin 32,7 dollaria, ja maksut olivat vain 0,72 % lohkopalkkioista. 0,045 dollarin kilowattituntihinnalla S23 XP Hyd maksaa itsensä takaisin noin 3,1 vuodessa arvio, lähellä seuraavaa noin vuodelle 2028 odotettua puoliintumista. Tärkeämpi on sähkön vaihtoehtoiskustannus: tekoäly- ja suurteholaskentavuokrat tuottavat nyt noin 1,67–1,9 miljoonaa dollaria sopimusmegawattia kohti vuodessa, mikä 80–85 %:n nettoliiketuotolla on noin 1,5–2,9 kertaa louhinnan bruttovoitto megawattia kohti (noin 0,56–0,9 miljoonaa dollaria) [arvio; megawattiperusteet eroavat]. Core Scientific lopettaa louhinnan neljännellä neljänneksellä; Bitfarms, nykyään Keel, on sulkenut kaikki Yhdysvaltain louhimonsa; IREN ansaitsi yhdellä neljänneksellä 200 miljoonaa dollaria tekoälypilvestä ja vain 28 miljoonaa dollaria louhinnasta. **Sähkö ja datakeskuskapasiteetti ovat varoja; louhintakoneet ovat kulutustavaraa.**

NRE-laskelma on yhtä armoton. Kärkitehokkuus vaatii nyt 3 nm:n luokan prosesseja (toissijaisten lähteiden mukaan MicroBT käyttää Samsungin SF3:a, ja Auradinen ja Proton sirut ovat 3 nm). Maskit maksavat noin 10–20 miljoonaa dollaria ja koko NRE 30–100 miljoonaa dollaria tai enemmän; 20–25 dollarin TH-hinnalla ja 30 %:n bruttokatteella jokainen myyty 1 EH/s tuottaa noin 6–7,5 miljoonaa dollaria bruttovoittoa, joten Bitdeerin mittakaavan vuotuisen tutkimus- ja kehitystyön, noin 110–160 miljoonaa dollaria, kattaminen vaatii noin 20–25 EH/s:n myyntiä vuodessa ulkopuolisille ostajille, noin 2 % verkosta arvio. Johtopäätös: **uuden tiimin ei pidä tulla myyntiin tarkoitettujen bitcoin-louhijoiden markkinalle.** Kolme tapausta on silti järkeviä: vertikaalinen integraatio omalla halvalla sähköllä; kapeat muodot kuten koti- ja lämmityslouhijat (myös Canaan tuo markkinoille kodin lämmitystuotteita); ja osallistuminen vakiintuneiden tiekarttoihin IP:n ja suunnittelupalvelujen kautta.

Tekoälyn koulutussirut: ei pienenä tiiminä

Koulutussiruilla k on vaikeinta ansaita. Samassa sukupolvessa ja samalla tarkkuudella Googlen Ironwood johtaa B300:aa sirutason FP8-tehokkuudessa vain noin 1,1–1,8-kertaisesti (Ironwoodin teho on toimittajan arvio) arvio; TPU v1 -artikkelista usein lainattu 30–80-kertainen etu mitattiin K80:tä vastaan, jossa ei ollut tensoriytimiä. Todellinen vipu on lukuformaatti: siirtyminen FP8:sta FP4:ään antaa yleensä 2–3-kertaisen läpäisyn samalla piillä, ja NVIDIA liikkuu siinä nopeimmin: se väittää Rubinille 50 PF:n NVFP4-inferenssiä, volyymissa vuoden 2026 jälkipuoliskolla. Kustannus- ja saatavuuskynnykset ovat vielä korkeampia: 3/2 nm:n suunnittelubudjetit ovat 60–400 miljoonaa dollaria tai enemmän; CoWoS-kapasiteetti vuonna 2026 on noin 106 000–130 000 kiekkoa kuussa, ja TSMC:n kerrotaan harkitsevan jopa 20 %:n hinnankorotuksia; HBM3E:n 15,6 dollarin sopimushinnalla gigatavulta pelkkä HBM 288 Gt:n kiihdyttimessä maksaa noin 4 500 dollaria arvio. Tämä markkina kuuluu Broadcom-tyyppiselle yhteiskehitykselle hyperskaalaajien kanssa (luku 11). Johtopäätös: **pienten tiimien ei pidä rakentaa erillisiä koulutussiruja**; rakenna sen sijaan IP:tä, chipletejä tai suunnittelupalveluja.

Tekoälyn inferenssisirut: vaihda yleisyys k:hon, ja se kannattaa

Inferenssissä ASICeilla on eniten tilaa, koska k:n voi ostaa luopumalla yleisyydestä. Etched väittää, että sen kahdeksan sirun palvelin ajaa Llama-70B:tä yli 500 000 tokenia sekunnissa, noin 20 kertaa kahdeksan H100:n verran; Taalas johdottaa mallin painot kiinteästi maski-ROMiin ja väittää 10 kertaa pienempää tehonkulutusta ja 20 kertaa pienempää valmistuskustannusta (molemmat myyjän väite). SRAM-keskeiset arkkitehtuurit välttävät HBM:n ja CoWoSin, ja niiden solmut ovat hallittavampia: Taalas käyttää TSMC:n 6 nm:ä, ja Groq siirtyi 14 nm:stä Samsungin 4 nm:iin. Kryptojakelu ei auta inferenssisiruja, koska hajautetut laskentaverkot toimivat lähes kokonaan NVIDIAlla; sisäänpääsyn tarjoavat neopilvien hankintatalous ja Kiinan suuri kotimainen inferenssimarkkina, jossa valtion rahoittamien datakeskusten on käytettävä kotimaisia tekoälysiruja, H200-tuontia kuristetaan ja Peking haluaa suurten internetyhtiöiden ajavan inferenssiä kotimaisilla siruilla. Johtopäätös: **kannattaa rakentaa**, kunhan on selkeä asiakas ja mallien ja arkkitehtuurin lukitusaste on harkittu valinta. Se on myös PoUW-louhintasirun paras toinen markkina.

ZK- ja FHE-kiihdyttimet: suojaudu ZK:lla, asemoidu ajoissa FHE:hen

GPU:t ovat jo saavuttaneet reaaliaikaisen ZK-todistamisen: Succinctin SP1 Hypercube todisti 99,7 % Ethereumin lohkoista alle 12 sekunnissa 16 RTX 5090:llä. Cysic väittää ZK C1 -sirunsa olevan 10–100 kertaa GPU-todistajia tehokkaampi ja toimitettavan vuonna 2026, mutta sen kysyntä tulee suurelta osin sen omista tokenipalkkioista myyjän väite; en löytänyt julkista näyttöä siitä, että Aleon pulma-ASICeita käytettäisiin todelliseen ZK-todistamiseen. ZK-todistaminen on kokonaislukulaskentaa ja deterministä, muodoltaan lähellä louhintasirujen työtä, mutta todistejärjestelmät muuttuvat nopeasti (SP1, RISC Zero, Halo2, Plonky2 ja muut). Johtopäätös: **odota ja suojaudu** ohjelmoitavilla MSM-, NTT- ja tiivistemoottoreilla, ensin FPGA:illa, sitten ASICeina.

FHE on laitteistosidonnaisin primitiivi, jolla on suurin nousupotentiaali. Intelin Heracles, Intel 3 -prosessilla, 197 mm², 176 W ja 48 Gt HBM3:a, ajaa FHE-operaatioita 1 074–5 547 kertaa nopeammin kuin 24-ytiminen Xeon, mutta Intelillä ei ole kaupallisia suunnitelmia ja hankkeen johtaja lähti joulukuussa 2025. Niobium rakentaa Samsungin 8LPU:lla SemiFiven toimiessa suunnittelukumppanina (noin 6,86 miljoonan dollarin kehityssopimus) ja on kerännyt yli 23 miljoonaa dollaria; fotonista lähestymistapaa käyttävä Optalysys keräsi 31 miljoonaa dollaria ja sanoo täyden kaupallisen sirun olevan yhä kahden–kolmen vuoden päässä; ja Zaman avoimen lähdekoodin FPGA-suunnitelma yltää noin 13 000 ohjelmoitavaan bootstrap-operaatioon sekunnissa noin 200 W:n teholla, mikä on julkinen vertailukohta, joka minkä tahansa ASICin on selvästi voitettava. Johtopäätös: **asemoidu ajoissa ja validoi kevyin investoinnein**, ikkunaan noin 2027–2029. Kysyntä ankkuroituu todennäköisemmin yritysten ja hallintojen salattuun tekoälyyn kuin itse kryptovaluuttoihin, ja FHE tarvitsee HBM:ää, joten sen kustannusrakenne muistuttaa koulutussirun rakennetta.

Sirutyyppi	Mistä k tulee	Kysyntä ja potti	NRE ja kynnykset	Sääntö- tai lukitusriski	Toinen markkina	Arvio
Pearl-tyyppinen PoUW-louhintasiru	HBM:n, CoWoSin ja yleiskäyttöisten yksiköiden pois jättäminen: ehkä 3–10 kertaa J/op:ssa analyysi	Louhijoiden tulot noin 0,46–0,49 miljardia dollaria vuodessa, vaihtelevat	N7/N6-toistorakenne noin 10–30 miljoonaa dollaria analyysi	Hyvin korkea: protokolla päättää lukuformaatin ja laitteiden sallittujen luettelon	Tekoälyinferenssi, jos rakennettu yleiseksi INT8/FP8-GEMM:ksi	Ei omistettua INT7-sirua; rakenna inferenssi edellä ja louhintakykyiseksi tai odota kanonista aritmetiikkaa
Bitcoinin SHA-256-louhintasiru	k ≤ 1 Bitmainiin nähden	Noin 11,5 miljardia dollaria vuodessa, myyntimarkkina kahden yrityksen hallussa	3 nm:n luokan maskit 10–20 miljoonaa dollaria; koko NRE 30–100 miljoonaa dollaria tai enemmän	Matala (vakaa algoritmi); kova kilpailu ja puoliintumisriski	Lähes ei mitään (yksi algoritmi)	Uudet tulokkaat pysyvät erossa myyntimarkkinasta; vain oma sähkö, kapeat muodot tai IP

Sirutyyppi	Mistä k tulee	Kysyntä ja potti	NRE ja kynnykset	Sääntö- tai lukitusriski	Toinen markkina	Arvio
Tekoälyn koulutussiru	Saman sukupolven systoliset ryhmät vain 1,1–1,8 kertaa; formaatti on vipu	Suurin (Broadcomilla noin 58 miljardia dollaria tekoälypuolijohdetuloja tilikaudella 2026)	3/2 nm:n suunnittelu 60–400 miljoonaa dollaria tai enemmän; CoWoS ja HBM	NVIDIAn vuosittainen tahti	—	Pienet tiimit rakentavat IP:tä, chipletejä ja suunnittelupalveluja, eivät erillisiä siruja
Tekoälyn inferenssisiru	Yleisyydestä luopuminen: 10–20 kertaa väitetty myyjän väite	Suuri ja pirstaleinen; manner-Kiinan kotimarkkina on itsessään suuri	SRAM-arkkitehtuurit N6/N7–N4:llä ovat hallittavia	Lukitus malleihin ja arkkitehtuuriin	Se on päämarkkina	Kannattaa rakentaa: sido asiakas, valitse sitten lukitus
ZK-kiihdytin	10–100 kertaa GPU:t, väitetty myyjän väite	Pieni, enimmäkseen tokenipalkkioiden ajama	N7/N6, sitten N5; FPGA ensin	Todistejärjestelmät muuttuvat nopeasti	Rajallinen ZK:n ulkopuolella	Odota ja suojaudu: ohjelmoitavat MSM- ja NTT-moottorit
FHE-kiihdytin	1 074–5 547 kertaa Xeon (Heracles)	Ei vielä muodostunut; ankkuroitu yrityksiin ja hallintoon	Tarvitsee HBM:ää; kustannusrakenne lähellä koulutussiruja	Standardit ja ekosysteemi vakiintumatta	Salattu laskenta, yksityinen tekoäly	Asemoidu ajoissa, validoi kevyin investoinnein; ikkuna 2027–2029

KUVIO 07

Viisi sirutyyppiä, viisi vastausta

Mistä kustannusetu k syntyy, mihin piin voi myydä, jos säännöt muuttuvat, ja johtopäätös



Pearl-tyyppinen PoUW-louhintasiru

EI NYT

k: ei HBM:ää eikä yleisyksiköitä: 3–10× per op (päätelmä)

Toinen markkina: tekoälyinferenssi, jos yleinen INT8/FP8-GEMM

Panosta inferenssi edellä -siruun, joka voi louhia, ei omaan INT7-osaan



Bitcoinin SHA-256-louhintasiru

PYSY EROSSA

k: ≤1 vakiintuneisiin nähden

Toinen markkina: lähes ei mitään

Vain omalla sähköllä, kapealla muodolla tai IP:nä



Tekoälyn koulutussiru

IP:TÄ, EI SIRUJA

k: 1,1–1,8× samalla tarkkuudella

Toinen markkina: —

Paketointi ja HBM ratkaisevat; rakenna IP:tä, chipletejä, palveluja



Tekoälyn inferenssisiru

RAKENNA

k: luovu yleisyydestä: 10–20× väitetty

Toinen markkina: se on päämarkkina

Sido asiakas, valitse sitten lukitus



ZK-todistuskiihdytin

ODOTA JA SUOJAUDU

k: 10–100× GPU:t, väitetty

Toinen markkina: rajallinen ZK:n ulkopuolella

Ohjelmoitavat MSM- ja NTT-moottorit; FPGA ensin



FHE-kiihdytin

ASEMOIDU AJOISSA

k: 1 074–5 547× Xeon (Heracles)

Toinen markkina: salattu laskenta, yksityinen tekoäly

Ikkuna 2027–2029; validoi kevyin investoinnein

Lähde: Kirjoittajan synteesi luvuista 7 ja 8; myyjien luvut merkitty raportissa.

LUKU 09

PROSESSISOLMUT

09 Prosessisolmut: anna suurimman elinkaarikustannuksen valita

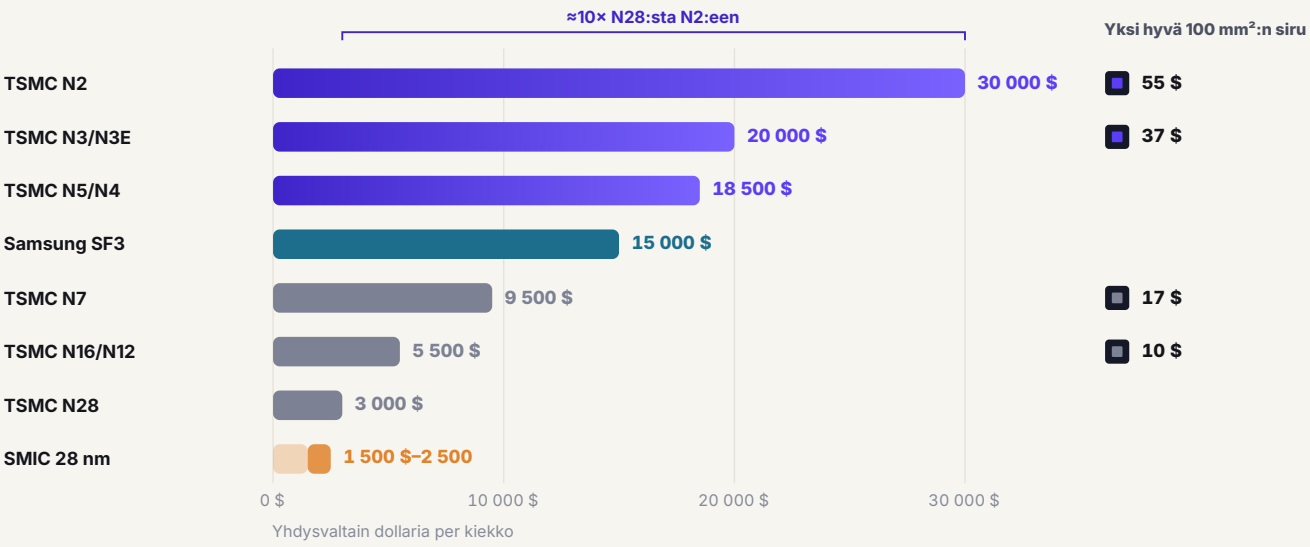
Kustannusportaikko: huippusolmun kiekot maksavat kymmenen kertaa kypsän solmun kiekot

Aloitetaan kirjanpidosta. Huippusolmun kiekko maksaa nyt noin kymmenen kertaa kypsän solmun kiekon: TSMC N2 noin 30 000 dollaria, N3 noin 20 000, N7 noin 9 500 ja N28 noin 3 000 dollaria; Samsung SF3 noin 15 000 dollaria, noin 25 % alle N3:n; ja SMICin 7 nm:n luokan valmistuskustannuksen kerrotaan olevan 40–50 % TSMC:n kustannusta korkeampi. TSMC:n kerrotaan nostavan hintoja vielä 3–6 % tammikuusta 2027 alkaen, eniten 2 nm:n ja 3 nm:n osalta. Maskien ja suunnittelun kustannukset eroavat vielä enemmän, ja lähteet ovat erimielisiä, joten taulukko näyttää molemmat.

Solmu	Kiekon hinta (arvio)	Maskisarja (malliarvo / ohjehaarukka)	Suunnittelubudjetti (AnySilicon)	MPW (per projekti)
TSMC N2	Noin 30 000 dollaria	—	3/2 nm: 60–400 miljoonaa dollaria tai enemmän	—
TSMC N3/N3E	Noin 20 000 dollaria (18 000–27 000)	15 miljoonaa dollaria / 10–20 miljoonaa dollaria	Kuten yllä	—
Samsung SF3	Noin 15 000 dollaria (13 000–17 000)	12 miljoonaa dollaria	—	—
TSMC N5/N4	Noin 18 500 dollaria (16 000–21 300, matala luottamus)	6,5 miljoonaa dollaria / 10–20 miljoonaa dollaria	5/4 nm: 30–200 miljoonaa dollaria	—
TSMC N7	Noin 9 500 dollaria (8 100–10 900)	3,5 miljoonaa dollaria / 5–10 miljoonaa dollaria	7/6 nm: 15–100 miljoonaa dollaria	Kaupallinen 100 000–500 000 dollaria
TSMC N16/N12	Noin 5 500 dollaria	1,8 miljoonaa dollaria	16/12 nm: 6–40 miljoonaa dollaria	Akateeminen noin 35 000 dollaria per mm²
TSMC N28	Noin 3 000 dollaria	1 miljoona dollaria / 1–3 miljoonaa dollaria	28/22 nm: 3–20 miljoonaa dollaria	Kaupallinen 50 000–150 000 dollaria; akateeminen noin 12 000 dollaria per mm²
SMIC 28 nm	1 500–2 500 dollaria	—	—	—
SMIC 7 nm:n luokka (N+2/N+3)	40–50 % TSMC:tä korkeampi	—	—	—

KUVIO 08 **Huippusolmun kiekko maksaa kymmenen kertaa kypsän solmun kiekon**

Arvioitu hinta 300 mm:n kiekolle solmuittain ja yhden hyvän 100 mm²:n sirun kustannus 85 %:n saannolla



Lähde: Silicon Analystsin kiekkohinnat (arvioita, N5 matala luottamus), Wccftech (SMIC); sirukustannukset ovat kirjoittajan laskelmia oletetulla saannolla.

Sitten fysiikka. Horowitzin klassiset mittaukset osoittavat, että ohjelmoitava käsky maksaa noin 70 pJ, kun taas itse aritmetiikka maksaa muutaman pikojoulen: **aritmetiikka on halpaa ja yleiskustannus kallista**, mikä on systolisten ryhmien ja omistettujen sirujen olemassaolon syy. Viivanleveyden puolittaminen suunnilleen puolittaa energian operaatiota kohti, mutta käyttöjännite on pysähtynyt noin 0,9–1,1 V:iin. N2-kiekko maksaa 50–67 % enemmän kuin N3, joten ellei tiheys kasva yli noin 1,5-kertaiseksi, transistorikohtainen kustannus nousee eikä laske arvio: huippusolmujen on maksettava itsensä takaisin tehokkuudella ja suorituskyvyllä. 100 mm²:n sirulla 85 %:n saannolla jokaisen hyvän sirun kustannus on noin 55 dollaria N2:lla, 37 dollaria N3:lla, 29–34 dollaria N5:llä, 17 dollaria N7:llä ja 10 dollaria N16:lla [arvio; saanto on oletus].

Solmun valinta sirutyypin ja tiimin mukaan

Sääntöni on: **anna sirun elinkaarikustannuksen suurimman erän valita solmu.** Ympäri vuorokauden täydellä kuormalla toimivilla laskentasiruilla (louhinta, ZK) sähkö hallitsee elinkaarikustannusta, joten kun algoritmi on vakaa, niiden pitäisi siirtyä N5/N4:ään ja N3/SF3:een; kun algoritmi on epävakaa tai rahaa on vähän, validoi ensin kypsän solmun MPW:llä. Koulutussiruilla pullonkaula on paketointi ja muisti (HBM ja CoWoS ovat noin 63 % H100:n materiaalikustannuksista), joten solmu on toissijainen. Inferenssisiruilla ensimmäinen päätös on muistiarkkitehtuuri: SRAM-keskeiset suunnitelmat voivat pysyä N6/N7–N4:ssä, kun taas HBM-suunnitelmat perivät koulutussirujen kustannusrakenteen. FHE:tä sitoo muistikaista, eikä se voi välttää HBM:ää.

Sirutyyppi	Startup tai pieni tiimi	Skaalautunut yritys	Manner-Kiinan polku	Keskeiset kohdat
Matriisikertolaskua louhiva PoUW-siru (SRAM-pohjainen, ei HBM:ää)	Prototyyppi 28 nm:n tai 16/12 nm:n MPW:llä; ensimmäinen volyymi N7/N6:lla; N5/N4, kun algoritmi ja tulot ovat vakaat; 50–150 mm²:n sirut tavallisissa flip-chip-paketeissa	N3/N3E tai Samsung SF3	SMIC N+1/N+2 on toimiva (HBM:ää tai CoWoSia ei tarvita), noin 40–50 % enemmän hyvää sirua kohti	Energia hallitsee; protokollan säännöt ovat suurin riski

Sirutyyppi	Startup tai pieni tiimi	Skaalautunut yritys	Manner-Kiinan polku	Keskeiset kohdat
SHA-256-louhintasiru	Älä tavoittele kärkeä; kapeat muodot voivat käyttää kypsiä solmuja	3 nm:n luokka; vakiintuneet siirtyvät TSMC:n 5 nm:stä 2 nm:iin ja Samsungin SF3:sta 2 nm:iin (toissijaiset lähteet)	Vaikea yltää huippusolmun tehokkuuteen	Sähkön hinta ja puoliintumissykli ratkaisevat katteet
Tekoälyn koulutussiru	Ei erillistä sirua: IP, chipletit, suunnittelupalvelut	N3P, sitten N2/A16; 2–8 chipletiä; varmista CoWoS ja HBM ajoissa	SMIC N+2/N+3 kotimaisella HBM:llä (Huawein malli); sirukohtainen FP8 noin 0,2–0,5 kertaa NVIDIAn, kompensoidaan järjestelmän mittakaavalla	Paketointi ja HBM ovat pullonkaula
Tekoälyn inferenssisiru	SRAM-keskeinen tai kiinteästi johdotettu, N6/N7 tai N4/N5/SF4; vain INT8, FP8 ja FP4	N3/N2 HBM:llä (pitkä konteksti, asiantuntijasekoitus) tai monichiplet-SRAM	SMIC N+2 LPDDR:llä tai GDDR:llä; HBM-luokan muisti on kuristuskohta	Arkkitehtuurin lukitusaste on keskeinen päätös
ZK-kiihdytin	Aloita FPGA:lla tai 16/12 nm:n MPW:llä; sitten N7/N6 ja N5	N5/N3	SMIC N+1/N+2 on toimiva	Kokonaislukulaskentaa ja deterministä; helppo todentaa
FHE-kiihdytin	FPGA (avoimen lähdekoodin vertailukohtaa vastaan) tai 16/12 nm:n MPW; volyymi tarvitsee HBM:ää	N5/N3 HBM:llä	Rajoittaa pääsy HBM:ään	Muistikaista, ei aritmetiikka, määrää nopeuden

Edistynyt vai kypsä, neljänlaisia valmistamoja ja chipletit

Vaihtoehto	Päävahvuudet	Pääheikkoudet	Sopii parhaiten
Huippusolmut (N3/N2, SF3/SF2, Intel 18A)	Jokainen täysi solmu suunnilleen puolittaa energian operaatiota kohti; tiheä SRAM	Kiekot 3–10 kertaa, maskit 5–15 kertaa ja suunnittelubudjetit 10–20 kertaa kypsien solmujen tason; toimitusajat yli 50 viikkoa; N2:n transistorikohtainen kustannus voi nousta	Vakaan algoritmin laskentasirut, jotka toimivat ympäri vuorokauden; koulutussirut
Kypsät ja keskitason solmut (N7/N6, N16/12, N28)	Maskit miljoonan dollarin luokassa, halpa MPW, nopea iterointi, monta valmistamoa (TSMC, UMC, GlobalFoundries, SMIC)	Kilpailukyvytön tehokkuus täydellä kuormalla ympäri vuorokauden	Prototyypit, kapeat markkinat, reunainferenssi
TSMC	Paras saanto ja ekosysteemi	Korkeimmat hinnat; N2/N3-kapasiteetti tiukalla; pitkät CoWoS-jonot	Tehokkuusrajaa tavoittelevat tiimit, joilla on volyymisitoumuksia
Samsung Foundry	Kiekot noin 20–25 % halvempia (SF3 noin 15 000 dollaria vs. noin 20 000 dollaria N3:lla); käyttäjinä muun muassa Groqin toinen sukupolvi	Valmistamoliiketoiminta tekee tappiota, tavoitteena nollatulos vuoden 2027 loppuun mennessä	Kustannusherkät laskentasirut
Intel Foundry	Monimutkaiset sirut kuten Heracles todistettu Intel 3:lla	Ei julkista ulkoista hinnoittelua tai asiakastietoja 18A:lle; valmistamoliiketoiminta tekee tappiota	Arvioi ekosysteemi ja tuki tapauskohtaisesti
Manner-Kiinan valmistamot (SMIC ja muut)	Lähellä suurta kotimarkkinaa; 28 nm:n kiekot 1 500–2 500 dollaria	7 nm:n luokan kapasiteetti noin 45 000–60 000 kiekkoa kuussa, suurelta osin Huawein käytössä; saannot noin kolmasosa TSMC:n tasosta; kustannukset 40–50 % korkeammat; vain DUV	Inferenssi-, louhinta- ja ZK-sirut kotimarkkinoille

Vaihtoehto	Päävahvuudet	Pääheikkoudet	Sopii parhaiten
Chipletit	Ylittävät reettikkeli- ja saantorajat; vakio HBM-järjestelmissä (MI355X, Ironwood, Trainium3)	Korkeampi paketointikustannus ja CoWoS-riippuvuus; tunnetusti hyvien sirujen testaus lisää kustannuksia	Koulutus- ja suuret inferenssisirut; ei tarpeen pienille louhinta- tai ZK-siruille

LUKU 10

10 VAIHEITTAINEN BUDJETTI
Mallista piihin: vaiheittainen budjetti ensimmäiselle sirulle

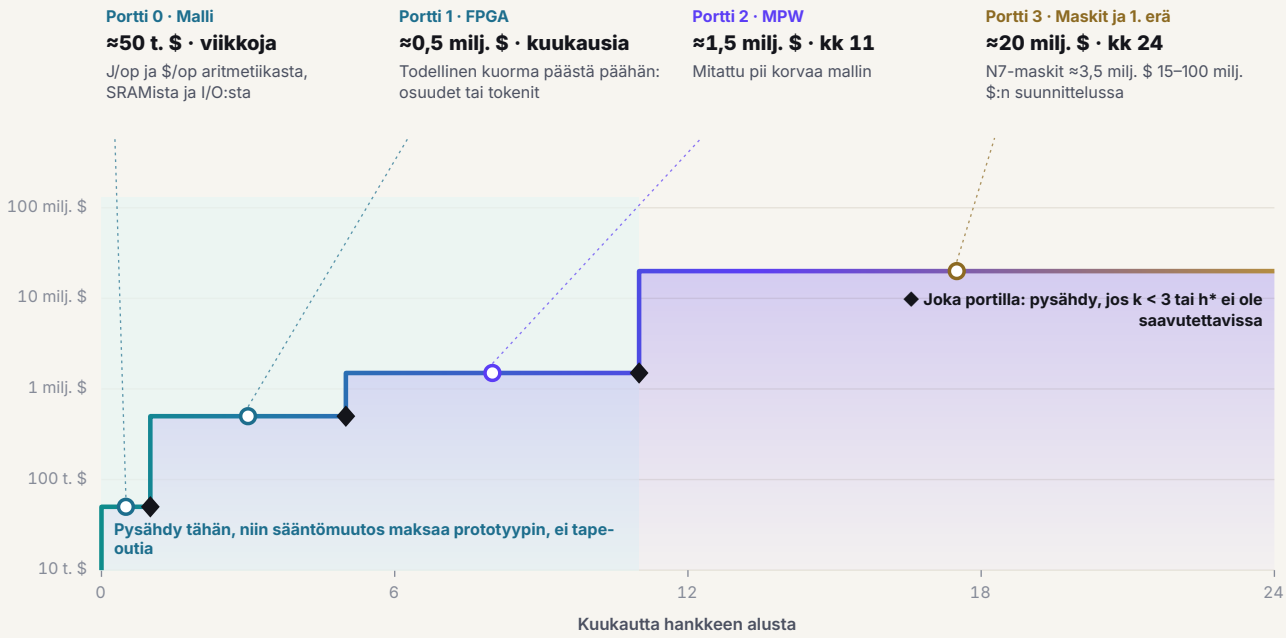
Osta näyttöä ennen maskeja

Täysin räätälöity siru on sarja panoksia, joista jokainen on edellistä suurempi, ja kurinalaisuus tarkoittaa näytön ostamista ennen maskien ostamista. Käytän neljää porttia analyysi. Portti 0 on malli: arkkitehtuuriselvitys, joka arvioi J/op- ja $/op-arvot aritmetiikasta, SRAMista ja I/O:sta luvun 7 vertailulaitteistoa vastaan; se vie viikkoja ja maksaa kymmeniä tuhansia dollareita. Portti 1 on FPGA-prototyyppi, joka ajaa todellisen kuorman päästä päähän, louhintaosuuksia tai inferenssitokeneita, ja todistaa datapolun ja protokollaintegraation; se vie muutaman kuukauden ja maksaa muutamia satoja tuhansia dollareita. Portti 2 on monen projektin kiekko: kaupallinen paikka maksaa noin 50 000–150 000 dollaria N28:lla ja 100 000–500 000 dollaria N7:llä, ja mitattu pii korvaa mallin energia-arviot. Portti 3 on täysi maskisarja ja ensimmäinen tuotantoerä: maskit noin 1 miljoona dollaria N28:lla, 3,5 miljoonaa dollaria N7:llä ja 15 miljoonaa dollaria N3:lla, 15–100 miljoonan dollarin suunnittelubudjetin sisällä 7/6 nm:ssä. Jokainen portti tarvitsee luvun, joka pysäyttää hankkeen, kuten k alle 3 marginaalilaitteistoon nähden tai takaisinmaksun hashrate h*, jota ikkuna ei saavuta.

KUVIO 09

Osta näyttöä ennen maskeja: vaiheittainen budjetti ensimmäiselle sirulle

N7/N6-hankkeen kumulatiivinen kulutus Yhdysvaltain dollareina neljän portin läpi, log. asteikko; jokaisella portilla on hankkeen pysäyttävä luku



Lähde: Kiekko-, MPW- ja maskihinnat kuten luvussa 9 (Silicon Analysts, AnySilicon, malliarvot); porttien ajoitus ja kulut ovat kirjoittajan havainnollistavia oletuksia.

Portaikko on jyrkkä. N7/N6-hankkeessa kolme ensimmäistä porttia maksavat yhteensä noin 1,5 miljoonaa dollaria ja vievät noin yksitoista kuukautta; neljäs maksaa yli kymmenen kertaa niin paljon arvio. Siksi järjestys merkitsee enemmän kuin solmu: jos protokolla muuttaa aritmetiikkaansa tai ostaja vetäytyy, porttiin 2 pysähtynyt tiimi menettää prototyypin hinnan, ei tape-outin hintaa.

Mitä kukin siru maksaa, ja minkä on oltava totta

Hanke	Portti 2 (prototyyppi)	Portti 3 (solmu ja suunnittelubudjetti)	Yksi hyvä 100 mm²:n siru	Minkä on oltava totta, jotta se maksaa itsensä takaisin
Inferenssi edellä -kiihdytin, joka voi louhia	16/12 nm:n tai N7:n MPW, 0,1–0,5 miljoonaa dollaria	N6/N7, noin 15–30 miljoonaa dollaria arvio	Noin 17 dollaria N7:llä, ennen paketointia ja muistia	Sidottu inferenssiasiakas kantaa suurimman osan NRE:stä; louhintatulot ovat lisäetu, eivät perusskenaario
Omistettu Pearl INT7 -louhija (ei suositella nyt)	28 nm:n MPW, 0,05–0,15 miljoonaa dollaria	N7/N6, noin 20 miljoonaa dollaria	Noin 17 dollaria N7:llä	Noin 4,9 EH/s koko vuoden ajan, kun p = 1, tai 9,8 EH/s, kun p = 0,5 (luku 7)
ZK-kiihdytin	FPGA, sitten 16/12 nm:n MPW	N7/N6, sitten N5	Noin 10 dollaria N16:lla, 17 dollaria N7:llä	Todistejärjestelmät vakiintuvat MSM- ja NTT-kerneleihin, joita kiinteä suunnitelma voi palvella
FHE-kiihdytin	FPGA avoimen lähdekoodin vertailukohtaa vastaan	N5/N3 HBM:llä, 30 miljoonaa dollaria tai enemmän	HBM:n ja paketoinnin hallitsema	Volyymiostaja salatulle tekoälylle, jota ei vielä ole

Tästä seuraa kaksi kaupallista huomiota. Ensinnäkin halvin tehokkuus on arkkitehtonista: operandien pitäminen SRAMissa ja HBM:n ja CoWoSin pois jättäminen poistaa suurimman osan GPU:n kustannuksesta (noin 63 % H100:n materiaalikustannuksista) ennen kuin mitään solmua on valittu. Toiseksi aika on kustannus: uusi tiimi tarvitsee noin 18–24 kuukautta aloituksesta volyymiin ja huippusolmujen toimitusajat ylittävät 50 viikkoa, joten protokolla, joka muuttaa

aritmetiikkaansa muutaman kuukauden välein, voi tehdä sirusta vanhentuneen ennen kuin portti 3 maksaa itsensä takaisin.

Kolme sääntöä pienelle tiimille

Yhdessä nämä luvut antavat kolme sääntöä analyysi. Ensinnäkin **pysy portilla 1 tai 2, kunnes on nimetty ostaja tai jäädytetty protokollaversio**; tokenin hinta tai hashrate ei korvaa kumpaakaan. Toiseksi **osta k ensin arkkitehtuurilla ja vasta sitten solmulla**: SRAM-pohjainen ryhmä N7:llä voi yhdessä kuormassa voittaa yleiskäyttöisen osan N3:lla murto-osalla maskikustannuksista. Kolmanneksi **kirjaa takaisinmaksun hashrate tai volyymi, p mukaan lukien, ennen tape-outia**, ja hinnoittele välitavoitemaksut kiinteää protokollaversiota vastaan, jotta sääntöriskin kantaa asiakas eikä suunnittelutalo.

LUKU 11

11 MAHDOLLISUUDET
Missä mahdollisuudet ovat, ja mitä tekisin

Räätälöidyt sirut: kysyntä tulee ylivoimaisesti tekoälystä

Vuonna 2026 räätälöityjen sirujen kysyntä tulee ylivoimaisesti tekoälystä. Broadcomin tekoälypuolijohdetulot tilikauden 2026 kolmannella neljänneksellä olivat 16,7 miljardia dollaria, 221 % enemmän kuin vuotta aiemmin, noin 58 miljardia dollaria vuodessa, ja niistä 73 % XPU:ista kuudelle asiakkaalle (tulospuhelun automaattisesta litteroinnista). Global Unichipin toisen neljänneksen tulot kasvoivat 128 % vuodentakaisesta, avaimet käteen -tuotannon tulot 188 % ja bruttokate oli 21,5 %. Alchipin ensimmäisen neljänneksen tulot jakautuivat solmuittain: 21 % 3/2 nm:ssä, 63 % 7/5 nm:ssä ja 16 % 12 nm:ssä ja sitä suuremmissa. VeriSiliconin uudet tilaukset vuodelle 2026 olivat huhtikuun loppuun mennessä 8,24 miljardia RMB:tä (noin 1,16 miljardia dollaria), ja niistä 91,37 % tekoälylaskentaan. Markkinalla on kolme tasoa: huipulla monivuotinen, miljardien arvoinen yhteiskehitys; keskellä 7–2 nm:n hankkeet, joiden NRE on muutamasta miljoonasta yli sataan miljoonaan dollariin (5–30 miljoonaa dollaria keskitason solmuissa, 30–100 miljoonaa dollaria tai enemmän huippusolmuissa); ja pitkä häntä kypsän solmun ASICeita, joiden NRE on 0,5–5 miljoonaa dollaria. Krypto- ja louhinta-asiakkaat ovat pieni, syklinen markkinarako, mutta ne ovat nykyään nopein ja lupia vailla toimiva ”ensimmäinen asiakas”, joka maksaa laskennasta.

Louhintasirutiimin parhaiten siirtyvät kyvyt, kynnysjännitteen lähellä toimiva matalajännitekäyttö, massiivisesti monistetut laskentaryhmät, kilowattiluokan virransyöttö ja jäähdytys sekä nopeat huippusolmun tape-outit, ovat juuri sitä, mitä inferenssisirut sekä ZK- ja FHE-kiihdyttimet tarvitsevat. Pääomamarkkinat hinnoittelevat tämän: Velaura AI (entinen Auradine) keräsi elokuussa 110 miljoonaa dollaria yli miljardin dollarin arvostuksella. Vastaesimerkki on Canaanin reunatekoälysiruyksikkö, jonka tulot tilikaudella 2024 olivat 0,9 miljoonaa dollaria sen kuluttaessa 15 % liiketoiminnan kuluista, ja joka suljettiin kesäkuussa 2025. Ero on itsenäisessä markkinareitissä, ei louhintakanavien uudelleenkäytössä.

Tekoälykehitys: tunnit ovat hyödyke; arvo on liitoskohdissa

Alapäässä tekoälykehityspalvelut ovat hyödykkeistyneet: tyypilliset tuntihinnat Clutchissa ovat 25–49 dollaria ja Yhdysvalloissa, Kanadassa ja vastaavilla markkinoilla 50–99 dollaria; lohkoketjukehitystiimi maksaa noin 15 000 dollarista yli 90 000 dollariin kuussa. Tuntien myymisellä ei ole vallihautaa. Arvo on alojen välisissä liitoskohdissa: kernelit ja kääntäjät räätälöidyille siruille, inferenssipalveluun upotettu louhinta (Pearlin vLLM-liitännäinen on yksi esimerkki), todennettava inferenssi, joka yhdistää TEE:t ZK-pistokokeisiin, sekä agenttien maksut ja identiteetti.

Tekoäly × krypto -järjestelmät: sido laskennan ostaja ennen tokenia

Jokaiselle, joka suunnittelee tekoälynatiivia ketjua tai laskentaverkkoa, vuoden 2026 todennustyökalupakki on muotoutunut. Työyksikkökohtaisen kustannuksen mukaan järjestettynä halvimmasta kalleimpaan: tilastollinen otanta (Hyperbolicin proof of sampling), välimiesvetoinen delegointi (Gensynin Verde, joka tarvitsee vain yhden rehellisen todentajan mutta vaatii bittitarkan suorituksen), TEE:t (lähes natiivi nopeus, mutta luottamus siruvalmistajaan), täysi redundanssi ja yleinen zkML. Käytännöllinen suunnittelu on kerroksellinen: TEE:t tai otanta matalaan viiveeseen, kiistapelit tai ZK-pistokokeet lopullisuuteen; joulukuun 2025 artikkeli simuloi H100:n luottamuksellista laskentaa petostodisteilla ja satunnaisilla ZK-pistokokeilla 99 %:n keskitetyllä läpäisyllä ja 0,07 dollarin marginaalikustannuksella kyselyä kohti. Laitteistofilosofia ratkaisee turvallisuuden ja jakautuman: GPU-natiivia PoUW:ta suojaavat aluksi vuokrattavat pilvi-GPU:t, joten hyökkäyksen kustannus on sidottu vuokrahintoihin, ja Qubic osoittaa, että yleiskäyttöisen laitteiston työntodiste voidaan kaapata kokonaan ulkopuolisilla kannustimilla.

Kustannus ja aika eivät ole este. Pearl eteni artikkelista (huhtikuu 2025) mainnetiin noin 12 kuukaudessa btcd:stä haarautettuna, ja käynnistyksessä sillä oli täysi solmu, lompakko, kevyt asiakasohjelma ja louhintaohjelma. Useimmat DeFi-auditoinnit maksavat 25 000–100 000 dollaria, yritys- tai monen ketjun auditoinnit 150 000–250 000 dollaria tai enemmän, ZK-piirit 80–120 % enemmän, ja hankkeet, joissa todellista arvoa on pelissä, budjetoivat turvallisuuteen 150 000–500 000 dollaria vuodessa. Todelliset esteet ovat jakelu ja likviditeetti. Perustajat kertovat Binancen pyytäneen listauksesta 0–3,5 % ja väitetysti 8 % tokenien tarjonnasta (Binance kiistää hyötyvänsä listauksista); kaikki kuusi Cointelegraphin tarkastelemaa hanketta, jotka käyttivät ”tokenilaina ja osto-optio” -markkinatakaussopimuksia, laskivat, ja Movementin markkinatakaaja myi listauspäivänä noin 38 miljoonan dollarin edestä tokeneita. Vaihtoehtoja ovat ketjun sisäinen likviditeetti, kuten Hyperliquidilla, joka ylitti 10 miljardin dollarin markkina-arvon ilman Binance-listausta ja jonka HIP-3-ikuisten futuurien markkinoiden avoin positio ylitti kesäkuussa 3,2 miljardia dollaria, sekä julkiset myynnit suurten pörssien kautta, kuten kun Monad keräsi 269 miljoonaa dollaria Coinbasen kautta. Korkea täysin laimennettu arvo pienellä vapaalla osuudella oli selvin lanseerauksen jälkeisen laskun ennustaja vuosina 2025–2026.

Tokenisuunnittelu on osa järjestelmäsuunnittelua. Liikkeeseenlaskun pitäisi seurata maksettua kysyntää eikä kulkea sen edellä: tämän raportin verkot, joiden tukikertoimet ovat terveimmät, sitovat palkkiot työhön, josta ulkopuolinen ostaja maksaa, ja heikoimmat maksavat hashratesta tai panoksesta, jonka takana ei ole mitään. Käytännöllinen sääntö on julkaista ennen lanseerausta tukikerroin, johon verkko pyrkii ensimmäisenä, toisena ja kolmantena vuotenaan, ja leikata liikkeeseenlaskua, jos tavoite jää saavuttamatta analyysi.

Suunta	Kuka ostaa, ja maksuhalukkuus	Ikkuna	Keskeiset kyvyt	Pääriski
Inferenssi edellä -kiihdytin, joka voi louhia	Neopilvet, yksityiset käyttöönotot, PoUW-verkot	2027–2028 (riippuen FP8- ja FP4-haarautumista)	INT8-, FP8- ja FP4-GEMM; SRAM-arkkitehtuuri; protokollaintegraatio	Protokollan hyväksyntä, arkkitehtuurin lukitus
SRAM-pohjainen tai kiinteästi johdotettu inferenssisiru	Neopilvet, manner-Kiinan datakeskukset, reuna	Nyt	Kääntäjät ja mallien sovitus; N6–N4-suunnittelu	Mallit muuttuvat liian nopeasti
Louhintasiru (kapea tai vertikaalisesti integroitu)	Louhijat, joilla on oma sähkö; koti- ja lämmityslouhijat	Nyt, puoliintumisen ja hashpricen rajaamana	Matalajänniteryhmät, tehokkuus, volyymitoimitusketju	Vakiintuneiden hintasodat, sähkön hinnat
ZK-todistamisen kiihdytys	Todistajaverkot, rollupit	Odota, kunnes todistejärjestelmät lähentyvät	Ohjelmoitavat MSM ja NTT	Kysyntä riippuu tokenipalkkioista
FHE-kiihdytys	Salattu tekoäly yrityksille ja hallinnoille; yksityisyysketjut	2027–2029	NTT, HBM-järjestelmät, kryptografinen insinöörityö	Kysyntä ei vielä muodostunut; pitkät myyntisyklit

Suunta	Kuka ostaa, ja maksuhalukkuus	Ikkuna	Keskeiset kyvyt	Pääriski
TEE:n vahvistaminen ja todennettava inferenssi	Luottamuksellisen inferenssin verkot, DePIN	Nyt	Eheyden sisältävä muistin salaus, riippumattomat attestoinnin juuret, ZK-pistokokeet	Riippuvuus valmistajien ekosysteemeistä
Tekoälynatiivi ketju tai laskentaverkko	Inferenssin ostajat, louhijat, kehittäjät	Nyt	Todennuksen suunnittelu, liikkeeseenlaskun suunnittelu, jakelu	Lanseerauksen jälkeinen lasku, tokenin likviditeetti

Kolme polkua, jotka valitsisin, jokaisella ensiaskel

Jos minun pitäisi valita, valitsisin enintään kolme polkua, joista jokaisella on pieni ensiaskel, joka testaa sen ennen kuin rahaa sidotaan analyysi.

- **Polku A: inferenssi edellä -kiihdytin, joka voi myös louhia.** Ensiaskel: neljän viikon arkkitehtuuriselvitys, joka mallintaa SRAM-pohjaisen INT8/FP8-GEMM-ryhmän J/op- ja $/op-arvot RTX 5090:tä ja H100:aa vastaan sekä Pearlin työssä että transformer-inferenssissä, minkä jälkeen FPGA- tai kypsän solmun MPW-validointi miljoonan dollarin luokan NRE:llä.
- **Polku B: räätälöidyn piin palvelut kryptolla ensimmäisenä asiakkaana ja tekoälyllä toisena markkinana.** Ensiaskel: tee tämän raportin NRE- ja kannattavuusmallista maksullinen toteutettavuusselvitys laskentasiruhankkeille, välitavoitemaksuin ja kiinteää protokollaversiota vastaan tehtävin hyväksynnöin.
- **Polku C: tekoälynatiivi verkko, joka sitoo laskennan ostajansa ennen tokeniaan.** Ensiaskel: suunnittelumuistio kerroksellisesta todennuksesta (TEE sekä otanta sekä ZK-pistokokeet) ja valmistajaneutraalista kanonisesta aritmetiikasta, kirjoitettuna yhden nimetyn inferenssiostajan kanssa ennen mitään tokenisuunnittelua.

LUKU 12

12 SEURATTAVAT MERKIT
Mitä seurata, marraskuu 2026 – 2027

Milloin	Mitä seurata	Miksi sillä on merkitystä
Milloin tahansa	Pearlin FP8-aktivointikorkeus	Ratkaisee, pysyvätkö kokonaislukulaitteisto ja muut kuin NVIDIAn kortit hyväksyttyinä ja jakautuuko ketju
Kuukausittain	Tekoälytyötä sisältävien lohkojen osuus Pearlissa	Paras yksittäinen testi siitä, onko ”hyödyllisyys” toteutumassa
Kuukausittain	Siirtävätkö inferenssipalvelujen tarjoajat louhintatuloja asiakkailleen	Maksettu kysyntä kohtaa liikkeeseenlaskun: malli, jota Pearl tarvitsee
Neljännesvuosittain	Bittensorin todennettava tulo suhteessa sen liikkeeseenlaskuun	Kurooko suurin hyötytyöverkko umpeen tukivajettaan
Neljännesvuosittain	Agenttien todella käynnistämien x402-virtojen osuus	Siirtyvätkö agenttimaksut signaloinnista kaupankäyntiin
Tammikuu 2027	TSMC:n raportoitu 3–6 %:n hinnankorotus, eniten 2 nm:lle ja 3 nm:lle	Huippusolmujen tape-outien kustannus

Milloin	Mitä seurata	Miksi sillä on merkitystä
Vuoden 2027 ensimmäinen neljännes	FP4 Pearliin, perustajien AMA:n mukaan raportoidusti	Työn siirtyminen edelleen kohti NVIDIAn uusimpia formaatteja
Vuoden 2027 loppu	Samsung Foundryn nollatulostavoite	Pysyykö halvempi toinen lähde terveenä
Huhtikuu 2028	Bitcoinin seuraava puoliintuminen	Puolittaa SHA-256-louhijoiden potin

LUKU 13

13 KYSYTTÄVÄT KYSYMYKSET
Kysymyksiä, joita et kysynyt mutta olisi pitänyt

Alla ovat kysymykset, jotka esittäisin ennen kuin sitoisin rahaa tai piitä mihinkään tekoäly × krypto -hankkeeseen.

Kuka hallitsee työfunktiota? Jos pieni tiimi voi muuttaa aritmetiikkaa kovakoodatulla korkeudella, laitteistosi elinikä on sen päätös. Pyydä kirjallinen vakaussitoumus tai suunnittele laitteisto, jolla on toinen markkina.

Mikä on tukikerroin? Jaa liikkeeseenlasku (tai markkina-arvo) verkon ulkopuolelta maksetuilla tuloilla. Yli 10:n kerroin tarkoittaa, että verkko ostaa aktiivisuutta eikä myy palvelua.

Mitä seuraava vaihe maksaa, ja mikä luku pysäyttää sinut? Monen projektin kiekko maksaa kymmeniä tai satoja tuhansia dollareita; maskisarja maksaa miljoonia. Päätä pysäytysluku ennen kuin käytät rahaa.

Mikä on takaisinmaksun hashrate, p mukaan lukien? Jaa NRE luvulla R × (1 − 1/k) × T × p. Jos vastaus on suuri osuus verkosta, siru on panos sääntöihin, ei piihin.

Mikä on sirun toinen markkina? Jos protokolla haarautuu tai token laskee, mihin muuhun piin voi myydä? GPU:t selvisivät Ethereumin Mergestä, koska niillä oli sellainen; yhden algoritmin ASICit eivät.

Päätyykö arvo tokeniin vai osakkeisiin? Vuonna 2026 kannattavat tekoäly × krypto -yritykset ovat enimmäkseen osakeyhtiöitä, joilla on kryptojakelu; päätä, kumpaa rakennat, ennen kuin keräät rahaa.

Kuka on ensimmäinen maksava asiakas, nimeltä? Jokainen kestävä tapaus tässä raportissa, Grassista Bittensorin laskenta-aliverkkoihin, alkoi nimetystä ostajasta verkon ulkopuolella.

Näitä alueita haluaisin tutkia yhdessä muiden kanssa teknisen vaihdon ja teknisen yhteistyön kautta: räätälöidyt sirut louhintaan, tekoälyn koulutukseen ja inferenssiin sekä kiihdyttimiin; tekoälykehitys; ja tekoäly × krypto -järjestelmät ketjusta solmuun ja siruun. Minut tavoittaa osoitteesta i@tanshuai.com.

Raportin rajoitukset

Tämä on kirjoituspöytätutkimusta, joka perustuu 13. marraskuuta 2026 mennessä julkaistuihin julkisiin asiakirjoihin. En tehnyt tätä painosta varten ensikäden haastatteluja enkä riippumattomia mittauksia. Useat keskeiset luvut ovat yritysten tai myyjien väitteitä, kuten Aethirin tulot, Grassin tulot, Etchedin ja Taalasin suorituskyky sekä Cysicin tehokkuus; ne on merkitty sellaisiksi. Pearlin ketjumittarit tulevat riippumattomasta täydestä solmusta ja pooleista ja muuttuvat tunneittain;

käytin 13. marraskuuta noin klo 07.13 UTC tehtyjä lukemia ja annan saman päivän vaihteluvälit. Kiekko-, maski- ja suunnittelukustannukset ovat kolmansien osapuolten arvioita ja malliarvoja, jotka ovat keskenään ristiriidassa; näytän haarukat. ASICin kannattavuuslaskelmani ja vaiheittainen budjetti käyttävät havainnollistavia oletuksia (k, T, p, NRE ja vaiheiden kustannukset), jotka lukijan tulisi korvata omillaan.

Kirjoittajasta

Tan Shuai on teknologi ja perustaja, jolla on yli kahdenkymmenen vuoden kokemus siruista, laitteistoista ja järjestelmäohjelmistoista sekä 20 myönnettyä patenttia. Hänellä on takanaan monen vuoden fabless-sirujen tutkimus-, kehitys- ja johtamistyö, mukaan lukien täysin räätälöity ASIC-datapolkusuunnittelu kryptovaluuttojen louhintasiruihin ja multimediakamerasiruihin, ja se on tämän raportin linssi: energia operaatiota kohti, kustannus kiekkoa kohti, mitä protokolla antaa kiinnittää piihin ja kuka maksaa. Työ on vienyt hänet Piilaaksoon, New Yorkiin, Chicagoon, Taiwaniin, Suur-Lahden alueelle (Shenzhen ja Hongkong), Vietnamiin ja Malesiaan. Nykyään hän työskentelee tekoälytutkijana ja -kehittäjänä.

Tekninen keskustelu: i@tanshuai.com · tanshuai.com

Huomautukset ja vastuuvapauslauseke

Tämä raportti on itsenäistä kirjoituspöytätutkimusta, joka perustuu 13. marraskuuta 2026 mennessä saatavilla olleisiin julkisiin asiakirjoihin. Se on tarkoitettu vain tiedoksi ja oppimiseen, eikä se ole sijoitus- tai insinöörineuvo. Se käsittelee vain teknologiaa ja liiketoimintaa. Hinnat, ketjumittarit ja protokollasäännöt muuttuvat; tarkista kaikki, mihin luotat, alkuperäisestä lähteestä. Merkinnöillä myyjän väite, arvio tai analyysi varustetut luvut on luettava sellaisina. Kryptovarojen hinnat ovat hyvin volatiileja.

© 2026 Tan Shuai. Voit jakaa tämän raportin muuttamattomana lähde mainiten.

Lähteet

Kaikki luettu 10.–13. marraskuuta 2026. Ryhmitelty luvuittain.

Pearl: protokolla, koodi ja ketjudata

- Komargodski ja Weinstein, ”Proofs of Useful Work from Arbitrary Matrix Multiplication”, arXiv 2504.09971: https://arxiv.org/abs/2504.09971
- Pearl Research Labs, INT-valkoinen kirja: https://pearlresearch.ai/research/int-whitepaper
- Pearlin lähdekoodi: genesislohko: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/genesis.go ; konsensusparametrit ja haarautumakorkeudet: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/node/chaincfg/params.go ; hashraten laskenta: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/zk-pow/src/api/sanity_checks.rs ; suolatun siemenen haarautuman päivitysopas: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/main/docs/salted-seed-fork-upgrade-guide.md ; fp8-scheme-haaran parametrit: https://github.com/pearl-research-labs/pearl/blob/fp8-scheme/node/chaincfg/params.go
- Pearl Improvement Proposals: https://github.com/pearl-research-labs/pips ; PIP-3, liukulukulouhinta: https://github.com/pearl-research-labs/pips/blob/main/PIPS/pip-0003.md
- prlstats (riippumaton täysi solmu): verkko: https://prlstats.com/api/network ; aikasarjat: https://prlstats.com/api/series ; etusivu ja louhijoiden tulomalli: https://prlstats.com/api/home ; louhittu tarjonta: https://prlstats.com/api/mined ; poolit: https://prlstats.com/api/pools ; haltijat: https://prlstats.com/api/holders ; laitteisto- ja lisäkustannusoletukset: https://prlstats.com/api/assumptions
- Kryptex Pool: Pearl-verkko: https://pool.kryptex.com/prl/about-coin ; hashrate: https://pool.kryptex.com/prl/hashrate ; RTX 5090: https://pool.kryptex.com/de/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-5090 ; RTX 4090: https://pool.kryptex.com/device/gpu/nvidia/nvidia-geforce-rtx-4090 ; ”Pearl FP8 fork”: https://pool.kryptex.com/articles/pearl-fp8-fork-en
- CoinGecko, Pearl: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2 ; https://www.coingecko.com/en/coins/pearl-research ; hintahistoria: https://api.coingecko.com/api/v3/coins/pearl-2/market_chart?vs_currency=usd&days=365&interval=daily ; ”Perle”-tunnushaku: https://api.coingecko.com/api/v3/search?query=perle
- SimeonOnSecurity, ”Mining Pearl (PRL) in 2026”: https://simeononsecurity.com/articles/pearl-prl-mining-guide-2026/
- Hashrate Index, ”Pearl (PRL): Inside the AI-Compute Cryptocurrency”, 2. kesäkuuta 2026: https://hashrateindex.com/blog/pearl-prl-ai-compute-cryptocurrency/
- Tom's Hardware, ”New AI compute cryptocurrency Pearl sparks a GPU mining rush, but profitability is sliding”: https://www.tomshardware.com/tech-industry/cryptomining/new-ai-compute-cryptocurrency-pearl-sparks-a-gpu-mining-rush-but-profitability-is-sliding
- Together AI, kumppanuus Pearl Research Labsin kanssa: https://together.ai/blog/together-ai-partners-with-pearl-research-labs ; mallisivu: https://together.ai/models/gemma-4-31b-it-pearl
- Basu, Pearlin louhintainstanssien laskenta, arXiv 2606.04819: https://arxiv.org/html/2606.04819v2
- Blockworks, 0xResearch-uutiskirje, 28. lokakuuta 2026: https://blockworks.com/newsletter/0xresearch/issue/post_daf0d74a-2bf4-41e4-86d3-2a1275475a24
- Datawallet, ”Pearl Explained”: https://www.datawallet.com/crypto/pearl-explained
- Coingabbar TheMarkerin raportista Pearl Research Labsin rahoituksesta: https://www.coingabbar.com/en/pearl-research-labs-funding-130m-stealth-round-themarker

Hyötytyöketjut ja historia

- Grothe ym., Gridcoinin tietoturva-analyysi, USENIX WOOT 2017: https://www.usenix.org/system/files/conference/woot17/woot17-paper-grothe.pdf
- Oppimisen todisteen huijaaminen, arXiv 2208.03567: https://arxiv.org/abs/2208.03567
- hoge.gg, todennus ja luottamus hajautetussa inferenssissä: https://hoge.gg/decentralized-inference-2026-verification-trust/ ; Bittensorin tulot ja kassa: https://hoge.gg/bittensor-quantum-wallet-revenue-tao-treasury-2026/
- Kaspa: kHeavyHashin matriisikoodi: https://github.com/kaspanet/rusty-kaspa/blob/master/consensus/pow/src/matrix.rs ; käynnistys: https://coinranking.com/coin/V8GxkwWow+kaspa-kas/about ; IceRiverin KS1/KS2-julkistus: https://www.iceriver.io/2023/03/14/1677644580/ ; historia GPU:ista ASICeihin: https://captainmining.com/blogs/crypto-news/the-evolution-of-kaspa-mining-from-gpus-to-asic-powerhouses ; GPU-hashratet: https://coincalculators.io/algorithms/kheavyhash ; KS7: https://www.asicminervalue.com/miners/bitmain/antminer-ks7-40th ; verkko: https://minerstat.com/coin/kas ; 1 EH/s vuonna 2024: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-reaches-1-ehs-in-hashrate ; Crescendo: https://ourcryptotalk.com/news/kaspa-crescendo-live
- Aleo: mainnetin UKK: https://aleo.org/post/aleo-mainnet-faq/ ; hajautettu todistaminen: https://aleo.org/post/decentralized-proving-advantages/ ; ASICit: https://whattomine.com/coins/432-aleo-zksnark/asics ; Blockworks, ”State of Aleo Q3 2025”: https://app.blockworks.com/report/state-of-aleo-q3-2025 ; ARC-46: https://chaincatcher.com/en/article/2144326
- Qubic: The Block Moneron uudelleenjärjestelystä: https://www.theblock.co/post/366535/monero-faces-chain-reorganization-fears-after-qubic-says-it-controls-51-of-hashrate ; Halborn: https://www.halborn.com/blog/post/explained-the-monero-51-percent-attack-august-2025 ; Dogecoin-louhinta: https://hackernoon.com/qubic-is-now-mining-dogecoin-on-its-ai-compute-infrastructure ; CoinGecko: https://www.coingecko.com/en/coins/qubic
- Bittensorin konsensusdokumentaatio: https://www.bittensor.com/llms.mdx/docs/internals/consensus/content.md ; FalconX, ”State of Bittensor”: https://www.falconx.io/newsroom/state-of-bittensor-subnet-adoption-trends-network-mechanics-and-covenants-departure
- Primecoin: https://en.wikipedia.org/wiki/Primecoin ; Blockworks, ”State of Filecoin Q3 2025”: https://app.blockworks.com/report/state-of-filecoin-q3-2025

- Monero ja ASIC-vastustuskykyiset haarautumat: https://lbry.com/news/forking-for-asic-resistance ; Sian haarautuma: https://hotfix.coindesk.com/markets/2018/11/01/sia-completes-hard-fork-as-bricked-miners-form-rival-blockchain ; Obeliskin hinnat: https://www.cryptoglobe.com/latest/2018/11/obelisk-hardware-skyrockets-in-selling-price-after-sia-hard-fork/ ; louhijat Mergen jälkeen: https://hotfix.coindesk.com/business/2022/11/11/ex-ethereum-miners-token-hop-to-stay-alive-after-the-merge

Tekoäly × krypto -sektorit

- DefiLlama: Render: https://defillama.com/protocol/render-network-bme ; Livepeer: https://defillama.com/protocol/livepeer
- Cointelegraph Messarin DePIN-tuloista: https://cointelegraph.com/news/depin-revenues-grow-despite-token-losses
- Aethir, vuoden 2025 kooste: https://aethir.com/blog-posts/aethirs-2025-wrap-up-decentralized-gpu-cloud-milestones
- CoinGecko, tekoälykategoria: https://www.coingecko.com/en/categories/artificial-intelligence
- Akash, H100:n vuokrahinnat: https://akash.network/the-bid/h100-rental-price-2026-cost-per-hour/ ; Q1 2026 -raportti: https://akash.network/blog/akash-network-q1-2026-report/
- io.net, 8 miljoonan dollarin kauppa ja päivittäiset tokenit: https://lifestyle.kbew98country.com/story/271004/io-net-to-burn-up-to-12m-tokens-as-network-closes-8m-deal-and-hits-4-billion-daily-ai-tokens/
- DCD, Axe Computen sopimus: https://www.datacenterdynamics.com/en/news/axe-compute-secures-15bn-compute-contract-with-unnamed-customer/
- Pluralis-8B: https://www.alphaxiv.org/abs/2607.13332.md ; Nous Research, Psyche: https://nousresearch.com/the-next-phase-of-psyche ; Implicator INTELLECT-3:sta: https://www.implicator.ai/prime-intellects-intellect-3-open-source-ambition-meets-centralized-reality/
- SiliconANGLE, Prime Intellectin rahoitus: https://siliconangle.com/2026/07/08/prime-intellect-raises-130m-1b-valuation-ai-training-platform/ ; The Block, Venice: https://www.theblock.co/post/406934 ; RuntimeWire, Nousin rahoitus: https://runtimewire.com/article/nous-research-75-million-round-1-5-billion-valuation
- ownyourmind, Gensyn: https://ownyourmind.ai/projects/gensyn/ ; Phemex, Ritual (vain otsikko): https://phemex.com/news/article/ritual-launches-ai-layer-1-mainnet-and-ritual-token-price-dives-72-from-high-101259
- Luottamuksellisen laskennan lisäkustannus, arXiv 2409.03992: https://arxiv.org/abs/2409.03992v2 ; Phalan vuoden 2025 raportti: https://phala.com/posts/phala-2025-report ; TEE.fail: https://thehackernews.com/2025/10/new-teefail-side-channel-attack.html ; DeepProve, IACR ePrint 2026/1112: https://eprint.iacr.org/2026/1112
- TRM Labs, tekoälyagenttien maksujen mittaaminen: https://www.trmlabs.com/trm-tech-blog/whos-actually-paying-measuring-ai-agent-payments-onchain ; Forkast x402 Foundationista: https://forkast.news/the-x402-foundation-activated-a-27-year-old-internet-code-200-million-transactions-later-the-real-volume-is-still-tiny/ ; The Block, Tempon mainnet: https://www.theblock.co/amp/post/394131/tempo-mainnet-goes-live-with-machine-payments-protocol-for-agents ; BlockEden Virtualsin aGDP:stä: https://blockeden.xyz/blog/2026/04/21/agdp-agent-gdp-virtuals-protocol-ai-blockchain-valuation-primitive-tvl-displacement/ ; The Block ElizaOS:stä: https://theblock.co/post/410774/eliza-labs-native-token-dead
- Dealroom, Grassin tulot: https://dealroom.co/news/157794-grass-backed-by-multicoin-projects-75m-in-2026-data-revenue/ ; CryptoSlate, Fetch.ai ja Ocean: https://cryptoslate.com/cryptos-flagship-ai-pact-fracture-fetch-sues-ocean-over-263m-fet-community-sales/ ; Fortune Worldista: https://fortune.com/2026/06/01/internet-according-to-sam-altman-seeing-orb/
- Galaxy, kryptoalan pääomasijoitukset: https://www.galaxy.com/insights/research/crypto-blockchain-venture-capital-q3 ; Crypto Briefing (vain otsikko): https://cryptobriefing.com/crypto-vc-investment-q3-2026-galaxy/ ; Blockhead Tiger Researchista: https://www.blockhead.co/2026/10/14/bitcoin-rose-43-in-q3-crypto-venture-funding-did-not-follow/ ; ForkLog vuoden 2025 tokenlanseerauksista: https://forklog.com/en/85-of-tokens-launched-in-2025-fell-below-initial-prices/

ASIC-talous ja sirutyypit

- Hashrate Index, katsaus 9. marraskuuta 2026: https://hashrateindex.com/blog/hashrate-index-roundup-november-9-2026/
- AnySilicon, ASIC-suunnittelun kustannus solmuittain vuonna 2026: https://anysilicon.com/news/how-much-does-asic-design-cost-in-2026-real-price-ranges-by-process-node/ ; Silicon Analysts, fabless-tape-outin kustannusopas: https://siliconanalysts.com/analysis/fabless-startup-tapeout-cost-guide ; markkinadata: https://siliconanalysts.com/market-data
- MillionMiner, Bitmain S23 XP Hyd: https://millionminer.com/news/bitmain-wdms-2026-s23-xp-hyd-launch
- Khattak ja Mikaitis, FP8-akkumulointi tensoriytimissä, arXiv 2512.07004: https://arxiv.org/html/2512.07004v2
- Canaan, vuoden 2026 toisen neljänneksen tulos: https://finviz.com/news/389337/canaan-inc-reports-unaudited-second-quarter-2026-financial-results ; Bitdeer, vuoden 2026 kolmannen neljänneksen tulos: https://greenstocknews.com/news/nasdaq/btdr/bitdeer-reports-unaudited-third-quarter-2026-results-record-revenue-of-us-320-7-million-adjusted-ebitda-up-173-to-us-69-6-million
- TheEnergyMag: Velaura AI: https://theenergymag.com/news/market-news/velaura-ai-series-a-bitcoin-pivot ; Core Scientific ja Block: https://theenergymag.com/news/2026-07-29/core-scientific-exit-block-bitcoin-deal-ai ; tekoälyvuokrien talous: https://theenergymag.com/news/2026-08-06/miner-weekly-ai-pumpability-out-fuel
- Blockworks, Cipher ja Fluidstack: https://blockworks.co/news/cipher-mining-inks-3b-ai-hosting-deal-with-fluidstack ; Cointelegraph, Core Scientific: https://cointelegraph.com/news/core-scientific-to-quit-bitcoin-mining-by-year-end-as-ai-business-surges ; ForkLog, Bitfarms: https://forklog.com/en/former-bitfarms-shuts-down-all-mining-sites-in-the-us/ ; IREN, Q1 FY27 -tulos: https://globenewswire.com/news-release/2026/11/05/3397020/0/en/iren-reports-q1-fy27-results.html
- Spark, bitcoin-ASIC-markkinan keskittyminen: https://www.spark.money/research/bitcoin-asic-manufacturer-market-concentration
- Google, TPU7x-dokumentaatio: https://docs.cloud.google.com/tpu/docs/tpu7x?hl=es ; The Register, Ironwood: https://www.theregister.com/2025/04/10/googles_7thgen_ironwood_tpus_debut/ ; SemiAnalysis, B300: https://inferencex.semianalysis.com/chips/b300 ; TPU v1 -artikkeli, arXiv 1704.04760: https://arxiv.org/abs/1704.04760 ; Glenn Lockwood, MI355X: https://glennklockwood.com/garden/processors/mi355x
- Tom's Hardware, Vera Rubin: https://www.tomshardware.com/pc-components/gpus/nvidia-launches-vera-rubin-nvl72-ai-supercomputer-at-ces-promises-up-to-5x-greater-inference-performance-and-10x-lower-cost-per-token-than-blackwell-coming-2h-2026 ; TrendForce, CoWoS-hinnoittelu: https://trendforce.com/news/2026/10/27/news-tsmc-reportedly-eyes-20-cowos-price-hike-skips-equipment-price-renegotiations-amid-ai-demand-surge
- Menon Lab, tekoälyinferenssikiihdyttimien vertailu: https://themenonlab.blog/blog/ai-inference-accelerators-compared ; Introl, tekoälykiihdyttimet GPU:iden jälkeen: https://introl.com/blog/ai-accelerators-beyond-gpus-tpu-trainium-gaudi-cerebras-2025

- StratNews (Reuters), kotimaiset tekoälysirut valtion rahoittamissa datakeskuksissa: https://stratnewsglobal.com/team-sng/china-orders-state-funded-data-centres-to-use-domestic-ai-chips/ ; TNW, H200-tuonti: https://thenextweb.com/news/nvidia-h200-chips-hong-kong-china-import-approval
- Succinct, reaaliaikainen todistaminen 16 GPU:lla: https://blog.succinct.xyz/real-time-proving-16-gpus/ ; Cysicin ZK-ASIC-tuotteet: https://cysic-docs.pages.dev/hardware-products/zk-asic-products
- Tom's Hardware, Intel Heracles: https://www.tomshardware.com/tech-industry/cyber-security/intels-heracles-chip-computes-fully-encrypted-data-without-decrypting-it-chip-is-1-074-to-5-547-times-faster-than-a-24-core-intel-xeon-in-fhe-math-operations ; IEEE Spectrum: https://spectrum.ieee.org/fhe-intel ; Evertiq, Niobium ja SemiFive: https://evertiq.com/design/2026-02-20-semifive-secures-design-win-with-niobium-for-fhe-accelerator ; The Quantum Insider, Niobiumin rahoitus: https://thequantuminsider.com/2025/12/03/niobium-23m-fhe-funding/ ; Optica OPN, Optalysys: https://www.optica-opn.org/home/industry/2026/february/optalysys_raises_us_$31_million_to_push_photonics_computing_toward_cloud_infrastructure/ ; Zama, HPU FPGA:lla: https://www.zama.org/post/announcing-hpu-on-fpga-the-first-open-source-hardware-accelerator-for-fhe

Prosessisolmut

- Silicon Analysts, kiekkohinnoittelu: https://siliconanalysts.com/data/wafer-pricing
- Tom's Hardware, TSMC A16 -hintahuhut: https://www.tomshardware.com/tech-industry/semiconductors/tsmc-could-charge-up-to-usd45-000-for-1-6nm-wafers-rumors-allege-a-50-percent-increase-in-pricing-over-prior-gen-wafers ; Wccftech, SMICin hinnoittelu: https://wccftech.com/smic-5nm-chip-prices-up-to-50-percent-more-expensive/amp/
- EUROPRACTICE, TSMC:n MPW-aikataulu 2026: https://europractice-ic.com/wp-content/uploads/2025/11/TSMC-Europractice-MPW-schedule-2026.pdf
- Horowitz, ”Computing's Energy Problem”, ISSCC 2014: https://www.Gwern.net/doc/cs/hardware/2014-horowitz-2.pdf
- Tom's Hardware, Huawei Ascendin tiekartta: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/huawei-ascend-npu-roadmap-examined-company-targets-4-zettaflops-fp4-performance-by-2028-amid-manufacturing-constraints ; The Substrate, Kiinan tekoälysirujen toimitusketju: https://www.the-substrate.net/p/where-chinas-ai-chip-supply-chain ; Tom's Hardware, Trainium3: https://www.tomshardware.com/tech-industry/artificial-intelligence/amazon-launches-trainium3-ai-accelerator-competing-directly-against-blackwell-ultra-in-fp8-performance-new-trn3-gen2-ultraserver-takes-vertical-scaling-notes-from-nvidias-playbook

Mahdollisuudet ja lanseerauksen talous

- Webull (Benzinga), Broadcomin tulospuhelu: https://www.webull.com/news/15511095937917952 ; Quartr, Global Unichip Q2 2026: https://quartr.com/events/global-unichip-corp-3443-q2-2026_F9×6NJQY ; Taiwan News, Alchip: https://www.taiwannews.com.tw/news/6370946 ; Design & Reuse, VeriSilicon: https://www.design-reuse.com/news/202530457-surge-in-custom-chip-business-propels-verisilicon-s-q1-revenue-to-double-with-new-orders-skyrocketing-to-8-2-billion-yuan-increased-r-d-investment-leads-to-wider-net-loss-earnings-insight/ ; The Block, Canaanin tekoälyyksikkö: https://www.theblock.co/post/359250/crypto-miner-canaan-to-shutter-non-core-ai-semiconductor-business-unit-amid-strategic-realignment
- Clutch, tekoälykehityksen hinnoittelu: https://clutch.co/developers/artificial-intelligence/pricing ; PixelPlex, lohkoketjukehityksen kustannus: https://pixelplex.io/blog/blockchain-development-cost/
- Hyperbolic, proof of sampling: https://hyperbolic.ai/blog/deep-dive-into-hyperbolic-proof-of-sampling ; Gensyn, Verde: https://www.gensyn.ai/research/verde-a-verification-system-for-machine-learning-over-untrusted-nodes ; kerroksellinen todennus, arXiv 2512.20176: https://arxiv.org/abs/2512.20176v1
- Sherlock, auditointihintojen vertailu vuodelle 2026: https://sherlock.xyz/post/smart-contract-audit-pricing-a-market-reference-for-2026
- Blockworks, Binancen listausstandardit: https://blockworks.com/news/binance-listing-standards-scrutiny ; Cointelegraph, markkinatakaussopimukset: https://cointelegraph.com/magazine/market-maker-deals-quietly-killing-crypto-projects ; Blockworks, Movement: https://blockworks.co/news/movement-rushi-manche-suspension-market-maker-web3port ; Nansen, HIP-3: https://nansen.ai/post/what-is-hip-3-hyperliquid ; The Block, Monad: https://www.theblock.co/post/380094/monad-mainnet-launches

HYÖTYTYÖN TODISTE · KRYPTO × PII

Laskenta konsensuksena

Tekoäly × krypto × sirut 2026, lähtökohtana Pearlin hyötytyön todiste

Raportin jokaisella keskeisellä luvulla on lähde ja päiväys. Kun kirjoittaja johtaa luvun itse, se on merkitty arvioksi; kun vain myyjä ilmoittaa sen, se on merkitty myyjän väitteeksi. Raportti käsittelee vain teknologiaa ja liiketoimintaa.



Tan Shuai

Teknologi ja perustaja · tekoälytutkija ja -kehittäjä

tanshuai.com · i@tanshuai.com

JULKINEN PAINOS · Tiedot 13.11.2026 tilanteen mukaan