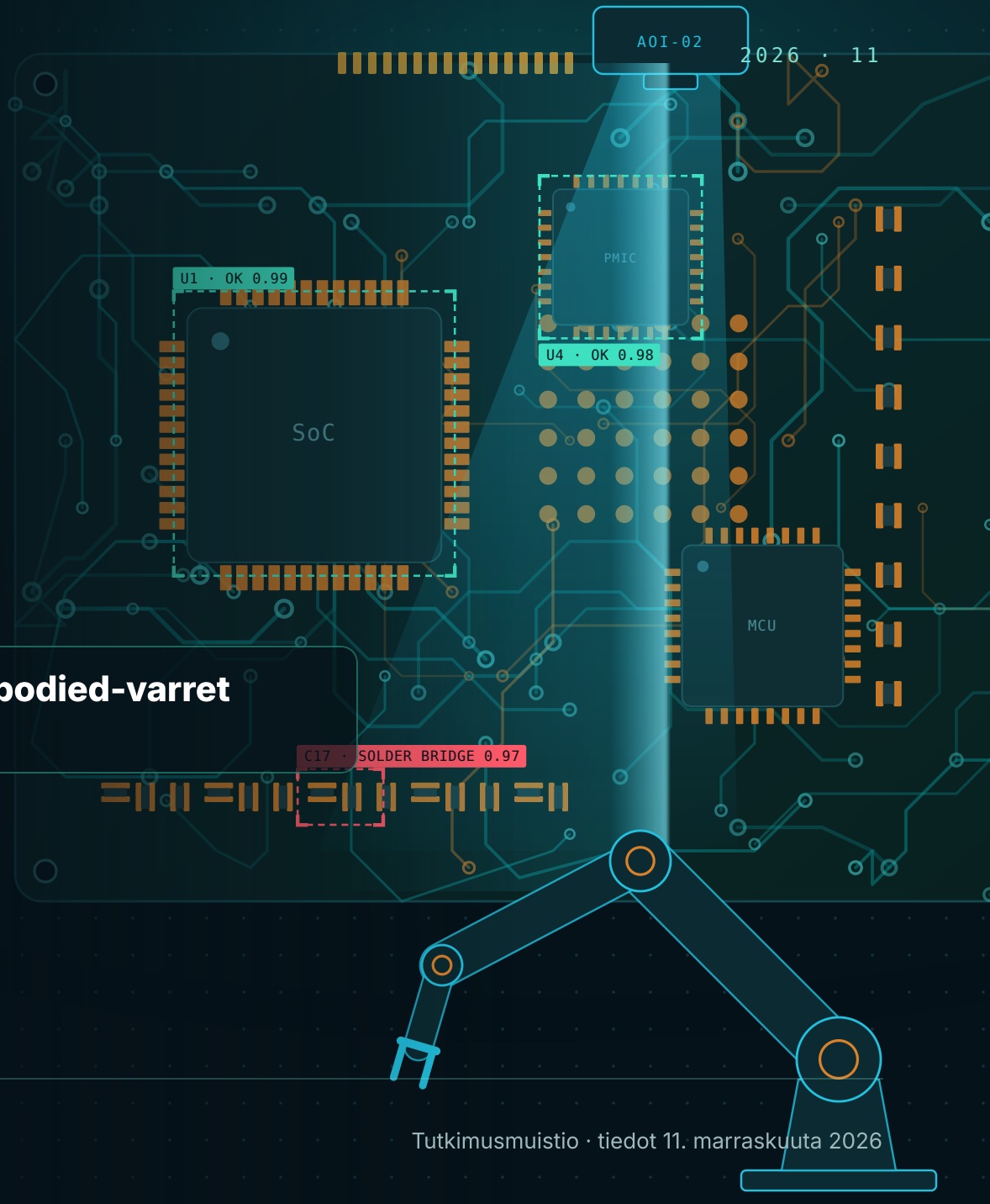
ELEKTRONIIKKAVALMISTUS · AI-TARKASTUS × ROBOTIIKKA

AI SMT-linjalla:

mikä maksaa itsensä takaisin vuonna 2026

AI-näkötarkastus ja robottivarret elektroniikkatehtaissa

Manner-Kiina · Taiwan · Kaakkois-Aasia · Yhdysvallat



KESKEINEN HAVAINTO

AI-tarkistus kannattaa tehdä, suppeasti. Embodied-varret voivat odottaa.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

Tutkimusmuistio · tiedot 11. marraskuuta 2026

Kannattaa tehdä, mutta suppeasti, nyt ja kumppaneiden kanssa

KESKEINEN HAVAINTO

Se, mikä on kypsää vuonna 2026 ja mistä tehtaat maksavat, on AI-tarkistus ja nikkitarkastus AOI-kuvilla sekä ohjelmoitu robottien koneidenpalvelu, ei »suuri malli, joka katsoo piirilevyjä, plus embodied-robotit, jotka poimivat ne«.

0.46–0.65 yr

AI-tarkistuksen takaisinmaksuaika Yhdysvalloissa, Taiwanissa ja Shenzhenissä, 50 000 RMB per linja

≥95% · <20 PPM

Huipputason EMS:n sisäinen AI-tarkistus: rima tier-1-EMS:lle myymiseen

100–700 RMB M

Palveltava kolmannen osapuolen jälkiasennusmarkkina Manner-Kiinassa, kertaluonteinen, ≈5 vuoden ikkuna

0 scores

Teollisuusvirheiden benchmark-pisteet marraskuun 2026 lippulaivoille

1.1–1.5 yr

Cobot-koneidenpalvelusolun takaisinmaksuaika, kaksi vuoroa

0.003–0.14 FTE

Työ, jonka poimintarobottivarsi säästää vuoroa kohden: ei koskaan maksa itseään takaisin

Lähde: raportin tiivistelmä ja luvut 4–5; takaisinmaksu- ja markkinaluvut ovat kirjoittajan arvioita.

Kuusi kysymystä, kuusi vastausta

① Mitä tehtaat ajavat

3D SPI, AOI:t ennen ja jälkeen reflow'n, näytteistetty röntgen, ICT/FCT. Jokaisen AOI:n takana työskentelee tarkistaja; tahti ≈13–22 s per piirilevy.

② Kuinka pitkälle teknologia riittää

Tarkastus on teollisuusluokkaa muodossa ilmaisin + AI-tarkistus + muutama ihminen; ei nollaa ihmistä millään hinnalla. Manner: kotimaiset mallit; Taiwan: asiakas päättää; Yhdysvallat: tullit ja sertifiointi.

③ Paikallinen ja ilmaeristetty

Käytännöllinen; rajat ovat prosessuaalisia. ≤100 W:n tuulettimeton laatikko linjalla, palvelimet palvelinhuoneessa, oletuksena 8-bittinen.

④ Opettaja ja oppilas

Tarkastus: frontier-mallit esimerkitsevät, ihmiset ratkaisevat, golden set portittaa. Varret: opettajat ovat yhä ihmisdemoja ja simulaatiota.

⑤ Kustannukset ja takaisinmaksu

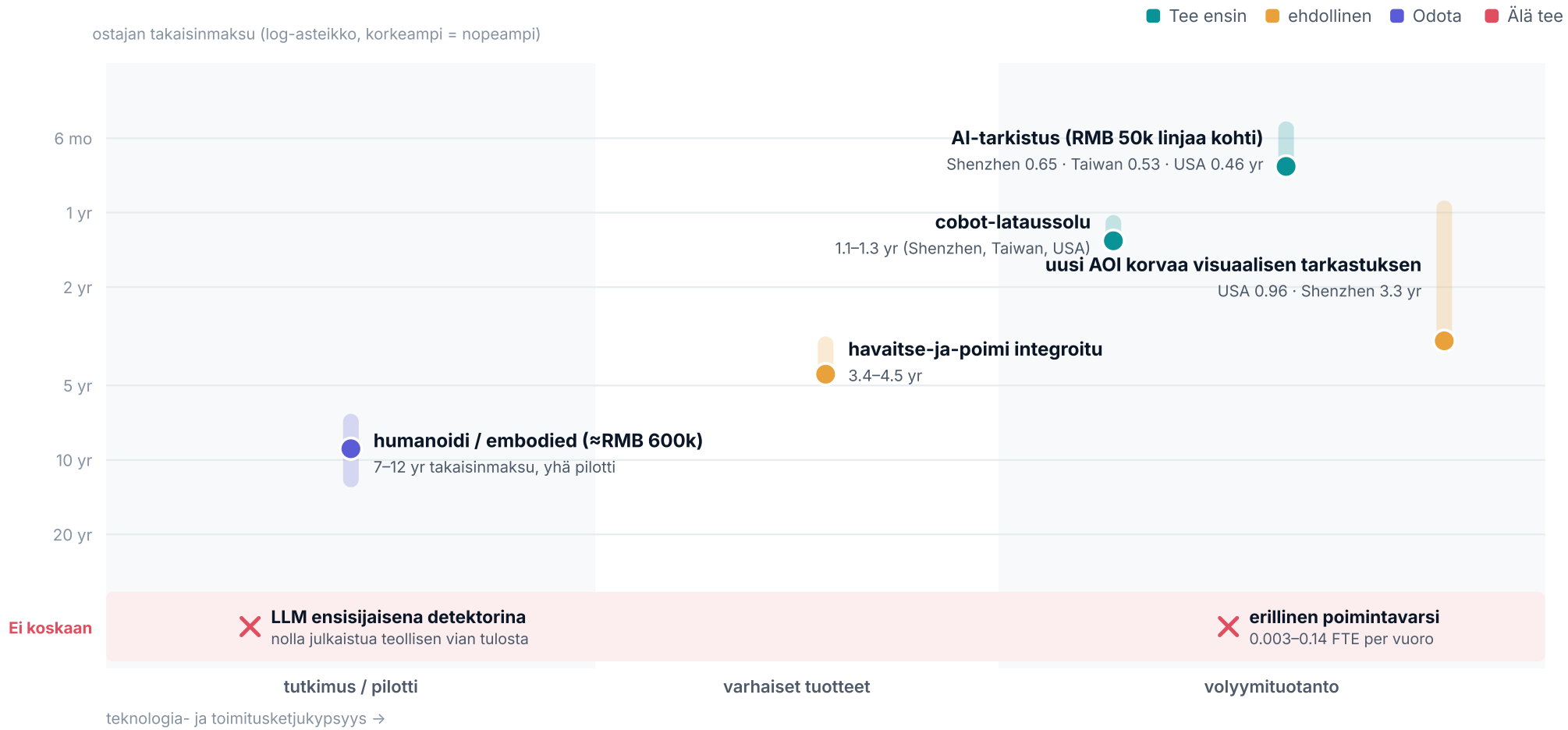
AI-tarkistus vuoden sisällä Yhdysvalloissa, Taiwanissa ja Shenzhenissä; cobot-palvelu 1.1–1.5 vuotta; Kaakkois-Aasia 2–6 vuotta; poimintavarsi ei koskaan.

⑥ Nyt vai odottaa

Todellista kysyntää, täynnä oleva tarjonta; OEM-AI jättää ≈5 vuoden jälkiasennusikkunan. Tarkastus nyt, suppeasti; embodied AI vuosien 2027–28 datan jälkeen.

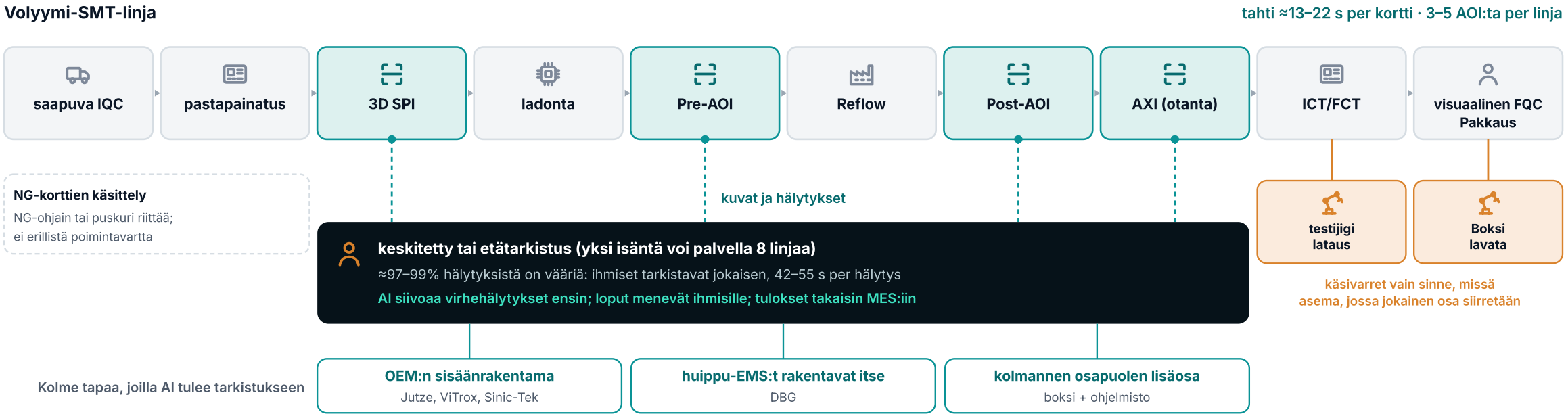
Lähde: raportin tiivistelmä.

Mihin AI sopii tehdaslattialla tänään



Lähde: Takaisinmaksu kirjoittajan mallista (luku 4); kypsyysakseli on kirjoittajan arvio.

Ihmiset istuvat AOI:n takana. Juuri siellä AI astuu mukaan



Lähde: Julkiset tilinpäätökset ja valmistajamateriaali (Huaqin, DBG, Sinic-Tek ym.); kirjoittajan kokoama.

Noin 97–99% AOI-hälytyksistä on virhehälytyksiä

jokaista 100 AOI-hälytystä kohden

≈97–99 ovat vääriä: kortti on itse asiassa kunnossa

todelliset viat 1–3

Tänään: ihmiset tarkistavat jokaisen hälytyksen

42–55 s kukin

≈448 virhehälytystä vuorossa yhdellä vilkkaalla linjalla

→ 5.2–6.8 h vuorossa ≈ 1 kokoaikainen tarkastaja

tapausmiehitys: 2 per vuoro

AI-tarkistus: siivoa virhehälytykset, anna loput ihmisille

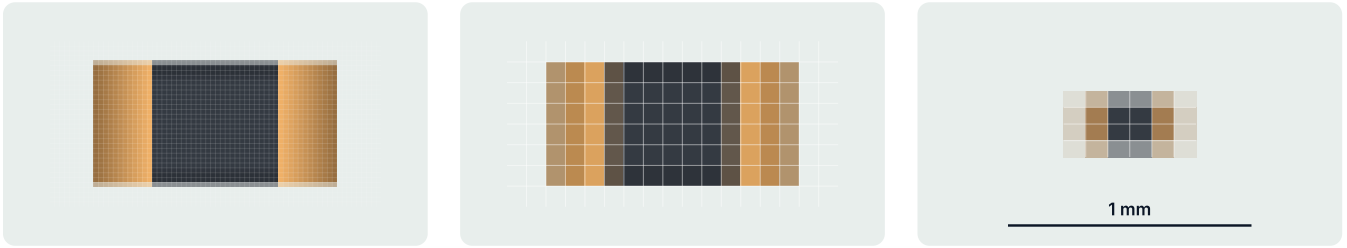
virhehälytykset tai tarkistustunnit leikattu 60–90% (valmistajan väitteitä)

huippu-EMS:n oma benchmark: kattaa ≥95% liputetuista komponenteista, escapes <20 PPM, ihmistarkistus alas ≥85%

vikaantuneena ihmisille, linja jatkaa

Lähde: Siemensin tapaustutkimus, iFactory (valmistajan väite), DBG:n vuosiraportti 2025; tarkistustunnit kirjoittajan arvio.

Yleiskäyttöinen kamera ei ole AOI



AOI: 8–20 µm pikseliä kohden
0402 ≈ 100×50 px

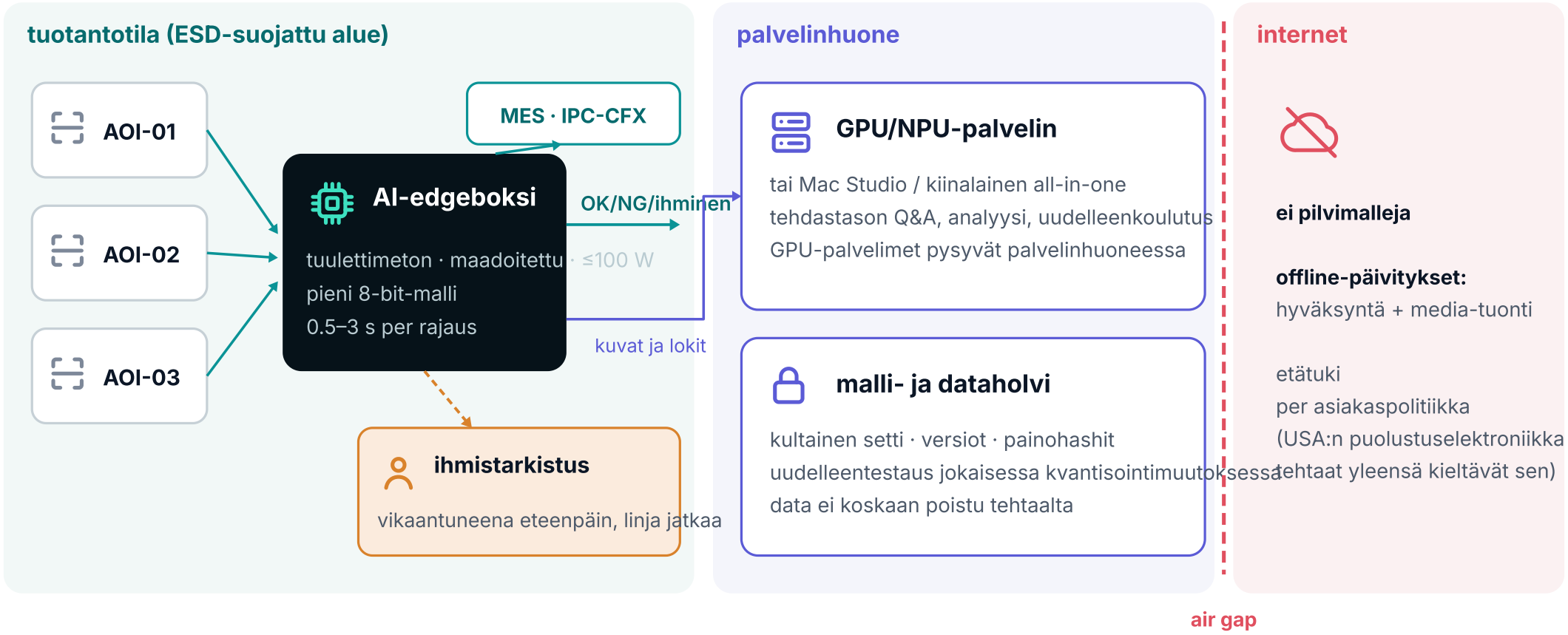
4K-kamera 300 mm -paneelin yli: ≈78 µm/px
0402 kutistuu ≈13×6 px: riittää läsnäoloon ja karkeaan siirtymään

sama kamera 01005:llä
≈5×3 px: käytännössä näkymätön

- **AOI:** 8–20 µm per pikseli, monikulmainen monivärivalaistus ja strukturoitu valo
- **4K 300 mm:n paneelilla:** ≈78 µm per pikseli; 0402 on ≈13×6 pikseliä, riittää läsnäoloon, ei juotoksiin
- **01005:** ≈5×3 pikseliä, käytännössä näkymätön
- **Siis:** AI toimii AOI:n omilla kuvilla; se ei korvaa optiikkaa

Lähde: Circuits Assembly; kirjoittajan laskelma 300 mm -paneelille ja 4K-sensorille. Pikseliruudukot ovat havainnollistavia.

Ilmaeristetty käyttöönotto: laatikko päättää, palvelinhuone vastaa



Lähde: Kirjoittajan synteesi (luku 2).

Puhdas- ja ESD-vyöhykkeet ratkaisevat, missä laskenta sijaitsee; nopeusrajat riippuvat käytöstä

puhtausvaatimukset →

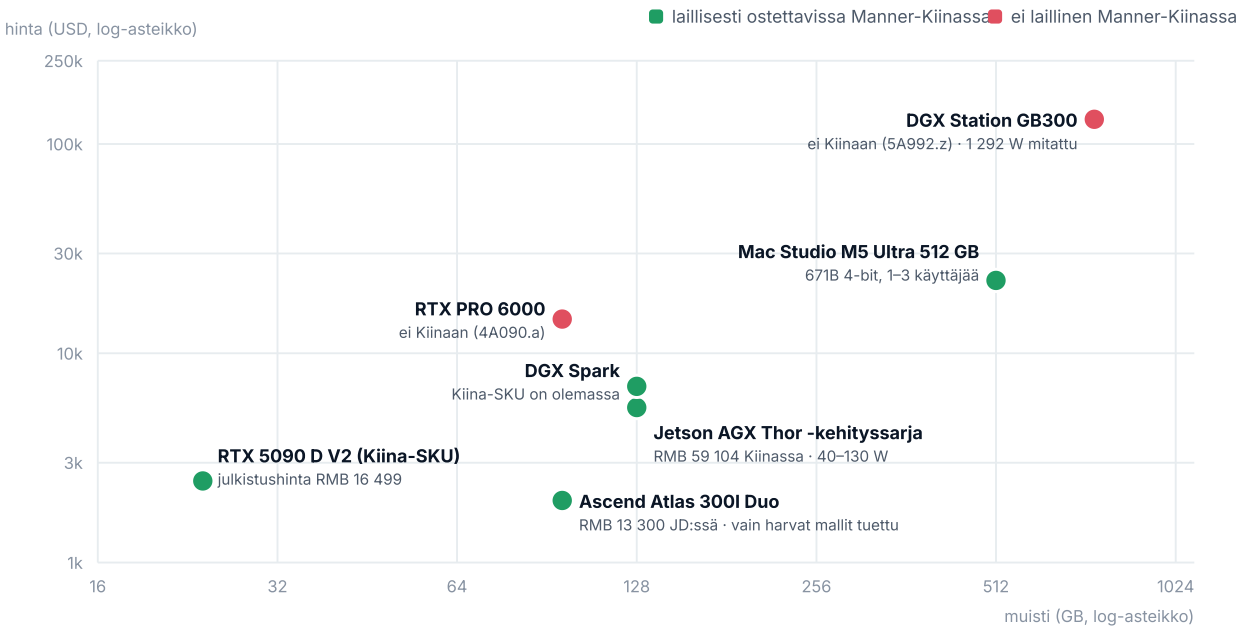
tavallinen SMT/PCBA-halli	puhdastila ISO 7–8	miniympäristö ISO 5–6	fab, ISO 5 tai puhtaampi
ESD-suojattu alue (≈ISO 8) **RH 40–60%**	lääketiede, kameramoduulit, EV **puhdastila + ESD**	paljas siru, wire bond, optiikka **miniympäristö**	SEMI E78 ESD · E187/E188 kyber **fab-kohtaiset suunnitelmat**
line-side-laskenta tuulettimeton, maadoitettu metalliboksi AOI:n tai tarkistuspisteen vieressä	**line-side-laskenta** tuulettimeton, tiivistetty IP65/66, helppo pyyhkiä; pyydä ISO 14644-14 -dataa	**line-side-laskenta** vain kamerat ja valot; laskentaboksi ulkopuolella	**line-side-laskenta** vain työkaluun integroidut, fab-sertifioidut ohjaimet
GPU/NPU-palvelin palvelinhuone tai ilmastoitu IT-räkki	**GPU/NPU-palvelin** puhdastilan ulkopuolella, verkko sisään	**GPU/NPU-palvelin** palvelinhuone	**GPU/NPU-palvelin** nestekierroksella jäähdytetyt räkit subfabissa tai datakeskuksessa



Keskeinen kohta Tavallinen SMT-halli on ESD-suojattu alue, ei luokiteltu puhdastila: tuulettimettomalla laatikolla maadoitetussa metallikotelossa on paikka AOI:n tai tarkistuspisteen luona, ja GPU-palvelimet eivät koskaan mene linjalle.

Lähde: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, SEMI-standardit ja valmistajamateriaali; kirjoittajan kokoama. Kirjoittajan synteesi (luvut 1–2).

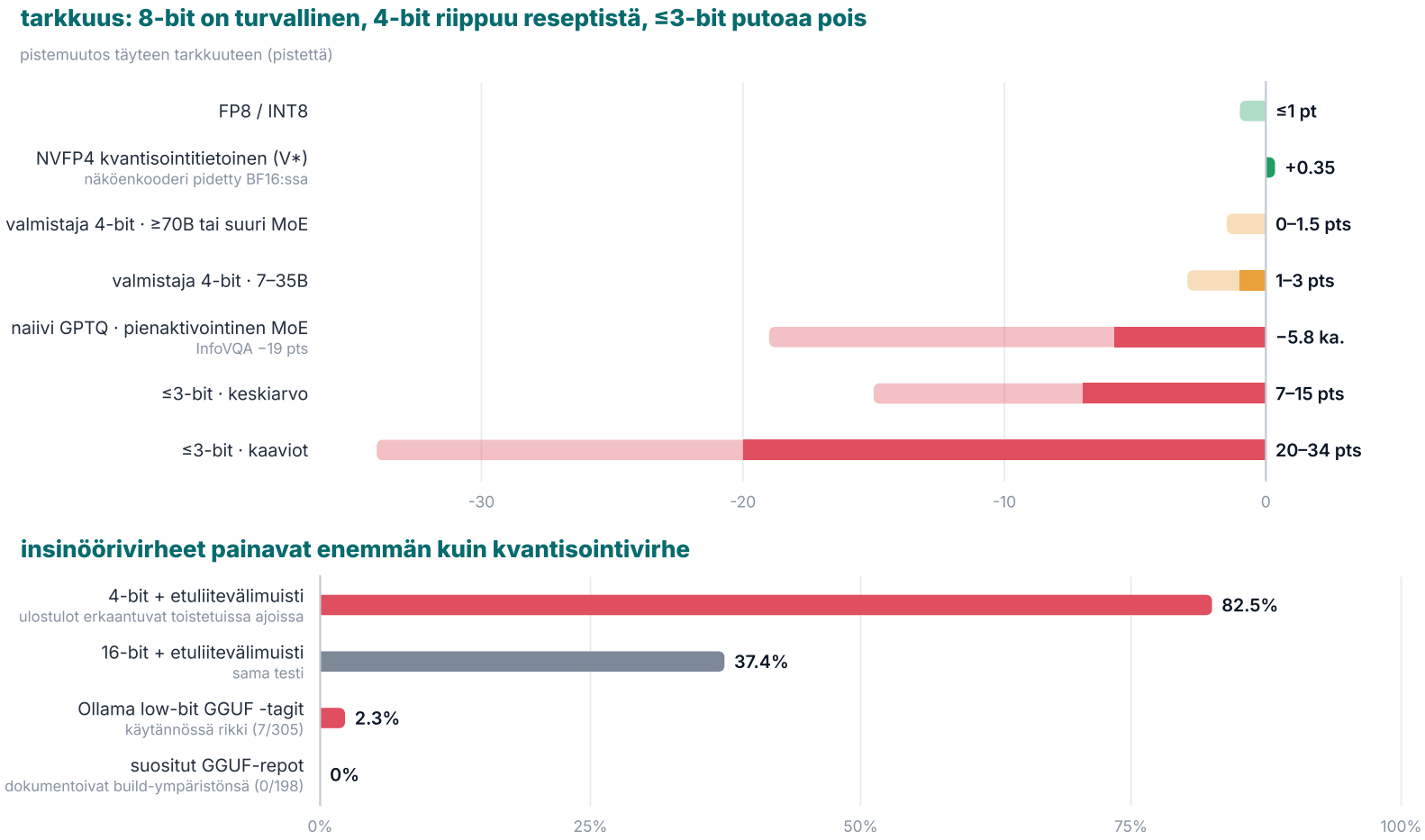
Vientisäännöt valitsevat laitteiston lyhytlistan ennen kuin benchmarkit



- **Jetson Thor:** 128 GB, 40–130 W; 2–8B-näkömallit AOI-rajauksilla, 3B-luokan VLA:t reaaliajassa; RMB 59,104 Kiinassa
- **Mac Studio 512 GB:** DeepSeek 671B 4-bittisenä 1–3 käyttäjälle
- **DGX Station:** 5A992.z, ei mantereelle; 743B-malli antaa 32 käyttäjälle ≈4 tokenia/s kullekin
- **Kotimaiset kiihdyttimet:** kaksi kahdeksan kortin Ascend-palvelinta täysikokoiseen monen käyttäjän Q&A:han

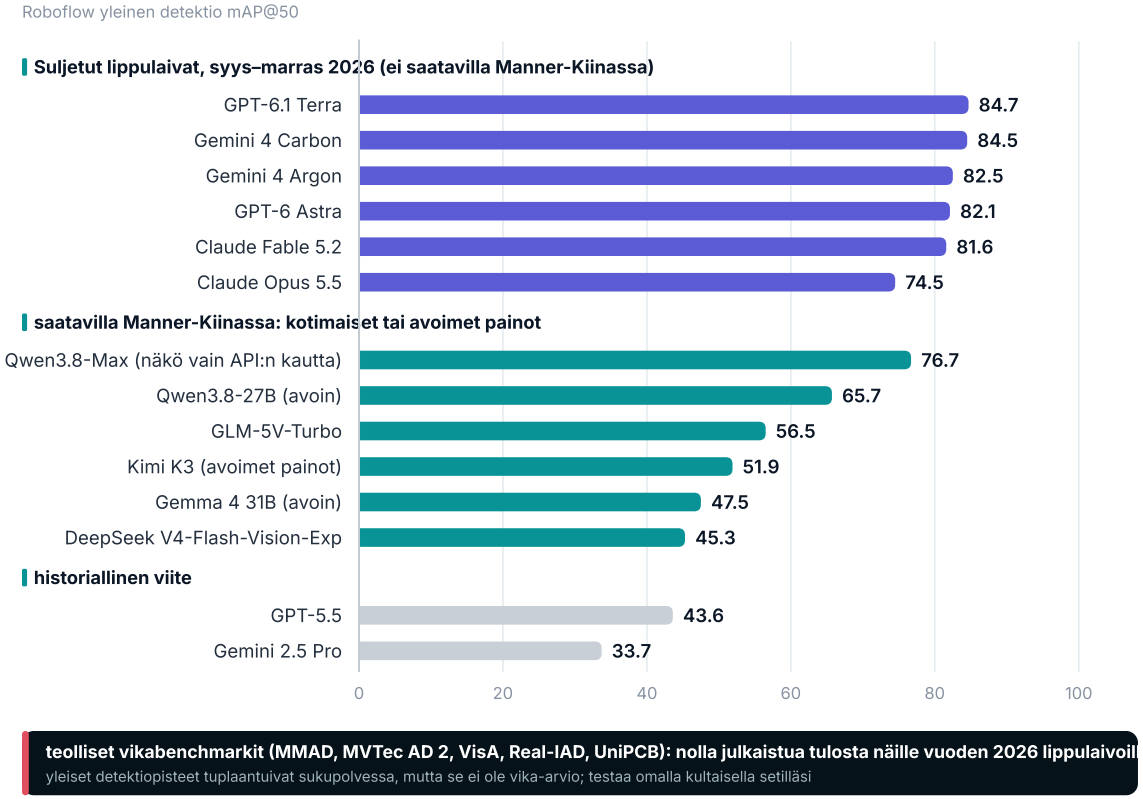
Lähde: NVIDIAn vientiluokitukset, Apple, RS China, JD.com ja arvosteluhinnat (marraskuu 2026). StorageReview (elo ja loka 2026); ServeTheHome. Yhden lähteen riippumattomat testit.

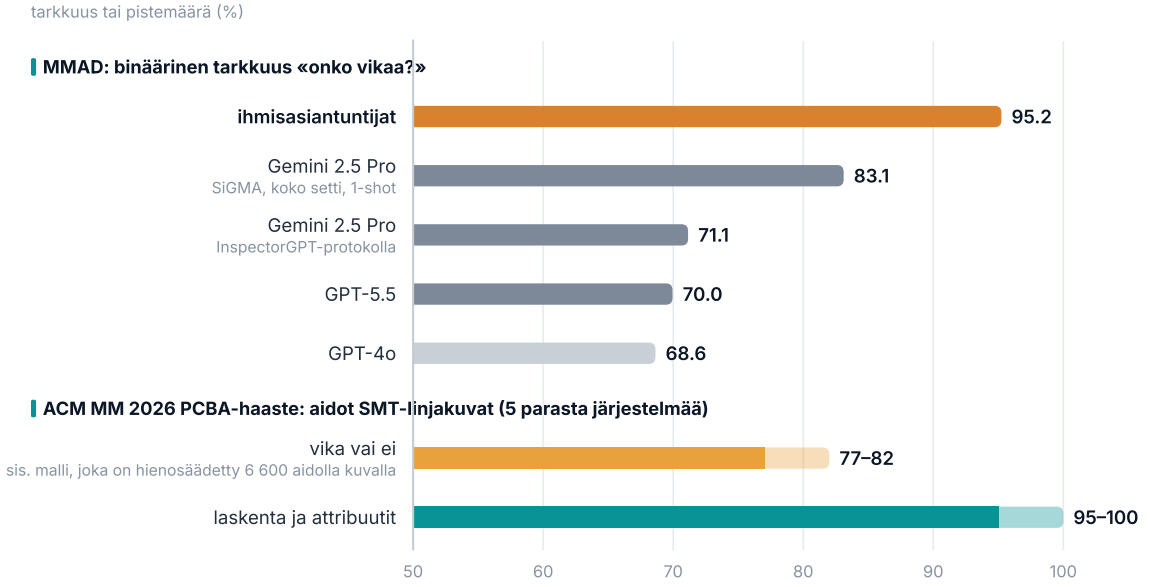
Kvantisointi: 8-bit on turvallinen, 4-bit riippuu reseptistä, 3-bit ja alempi putoaa pois



Lähde: NVIDIA Nemotron -mallikortti, VLMQ, VEQ, arXiv 2609.05881, 2610.19498, 2609.04748 ym.

Yleinen konenäkö kaksinkertaistui sukupolvessa; teollisuusvirheiden pisteet puuttuvat





teolliset vikabenchmarkit (MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): nolla julkaistua tulosta näille vuoden 2026 lippulaivoil
yleiset detektiopisteet tuplaantuivat sukupolvessa, mutta se ei ole vika-arvio; testaa omalla kultaisella setilläsi

Lähde: Roboflow Vision Evals; mallijulkaisumuistiot; MMAD, MVTec AD 2 ja muut benchmarksivut (11.11.2026). MMAD; SiGMA; InspectorGPT; ACM MM 2026 PCBA -haaste.

Frontier-mallit esimerkitsevät, ihmiset ratkaisevat, golden set portittaa

tarkastus: frontier-malli esimerkittää, ihmiset päättävät, kultainen setti portittaa



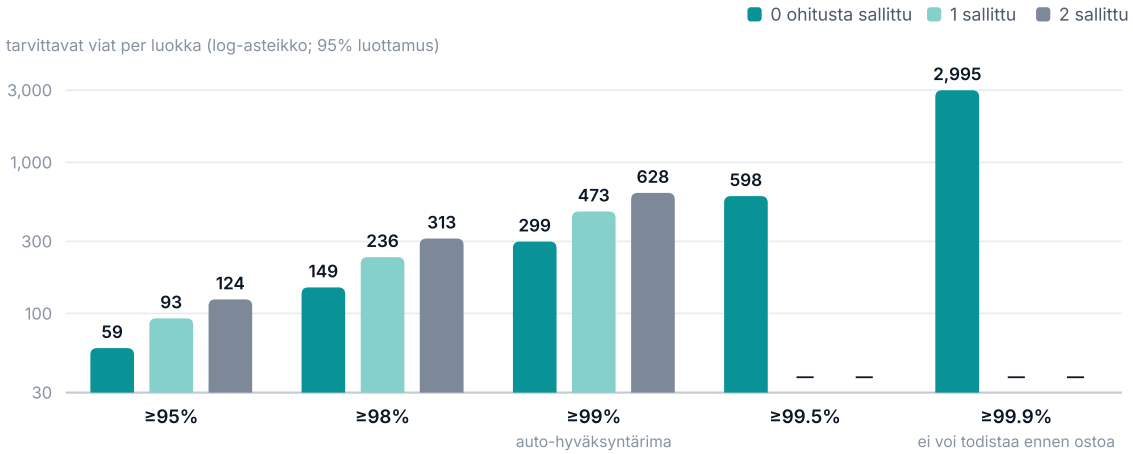
rima opettajan merkkien automaattiselle hyväksynnälle

per luokka: ≥299 vikaa, nolla ohitusta (recall ≥99% 95%:n luottamuksella), yhdenmukaisuus ei huonompi kuin ihminen–ihminen; muuten vain esimerkintä

käsivarret: opettajat ovat yhä ihmisdemot, RL oikealla robotilla ja simulaatio

frontier-mallit auttavat vain offline: ohjelmointi ja vaihdot

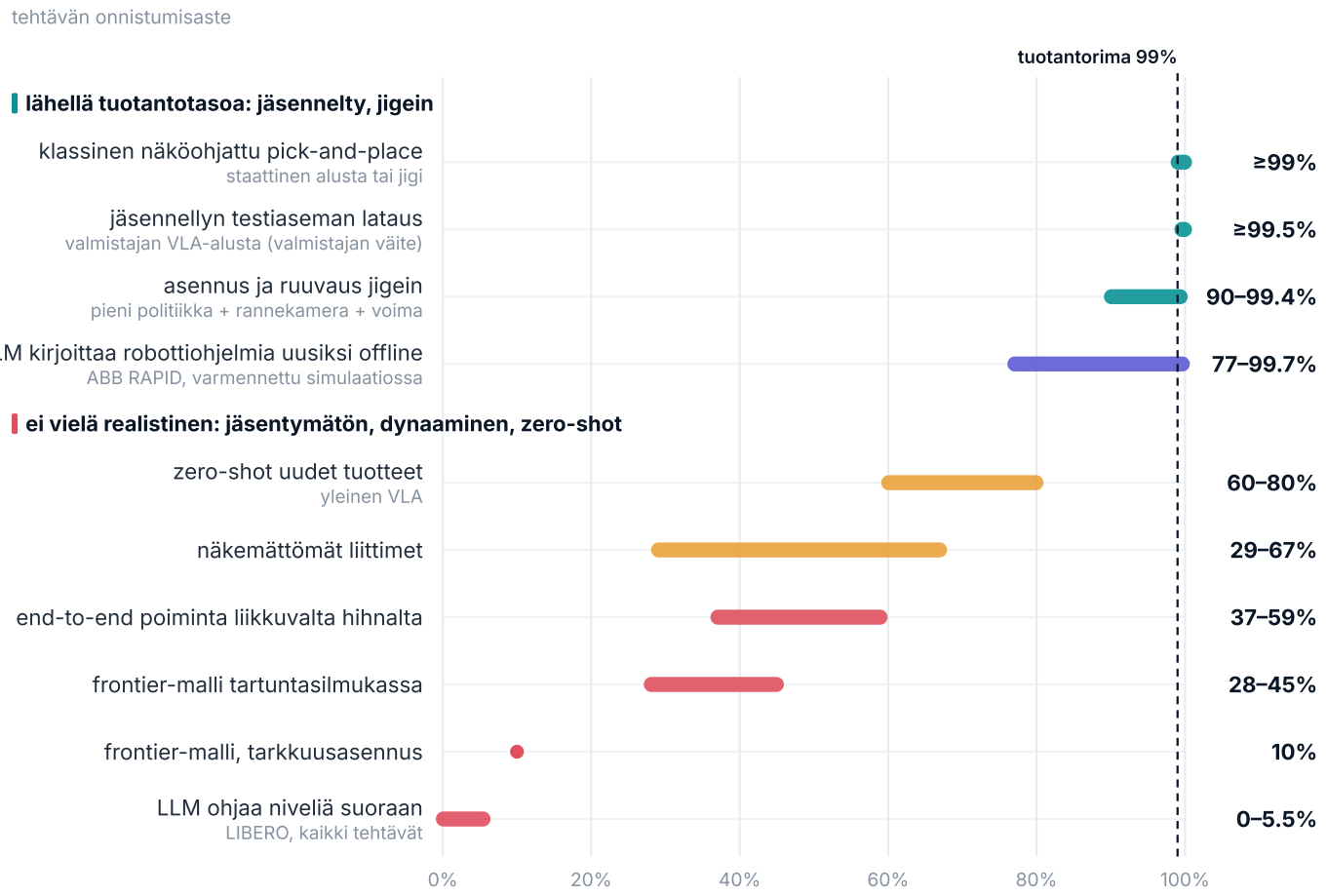


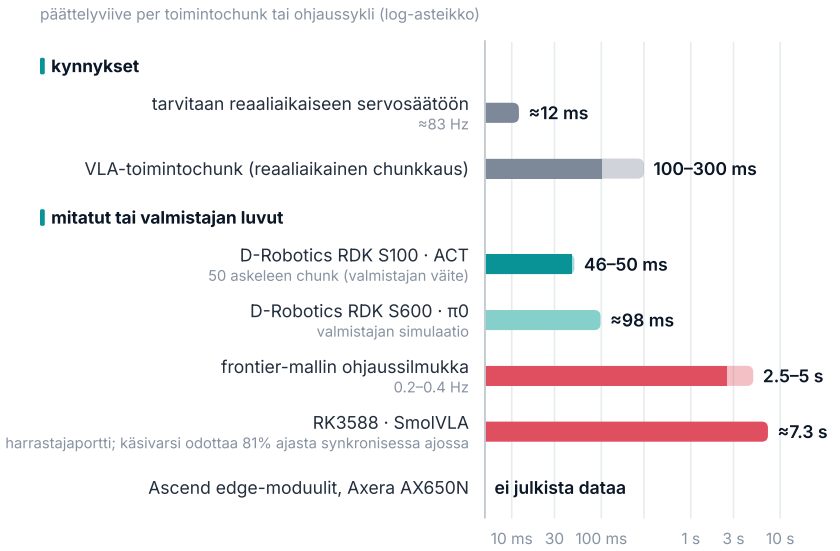


Keskeinen kohta Hyväksy opettajan merkinnät automaattisesti vain luokalle, jossa on nolla ohitusta ≥299 golden-vialla (99% recall 95%:n luottamuksella); kriittiset luokat, kuten oikosulut, puuttuvat osat ja polariteetti, tarvitsevat enemmän.

Lähde: Kirjoittajan synteesi (luku 3); kustannukset ja otoskoot ovat arvioita. Tarkat binomiset luottamusvälit (95%).

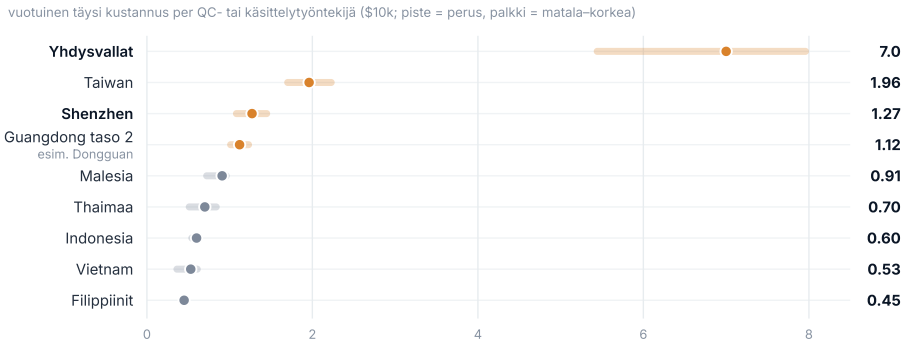
Robottioppilaat: lähellä tuotantotasoa vain, kun asema on jäsennelty

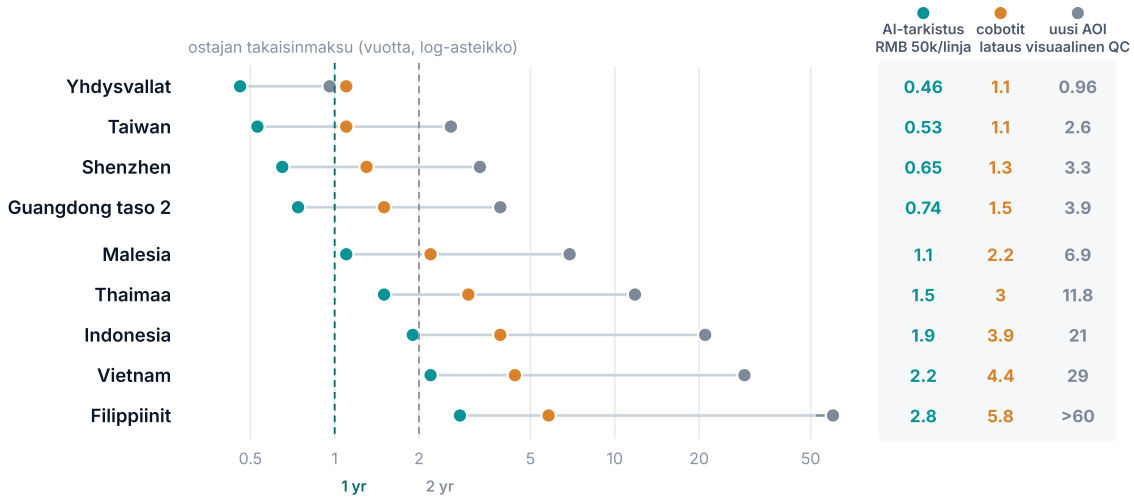




Lähde: Luvussa 3 siteeratut paperit ja valmistajamateriaali; osa luvuista on valmistajan väitteitä. D-Robotics-dokumentaatio ja -foorumi (valmistajan luvut); GitHub-yhteisöportit; Anthropicin tutkimus.

AI-tarkistus maksaa itsensä takaisin kuukausissa; koneidenpalvelu noin vuodessa



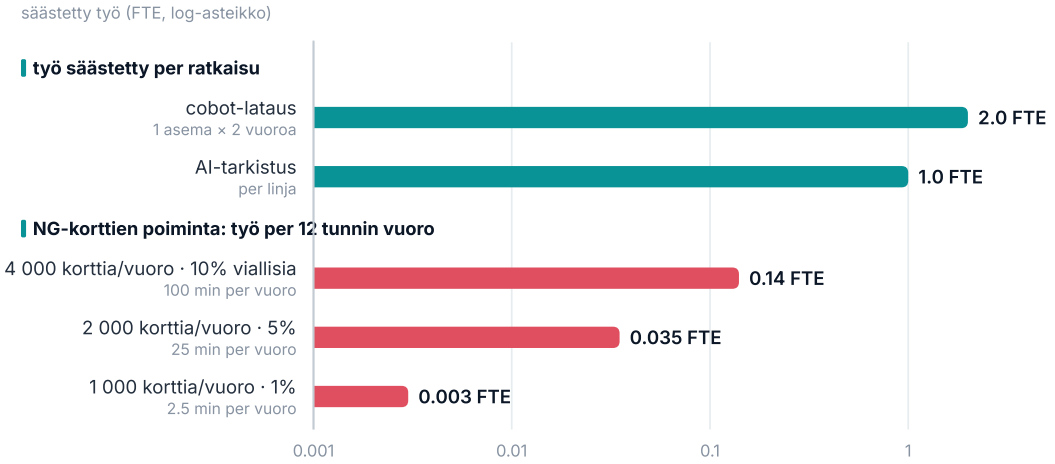


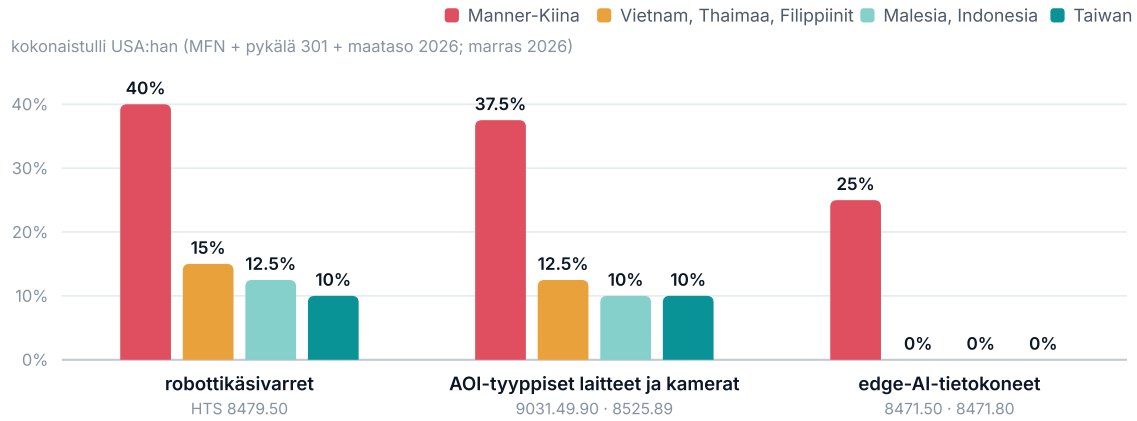
robottivarsi vain NG-korttien poimintaan ei koskaan maksa itseään takaisin missään
first-pass yield yli 90%: poiminta vie vain 0.003–0.14 FTE per vuoro

Keskeinen kohta RMB 50,000 per linja -hinnalla AI-tarkistus maksaa itsensä takaisin 0.46 vuodessa Yhdysvalloissa, 0.53 Taiwanissa, 0.65 Shenzhenissä ja 2.2 Vietnamissa; kahden vuoron cobot-palvelusolu 1.1–1.5 vuodessa [estimates].

Lähde: Shenzhenin virallinen palkkaohje, Taiwanin työministeriö, JETRO, BLS; kirjoittajan arviot. Kirjoittajan malli: RMB 50k AI-tarkistusboksi linjaa kohden; cobot-lataussolu RMB 200k tai $140k, kaksi vuoroa.

Poimintavarsi ei koskaan maksa itseään takaisin; se, missä varsi valmistetaan, muuttaa sen Yhdysvaltain tullia





Keskeinen kohta Yli 90%:n first-pass-saannolla NG-piirilevyjen poiminta vie 0.003–0.14 henkilöä vuoroa kohden, joten NG-ohjain tai -puskuri hoitaa työn; mantereella valmistettu varsi maksaa myös noin 40% yhdistettyä Yhdysvaltain tullia.

Lähde: Kirjoittajan arviot. USITC Harmonized Tariff Schedule luku 99; Federal Register; USTR (marraskuu 2026).

Todellinen mutta pieni: 16 000 palveltavaa linjaa, ≈RMB 320M kertaluonteisesti, viiden vuoden ikkuna

Kiinan SMT-linjat

40 000 riviä

35k–46k

× 80% × 50%

ei AI:ta vielä: 75–85%
tavoitettavissa: 40–60%

huollettava

16 000 riviä

10.5k–23.5k

× RMB 20k

RMB 10–30k kertaluonteine

kertaluonteinen markkina

RMB 320M

RMB 105–705M

÷ ≈5 vuotta

kutistuu 8–12%/yr

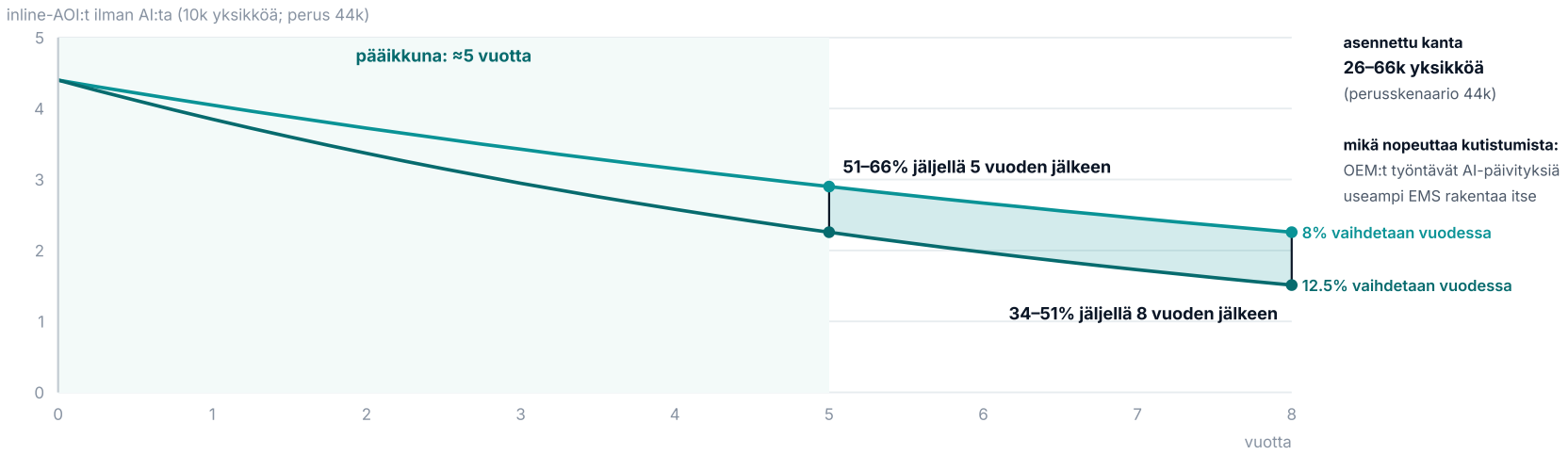
5 vuoden ikkuna

RMB 64M/yr

RMB 21–141M

tulokas, joka saa 2–5% huollettavista linjoista 3 vuodessa: ≈320–800 linjaa, ≈RMB 2–5M vuodessa

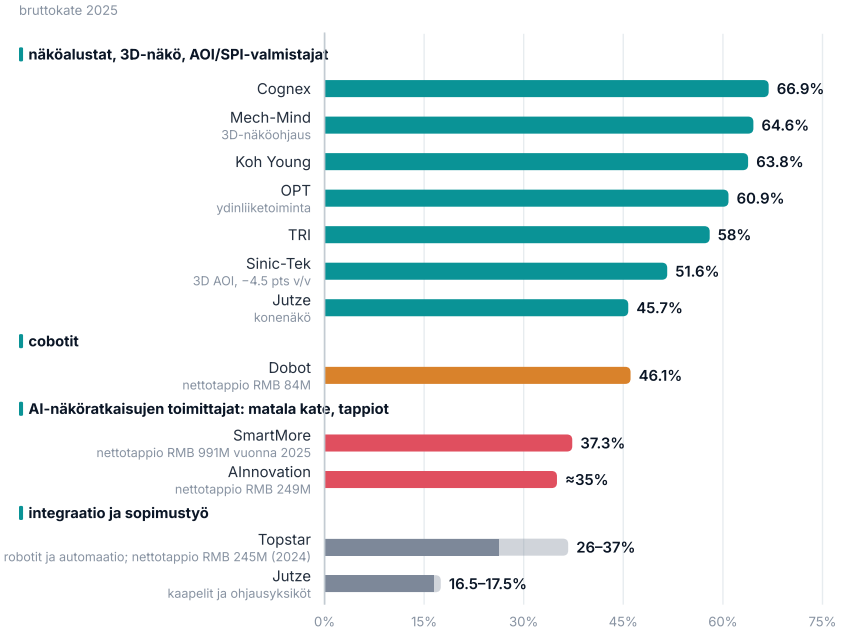
tilauksena (RMB 5k per linja per vuosi): RMB 1.6–4M toistuvaa, vain 0.3–2.3% IDC:n ennusteesta Kiinan teolliselle AI-QC:lle



Lähde: NVR (perus 2020); kirjoittajan arviot. Kirjoittajan arviot; asennettua kantaa ja osuuksia ei ole riippumattomasti varmennettu.

Tarkistuskiila on piiritetty; kate on tuotteistetussa laitteistossa

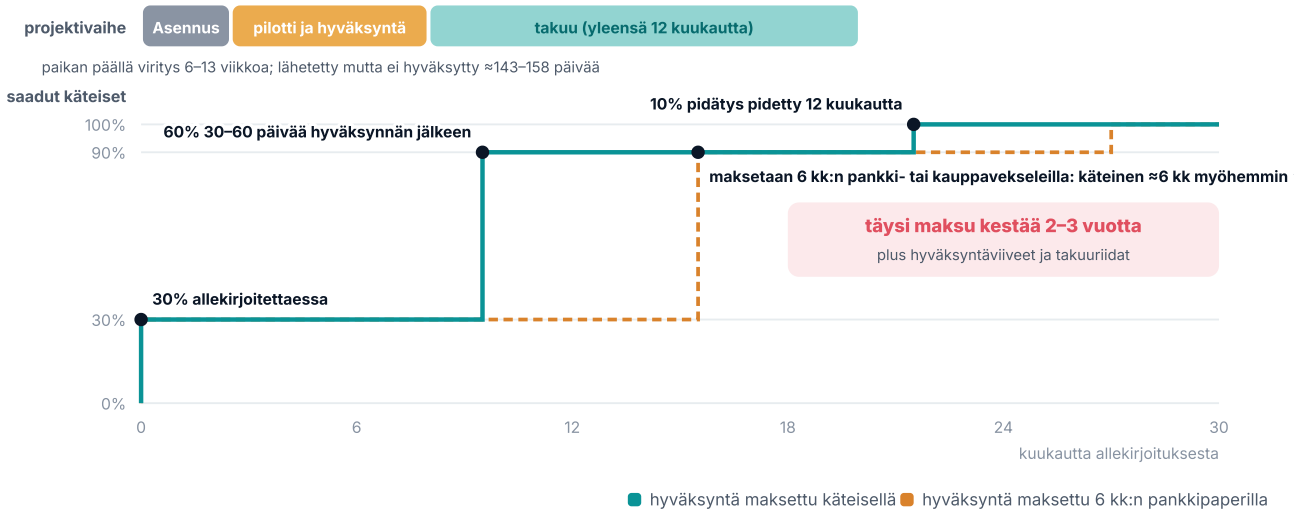


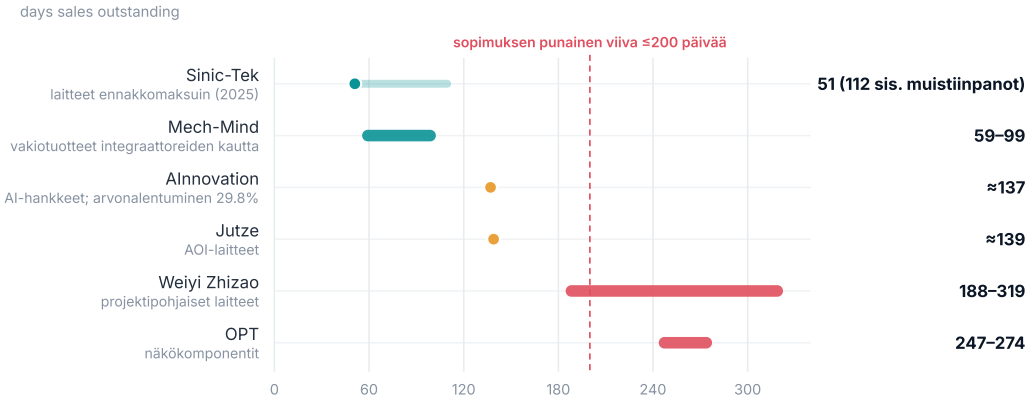


Todisteet Johtavan AI-konenäkötoimittajan vuoden 2025 liikevaihto oli 1,086 miljardia RMB ja nettotappio 991 miljoonaa RMB; lähimmän listatun vertailuyrityksen 3C-liikevaihto laski 79.9% vuodentakaisesta tammi–toukokuussa 2026.

Lähde: Jutzen, Sinic-Tekin ja DBG:n vuosiraportit; Hikvisionin ja SmartMoren julkinen materiaali; kirjoittajan kokoama. Vuoden 2025 vuosiraportit tai esitteet.

Ostajat maksavat 30/60/10; täysi maksu kestää kaksi–kolme vuotta





Keskeinen kohta 30% tulee tilauksen myötä, 60% noin neljä–yhdeksän kuukautta myöhemmin ja viimeiset 10% noin 16–21 kuukautta myöhemmin; ensimmäisestä pilotista suuressa EMS:ssä täyteen maksuun voi kulua kahdesta kolmeen vuotta [estimate].

Lähde: Sinic-Tekin vastaus tiedusteluun, Mech-Mind, GKG, JT ja muut asiakirjat; kaavio tavanomaisin ehdoin, ajoitus arvioitu. Yhtiöasiakirjat; saamiset (sis. sopimusvarat) ÷ liikevaihto × 365.

Suunnittele offline-tilassa, toimi pienillä politiikoilla, pidä liike ja turvallisuus deterministisinä

Kerros	mitä se tekee ja kuinka pitkälle näyttö riittää	aika-asteikko · kuka omistaa
Suunnittelu L4	**frontier-mallit (offline)** kirjoita tai muuta robottiohjelmia offline, vaihdot, vikojen selitys kirjoittaa ABB RAPID -ohjelmia uusiksi 77–99.7%, otetaan käyttöön simulaation jälkeen ohjaussilmukka vain 0.2–0.4 Hz: pysyy reaaliajan ulkopuolella	**sekunneista minuutteihin** mallijätit
taidot / politiikka L3	**ACT, diffuusiopolitiikat, pienet VLA:t** jäsennellyt asemat jigein 90–99.4% edge-sirut: Jetson Thor, D-Robotics RDK, Ascend, Rockchip	**toimintochunkit 100–300 ms** siruvalmistajat · robottivalmistajat
liikkeenohjaus L2	**robottiohjain** radat, servo, voimansäätö, törmäystarkistukset deterministinen koodi; opitut politiikat vain asettavat tavoitteet	**millisekunteja (reaaliaika vaatii >83 Hz)** robottivalmistajat
Turvallisuus L1	**turva-PLC, skannerit, voima- ja nopeusrajat** sertifioitu ISO 10218-1/-2:2025:n ja paikallisten sääntöjen mukaan ei ML:ää turvatoiminnoissa: EU:n ilmoitetun laitoksen arviointi 20.1.2027 alkaen	**kova reaaliaika** sertifioitu robotti + integraattori

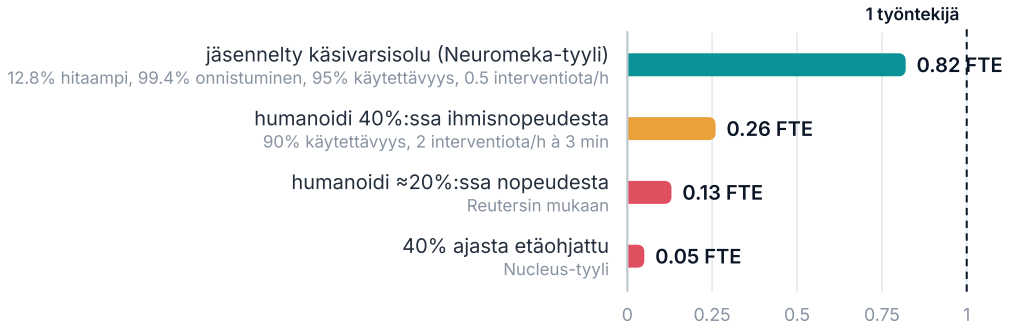
pienet yritykset voittavat integraatiossa ja anturilaitteistossa: vie opittu havainnointi ja pienet politiikat sertifioituihin robottisoluihin, asema kerrallaan

	onnistumisaste	tahti	interventiot / etäohjaus	käytettävyys / viat	volyymiajo
Figure 02 @ BMW	vain tavoite >99%/vuoro	vain tavoite 84 s	vain tavoite 0/vuoro	e/t	1 250 h
Agility Digit @ GXO	e/t	e/t	e/t	e/t	100 000 laatikkoa
Apptronik Apollo @ Mercedes	e/t	e/t	e/t	e/t	e/t
Agile ONE @ Audi	e/t	e/t	e/t	e/t	e/t
Nucleus (nimetön tehdas)	e/t	e/t	≈40% etäohjattu*	e/t	≈2 h videota
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99%	18–20 s per vaihe	e/t	yksi vika, 2 min	64+ h
Neuromekan hybridisolu	322/324	12.8% hitaampi	e/t	e/t	324 sykliä
π0.6 @ asiakkaan toimipiste	—	—	96.4% autonominen	e/t	1 vuoro

* menetelmää ei kerrottu

julkistettu (enimmäkseen valmistajan väitteitä) · vain tavoitteet · e/t

netto korvattu työ per robotti per vuoro



Lähde: kirjoittajan synteesi (luvut 3, 6) ja arviot; ISO 10218:2025; EU:n koneasetus; julkinen aineisto BMW:ltä, Figurelta, Agilityltä, Mercedes-Benziltä ja muilta.

Rakenna suppeasti, todista se tehtaan omilla kuvilla, sitten skaalaa

Rakenna	AI-tarkistus ja vikaluokittelu AOI-kuvilla keskikokoisille EMS:ille, joilla on vanhoja tai sekamerkkisiä AOI:ita; tarkastus, jonka AOI kattaa huonosti; cobot-solut, joissa jokaista osaa käsitellään
Älä rakenna	Yleinen AI + varsi -alusta; LLM ensisijaisena tarkastajana; poimintavarsi SMT-linjalla; humanoidit ja robots-as-a-service; frontier-mallit ohjaussilmukoissa tai turvatoiminnoissa

Pilotti

1. **Viikot 0–2:** datasopimus, vikaluokat, lähtötaso
2. **Viikot 1–4:** golden set, merkitään sokkona ja ratkaistaan
3. **Viikot 2–4+:** varjotila, vertaillaan luokittain
4. **Viikot 4–8:** avustettu ajo vain hyväksytyillä luokilla
5. **Sitten:** kirjallinen hyväksyntä, skaalaa linja kerrallaan, validoi uudelleen jokaisen muutoksen yhteydessä

Turvallisuus Ei koneoppimista turvatoimintojen sisällä: EU vaatii ilmoitetun laitoksen arvioinnin 20. tammikuuta 2027 alkaen, eivätkä AI-sertifiointireitit vakiinnu ennen vuosia 2027–2029.

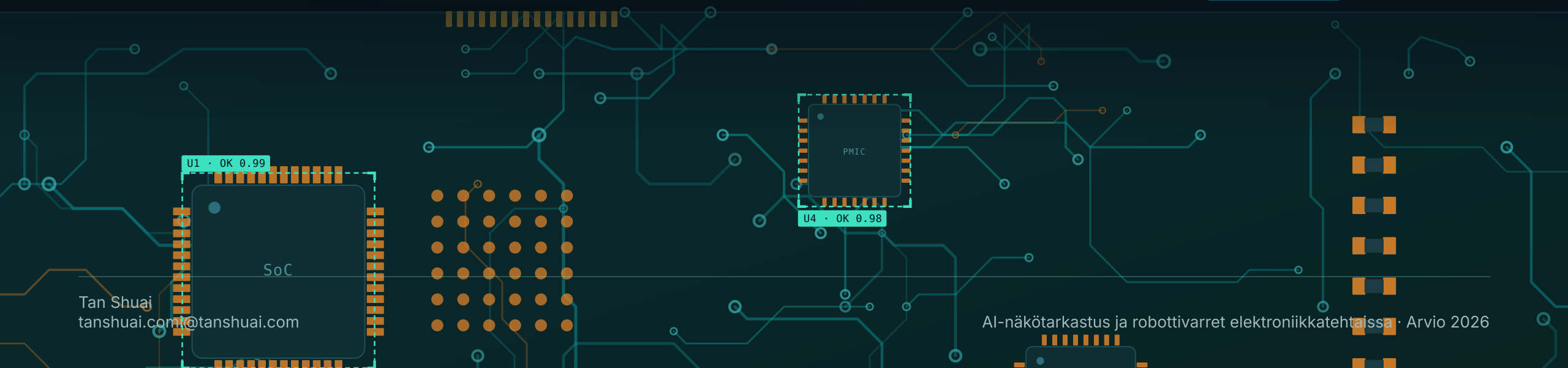
Lähde: raportin luvut 6–7 ja tiivistelmä; ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC ja kansalliset sääntelytietokannat.

TEKIJÄSTÄ

Tan Shuai

Teknologi ja perustaja, yli kahdenkymmenen vuoden kokemuksella siruista, laitteistoista ja järjestelmäohjelmistoista sekä 20 myönnetyllä patentilla. Hänen työnsä on vienyt hänet Piilaaksoon, New Yorkiin, Chicagoon, Taiwaniin, Suurlahtialueelle (Shenzhen ja Hongkong), Vietnamiin ja Malesiaan, pitkällä painotuksella edistyneeseen valmistukseen ja toimitusketjuihin. Nykyään hän työskentelee AI-tutkijana ja -kehittäjänä keskittyen siihen, miten AI:ta käytetään tehtaan lattialla.

Täysi raportti (kaikki kuvat, taulukot ja lähteet) ja artikkeli ovat osoitteessa tanshuai.com. Hän ottaa mielellään vastaan keskusteluja valmistuksessa AI:n parissa työskentelevien kanssa: i@tanshuai.com



Tan Shuai
tanshuai.com/i@tanshuai.com