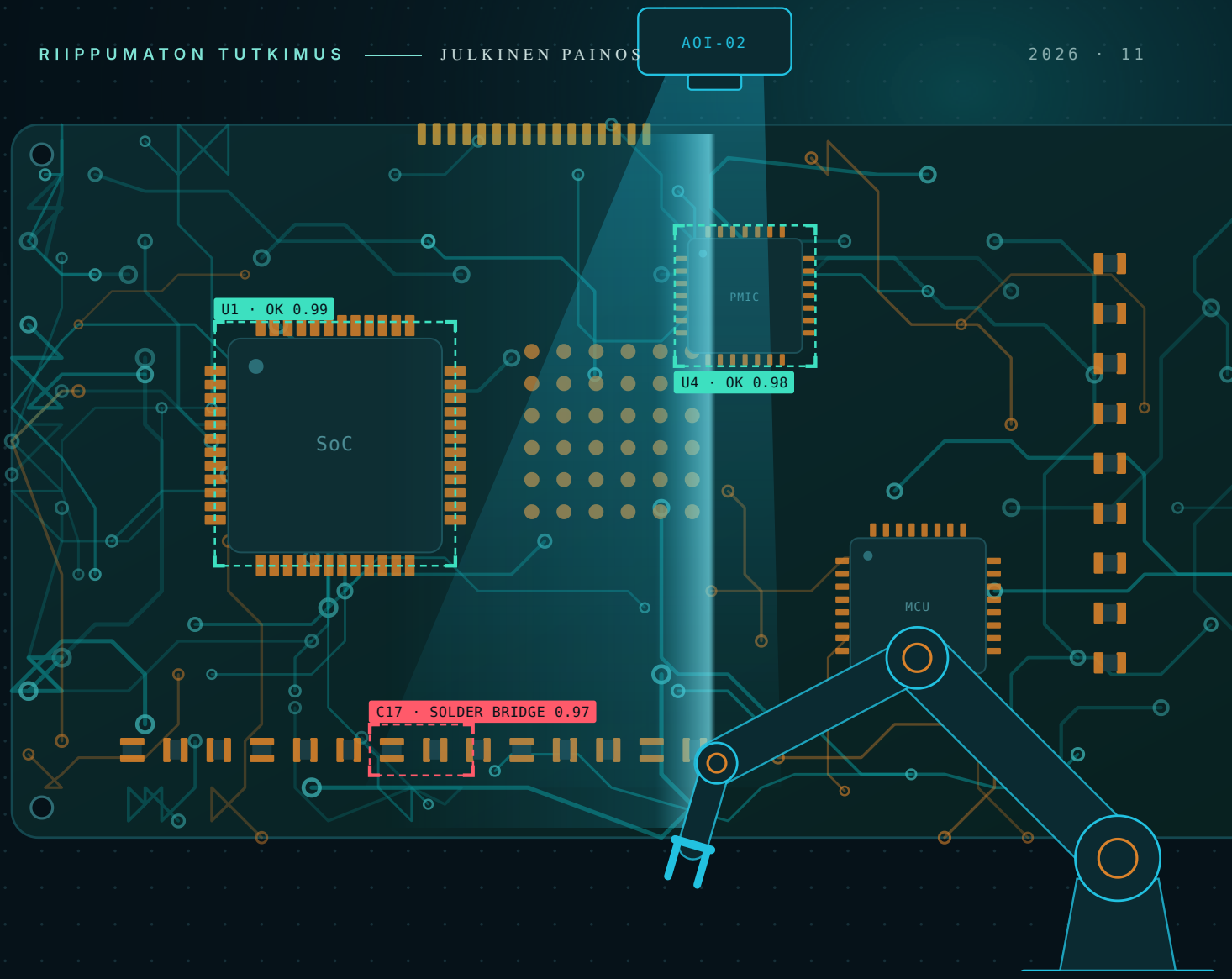


ELEKTRONIIKKAVALMISTUS · AI-TARKASTUS × ROBOTIIKKA

AI-näkötarkastus ja robottivarret elektroniikkatehtaissa

Arvio vuodelta 2026

Valtavirran konfiguraatiot · Alueellinen toteutettavuus · Paikallinen käyttöönotto · Opettaja–oppilas-mallit
Sijoitetun pääoman tuotto · Kilpailu · Se, mihin vain pilotti voi vastata

KESKEINEN HAVAINTO

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

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

Tiedot 11. marraskuuta 2026
Manner-Kiina · Taiwan · Kaakkois-Aasia · Yhdysvallat

SISÄLLYS

Sisällys



◆ **TIIVISTELMÄ** — Kannattaa tehdä, mutta suppeasti, nyt ja kumppaneiden kanssa — 5

01 **Linja tänään** — Mitä elektroniikkatehtaat ajavat tänään, ja mikä on teknisesti toteutettavissa — 9

02 **Paikallisesti** — AI:n ajaminen tehtaan sisällä: puhdastilat, ilmarakot, laitteisto ja kvantisointi — 17

03 **Opettaja ja oppilas** — Opettaja ja oppilas: frontier-mallit voivat esimerkitä tarkastusdataa; robottivarsille todelliset opettajat ovat yhä ihmiset — 26

04 **Kustannukset ja takaisinmaksu** — Kustannukset ja takaisinmaksu: AI-tarkistus maksaa itsensä takaisin kuukausissa, koneidenpalvelu vuosissa, poimintavarret eivät koskaan — 35

05 **Markkina ja kilpailu** — Markkina, kilpailu ja se, miten ostajat maksavat — 43

06 **Embodied AI** — Embodied AI: ensin se muuttaa sen, miten robotteja opetetaan, myöhemmin sen, miten ne liikkuvat — 52

07 **Avoimet kysymykset** — Mihin julkinen aineisto ei voi vastata, ja miten pilotti ratkaisee sen — 58

◆ **Tekijästä** — Tan Shuai — 61

Luotettavuusmerkinnät tekstissä

- **verified** kaksi tai useampi toisistaan riippumaton lähde tai kaksi itsenäistä primaaridokumenttia ovat yhtä mieltä
- **single source** vain yksi lähde, mukaan lukien primaaridokumentit
- **vendor claim** tuotteen tai palvelun myyjän julkaisema
- **estimate** kirjoittajan oma laskelma tai päätelmä siteeratuista tiedoista

Näin luet tämän raportin

Keskeiset luvut kantavat luotettavuusmerkinnän. **verified** tarkoittaa, että kaksi tai useampi toisistaan riippumaton lähde on yhtä mieltä, tai kaksi itsenäistä primaaridokumenttia; **single source** tarkoittaa vain yhtä lähdettä (mukaan lukien primaaridokumentit); **vendor claim** tarkoittaa tuotteen tai palvelun myyjän julkaisemaa, vaikka sitä toistettaisiin laajasti; **estimate** tarkoittaa omaa laskelmaani tai päätelmääni siteeratuista tiedoista, lähteineen. »Primaarinen« kuvaa lähteen tyyppiä (vuosikertomus, esite, säädös, standardi, virallinen tilasto); se ei muuta luotettavuusluokkaa. Kun lähteet ovat ristiriidassa, luvut esitetään rinnakkain eikä niitä keskiarvoisteta. Valuuttamuunnokset käyttävät Kiinan keskuspankin keskikurssia 9. marraskuuta 2026, $1 = RMB 6.7188 (Xinhua), ja Taiwanille SMBC:n noteerausta samana päivänä, $1 = NT$32.12 (SMBC). Manner-Kiinan työvoima- ja tukidata käyttää Helmijoen suistoa, jossa elektroniikkavalmistus on keskittyneintä (viralliset palkkatiedot Shenzhenistä), ja Jangtse-joen suistoa vertailuun. Alan haastatteluista peräisin olevat väitteet käsitellään tarkistettavina väitteinä, ei koskaan faktoina. Kysymykset, joihin julkinen aineisto ei voi vastata, on koottu lukuun 7.

KUVAT

Kuvat

01	Mihin AI sopii tehdaslattialla tänään	7
02	Volyymi-SMT-linja: ihmiset istuvat AOI:n takana	10
03	Noin 97–99% AOI-hälytyksistä on virhehälytyksiä	11
04	Yleiskäyttöinen kamera ei ole AOI	13
05	Air-gapped-käyttöönotto	17
06	Puhtaus- ja ESD-vyöhykkeet määräävät, missä laskenta voi olla	18
07	Nopeusrajat käyttötarkoituksen mukaan	20
08	On-prem-laskenta: muisti, hinta ja mitä Manner-Kiinassa voi laillisesti ostaa	21
09	Yksi iso työasema ei tee jaettua assistenttia	22
10	Kvantisointi: 8-bit on turvallinen, 4-bit riippuu reseptistä, 3-bit ja alempi putoaa pois	23
11	Opettajaehdokkaat: yleiset pisteet tuplaantuivat sukupolvessa	27
12	«Onko vikaa?» on yhä vaikeaa yleisille malleille	28
13	Kaksi opettaja–oppilas-putkea	29
14	Kuinka suuri kultaisen setin on oltava	30
15	Edge-politiikan viive	32
16	Robottioppilaat: lähellä tuotantotasoa vain, kun asema on jäsennelty	33
17	Mitä yksi tarkastus- tai käsittelytyöntekijä maksaa vuodessa	36
18	Hintaporras	37
19	Takaisinmaksu alueittain	39
20	Miksi huonojen korttien poiminta ei maksa itseään	40
21	USA:n tulli roboteille, AOI:lle ja edge-tietokoneille	41
22	Markkinakoot eroavat yli kymmenkertaisesti	44
23	Bottom-up: 40 000 linjaa → 16 000 huollettavaa → ≈RMB 320M kertaluonteinen	45
24	Retrofit-ikkuna on noin viisi vuotta	46
25	Tarkistuskiila on piiritetty kolmelta puolelta	46
26	Kate on tuotteistetussa laitteistossa	48
27	Miten ostajat maksavat	49
28	Days sales outstanding	50
29	Embodied-AI-pino	52
30	Mitä tehtaan robotikäyttöönotot oikeasti julkistavat	53
31	Netto korvattu työ robottia kohden	54
32	Standardien ja sääntelyn aikajana	56

TIIVISTELMÄ

Kannattaa tehdä, mutta suppeasti, nyt ja kumppaneiden kanssa

KESKEINEN HAVAINTO

Tuomio: elektroniikkatehtaille 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 v

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

≥95% · <20 PPM

Huipputason EMS:n sisäisen AI-tarkistuksen kattavuus ja läpipääsyt: rima tier-1-EMS:lle myymiseen

100–700 milj. RMB

Kolmannen osapuolen palveltava jälkiasennusmarkkina Manner-Kiinassa, kertaluonteinen, noin viiden vuoden ikkunassa

0 pistettä

Julkaistut teollisuusvirheiden benchmark-pisteet marraskuun 2026 lippulaivoille: opettajia, eivät tarkastajia

1.1–1.5 v

Cobot-koneidenpalvelusolun takaisinmaksuaika kahdessa vuorossa Yhdysvalloissa, Taiwanissa ja Shenzhenissä

0.003–0.14 FTE

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

Tarkastus
ROI

Valvottu syväoppiminen, jota sovelletaan olemassa olevan AOI:n jo tuottamiin kuviin, vähentää vääriä hälytyksiä tai tarkistustunteja 60–90% (toimittajien väitteet). DBG, suuri EMS-yritys, kertoo vuosikertomuksessaan, että sen sisäinen järjestelmä kattaa yli 95% merkityistä komponenteista ja että läpipääsyjä on alle 20 PPM ja ihmistarkistusta yli 85% vähemmän; se on rima, joka kolmannen osapuolen tuotteen on ylitettävä myydäkseen tier-1-EMS:lle. RMB 50,000 per linja -hinnalla AI-tarkistus maksaa itsensä takaisin vuoden sisällä Manner-Kiinassa, Taiwanissa ja Yhdysvalloissa (Shenzhen 0.65 vuotta, Taiwan 0.53, Yhdysvallat 0.46), cobot-koneidenpalvelusolut 1.1–1.5 vuodessa ja Kaakkois-Aasia 2–6 vuodessa, kun taas SMT-linjalle vain huonojen piirilevyjen poimintaan lisätty robottivarsi ei koskaan maksa itseään takaisin missään, koska yli 90%:n first-pass-saannolla poiminta vie vain 0.003–0.14 henkilöä vuoroa kohden estimate.

Mallit
ROBOTIT

Multimodaaliset suuret mallit eivät vielä voi olla ensisijainen tarkastaja. 11. marraskuuta 2026 mennessä yhdelläkään lippulaivoista (Claude Fable 5.2, GPT-6.x, Gemini 4, Qwen3.8 ja muut) ei ole julkaistua pistettä missään teollisuusvirhe- tai PCB-benchmarkissa, ja ACM MM 2026 PCBA -haasteessa viisi parasta järjestelmää, jotka koulutettiin 6,600 aidolla linjakuvalla, saivat vain 77–82 kysymyksestä »onko vikaa«. Frontier-mallit voivat esimerkitä ja priorisoida. Robottivarsille todelliset opettajat ovat yhä ihmisdemonstraatiot, oikean robotin vahvistusoppiminen ja simulaatio: oppilaat saavuttavat 90–99.4% kiinnitetyillä, strukturoiduilla asemilla, mutta vain 30–80% liikkuvilla kuljettimilla, näkemättömillä osilla ja uusilla tuotteilla; frontier-agentti suoritti 104 tehtävää 108:sta kvasistaattisesta oikean robotin tehtävästä, 280 sekuntia kukin.

Paikallinen
KÄYTTÖÖNOTTO

Ilmaeristetty käyttöönotto puhtaissa, kontrolloiduissa tehtaissa on täysin käytännöllistä. Tavallinen SMT-halli on yleensä ESD-suojattu alue eikä luokiteltu puhdastila: tuulettimeton Jetson tai kotimainen NPU-laatikko menee linjalle ja GPU-palvelimet palvelinhuoneeseen. NVIDIA:n omien vientiluokitusten mukaan Jetson Thor ja DGX Spark voidaan myydä tavalliselle mannermaatehtaalle ilman Yhdysvaltain lisenssiä; DGX Stationia ei voida. Tarkkuus on oletuksena 8-bittinen; toimittajan kvantisointitietoinen 4-bittinen on käyttökelpoinen ehdoin; 3-bittinen ja sen alle on poissuljettu.

Markkina
KILPAILU

Markkina on todellinen mutta rajallinen. Manner-Kiinassa on noin 35,000–46,000 SMT-linjaa ja noin 26,000–66,000 inline-AOI:ta ilman AI:ta; kolmannen osapuolen jälkiasennusten palveltava markkina on noin RMB 100–700 miljoonaa kertaluonteisesti, noin viiden vuoden ikkunassa, ja AOI-valmistajat ovat alkaneet rakentaa tarkistusta uusiin koneisiin estimate. Kilpailu on jo kovaa: tarkistuskiila on AOI-valmistajien, EMS:n sisäisten tiimien ja alustatoimittajien piirittämä, ja kate on tuotteistetussa laitteistossa.

Kysymys	Arvio	Keskeiset luvut (lähteet ja luotettavuus luvuissa)
1 **Mitä valtavirran elektroniikkatehtaat ajavat tänään?**	Volyymi-SMT-linja on »3D SPI + ennen ja jälkeen reflow'n olevat AOI:t + näytteistetty röntgen + ICT/FCT + korjaus ja visuaalinen tarkastus«, ja jokaisen AOI:n takana on ihmistarkistus. AI astuu tarkistukseen kolmella tavalla: AOI-valmistajien sisäänrakentamana, huippu-EMS:n itse rakentamana tai kolmannen osapuolen lisäämänä. Kokoonpano ja käsittely käyttävät varsia, SCARA:ta ja AMR:ää opitulla havainnoinnilla ja ohjelmoidulla liikkeellä; embodied AI on yhä pilotoitavana	Tahti ≈13–22 s per piirilevy; yksi ODM budjetoi RMB 30.6M AOI:ta 18 linjalle, ≈3–5 AOI:ta per linja; ≈97–99% AOI-hälytyksistä on vääriä hälytyksiä
2 **Kuinka pitkälle teknologia riittää, voiko rahalla ostaa nolla ihmistä, ja mitä kukin alue voi käyttää?**	Tarkastus on teollisuusluokkaa muodossa »erillinen ilmaisin + AI-tarkistus + muutama ihminen«; edes rajaton raha ei saavuta nollaa ihmistä. Manner käyttää vain kotimaisia malleja tai paikallisia avoimia painoja; Taiwanin yksityiset tehtaat voivat käyttää lähes mitä tahansa, mutta fabit ja kriittinen infrastruktuuri sulkevat käytännössä pois mannermaamerkit; Kaakkois-Aasiassa on vähiten rajoituksia; Yhdysvalloilla on koko pino sekä tullit ja sertifiointi	AI-tarkistus vähentää vääriä hälytyksiä tai tarkistustunteja 60–90% vendor claims ; 4K-kamera kokonaisella paneelilla ≈78 µm per pikseli verrattuna AOI:n 8–20 µm:iin; mannermaavalmisteiset varret maksavat ≈40% yhdistettyä Yhdysvaltain tullia, AOI-tyyppiset instrumentit ≈37.5%
3 **Voiko se ajaa paikallisesti puhdastiloissa ja ilmaeristetyissä tehtaissa, millä laitteistolla, riittävän nopeasti ja tarkasti?**	Kyllä; rajoitukset ovat prosessuaalisia, eivät laskennallisia. ≤100 W:n tuulettimeton laatikko linjalla, GPU-palvelimet palvelinhuoneessa; Thor asemille, Mac Studio tai kotimainen laite tehtaan Q&A:han; ei DGX Stationia mantereella. Nopeus on riittävä, kun mallin koko vastaa tehtävää; pidä 8-bittinen, käytä toimittajan kvantisointitietoista 4-bittistä ehdoin, ei koskaan 3-bittistä	≈0.5 s per rajaus 8B-näkömallille Thorilla estimate ; Thorin dev-kitti RMB 59,104 Kiinassa; DGX Station $123–140k, 139 tokenia/s yhteensä 32 käyttäjälle 743B-mallilla
4 **Voiko uusin lippulaiva toimia opettajana kymmenien kierrosten ajan ja tislautua paikallisiksi oppilaiksi, myös joustavaan valmistukseen ja robottivarsiin?**	Tarkastus: esimerkitys ja priorisointi; hyväksy opettajan merkinnät automaattisesti vain luokille, joissa on »≥299 vikaa, nolla ohitusta« golden setissä. Robotit: opettajat ovat yhä ihmisdemonstraatiot, oikean robotin RL ja simulaatio, ja oppilaat lähestyvät tuotantotasoa vain strukturoiduilla asemilla	Yhdelläkään marraskuun lippulaivalla ei ole teollisuusvirhepistettä; oppilaat 97.8% koulutetuilla liittimillä, 29–67% näkemättömillä, 37–59% liikkuvilla kuljettimilla; nivelia suoraan ajavat frontier-mallit 0–5.5%
5 **Mitä se maksaa, ja mikä on ROI alueittain?**	AI-tarkistus maksaa itsensä takaisin vuoden sisällä Manner-Kiinassa, Taiwanissa ja Yhdysvalloissa; cobot-palvelu 1.1–1.5 vuotta; Kaakkois-Aasia 2–6 vuotta; poimintavarsi SMT-linjalla ei koskaan maksa itseään takaisin	RMB 50k -tarkistuslaatikko per linja: Shenzhen 0.65 vuotta, Taiwan 0.53, Yhdysvallat 0.46, Vietnam 2.2 estimate ; hyväksyttävä kolmannen osapuolen lisäosan hinta ≈RMB 10–30k per linja kertaluonteisesti tai RMB 5–10k vuodessa

Kysymys	Arvio	Keskeiset luvut (lähteet ja luotettavuus luvuissa)
⑥ **Ovatko kilpailijat jo riittävän vahvoja, ja kannattaako aloittaa nyt vai odottaa?**	Kysyntä ei ole kyllästynyt, mutta tarjonta on täynnä; OEM-AI rajoittaa jälkiasennusikkunan noin viiteen vuoteen. Astu sisään nyt suppealla tuotteella kanavakumppanien kautta, ilman suoraa kamppailua alustatoimittajia vastaan; odota vuosien 2027–2028 tuotantodataa ennen kuin panostat embodied AI:hin	≈26–66k inline-AOI:ta ilman AI:ta mantereella, kutistuen 8–12% vuodessa **estimate**; johtavan AI-konenäkötoimittajan vuoden 2025 liikevaihto oli RMB 1.086B ja nettotappio RMB 991M; lähimmän listatun vertailuyrityksen 3C-liikevaihto laski 79.9% vuodentakaisesta tammi–toukokuussa 2026

FIG 01 **Mihin AI sopii tehdaslattialla tänään** ***AOI-virhehälytysten AI-tarkistus ja cobot-lataus ovat kypsiä ja maksavat itsensä nopeasti; erillinen poimintavarsi ja LLM ensisijaisena tarkastajana eivät ole vaivan arvoisia.***



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

Mitä rakentaa ja mitä ei rakentaa

	Suositus
Rakenna	AI-tarkistus ja vikaluokittelu AOI-kuvilla keskikokoisille EMS:ille, joilla on vanhoja tai sekamerkkisiä AOI:ita eikä AI-päivitystä AOI-valmistajalta; tarkastus, jonka SMT-AOI kattaa huonosti (läpivienti- ja käsinjuotokset, konforminen pinnoite, kaapelit, liittimet ja FPC:t, lopullinen ulkonäkö ja ruuvit); cobot-lastaus- ja -purkusolut, joissa jokaista osaa käsitellään (testikiinnikkeet, tarjottimet, pakkaus), tarkastus lisäosana; golden set ja varjotila aidolla linjalla jokaisen väitteen perustana
Älä rakenna	Yleinen »AI plus robottivarsi« -alusta; multimodaalinen LLM ensisijaisena tarkastajana; robottivarsi SMT-linjalla vain NG-piirilevyjen poimintaan (NG-ohjain tai -puskuri hoitaa sen); humanoidit ja robots-as-a-service; frontier-mallit ohjaussilmukan tai turvatoiminnon sisällä; kasoittain GPU-muistia asemilla »täysikokoisten« mallien ajamiseen; suoramyynti fabeille, Taiwanin kriittiselle infrastruktuurille tai Yhdysvaltain puolustuselektroniikkatehtaille

	Suositus
Kenen kanssa työskennellä	AOI-valmistajat ja jakelijat (kanava- ja kuvarajapinnat; jakelijat toivat 46.68% Sinic-Tekin vuoden 2025 liikevaihdosta); cobot-valmistajat (sertifioidut varret ja turvatoiminnot); EMS-yritykset, joilla on 10–40 linjaa (vierivä laajennus ja ennakkomaksut); paikalliset integraattorit Thaimaassa ja muuallakin (täyttämään BOI:n paikallissidossäännöt)

Linja tänään

01 Mitä elektroniikkatehtaat ajavat tänään, ja mikä on teknisesti toteutettavissa

Vakiovolyymilinja: useita AOI:ta, näytteistetty röntgen, keskitetty tarkistus, 13–22 sekuntia per piirilevy

Listattujen ODM:ien primaarilimoitukset näyttävät, miltä vuosien 2025–2026 volyymilinja todellisuudessa näyttää. Longcheerin Hongkongin esite (tiedot 30. syyskuuta 2025 asti) luettelee SMT-laatutarkastuksensa muodossa »röntgentarkastus, juotospastan tarkastus (SPI), automaattinen optinen tarkastus (AOI), PCBA-toiminnallinen testi ja visuaalinen tarkastus«; sen prosessivirta kulkee pre-reflow-AOI:n, post-reflow-AOI:n, näytteistetyn röntgenin, NG-piirilevyt SMT-korjausasemalle ja sitten lopullisen visuaalisen tarkastuksen läpi. Sen Huizhoun, Nanchangin ja Vietnamin tehtaissa on 34, 24 ja 8 SMT-linjaa sekä 67, 60 ja 13 loppukokoonpanolinjaa (Longcheer H-osake-esite) single source, primary filing. Huaqinin vuoden 2023 kannettavatehdas suunnitteli 18 SMT-linjaa AOI-budjetilla RMB 30.6 miljoonaa, noin RMB 1.7 miljoonaa per linja, mikä kotimaisilla 3D-AOI-hinnoilla on kolmesta viiteen AOI:ta per linja kaksipuolisten piirilevyjen ennen ja jälkeen reflow'n tapahtuvaan tarkastukseen (Huaqin A-osake-esite) primary filing + estimate. Volyymilinjalla on siis yleensä kahdesta neljään tarkistuspistettä, ei yksi.

Koneet ovat jo pitkälle automatisoituja: Huaqin ilmoittaa SMT-linjoillaan 96% automaatioasteen (Huaqin H-osake-esite) single source. Jäljelle jäävät ihmiset ovat tarkistuksessa, korjauksessa, visuaalisessa tarkastuksessa, testauksessa ja loppukokoonpanossa, eikä mikään yritys julkaise, kuinka monta tarkistajaa sillä on per linja (luku 7).

Kolme toisistaan riippumatonta arviota ovat yksimielisiä tahdista **13–22 sekuntia per piirilevy** (vuoden 2026 ympäristöilmoitus viidelle Hebein linjalle (Hebei SMT -projektin YVA), Huaqinin kannettavalinjat ja iFactory-tapaus), tai 7–11 sekuntia per puoli kaksipuolisille piirilevyille estimate. High-mix-linjan vaikein osa ei ole volyymi vaan uusien tuotteiden käyttöönotto ja vaihdot, ja jokainen vaihto on AI-mallille uusi kylmäkäynnistys.

Ohjelmistopuolella AOI-valmistajien omat tarkistusasemat ovat jo keskitettyjä: Sinic-Tekin korjausasemaohjelmisto antaa »yhden isännän ohjata kahdeksan SMT-linjan laitteita« (Sinic-Tek-esite) single source, primary, 2022, ja sen jälkeen kun Jabil otti käyttöön ViTrox V-ONE -etä-AOI-ohjauksen vuonna 2026, yksi insinööri pystyi hallitsemaan 5–8 AOI:ta etänä vastaan 1–2 paikallisesti (AtlasPCB) vendor claim. Kolmannen osapuolen AI-tarkistustuote kytkeytyy juuri tähän keskusasemaan AOI:n kuva- ja tulosviennin kautta (IPC-CFX, IPC-HERMES-9852 tai toimittajan oma formaatti). AOI:t itse lisäävät AI:ta nopeasti: Yamaha sanoo AI-arvionsa vievän noin sekunnin per kutsu, auttavan tarkastajia 30 NG-kuvan jälkeen ja muuttuvan »erittäin korkealaatuiseksi« 1,000 kuvan jälkeen (DirectIndustry/Yamaha) vendor claim.

FIG 02 **Volyymi-SMT-linja: ihmiset istuvat AOI:n takana** ***Työ keskittyy tarkistuspisteille automaattisen optisen tarkastuksen jälkeen. Siihen AI tulee mukaan.***



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

Vaihe	Valtavirran tuotteet ja teknologia	Edustavat toimittajat	Kuinka pitkälle AI on edennyt
Tulostuksen jälkeen	3D SPI (strukturoitu valo, moiré, osittain laser-triangulaatio)	Koh Young, Sinic-Tek, TRI	OEM-AI-pastanarviointi tuotannossa; Jutze sanoo joidenkin mallien olevan »täysin AI:ta«
Ladonnan ja reflow'n jälkeen	2D/3D AOI monikulmaisilla, monivärisillä LEDeillä ja strukturoidulla valolla, 8–20 µm per pikseli, 8–12 MP -kamerat	Koh Young, Omron, Saki, TRI, ViTrox, Mirtec, Jutze, Sinic-Tek ja muut	OEM-AI-tarkistus (Jutze tuotannossa, ViTrox V510Ai, Sinic-Tek Tencentin kanssa); huippu-EMS rakentavat omansa (DBG); kolmannen osapuolen lisäosat
Pohjapäätteiset ja piilossa olevat juotokset	Näytteistetty tai inline-röntgen (AXI)	—	Hikvision väittää Guanlan-mallinsa arvioivan röntgenontelot väärin alle 1% ajasta vendor claim
Tarkistus ja korjaus	Keskustarkistusasema (yksi isäntä, kahdeksan linjaa), etätarkistus, korjausasema	AOI-valmistajien ohjelmistot, ViTrox V-ONE	AI sulkee vääriä hälytyksiä, loput hoitavat ihmiset
Visuaalinen tarkastus, IQC, FQC	Pääosin manuaalinen; joitain AI-ulkonäkökoneita robotin lastauksella	SmartMore ja muut	Ulkonäkökoneet tuotannossa; ei julkista henkilöstödataa IQC/FQC:lle
Käsittely ja koneidenpalvelu	Kuusiakseliset varret ja cobotit, SCARA, AMR:t, 2D/3D-näköohjaus	FANUC, ABB, Yaskawa, KUKA, UR, Dobot, JAKA, Elite; Mech-Mind, Hikrobot	Opittu havainnointi plus ohjelmoitu liike tuotannossa; VLA:t ja humanoidit yhä pilotoitavana
Data ja järjestelmät	MES, IPC-CFX, IPC-HERMES-9852	—	Tulokset kirjoitetaan takaisin MES:iin; tuki vanhemmissa laitteissa on epätasaista

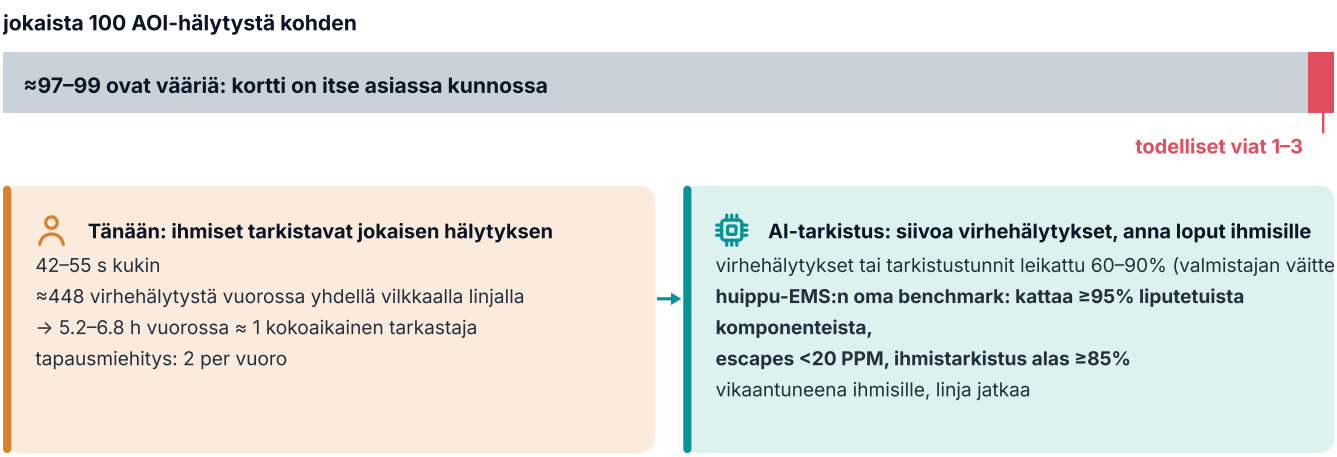
Taulukon lähteet: yllä olevat ilmoitukset ja (Koh Young, Jutze vuosikertomus 2025, Sinic-Tek vuosikertomus 2025, ViTrox, Sohu Hengtianyistä, Xinhua Hikvisionista).

Ihmiset istuvat AOI:n takana, koska useimmat hälytykset ovat vääriä

Valtavirran SMT/PCBA-linjan tarkastusketju kulkee: 3D SPI tulostuksen jälkeen puuttuvien, riittämättömien tai ylimääräisten pastojen, silloittumisen ja siirtymän varalta; AOI ladonnan jälkeen (valinnainen) ja reflow'n jälkeen puuttuvien, siirtyneiden, kiertyneiden, kääntyneiden tai hautakiviosien sekä juotostilavuuden varalta; röntgen, kun on BGA:ita tai muita pohjapäätteisiä osia; sitten in-circuit- tai lentäväntikun testi, toiminnallinen testi ja manuaalinen visuaalinen tarkastus. Jokaisella AOI:lla on tarkistuspiste ja korjausasema takanaan (Sinic-Tek-esite, JLCPCB) verified. Post-reflow-AOI on yleisin ja paras hinta-laatusuhde, mutta se näkee vain muodon ja pinta-alan; BGA:n alla olevat juotokset, ontelot ja kostuminen vaativat röntgenin tai sähköisen testin (JLCPCB).

Työvoima on tarkistuksessa, koska useimmat hälytykset ovat vääriä. Yksi brittiläinen EMS kirjasi **54,019 väärää hälytystä vastaan 544 todellista vikaa 917 osanumerossa, noin 99% hälytyksistä** (arXiv 2505.03576) single source, preprint; Siemensin Rastattin tehtaassa **97.5% AOI:n hylkäämistä piirilevyistä oli hyviä** (Siemens-tapaustutkimus vendor claim. Kiireisellä linjalla on noin 448 väärää hälytystä vuoroa kohden 42–55 sekuntia kukin, 5.2–6.8 tuntia vuorossa, noin yksi kokopäiväinen tarkistaja (iFactory) vendor claim; hours are an estimate.

FIG 03 **Noin 97–99% AOI-hälytyksistä on virhehälytyksiä *Tänään ihminen vahvistaa jokaisen hälytyksen; AI-tarkistus siivoaa ensin väärät ja antaa loput ihmisille.***



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

Kaavasta »tarkistustunnit vuorossa = piirilevyt × väärät hälytykset per piirilevy × sekunnit per kutsu« yksi tarkistaja voi kattaa noin 0.7–1 volyymilinjaa sääntöpohjaisella AOI:lla. Kun AI poistaa 60–90% vääristä hälytyksistä, pelkkä arviointiaika sallisi 2–14 linjaa per henkilö, mutta kävely, NG-puskurin käsittely ja korjauksen siirrot rajoittavat paikallisen kattavuuden kahteen neljään viereiseen linjaan; vain keskitetty tai etätarkistus pääsee lähelle teoreettista kattoa estimate; seconds per call come from one source. Koska valtavirran AOI:t skannaavat 60–80 cm² sekunnissa (Yunhengin AOI-opas 2026), 20×15 cm:n puoli vie 4–5 sekuntia; AI:n tarvitsee käsitellä vain muutama merkitty alue yhden tahdin sisällä, ei skannata piirilevyä uudelleen.

Mikä jo toimii tuotannossa: valvottu luokittelu AOI:n omilla kuvilla

Todistettu kaava on valvottu syväoppimisluokittelu kuvilla, jotka tulevat AOI:sta, jonka tehdas jo omistaa. Fujitsun lisäosa ADLINKin AOI:ssa Taiwanissa vähensi vääriä hälytyksiä **yli 90%** (Fujitsu-tapaus); OKI on käyttänyt AI:ta heinäkuusta 2026 lähtien vähentääkseen AOI:n jälkeistä manuaalista vahvistusta noin **80%** omassa EMS-liiketoiminnassaan (Circuits Assembly); Siemens raportoi 60% vähemmän manuaalista analyysia, 160 287 € säästöä ensimmäisenä vuonna ja kahdeksan kuukauden takaisinmaksun (Siemens-tapaustutkimus) all vendor claims. Näille tapauksille on yhteistä kaksi asiaa: lähes kukaan ei julkaise läpipääsyprosenttia, ja kaikki pitävät ihmiset jäljellä olevilla hälytyksillä. Ainoa tapaus, joka antaa läpipäisyluvun (0.8% alas 0.3%:iin, vasten sopimuksen 0.5%), on sisäisesti ristiriitainen (iFactory). AI vähentää tarkistustunteja, ei itse tarkistustyötä.

AI-tarkistus on siirtynyt kolmannen osapuolen lisäosista OEM-ominaisuuksiin ja sisäisiin järjestelmiin, mikä muuttaa sen, mihin tulokasta verrataan. Jutzen vuosikertomus 2025 luettelee »3D-AOI-päivityksensä« volyymituotannossa ja sanoo sen »käyttävän AI-algoritmeja poistamaan manuaalisen tarkistuksen tarkastuspäästä« (Jutze vuosikertomus 2025); Sinic-Tek on kehittänyt »multimodaalista AI-avusteista manuaalitarkistusjärjestelmää« vuodesta 2019 ja kehittää yhdessä Tencentin kanssa ylä- ja alapuolen 3D-AOI:ta, tavoitteena 99.5%+ vikakattavuus ja 98% tunnistustarkkuus (Sinic-Tek vuosikertomus 2025) vendor claims in primary filings. Suuret EMS-yritykset rakentavat omansa. DBG:n vuosikertomus 2025 luettelee »visuaalisen tarkastuksen AI-arvioinnin« valmiina projektina, joka »kattaa yli 95% AOI:n merkitsemistä komponenteista«, »läpipääsyprosentilla alle 20 PPM« ja »yli 85% vähemmän manuaalista tarkistusta«, täysin jäljitettävästi (DBG vuosikertomus 2025) single source, primary. Se on ainoa elektroniikkatehtaan luku, jonka löysin ja joka antaa kattavuuden, läpipääsyt ja vähennyksen yhdessä. **Tier-1-EMS:lle myydyn kolmannen osapuolen tuotteen on vastattava DBG:n 95% kattavuutta, 20 PPM:n läpipääsyjä ja 85% vähennystä**; tier-1:n alapuolella vertailukohta on toimittajien mainostama 50–85% vähennys.

Vain hyviin osiin koulutettu anomalian tunnistus on nopea (EfficientAD-S vie 2.2 ms per kuva (EfficientAD, WACV 2024)), mutta heikko »loogisissa« anomalioissa, kuten puuttuvissa tai vääriin osiin, ja parhaat menetelmät jäävät keskimäärin alle 60% AU-PRO:n vaikeammassa MVTec AD 2:ssa (MVTec AD 2) single source. Puuttuvat ja väärät osat tarkistetaan paremmin CAD:ia ja BOM:ia vasten.

Katto millä tahansa hinnalla: kerroksia koneita, hyvin vähän ihmisiä, mutta ei nolla

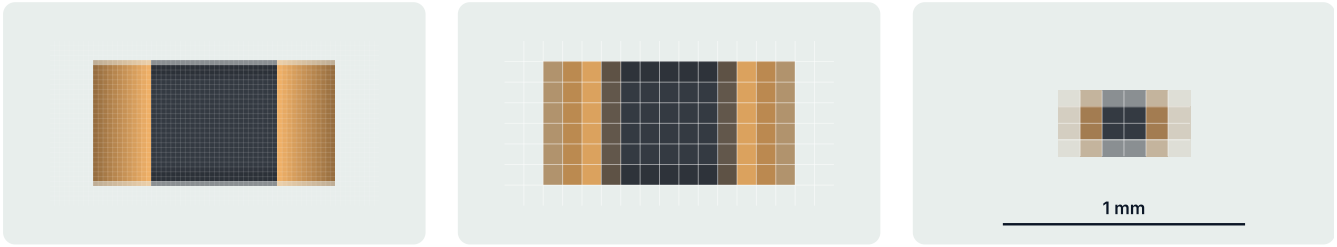
En löytänyt yhtään elektroniikkatehdasta, joka olisi poistanut manuaalisen tarkistuksen kokonaan ja saavuttanut nolla läpipääsyä. IPC-A-610 Class 3:n (korkea luotettavuus) tuotteiden käytäntö pitää edelleen koulutetut tarkastajat päättämässä rajapäätökset, joita automaattiset kynnykset eivät pysty luokittelemaan, ja yksi PCB-kokoonpanija kutsuu »automaattinen tarkastus voi korvata ihmisen hyväksynnän« -väitettä »yleiseksi väärinkäsitykseksi« (PCBCart) single source. Myös ihmisvertailukohtaa on korjattava: viitaten vuoden 2012 Sandia-tutkimukseen, yksi visuaalinen tarkastaja havaitsee parhaimmillaan noin **80%** vioista, kaksi sarjassa noin 96% (Instrumental) single source, cited by a vendor. Puolustettava väite on »AI plus pieni ihmistarkistussilmukka voittaa täysin manuaalisen tarkastuksen«, ei »AI korvaa tarkastuksen«.

Ilman budjettirajaa katto on 3D SPI, 3D AOI, röntgen, AI-tarkistus ja AI-ulkonäköasemat pinottuina yhteen, ihmisiä jää vain rajapäätöksiin, uusiin tuotteisiin ja vaihtoihin, uusiin vikatyyppeihin ja asiakkaan hyväksyntään. Lippulaivatehtaat raportoivat 85–92% vähemmän manuaalista tarkastusta (I-Connect007, 2021, WiAdvance) vendor claims; arvioni rajattoman budjetin katosta on tarkistustyö 8–15%:ssa nykyisestä estimate. Loppukokoonpano on yhä työvoimavaltaista: iPhone 16:n painikkeiden automatisointi hylättiin korkeiden vikaprosenttien vuoksi (9to5Mac) single source.

Yleinen korkean resoluution kamera ei ole AOI

Tuotanto-AOI:t kuvaavat laatta laatalta 8–20 µm per pikseli, 8–12 MP -kameroilla, ohjelmoitavalla monikulmaisella monivärivalaistuksella ja strukturoidun valon 3D:llä (Koh Young, Saki) verified. Ala totesi jo kauan sitten, että 01005-osa kattaa vain noin 8×16 pikseliä 25 µm per pikseli -tarkkuudella, »mahdollisesti riittämättömästi« luotettavaan arviointiin (Circuits Assembly, 2007). Samalla laskutoimituksella estimate 4K-kamera 300 mm:n paneelilla saa noin **78 µm per pikseli**: imperial-0402-osa on noin 13×6 pikseliä, riittää läsnäoloon ja karkeaan siirtymään mutta ei juotosmuotoon, ja 01005 on noin 5×3 pikseliä, käytännössä näkymätön. 15 µm per pikseli koko paneelilla vaatisi noin 330 megapikseliä, minkä vuoksi AOI:t liikuttavat kameraa piirilevyn yli. Kun joku sanoo »0402«, tarkista kumpaa tarkoittaa: metrinen 0402 on imperial-01005, kaukana minkä tahansa laajakulmakameran ulottuvilta.

FIG 04 **Yleiskäyttöinen kamera ei ole AOI** ***4K-kamera 300 mm -paneelin yli antaa noin 78 µm pikseliä kohden: 0402-osa kutistuu ≈13×6 pikseliin ja 01005 katoaa.***



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

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

Linjoilla, joilla jo on AOI:ta, paras paikka AI:lle on AOI:n kuvien päällä. Vain linjat ilman AOI:ta tai linjan loppupään asemat oikeuttavat suljetun kamera-aseman kontrolloidulla valaistuksella; avoin korkean resoluution kamera linjan yllä on altein ympäristövalolle ja varjoille (CSDN).

Kokoonpano ja käsittely: opittu havainnointi plus ohjelmoitu liike on tuotannossa

IFR:n vuoden 2026 raportti sanoo »tarkastuksen ja robotin ohjauksen konenäön olevan kypsää ja teollisuusluokkaa«, kun taas »yleiskäyttöinen fyysinen AI ja simulaatiosta ja kokemuksesta oppiminen eivät ole vielä teollisuusluokkaa« (IFR World Robotics 2026 -tiivistelmä) single source, primary . Elektroniikka on suurin robotin ostaja (142,235 asennettua yksikköä maailmanlaajuisesti vuonna 2025, 59% kaikista asennuksista Kiinassa (IFR, IFR China -julkaisu)), mutta Kiinassa on vain 166 robottia per 10,000 valmistustyöntekijää vastaan 307 Yhdysvalloissa (IFR, huhtikuu 2026). Tuotannon kaava on opittu havainnointi plus deterministinen liike; päästä päähän opittu liike on lähellä tuotantotasoa vain strukturoiduilla asemilla (luvut 3 ja 6).

Mitä kukin alue voi käyttää

Manner-Kiina turvautuu kotimaisiin malleihin ja paikallisiin painoihin; Taiwanissa asiakkaan identiteetti ratkaisee; Yhdysvalloissa tullit ja sertifiointi.

Elementti	Manner-Kiina	Taiwan (yksityiset tehtaat)	Kaakkois-Aasia	Yhdysvallat
Claude (mikä tahansa kanava)	Ei saatavilla	Ehdollinen: toimittaja ei saa olla Manner-Kiinan, Hongkongin tai Macaon henkilöiden tai entiteettien enemmistöomistama tai määräysvallassa	Sama	Sama
GPT- ja Gemini-pilvi	Ei saatavilla	Saatavilla	Saatavilla (luetteloita ei ole tarkistettu maittain)	Saatavilla
Kiinalaiset pilvimallit (Qwen, DeepSeek, Doubao, GLM, Kimi)	Saatavilla (rekisteröidyt mallit; palvelun tarjoaminen vaatii rekisteröinnin)	Laillinen, mutta mannermaahosting läpäisee harvoin asiakkaan turvallisuustarkastuksen; kielletty julkisella sektorilla, valtionyrityksissä ja kriittisessä infrastruktuurissa	Laillinen (kansainväliset solmut)	Laillinen, tiukka tarkastus

Elementti	Manner-Kiina	Taiwan (yksityiset tehtaat)	Kaakkois-Aasia	Yhdysvallat
Kiinalaisperäiset paikalliset avoimet painot (Qwen, GLM, DeepSeek)	● Ensisijainen valinta; yksityinen tehtaan sisäinen käyttöönotto ei vaadi malli- tai algoritmi-ilmoitusta (asianajotoimiston tulkinta)	● Saatavilla (julkinen sektori rajoitettu)	● Saatavilla	● Ehdollinen: alkuperätarkastus
Ei-kiinalaisperäiset paikalliset avoimet painot (esim. Gemma 4)	● Saatavilla	● Saatavilla	● Saatavilla	● Saatavilla
Klassiset ei-generatiiviset näkömallit	● Saatavilla (generatiivisen AI:n sääntöjen ulkopuolella)	● Saatavilla	● Saatavilla	● Saatavilla
Jetson Thor/T5000/T4000, DGX Spark	● Saatavilla: NVIDIA luokittelee ne 5A992.c:ksi, ei Yhdysvaltain lisenssiä tavalliselle siviilitehtaalle; Sparkilla on Kiina-SKU; kanavahinnat noin 40–60% yli Yhdysvaltain listan	● Saatavilla	● Saatavilla	● Saatavilla
RTX 5090, RTX PRO 6000, DGX Station	● Ei saatavilla: kaksi ensimmäistä ovat 4A090.a, DGX Station 5A992.z; lailliset vaihtoehdot ovat 4090D, 5090 D V2, RTX PRO 5000 72GB, RTX 6000D, L20 (4A994.l)	● Saatavilla	● Saatavilla, mutta ostajat, joiden pääkonttori on Kiinassa tai jotka ovat viime kädessä Kiinasta omistettuja, lasketaan kiinalaisiksi; Malesia vaatii luvat vientiin ja uudelleenlaivaukseen	● Saatavilla
Mac Studio M5 Ultra 512 GB	● Saatavilla (Apple China -kauppa)	● Saatavilla	● Oletettavasti saatavilla	● Saatavilla
Huawei Ascend ja muut kiinalaiset kiihdyttimet	● Saatavilla	● Korkea riski	● Korkea riski	● Käytännössä käyttökelvoton
Mannermaavalmisteiset kiinteät varret, AOI:t, teollisuuskamerat	● Saatavilla	● Tuotavissa; 1. joulukuuta 2025 alkaen viranomaiset voivat toimia suoraan mannermaamerkkejä vastaan, ja virastoja, valtionyrityksiä, tiettyjä säätiöitä ja kriittisen infrastruktuurin tarjoajia voidaan rajoittaa tai estää käyttämästä niitä	● Saatavilla	● Laillinen, mutta yhdistetty tulli on noin 40% varsilla, 37.5% AOI-tyyppisillä instrumenteilla ja kameroilla, 25% reunatietokoneilla
Ulkomaiset AMR:t ja mobiilimanipulaattorit	● Saatavilla	● Saatavilla	● Saatavilla	● Uudet mallit tarvitsevat ehdollisen hyväksynnän Yhdysvaltain sotaministeriöltä
Hikvision- ja Dahua-kamerat	● Saatavilla	● Yksityinen käyttö sallittu, julkinen sektori kielletty	● Saatavilla	● Uudet FCC-valtuutukset estetty; kielletty liittovaltion urakoitsijoilta

Elementti	Manner-Kiina	Taiwan (yksityiset tehtaat)	Kaakkois-Aasia	Yhdysvallat
Robottien turvallisuus ja sertifiointi	GB 11291.1-2011 ja GB 11291.2-2013 pakollisia, uudistettavana huhtikuusta 2026; CR-sertifiointi vapaaehtoinen; GB/T 39404-2026 kattaa ohjaimen kyberturvallisuuden	Oletuksena aidat; aidaton yhteistyö vaatii CNS 14490:n tai ISO 10218:n kirjallisella arvioinnilla	Asiakkaan ja vientikohteen mukaan, vahvistettu kirjallisesti ennen toimitusta	Sähkölaitteiden on oltava »hyväksyttyjä« (käytännössä NRTL-merkki tai kenttäarviointi); UL 1740 vaatii robottisolujen täyttävän ISO 10218-2:n 11. elokuuta 2025 alkaen
Fabit ja valvottujen tuotteiden tehtaat	—	TSMC:n ostosopimukset vaativat SEMI E187:n; mannermaavarusteita poistetaan 2 nm:n fabeista	—	ITAR-tekninen data sisältää »valokuvat«; Kiinaa koskeva kieltäytymispolitiikka; mannermaamääräysvaltaiset toimittajat eivät käytännössä voi palvella puolustuselektroniikkatehtaita

Taulukon lähteet: (Anthropicin tuetut alueet, OpenAI:n tuetut maat, Geminin saatavuus, CAC:n väliaikaiset generatiivisen AI:n toimenpiteet, NVIDIA:n vientiluokitusdata, eCFR 15 CFR 774, NVIDIA China DGX Spark, Apple China, Covington uusista BIS-säännöistä, Greenberg Traurig, kesäkuu 2026, Fulcrum, Tom's Hardware Ascend-ohjeistuksesta, Taiwanin BOFT-tuontiluettelo, Taiwanin kyberturvallisuuden hallintalain historia, Taiwanin tarkistussäännöt kansallista kyberturvallisuutta vaarantaville tuotteille, Taipei Times, USITC HTS luku 99, Latham & Watkins, IPVM, Kiinan kansallisten standardien alusta, GB 11291.2, Intertek UL 1740 -päivitys, eCFR 22 CFR 126.1).

Manner-Kiina: täysi pino, mutta suljetut frontier-mallit ja vahvimmat yksittäiset koneet eivät pääse sisään. Rekisteröidyt kotimaiset pilvimallit, paikalliset avoimet painot (Qwen Apache-2.0:lla, GLM ja DeepSeek MIT:llä), klassiset näkömallit sekä kotimaiset AOI:t, kamerat ja cobotit ovat kaikki käyttökelpoisia. NVIDIA:n omat vientiluokitukset listaavat Jetson AGX Thor -kitin, T5000/T4000-moduulit ja DGX Sparkin 5A992.c:ksi, joten tavallinen EMS- tai PCBA-tehdas ei tarvitse Yhdysvaltain lisenssiä, kun taas RTX 5090 ja RTX PRO 6000 (4A090.a) sekä DGX Station (5A992.z, TPP 58,484) eivät ole ostettavissa mantereella (NVIDIA:n vientiluokitukset, eCFR) primary; the legal reading is mine and not legal advice. RS China listaa Thor-kitin hintaan RMB 59,104 sisältäen veron, noin 1.4 kertaa Yhdysvaltain listahinta (RS China).

Neljä asianajotoimistoa on yhtä mieltä siitä, että yksityinen tehtaan sisäinen käyttöönotto tehtaan omaan käyttöön ei vaadi malli- tai algoritmi-ilmoitusta, kun taas isännöity monivuokralaispalvelu on harmaalla alueella (Covington, FPF, JunHe) verified: consistent readings, no official ruling. GB 11291.1-2011 ja GB 11291.2-2013 pysyvät pakollisena robottien turvallisuuden perustasona ja ovat olleet uudistettavana 28. huhtikuuta 2026 lähtien; GB/T 39404-2026 ohjaimen kyberturvallisuudesta tuli voimaan 1. marraskuuta 2026 (uudistussuunnitelma 20262542, GB/T 39404-2026) single source, primary. Kunnes uusi GB 11291 saapuu (2028–2029 estimate), suunnittele ISO 10218:2025:n mukaan ja pidä GB 11291 -vaatimustenmukaisuustiedostot.

Taiwan: yksityiset tehtaat voivat käyttää lähes mitä tahansa; asiakkaan identiteetti ratkaisee. Frontier-API:t, avoimet painot ja mannermaavarusteet ovat kaikki laillisia (data.gov.tw). Mutta siitä lähtien kun muutettu kyberturvallisuuden hallintalaki tuli voimaan **1. joulukuuta 2025**, viranomaiset voivat toimia suoraan »mannermaamerkkejä« olevia tuotteita vastaan ja rajoittaa niitä hallintoelimissä, valtionyrityksissä ja kriittisen infrastruktuurin tarjoajissa (Lainsäädäntötietokanta, tarkistussäännöt) verified; kriittisen infrastruktuurin tarjoajien luettelo on salainen; ja TSMC on kirjoittanut SEMI E187:n ostosopimuksiinsa (CNA) ja sen raportoidaan poistavan mannermaavarusteita 2 nm:n fabeistaan (TrendForce) single source. Yksityiset EMS-, kokoonpano- ja pienet PCBA-tehtaat ovat avoimia; fabit, puistoapuohjelmat ja hallitukseen kytkeytyneet asiakkaat ovat käytännössä suljettuja. Mannermaamääräysvaltaisen toimittajan tulisi suunnitella E187:n mukaan, toimittaa ohjelmiston materiaaliluettelo, tarjota offline-päivitykset eikä koskaan yhdistää etänä mantereelta.

Kaakkois-Aasia: vähiten rajoituksia; ongelmat ovat hidas takaisinmaksu ja kiinalaiset emoyhtiöt. Kaikki on käyttökelpoista, mutta Yhdysvaltain 31. toukokuuta 2026 antama ohjeistus vaatii luvan edistyneiden laskentatuotteiden vientiin entiteeteille, joiden pääkonttori on Kiinassa tai jotka ovat viime kädessä Kiinasta omistettuja, silloinkin kun

vastaanottaja on kolmannessa maassa (Greenberg Traurig) single source, ja Malesialla on omat lupansa edistyneille siruille (Fulcrum). Kysyntä siirtyy tänne: TrendForce odotti Thaimaan, Vietnamin ja Malesian lähestyvän 50%:a palvelin-ODM-SMT-kapasiteetista vuonna 2026 (TrendForce) single source, a 2023 forecast.

Yhdysvallat: koko pino tullien, sertifioinnin ja valvotun datan hinnalla. Yhdysvaltain tullitariffin luvun 99 mukaan mannermaavalmisteinen robottivarsi maksaa noin 40% yhdistettyä tullia, AOI-tyyppiset instrumentit ja kamerat noin 37.5% ja reunatietokoneet 25%; Malesiassa tai Indonesiassa valmistetut noin 10–12.5%, Vietnamissa, Thaimaassa tai Filippiineillä 12.5–15%, Taiwanissa 10%, tietokoneet 0% mantereen ulkopuolella (USITC HTS luku 99, Great Lakes Customs Law) primary schedule + estimate. USTR:n 10. marraskuuta antama ilmoitus jatkoi 178 vanhaa Section 301 -poikkeusta 9. tammikuuta 2027 asti, yksikään niistä ei koske robotteja, tarkastusinstrumentteja, kameroita tai tietokoneita (Federal Register 2026-22925) verified.

OSHA vaatii työpaikan sähkölaitteiden olevan »hyväksyttyjä« (käytännössä NRTL-merkki, tai kenttäarviointi noin $3,000–$20,000+ per solu), ja 11. elokuuta 2025 alkaen UL 1740 tuo kokonaiset robottisolut ISO 10218-2:n piiriin (eCFR 1910.399, Intertek, Industrial Monitor Direct). Puolustuselektroniikka on käytännössä suljettu mannermaamääräysvaltaisilta toimittajilta: ITAR käsittelee tuotantovalokuvat teknisenä datana ja soveltaa Kiinaan kieltäytymispolitiikkaa (eCFR 22 CFR 120.33, eCFR 22 CFR 126.1). Yhdysvaltoihin suuntaavan solun tulisi käyttää kiinteää vartta, rajoittamattomia kameroita ja paikallisia tai Yhdysvaltain pilvimallien malleja, loppukokoonpano Kaakkois-Aasiassa siellä missä se aidosti muuttaa alkuperää.

Millä tahansa budjetilla katto eroaa alueittain, mutta missään se ei saavuta nollaa ihmistä estimate. Manner voi pinota kotimaiset 3D SPI:n, 3D AOI:n, röntgenin, AI-tarkistuksen ja sisäisen AI-tiimin laskeakseen tarkistustyön 8–15%:iin, mutta ilman suljettuja frontier-malleja tai DGX Stationia tehtaanlaajuisen LLM-Q&A:n on ajettava paikallisilla avoimilla painoilla ja kotimaisella laskennalla (täysikokoinen malli monelle käyttäjälle vaatii vähintään kaksi kahdeksan kortin Ascend-palvelinta). Taiwan ja Kaakkois-Aasia voivat teknisesti käyttää parasta kaikesta, mukaan lukien frontier-API:t ja DGX Station, asiakasidentiteetin, mannermaamerkkien ja kiinalaisemolisenssien rajoittamina. Yhdysvalloilla ei ole teknisiä rajoja tullien, NRTL-sertifioinnin ja valvotun datan henkilöstöerottelun hinnalla. Kaikkialla ihmisiä jää rajapäätöksiin, uusiin tuotteisiin ja vaihtoihin, uusiin vikatyyppeihin ja asiakkaan hyväksyntään.

Alueiden yli myytävä tuote tarvitsee siis kaksi mallipinoa: mannerpinon rekisteröidyillä kotimaisilla malleilla tai paikallisilla avoimilla painoilla, ja ulkomaanpinon frontier-API:lla sekä ei-kiinalaisperäisellä paikallisella mallilla. Anthropicin 12. marraskuuta 2026 voimaan astuva käytäntö arvioi omistuksen ja määräysvallan perusteella, joten mannermaamääräysvaltainen toimittaja ei voi rakentaa Clauden varaan edes ulkomaisen tytäryhtiön, pilvialustan tai jälleenmyyjän kautta (Anthropic) single source, primary.

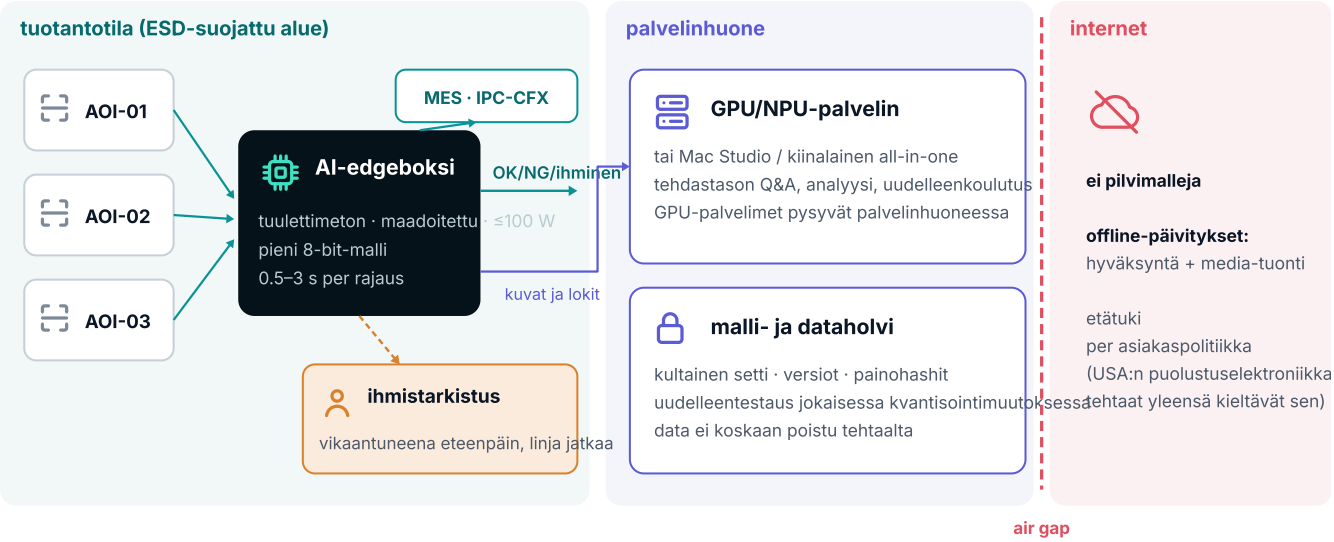
Paikallisesti

02 AI:n ajaminen tehtaan sisällä: puhdastilat, ilmarakot, laitteisto ja kvantisointi

Ilmaeristetyssä tehtaassa rajoite on prosessi, ei laskenta

Täysin offline-visuaalitarkastus on rutiinia; rajoitteet ovat prosessuaalisia. Kiinan vuoden 2024 MIIT-opas teollisuuden ohjausjärjestelmien turvallisuudesta vaatii vyöhykityksen, palomuurit tai datadiodit, auditoidun aikarajoitetun etähuollon, skannatut mediat ja testatut korjaustiedostot (opasteksti) single source ; puolijohdeasiakkaat lisäävät SEMI E187:n ja E188:n, jotka TSMC kirjoitti ostosopimuksiinsa vuonna 2023 (SEMI, TXOne) verified . Tulokset palaavat MES:iin IPC-CFX:n kautta ja piirilevyn identiteetti kulkee IPC-HERMES-9852:n kautta (Hermes-standardi). Yleinen ansa on lisensointi, joka olettaa verkon: Roboflow'n offline-tila välimuistittaa painot 30 päivän vuokrauksella (Roboflow). Offline-tuote tarvitsee offline-aktivoinnin, allekirjoitetut päivitykset skannatuilla medioilla, ohjelmiston materiaaliluettelon, USB-hallinnan, paikalliset auditointilokit ja CFX-sovittimen.

FIG 05 **Air-gapped-käyttöönotto** ***Pieni boksi linjalla päättää; palvelinhuone vastaa kysymyksiin; vikaantuneena palataan ihmisiin ja data ei koskaan poistu tehtaalta.***



Lähde: Kirjoittajan synteesi (luku 2).

Suljetut frontier-mallit eivät käytännössä pääse tehtaan palvelinhuoneeseen. Geminiä tarjotaan ilmaeristettynä vain Google Distributed Cloudin kautta hallituksille ja suurille yrityksille (Google Cloud); Microsoftin Foundry Local avaa suuret mallit vain »päteville asiakkaille« eikä nimeä yhtään GPT-mallia (Microsoft); Claudea tarjotaan vain pilven hallitusalueilla, ilman paikallista käyttöönottoa (Claude hallituksille); yhtäkään kolmesta ei tarjota Manner-Kiinassa. Tehtaan laitteisto on suunniteltava avointen painojen varaan; frontier-mallit voivat korkeintaan merkitä tai selittää kuvia pääkonttorissa, offline-tilassa, kun asiakas sallii anonymisoitujen kuvien viennin.

Palvelinhuoneen laitteistoa tulisi käsitellä toimistoluokkaisena: Mac Studio on mitoitettu 10–35 °C:een ja DGX Spark 5–30 °C:een, raporttien mukaan lämpösammutuksilla jatkuvassa inferenssissä (Apple, NVIDIA-foorumi) verified . Linja saa tuulettimettomia teollisuuslaatikoita, kuten Jetson T4000 -teollisuustietokoneen, joka on mitoitettu −25:stä 60 °C:een (AAEON) vendor claim . Koska tunnin seisokki maksaa suurelle tehtaalle $36,000–$2.3 miljoonaa (Siemens

True Cost of Downtime 2024) vendor survey, jokaisen AI-vaiheen linjalla on **fail open** -periaatteella: vian sattuessa se palautuu olemassa olevaan AOI-plus-ihmiset -prosessiin.

Puhtaus- ja ESD-vyöhykkeet: tavallinen SMT-halli on ESD-suojattu alue, ei luokiteltu puhdastila

Se, mikä rajoittaa laskennan sijoittelua, on statiikka ja ilmavirtaus, ei puhtausluokka. Useimmat SMT-kokoonpanoalueet eivät ole »muodollisesti partikkelikontrolloituja«, ja maailmanluokan tehtaat »voivat saavuttaa tai lähestyä ISO 8:aa« (Circuitnet-asiantuntijapaneeli) single source. Lääketieteellinen PCBA ja kameramoduulit ovat tyypillisesti ISO 7:ssä, paljaat sirut ja optinen kohdistus paikallisessa ISO 5–6:ssa (PCBSync) single source; puhdastilarakentajat ilmoittavat ISO 7–8:n SMT:lle yleisesti (Angstrom Technology) vendor claim.

Yleisvaatimus on ESD-hallinta: ANSI/ESD S20.20-2021 vaatii eristetyt johtimet alle 35 V:iin ja pitää vahvan kentän eristeet vähintään 30 cm päässä herkistä laitteista (ANSI, ESDA, Desco) verified. Fabit sijoittavat laskennan sub-fabiin tai datakeskukseen, nestekierrolla jäähdytettyihin räkkeihin, jotka täyttävät SEMI S2/S8/F47:n (Prodrive) vendor claim.

Se, voiko laite päästä puhtaaseen alueeseen, testataan partikkelipäästöjen osalta ISO 14644-14:n mukaan; roboteilla on tällaisia sertifikaatteja (Fraunhofer IPA), mutta en löytänyt yhtään teollisuustietokonetta, reuna-AI-laatikkoa tai GPU-palvelinta, jolla sellainen olisi. CE, FCC ja IEC 60068 osoittavat, että laatikko sietää ympäristönsä, eivät että se saa mennä ESD-suojatulle alueelle; asiakkaan ESD-koordinaattori tarkistaa sen. GPU-palvelimet eivät koskaan mene linjalle: DGX Station veti 1,292 W GPU:lla testauksessa (StorageReview).

FIG 06 **Puhtaus- ja ESD-vyöhykkeet määräävät, missä laskenta voi olla *Tavallinen SMT-halli on ESD-suojattu alue, ei puhdastila. GPU- ja NPU-palvelimet kuuluvat palvelinhuoneeseen.***



Lähde: ANSI/ESD S20.20, IEC 61340-5-1, ISO 14644, SEMI-standardit ja valmistajamateriaali; kirjoittajan kokoama.

Vyöhyke	Tyypillinen ympäristö	Laskenta linjalla	GPU/NPU-palvelimet
Tavallinen SMT/PCBA-halli (kuluttaja, teollinen)	ESD-suojattu alue S20.20:n tai IEC 61340-5-1:n mukaan, yleensä ei luokiteltu puhdastila (≈ISO 8 -vastine); 40–60% RH	Tuulettimeton laatikko maadoitetussa metallikotelossa (Jetson T4000/Thor, kiinalainen NPU-laatikko) AOI:n tai tarkistuspisteen vieressä; muoviset näytöt ja kotelot alueen ulkopuolella tai ≥30 cm piirilevyistä	Palvelinhuone tai ilmastoitu IT-räkki

Vyöhyke	Tyypillinen ympäristö	Laskenta linjalla	GPU/NPU-palvelimet
Lääketiede, kameramoduulit, EV-elektroniikka (ISO 7–8 -puhdastila)	Puhdastila plus ESD-suojaus	Tuulettimeton, IP65/66-tiivis, sileä ja helppo pyyhkiä; pyydä ISO 14644-14 -data tai IPA-sertifikaatti	Puhdastilan ulkopuolella, verkotettuna sisään
Paljaat sirut, lankaliitokset, optiset asemat (paikallinen ISO 5–6)	Miniympäristö	Vain kamerat ja valot sisällä; laskentalaatikko ulkona	Palvelinhuone
Fab-puhdastila (ISO 5 ja puhtaampi)	Fab-kohtaiset ESD- ja sähköstaattisen vetovoiman suunnitelmat, laitteet SEMI E78:n mukaan; kyberturvallisuus SEMI E187/E188:n mukaan	Vain työkaluun integroidut, fab-kvalifioidut ohjaimet; ei lisä-PC:itä tuulettimilla	Sub-fab-nestekiertoräkit tai fab-datakeskus

Taulukko on synteesini yllä olevista lähteistä estimate. Tuotteelle se tarkoittaa tuulettimetonta linjanvarsi-laatikkoa alle noin 100 W:n, metallikoteloa kytkettynä suojamaahan, 12–24 V DC -syöttöä, laajan lämpötilan toimintaa todellisella kaappi-ilmavirtauksella ja ISO 14644-14 -partikkelipäästöraporttia valmiina ISO 7:n ja puhtaammille asiakkaille. Mikä tahansa suunnittelu, jossa »yksi GPU-palvelin palvelee neljää linjaa«, sijoittaa palvelimen palvelinhuoneeseen ja jättää linjalle vain pienen laatikon tai kameran.

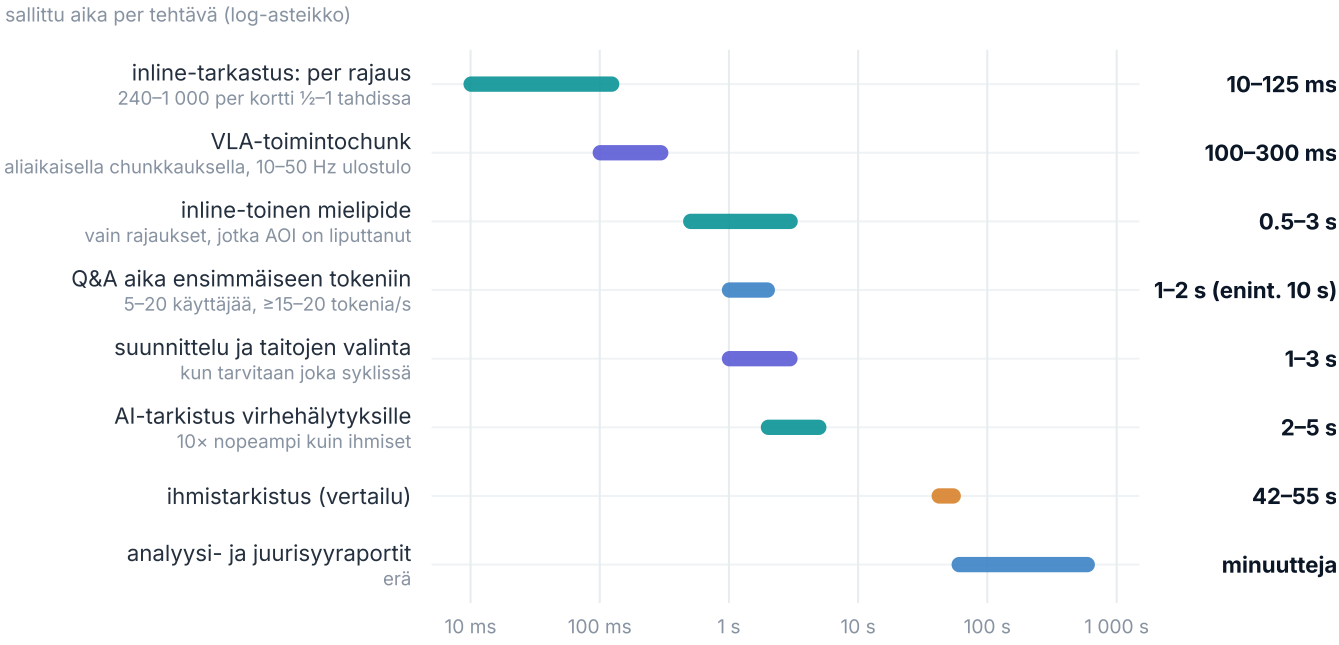
Nopeusrajat käytön mukaan: tarkkuus on vaikeampaa kuin nopeus

Tehtaat ja toimittajat eivät juuri koskaan julkaise AI-latenssi- tai saatavuustavoitteita. Alla olevat kynnykset on johdettu tahdista, ihmistarkistusajasta, robottien ohjaustaajuuksista ja vuorovaikutustutkimuksesta estimate:

Käyttö	Nopeusraja	Tarkkuusraja	Saatavuus
Jokaisen osan inline-tarkastus	½–1 tahdin sisällä: 240–1,000 rajausta 10–30 s:n tahdissa, 8–100 rajausta sekunnissa	Läpipääsyt eivät huonompia kuin nykyinen »AOI plus ihmiset« (sopimusesimerkki <0.5%)	Fail open, ei koskaan pysäytä linjaa; tavoite ≥99.9% (ei julkista SLA:ta)
Inline-toinen mielipide vain AOI:n merkitsemistä rajauksista	Merkinnät (yleensä ≤5–20 per piirilevy) ½ tahdin sisällä: 0.5–3 s per rajaus	Sama; koulutettu linjan omilla kuvilla	Palaa ihmistarkistukseen
Väärien hälytysten AI-tarkistus	2–5 s per kutsu, yli kymmenen kertaa nopeampi kuin ihmisen 42–55 s	Läpipääsyt eivät huonompia kuin ihmistarkistajalla	Heikkeneminen lisää ihmisiä, ei koskaan pysäytä linjaa
Robotin ohjaus (VLA)	100–300 ms per toimintopala reaaliaikaisella paloittelulla, 10–50 Hz ulostulo	≥99% tehtäväonnistuminen voittaakseen ohjelmoidun liikkeen	Turvajärjestelmä mallista riippumaton
Robotin suunnittelu ja taitovalinta	1–3 s tarvittaessa joka sykli; ≤1 min jos vain poikkeuksissa tai vaihdoissa	Ulostulon on oltava todennettavaa koodia tai taito-ID	Palaa kiinteään ohjelmaan
Q&A (SOP:t, MES-kyselyt)	Ensimmäinen token mieluiten ≤1–2 s, korkeintaan 10 s; ≥15–20 tokenia/s per käyttäjä; 5–20 samanaikaista käyttäjää	Tarkat viittaukset; uskollinen pitkässä kontekstissa	Toimisto-IT-luokka (≈99–99.5%)
Analyysi- ja perussyiden raportit	Minuutit ovat ok (eräajo)	Korkein; uskollinen pitkässä kontekstissa	Toimisto-IT-luokka

Physical Intelligence mittasi 97 ms inferenssiä 3B-luokan VLA:lle (noin 108–139 ms verkon ja esikäsittelyn kanssa), havaitsi että reaaliaikainen paloittelu pitää suorituskyvyn muuttumattomana jopa 200 ms lisäviiveeseen asti, ja suoritti hienomotoriikkaa vaativia tehtäviä, kuten tulitikun sytyttämisen tai verkkokaapelin kytkemisen, yli 300 ms:ssa (Physical Intelligence) vendor research; vuorovaikutustutkimus asettaa ajatuskulun säilyttämisen rajan yhteen sekuntiin ja huomion rajan kymmeneen (NN/g). Tarkkuus on vaikea osa: avoin Qwen3-VL-8B saa keskimäärin vain 56.8 nolla-shot-pistettä viidessä teollisuusanomaliadatassa (IndusAgent) single source. Mikään laitteisto ei pelasta näkökielimallia, jota ei ole hienosäädetty linjan omilla kuvilla.

FIG 07 **Nopeusrajat käyttötarkoituksen mukaan** ***Inline-tarkastus mitataan millisekunneissa, Q&A sekunneissa, analyysi minuuteissa. Ihmiset käyttävät 42–55 s hälytystä kohden.***



Lähde: Kirjoittajan synteesi (luvut 1–2).

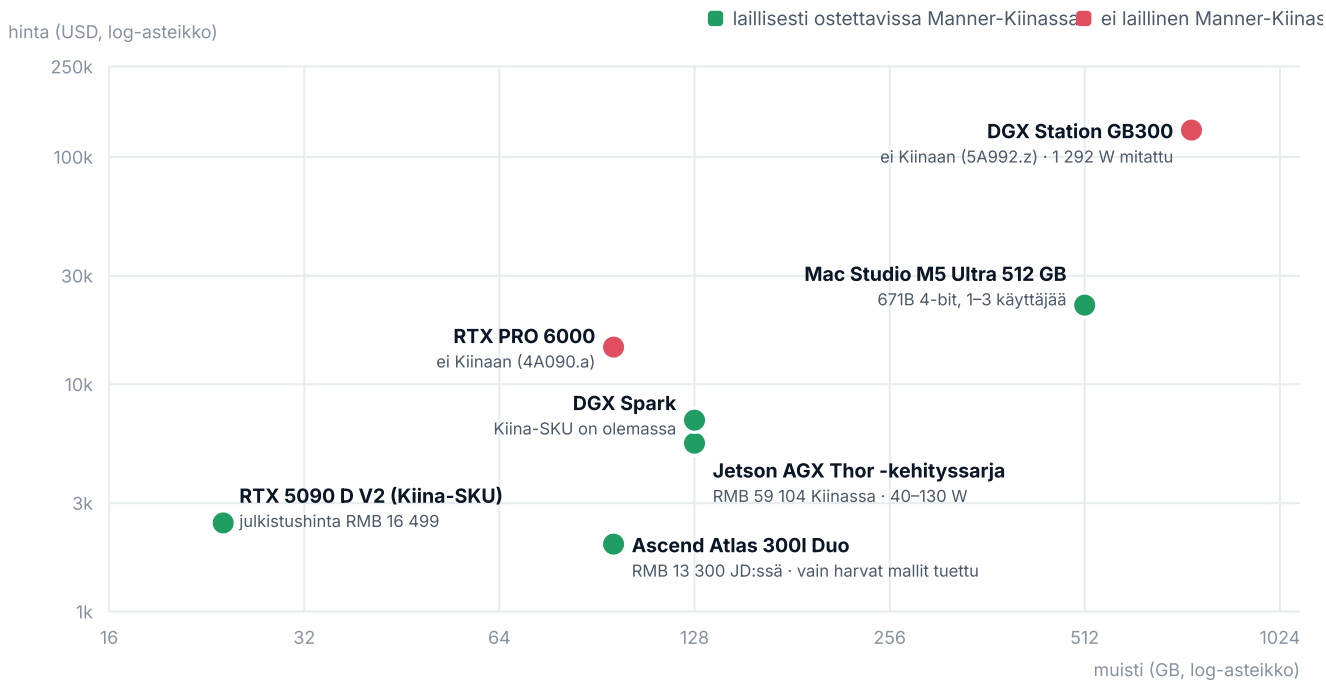
Laitteisto: Thor asemalle, Mac Studio tai kotimainen laite tehtaan Q&A:han, eikä DGX Stationia mantereella

Laite	Muisti ja kaistanleveys	Hinta (marraskuu 2026)	Mihin se on hyvä	Manner-Kiina
Jetson AGX Thor - dev-kitti / T5000 / T4000	128 GB LPDDR5X, 273 GB/s; 40–130 W	$3,499 lanseerauksessa → $5,499 (heinäkuu 2026); T5000 $4,999, T4000 $2,999; RS China - dev-kitti RMB 59,104 sis. veron	2–8B-näkömallit tarkistamassa rajauksia uudelleen; reaaliaikaiset 3B-luokan VLA:t	Kyllä (5A992.c, ei lisenssiä siviilitehtaille)
DGX Spark	128 GB, 273 GB/s	$3,999 → $4,699 → $6,950; samasiruinen ASUS GX10 Kiina-malli RMB 32,999 JD:llä (lokakuu 2025)	Monen käyttäjän 8–35B MoE	Kyllä (5A992.c, Kiina-malli, valtuutetut kanavat)
RTX PRO 6000	96 GB GDDR7	≈$8,565 → $13,250 (kesäkuu 2026) → ≈$16,005 keskimääräinen eBay-listaus marraskuussa	Monen käyttäjän 27–35B FP8; 120B-luokan MoE 4-bittisenä	Ei (4A090.a)
Mac Studio M5 Ultra 512 GB	512 GB yhdistetty, 1.2 TB/s; 480 W maksimijatkuva	$22,299:sta Yhdysvalloissa; ≈RMB 173–186k arvioitu Kiinassa	DeepSeek 671B 4-bittisenä 1–3 käyttäjälle	Kyllä

Laite	Muisti ja kaistanleveys	Hinta (marraskuu 2026)	Mihin se on hyvä	Manner-Kiina
DGX Station GB300	748 GB (252 GB HBM3e 7.1 TB/s + 496 GB LPDDR5X 396 GB/s); 1,292 W mitattu GPU:lla	$123–140k katuhinta marraskuussa (≈RMB 830–940k ennen tullia); $95–117k elokuussa	Korkea rinnakkaisuus 120–235B MoE:lla, joka mahtuu HBM:ään; vain muutama käyttäjä 433–743B-malleilla	Ei (5A992.z, TPP 58,484)
Huawei Atlas 300I Duo	96 GB LPDDR4X, 408 GB/s	RMB 13,300 JD-kauppiaalta	Pienen volyymin erätarkistus; harvat tuetut mallit	Kyllä (kotimainen)
Huawei Atlas 800I A2 (8 × Ascend 910B 64 GB)	8 × 64 GB HBM	Ei saatu; täysi DeepSeek vaatii kaksi W8A8:lla, neljä BF16:lla	Tehtaanlaajuinen monen käyttäjän Q&A ja analyysi	Kyllä (kotimainen)
RTX 5090 D V2 (Kiina-malli)	24 GB	RMB 16,499 lanseerauksessa (elokuu 2025), noussut muistihintojen myötä	8B-näkömallit, pienet VLA:t	Kyllä

Lähteet: (NVIDIA China Thor, NVIDIA Thor -lanseeraus, CNX hintojen noususta, NVIDIA:n vientiluokitusdata, RS China, Implicator, IThome ASUS GX10:stä, Tom's Hardware RTX PRO 6000, GPU Poet, Applen tekniset tiedot, TechRadar, IThome M5 Ultra Kiinan hinnoittelusta, Wccftech, StorageReview, Cyber-PowerPC, monitors.com, Tom's Hardware DGX Station, vLLM-Ascend-tukimatriisi, China Telecom Cloud, Huawei Atlas 800I A2, TweakTown). Manner-Kiinan hinnat 512 GB Mac Studiolle on ekstrapoloitu Yhdysvaltain konfiguraatiolisistä ja ovat matalan luottamuksen estimate.

FIG 08 **On-prem-laskenta: muisti, hinta ja mitä Manner-Kiinassa voi laillisesti ostaa** ***Vientiluokitukset määräävät shortlistan ennen benchmarkeja.***



Lähde: NVIDIAn vientiluokitukset, Apple, RS China, JD.com ja arvosteluhinnat (marraskuu 2026).

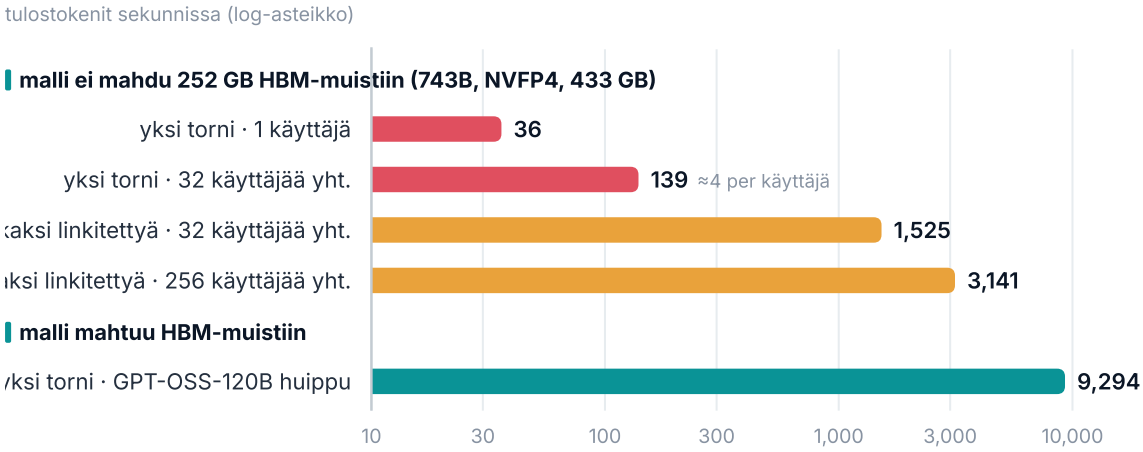
Jetson Thor tekee asematason käyttöönotosta toimivan. NVIDIA:n TensorRT Edge-LLM -testit näyttävät Qwen3-VL-8B:n (NVFP4) esitäytön 2,048 tokenia 104.5 ms:ssa ja dekoodauksen 44.4 tokenia/s Thorilla (TensorRT Edge-LLM) vendor claim; AOI-rajaukselle ja 20-tokenin vastaukselle se on noin 0.5 s 8B-mallilla ja 0.2 s 2B:llä, tai 8.5–21 rajausta sekunnissa eräajossa estimate. Ulostulon pituus, ei parametrien määrä, määrää latenssin, joten rajoitettu dekoodaus luokkatokeniin tai lyhyeen JSONiin on osa suunnittelua. GR00T N1.7 (3B) ajaa 25.1 Hz:llä Thorilla (Jetson AI Lab) vendor claim. Orin NX vie noin 1.8 s per rajaus ja Atlas 300I Duon p95 on yli 23 s, sopiva vain erätyöhön (CSDN) single source. Mantereella budjetoi NVIDIA-tuotteet 40–60% yli Yhdysvaltain listahinnan estimate.

512 GB Mac Studio tekee täysikokoisen mallin yhdellä koneella mahdolliseksi, muutamalle käyttäjälle. M5 Ultra (elokuu 2026) tarjoaa jopa 512 GB 1.2 TB/s:n nopeudella noin $22,299:sta (Apple, TechRadar); DeepSeek 671B 4-

bittisenä (≈380–404 GB) dekoodaa 17–20 tokenia/s M3 Ultralla (Pinggy) verified ja arviolta 25–29 M5 Ultralla. Pitkät kehotteet ovat heikko kohta: 10,000-tokenin hakukehote vie noin 17–70 s estimate, yli 10 sekunnin vuorovaikutusrajan.

DGX Station on vahvin yksittäinen kone, mutta ei saatavilla mantereella ja viidestä kuuteen kertaa Macin hinta. Toimitettavassa GB300:ssa on **748 GB**, josta vain 252 GB on nopeaa HBM:ää (Wccftech, Tom's Hardware, elokuu 2026) verified. Riippumattomat testit näyttävät noin 9,300 ulostulotokenia/s GPT-OSS-120B:llä, joka mahtuu HBM:ään, mutta 743B-malli, joka valuu LPDDR5X:ään, antoi 32 käyttäjälle vain 139 tokenia/s yhteensä, noin 4 kullekin; kaksi linkitettyä yksikköä saavutti 1,525 (StorageReview, elokuu 2026, StorageReview, lokakuu 2026) single source. Katuhinnat nousivat $123–140k:hon marraskuuhun mennessä (CyberPowerPC, monitors.com). Mantereella realistiset vaihtoehdot samaan työhön ovat Mac Studio, KTransformers-tyyliset CPU+GPU-palvelimet (KTransformers) vendor test tai kotimaiset Ascend-palvelimet.

FIG 09 **Yksi iso työasema ei tee jaettua assistenttia** ***Kun malli ei mahdu suuren kaistanleveyden muistiin, 32 samanaikaista käyttäjää saavat kukin noin 4 tokenia sekunnissa.***



Lähde: StorageReview (elo ja loka 2026); ServeTheHome. Yhden lähteen riippumattomat testit.

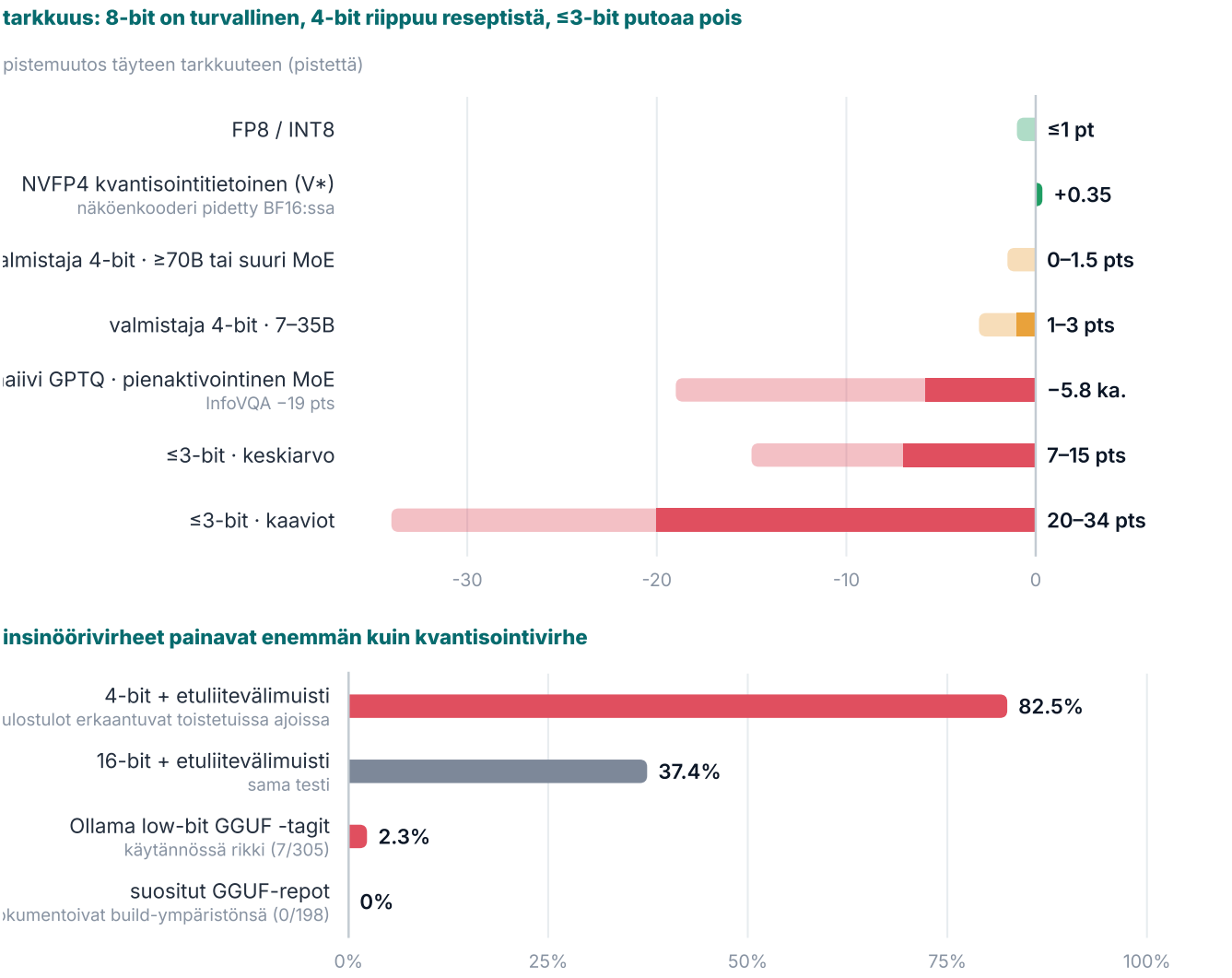
Muistipula liikutti samoja osia 20–100% vuodessa (DGX Spark nousi $3,999:stä $6,950:een (TechRadar)), joten laitetarjoukset tulisi indeksoida eikä jäädyttää.

Kotimaiset kiihdyttimet ajavat täysikokoisia malleja; ohjelmiston ylläpito on pullonkaula. Ascend 910B:ssä on 64 GB HBM:ää, mutta vLLM-Ascend merkitsee DeepSeek V3/R1:n »ei enää ylläpidetyksi« ja tukee vain harvoja malleja pienemmillä korteilla (vLLM-Ascend) single source, primary, ja jokaisen uuden mallin sovittaminen vie kuukaudesta kahteen (Caijing/Anue); toimita jäädytetty, validoitu malliversio. Täyden DeepSeek 671B:n palveleminen 20–100 käyttäjälle vaatii vähintään kaksi kahdeksan kortin Atlas 800I A2 -palvelinta (China Telecom Cloud) verified, mutta julkiset LLM-laitteiden tarjouskilpailut Kiinassa olivat yhteensä vain RMB 27.5 miljoonaa tammi–syyskuussa 2025 (C114) single source: tehtaat maksavat integraatiosta ja palvelusta, eivät laskentalaatikosta.

Kvantisointi: 8-bittinen on turvallinen, 4-bittinen riippuu reseptistä, 3-bittinen ja sen alle on poissuljettu

8-bittinen (FP8 tai INT8) on olennaisesti häviötön näkö-kielimalleille (Red Hat, Hugging Face) verified. 4-bittisessä häviö riippuu koosta ja reseptistä: Qwenin 72B AWQ -rakennus häviää alle pisteen MMMU:ssa, kun taas 7B häviää 2.8 (Qwen AWQ) verified, ja yksityiskohtaiset tehtävät laskevat enemmän (naiivi 4-bittinen GPTQ maksaa Qwen3-VL-30B-A3B:lle 19 pistettä InfoVQA:ssa (VEQ)). 3-bittisessä ja sen alla keskimääräinen häviö on 7–15 pistettä ja kaaviot menettävät 20–34 (VLMQ) verified; yli 64k tokenissa 4-bittinen häviää jopa 59%, pahemmin ei-englanninkielisellä syötteellä (arXiv 2505.20276). Pidä näkö-enkooderi FP16/BF16:ssa.

FIG 10 **Kvantisointi: 8-bit on turvallinen, 4-bit riippuu reseptistä, 3-bit ja alempi putoaa pois** ***Insinöörivirheet serving-pinossa maksavat enemmän tarkkuutta kuin itse kvantisointi.***



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

Kaksi varoitusta merkitsee enemmän. Ensinnäkin **11. marraskuuta 2026 mennessä mikään tutkimus tai mallikortti ei ole mitannut kvantisointia PCB/SMT-vikakuvilla**, joten validoi uudelleen golden setillä. Toiseksi, palvelu pinon virheet ovat usein suurempia kuin kvantisointivirhe: sama malli sai noin 30 pistettä vähemmän Ollamalla kuin viitetoteutuksella (SiliconBench); 7 Ollaman 305:stä virallisesta koodimallitagista oli olennaisesti rikki, vaikka tiedostot olivat ehjät (arXiv 2609.05881); yksikään 198:sta suositusta GGUF-repositoriosta ei tallentanut rakennustaan (arXiv 2610.19498); ja prefix-välimuistin uudelleenkäytössä 82.5% jaksoista poikkesi 4-bittisellä vastaan 37.4% 16-bittisellä (arXiv 2609.04748) single sources. Toimittajan kvantisointitietoinen 4-bittinen on lähellä häviötöntä yksityiskohtatehtävissä (NVIDIA Nemotron 3.5) vendor claim, mutta 4-bittiset VLA:t häviävät 1.5–4.3 pistettä häiriön alla ja ajavat hitaammin Thorilla (LoopQ) single source. Hallitse kvantisoitua mallia kuin uutta mittaria: kiinnitä painohashit, tallenna rakennus, nollaa prefix-välimuisti ja validoi uudelleen jokaisen tarkkuus-, moottori- tai mallipohjamuutoksen jälkeen.

Tarkkuus	≥70B tiheä tai ≥100B MoE	7–35B	≤4B tai yksityiskohtaiset tehtävät	Tuomio
FP8 / INT8	Turvallinen (≤1 piste)	Turvallinen	Turvallinen; tarkastuksen oletus	Käytä

Tarkkuus	≥70B tiheä tai ≥100B MoE	7–35B	≤4B tai yksityiskohtaiset tehtävät	Tuomio
4-bittinen AWQ/GPTQ (toimittajan resepti, näkö-enkooderi FP16)	0–1.5 pistettä	1–3 pistettä; naiivi GPTQ pienaktiivisella MoE:lla −5.8 keskimäärin, −19 InfoVQA:ssa	2–3 pistettä; validoi yksityiskohtatehtävät ensin	Ehdollinen
NVFP4 (toimittajan resepti)	≈0.3–1 piste alle FP8:n (toimittajan data)	Kvantisointitietoiset rakennukset lähes häviöttömiä V*:ssa, OCRBenchissä	Ei julkista dataa	Ehdollinen (suosi kvantisointitietoisia rakennuksia)
GGUF Q4_K_M	Testaamaton	Suuri varianssi aluetehtävissä	Ei pienelle tekstille tai vioille	Ei yksityiskohta-arviointiin
GGUF Q5_K_M ja yli	Oletettavasti turvallinen	Lähes häviötön kahdessa testissä	Yksityiskohdan alaraja llama.cpp:llä	Käytä
≤3-bittinen (mukaan lukien 1T-mallit puristettuna 1.8–2 bittiin yhdellä koneella)	Ei päätöksiin	Ei	Ei	Ei

Mikä konfiguraatio mihinkin työhön

Konfiguraatio	Inline-tarkastus	Väärien hälytysten AI-tarkistus	Robotin suunnittelu ja ohjaus	Q&A ja analyysi
Erilliset ilmaisimet tai anomaliamallit (YOLO, RF-DETR, PatchCore-luokka), INT8/FP16, mikä tahansa NPU- tai GPU-reunalaatikko	● Kyllä: pääarvioija, 2–12 ms per rajaus	● Kyllä (linjalle viritetty luokittelija)	● Vain havainnointi	—
2–4B-näkömallit, NVFP4/AWQ/FP8 FP16-näkö-enkooderilla, Thorilla/T4000:lla tai DGX Sparkilla	● Ehdollinen: tarkista AOI:n merkitsemät rajaukset 0.2–0.3 s kullakin	● Ehdollinen, alle 1 s virityksen jälkeen	● VLA-runko (2–3B VLA ≈40–130 ms per pala)	● Heikko
7–9B-näkömallit (Qwen3-VL-8B, MiniCPM-V 4.5, GLM-4.6V-Flash), FP8 tai toimittajan 4-bittinen, Thorilla, Sparkilla tai 24–32 GB -kortilla	● Ehdollinen: ≈0.5 s per merkitty rajaus	● Kyllä: 0.5–1 s per kutsu, paras hinta-laatu	● Suunnittelu ja taitovalinta (1–3 s), ei ohjaussilmukassa	● Perus-SOP-Q&A yhdelle tai muutamalle käyttäjälle
26–35B MoE (Gemma-4-26B-A4B, Qwen3.6-35B-A3B), NVFP4/FP8	● Ei (liian raskas)	● Kyllä, selittäjänä tai vaikeisiin tapauksiin	● Suunnittelu	● Kyllä (8 käyttäjää Sparkilla, ≈0.1 s ensimmäinen token)
106–241B MoE 4-bittisenä Mac Studiolla, RTX PRO 6000:lla tai Sparkilla	● Ei	● Ei	● Offline-suunnittelu	● Kyllä, yhdelle tai muutamalle käyttäjälle
DeepSeek 671B tai Kimi K2.x 1T 4-bittisenä 512 GB Macilla, KTransformers-palvelimella tai DGX Stationilla	● Ei	● Ei	● Vain offline-ohjelmien tuottaminen	● Ehdollinen: 1–3 käyttäjää ja lyhyet kehotteet; pitkät kehotteet vievät 16–170 s

Konfiguraatio	Inline-tarkastus	Väärien hälytysten AI-tarkistus	Robotin suunnittelu ja ohjaus	Q&A ja analyysi
Mikä tahansa ≤3-bittisellä; GGUF Q4_K_M pienmallin yksityiskohtatyöhön; Ollama monelle käyttäjälle	● Ei	● Ei	● Ei	● Ei

Lähteet: yllä olevat TensorRT Edge-LLM, Jetson AI Lab, Apple ML Research ja KTransformers -data, sekä (DGX Spark -testit, RTX PRO 6000 -testit, Hardware Corner Atlasista, Ultralytics YOLO26, RF-DETR) **community and vendor tests, mostly single source** .

Siis kahteen tavanomaiseen huoleen: **sen ei tarvitse olla hidasta**, jos malli vastaa työtä (pienet ja keskikokoiset näkömallit Thorilla tai Sparkilla täyttävät jokaisen inline- ja tarkistusbudjetin; 671B–1T-mallit pysyvät pois linjalta), ja **kvantisoinnin ei tarvitse tehdä siitä väärää** FP8/INT8-oletuksella, tai toimittajan reseptin 4-bittisellä yli 7B:ssä golden setillä validoituna. Suuremmat riskit ovat yleisten mallien noin 57 pisteen nolla-shot-teollisuustarkkuus ja palvelupinon virheet. Anna tarkastuspyynnöille kiinteät eräkoot ja oma jono (lämpötila 0 ei ole bittitoistettavissa eräajossa (vLLM-dokumentaatio)), pidä N+1-kuumavaranto ja tee jokaisesta linjan vaiheesta fail open.

Opettaja ja oppilas

03 Opettaja ja oppilas: frontier-mallit voivat esimerkitä tarkastusdataa; robottivarsille todelliset opettajat ovat yhä ihmiset

Marraskuun 2026 opettajaehdokkaat: yleinen näkö kaksinkertaistui, teollisuusvirhepisteet puuttuvat

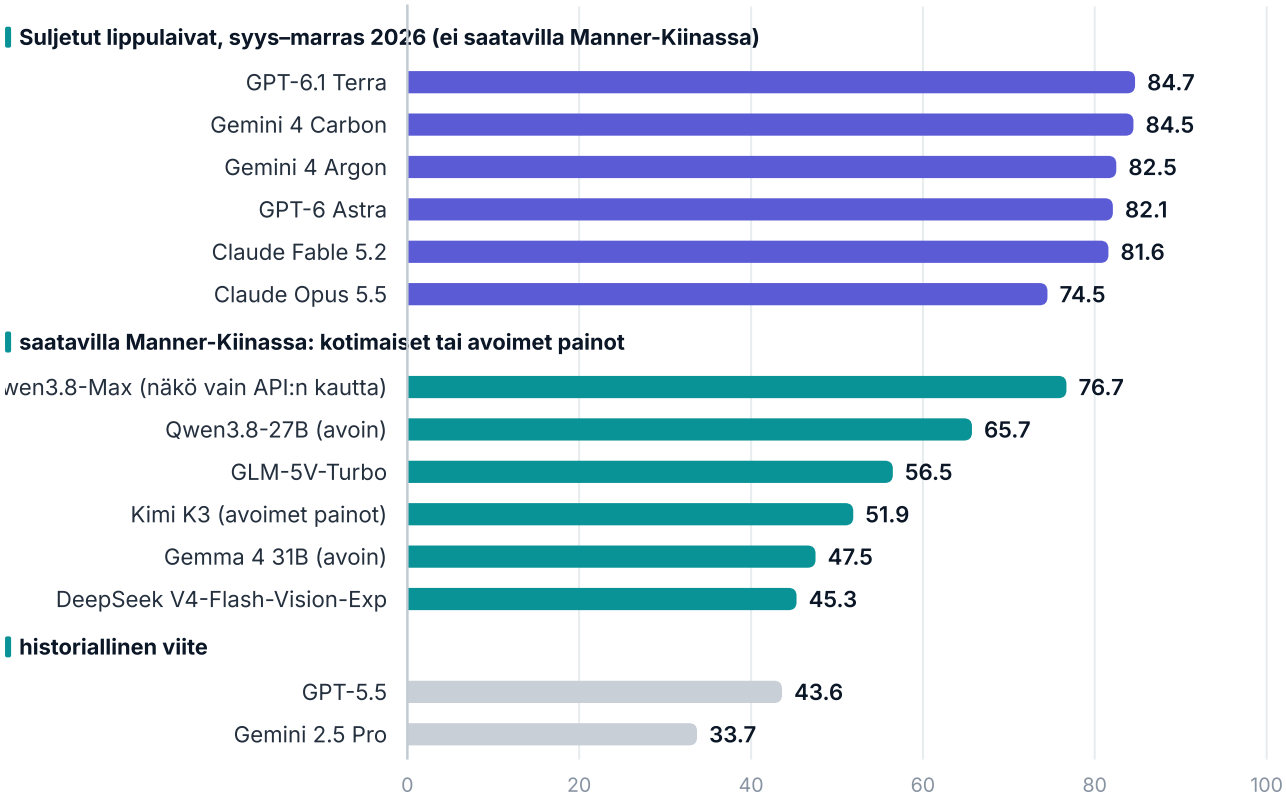
Jokainen suljettu lippulaiva, joka voisi toimia opettajana marraskuussa 2026, hyväksyy kuvia: Claude Fable 5.2 (yleisesti saatavilla 9. marraskuuta, $8/$40 per miljoona tokenia) ja Opus 5.5 ($4/$20) (Anthropic, Claude-mallien yleiskatsaus) verified; GPT-6 Astra ($10/$50) ja GPT-6.1 Terra ($1/$5) (OpenAI-hinnoittelu); sekä Gemini 4 Argon ja Carbon, avattu vaiheittain (Google Carbon). Manner-Kiinassa käyttökelpoisia ovat Qwen3.8-Max (näkö API:n kautta) ja avoimet mallit, kuten Qwen3.8-27B, Kimi K3, GLM-5V-Turbo, DeepSeek V4-Flash-Vision-Exp ja Gemma 4 (Roboflow-blogi, Hugging Face).

Keskeinen aukko on sanottava suoraan: yhdelläkään näistä malleista ei ole julkaistua pistettä MMAD:ssa, MVTec AD 2:ssa, VisA:ssa, Real-IAD:ssa, UniPCB:ssä tai missään PCB/SMT-datassa. MMAD:lla ei vielä ole tulostaulukoa (MMAD GitHub), ja kaksi uusinta teollisuusanomalia-artikkelia (elo–syyskuu 2026) käyttävät edelleen Gemini 2.5 Pro'ta ja Claude Sonnet 4:ää uusimpina yleisinä perustasoinaan (InspectorGPT, Anomaly-LR). arXiv:n kokotekstihaku 11. marraskuuta löysi nolla osumaa sanoille »Fable 5.2« tai »Gemini 4 Carbon« tässä yhteydessä (arXiv API) single source, absence of evidence. Lähimmät korvikkeet:

- Uusin frontier-malli MMAD-pisteellä on GPT-5.5: 69.95% kysymyksessä »vika vai ei« ja 76.20% keskiarvo seitsemässä tehtävässä 500 kuvan osajoukossa, vastaan 95.24% ja 86.65% ihmisasiantuntijoilla (AnomalyClaw) single source; GPT-4o sai 68.63% ja 74.92% vuonna 2024 (MMAD, ICLR 2025), noin 1.3 pistettä edistystä kahdessa vuodessa.
- LDU-Benchissä, oikeissa SEM-tarkistuskuvissa IC-litografiasta ja ainoassa elektroniikkabenchmarkissa, jossa on vuoden 2026 malleja, hyvä-tai-huono-triage on kohtalainen (makro F1 0.932 GPT-5.4:lle, 0.884 GLM-5V-Turbolle, 0.876 Claude Opus 4.6:lle, 0.504 Gemma 4 31B:lle), mutta 11 vikamorfologian luokittelu saavuttaa vain 0.20–0.41 (LDU-Bench) single source.
- Roboflow'n riippumattomissa näköevaluaatioissa (päivitetty 10. marraskuuta 2026) objektien tunnistuksen mAP@50 on 84.5 Gemini 4 Carbonille, 84.7 GPT-6.1 Terralle ja 81.6 Fable 5.2:lle, vastaan 33.7, 43.6 ja 38.6 Gemini 2.5 Prolle, GPT-5.5:lle ja Claude Opus 4.8:lle (Roboflow Vision Evals) single source, independent evaluator, private datasets.

FIG 11 **Opettajaehdokkaat: yleiset pisteet tuplaantuivat sukupolvessa** ***Mutta yhdelläkään vuoden 2026 lippulaivalla ei ole julkaistua tulosta teollisessa vikabenchmarkissa.***

Roboflow yleinen detektio mAP@50



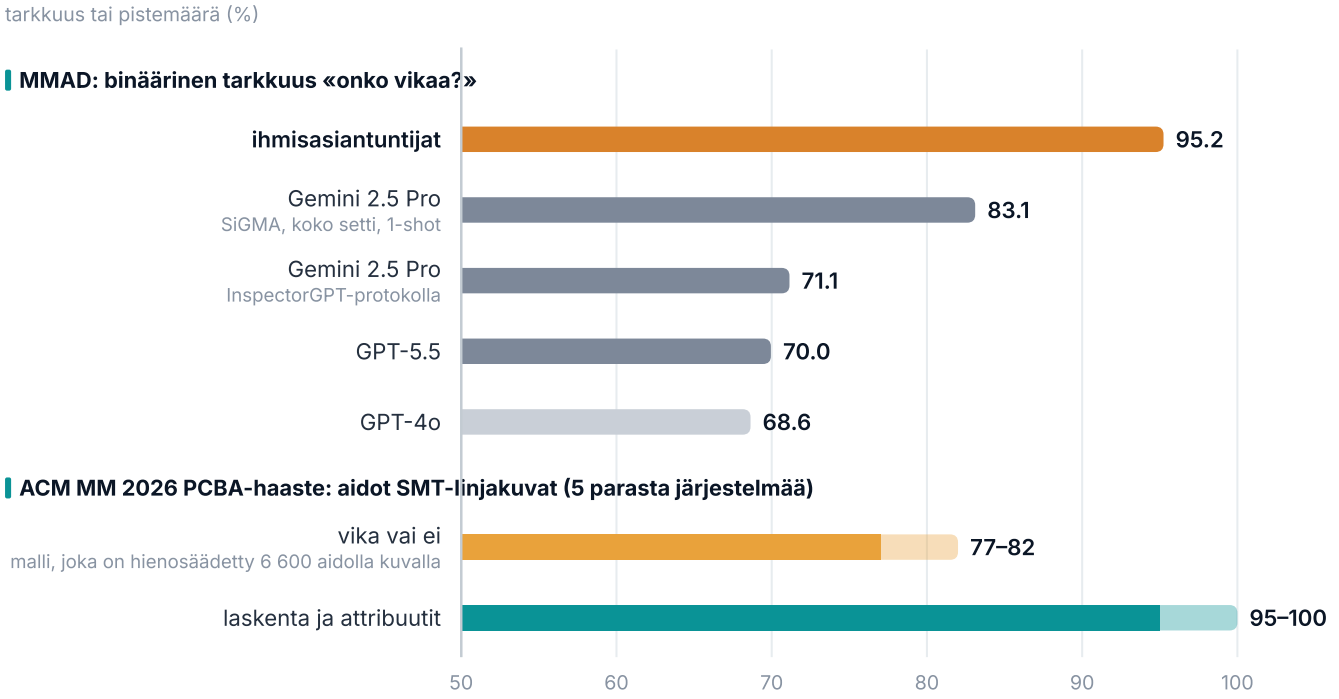
teolliset vikabenchmarkit (MMAD, MVTec AD 2, VisA, Real-IAD, UniPCB): nolla julkaistua tulosta näille vuoden 2026 lippulaivoille
yleiset detektiopisteet tuplaantuivat sukupolvessa, mutta se ei ole vika-arvio; testaa omalla kultaisella setilläsi

Lähde: Roboflow Vision Evals; mallijulkaisumuistiot; MMAD, MVTec AD 2 ja muut benchmarksivut (11.11.2026).

Opettajaehdokas (marraskuu 2026)	Hinta per M tokenia (sisään/ulos)	Roboflow-tunnistus mAP@50 / laskenta	Teollisuusvirhe-benchmarkit	Käyttökelpoinen Manner-Kiinassa
Claude Fable 5.2	$8 / $40	81.6 / 86.5	Ei mitään	Ei
Claude Opus 5.5	$4 / $20	74.5 / 80.6	Ei mitään	Ei
GPT-6 Astra	$10 / $50	82.1 / 80.2	Ei mitään	Ei
GPT-6.1 Terra	$1 / $5	84.7 / 80.2	Ei mitään	Ei
Gemini 4 Carbon	$2 / $10 (kampanja)	84.5 / 90.1	Ei mitään	Ei
Qwen3.8-Max (näkö vain API:n kautta)	$2 / $6	76.7 / 81.1	Ei mitään	Kyllä
Qwen3.8-27B (avoin)	Paikallinen	65.7 / 64.9	Ei mitään	Kyllä
GLM-5V-Turbo	$1.20 / $4.00	56.5 / 48.6	LDU-Bench-triage 0.884	Kyllä
Gemma 4 31B (avoin)	Paikallinen	47.5 / 51.4	LDU-Bench-triage 0.504	Kyllä (paikalliset painot)
Viite: GPT-5.5 / GPT-4o	—	43.6 / 68.0 (GPT-5.5)	MMAD-binääri 69.95% / 68.63%	Ei
Ihmisasiantuntijat	—	—	MMAD-binääri 95.24%	—

Uudemmat paperit testaavat yhä edellistä sukupolvea, mutta osoittavat samaan suuntaan. Täydellä MMAD-setillä ihmisasiantuntijat saavat 95.2% kysymyksessä vika-vai-ei ja Gemini 2.5 Pro 83.1% (SiGMA), mutta sama malli sai vain 71.14% toisessa paperissa (InspectorGPT): testiprotokolla liikuttaa pistettä yhtä paljon kuin mallisukupolvi. CVPR 2026 VAND 4.0 -haasteessa valmiit näkö-kielimallit saavuttivat huipun 61.88 AP vastaan 90.84 valvotuille menetelmille, ja järjestäjät päättelivät, että ne »eivät voi tällä hetkellä korvata hienosäädettyjä luokittelijoita« (VAND 4.0) single source. ACM MM 2026 PCBA -haasteessa viisi parasta sai 76.92–82.47 kysymyksessä vika-vai-ei, kun taas komponenttityyppi ja pinnilaskenta saavuttivat 95–99.5 (arXiv 2609.21276) single source: tunnistaminen on paljon helpompaa kuin arviointi.

FIG 12 **«Onko vikaa?» on yhä vaikeaa yleisille malleille** ***Paras yleinen malli jää yli 12 pistettä ihmisasiantuntijoista MMAD:ssa; viritetyt järjestelmät pärjäävät paremmin aidoilla linjakuvilla.***



Lähde: MMAD; SiGMA; InspectorGPT; ACM MM 2026 PCBA -haaste.

Kolme johtopäätöstä seuraa. Näkeminen ja laskeminen kaksinkertaistuivat sukupolvessa, mutta poikkeavuuden arviointi liikkuu hitaasti, riippuu voimakkaasti protokollasta ja tuo mukanaan systemaattisia harhoja; kuinka paljon uudet mallit hyötyvät, voidaan mitata vain tehtaan omilla kuvilla. Koulutusjakaumansa sisällä hienosäädetyt 7B-erikoisjärjestelmät voittavat yhä yleiset mallit (Anomaly-LR, UniPCB). Ja oikea linjadata romahduttaa pisteet: kootuilla elektroniikkapaneeleilla kuvatason AUROC putosi 97–98:sta MVTec AD:ssa 31.5–78.6:een (arXiv 2606.01992) single source. Mannermaan yrityksille vahvin saatavilla oleva opettaja, Qwen3.8-Max, on noin 8 pistettä globaalin kärjen alapuolella.

Kymmenien tai satojen kierrosten ajaminen: raha ei ole ongelma, merkkauslaatu on

Raha ei ole ongelma. Marraskuun 2026 listahinnoilla 1,000 yhden megapikselin kuvaa maksaa noin $3 (GPT-6.1 Terra) – $32 (GPT-6 Astra) per kierros, ja sata kierrosta 100,000 kuvalla noin $32,000–135,000 ennen eräalennuksia estimate (Claude-näködokumentaatio, OpenAI-näköopas, Roboflow Vision Evals). Yksinkertaisille merkeille ihminen maksaa noin saman kuin Terra; opettajan etu on nopeus ja mittakaava, ei hinta. Asiakkaiden NDA:t pitävät yleensä tuotekuvat tehtaan sisällä, joten golden set merkitään paikan päällä.

Todellinen este on laatu, eivätkä useammat kierrokset korjaa systemaattisia virheitä. Roboflow ajaa jokaisen tehtävän kolme kertaa ja pisteet liikkuvat vain ±0.1–1.4 pistettä (Roboflow), joten malli enimmäkseen toistaa virheensä eikä enemmistöäänestys voi pelastaa sitä. Kierrokset auttavat vain, kun jokainen lisää informaatiota: yksi tai kaksi

hyvää viitekuvaa lisää noin 3–4 pistettä, enemmän ei lisää mitään (AD-Copilot); mallin antaminen väitellä hyvää viitettä vastaan usean vuoron ajan lisää 6.23 pistettä poikkialue-AUROC:ia GPT-5.5:lle ja 2.95 MMAD:ssa, huipun noin kolmen kutsun jälkeen (AnomalyClaw) single sources . »Opettajan merkeillä koulutettu oppilas lähestyy ihmismerkkejä« on osoitettu vain luonnollisilla kuvilla: Qwen3-VL:n COCO- ja Objects365-merkeillä koulutettu ResNet-101 saavutti 95.7–99.4% ihmismerkkien tuloksesta, ja kirjoittajat sanovat aluedatan olevan testaamatonta (arXiv 2602.20972) single source .

FIG 13 **Kaksi opettaja–oppilas-putkea** ***Tarkastuksessa frontier-malli esimerkittää ja ihmiset päättävät; robottikäsivarsissa todelliset opettajat ovat yhä ihmisdemonstraatiot.***



Lähde: Kirjoittajan synteesi (luku 3); kustannukset ja otoskoot ovat arvioita.

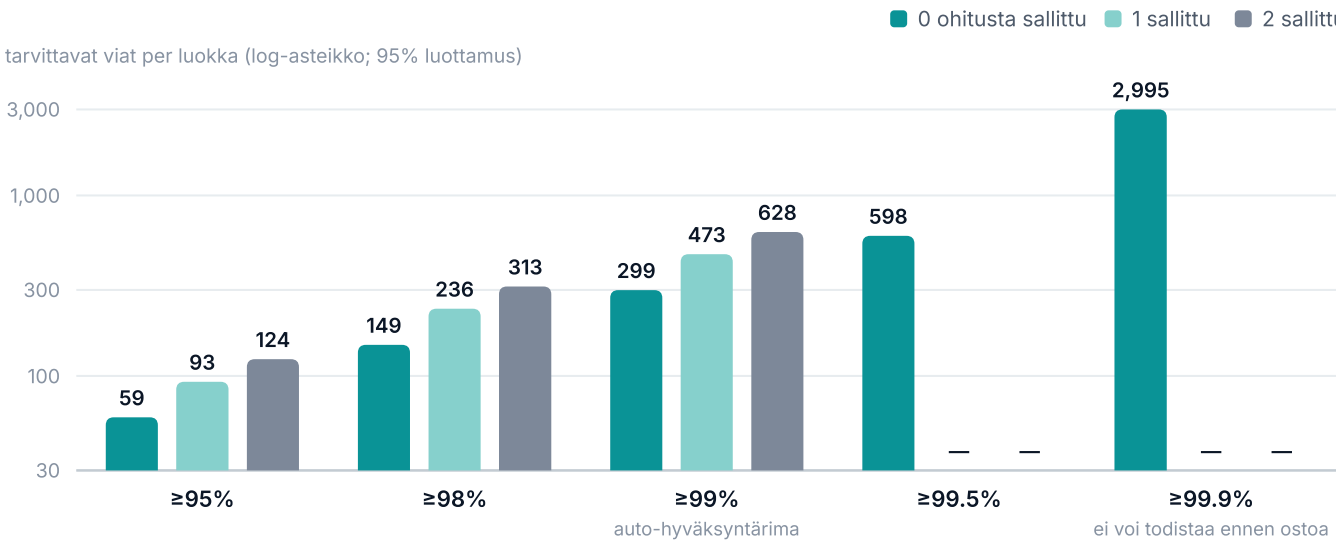
Toimiva protokolla estimate :

1. **Kerää golden set tehtaan omasta AOI-arkistosta ja säilytetyistä NG-piirilevyistä**, ositettuna 12 todelliseen vikaluokkaan (puuttuva, siirtynyt, hautakivi, polariteetti, väärä osa, silta/oikosulku, riittämätön juote, ylimääräinen juote, juotospallo, koholla oleva liitos/avoin, vaurioitunut osa, vieras materiaali) ja neljään väärän hälytyksen syyhyn (varjo, fluksi, silkkipaino, toleranssi), plus »ajautumisviipaleeseen«, jossa on vähintään 300 vikaa toiselta linjalta tai eri valaistuksella, piirilevyn värillä tai osanumeroilla.
2. **Merkitse sokkona kahdella tai kolmella IPC-A-610-koulutetulla tarkastajalla**, vanhemman insinöörin päättäessä ja röntgenin, sähköisen testin tai poikkileikkausten ratkaistessa monitulkintaiset näytteet. Hyväksy luokan määritelmä vain, jos tarkastajien yksimielisyys saavuttaa κ ≥0.75 (≥0.90 kriittisille luokille); ihmisten yksimielisyys 11 elektroniikkavikamorfologiasta LDU-Benchissä oli vain 0.727, joten jotkin luokat tarvitsevat yhdistämistä tai uudelleenmäärittelyä. AIAG-tyylinen attribuuttiyksimielisyys (tehokkuus ≥90%, ohitus ≤2%, väärä hälytys ≤5%, κ >0.75; >0.90 julkaisuun) on järkevä minimi (Fabrico, iFactory).
3. **Mitoita eksaktilla binomisella (Clopper–Pearson) yksipuolisella 95% rajoilla** (binomiset luottamusvälit, kolmen sääntö:

Todistettava recall	0 ohitusta sallittu	1 sallittu	2 sallittu
≥95%	59 vikaa	93	124
≥98%	149	236	313
≥99%	299	473	628

Todistettava recall	0 ohitusta sallittu	1 sallittu	2 sallittu
≥99.5%	598	—	—
≥99.9%	2,995	—	—

FIG 14 **Kuinka suuri kultaisen setin on oltava *99%:n recallin todistaminen nollalla ohituksella vaatii 299 vikaa luokkaa kohden; 99.9%:a ei voi todistaa ennen ostoa.***



Lähde: Tarkat binomiset luottamusvälit (95%).

Kuusikymmentä vikaa per luokka riittää läpäisy/hylkäys-seulontaan; 300 tarvitaan automaattisen hyväksynnän päättämiseen. Täysi setti, noin 3,600 vikaa plus 3,500 väärän hälytyksen rajausta, vie noin 37–57 työtuntia merkitä ja ratkaista, ja opettajaehdokkaan ajaminen sen yli maksaa $23–196; todellinen kustannus on kahdesta kuuteen viikkoa keräystä, harvinaisimman luokan määräämänä estimate. Lähetä yksikomponenttisia AOI-rajauksia, ei kokonaisia piirilevyjä, tavoitteena vähintään 42–48 pikseliä leveydessä (arXiv 2610.09313).

1. **Hyväksy opettajan merkinnät automaattisesti vain luokalle, jossa on nolla ohitusta ≥299 golden-viassa**, mallitotuus-yksimielisyys ei huonompi kuin ihminen–ihminen-yksimielisyys, ja vähintään 50% vääristä hälytyksistä poistettu. Kriittiset luokat, kuten oikosulut, puuttuvat osat, polariteetti ja väärät osat, tarvitsevat 99.5–99.9% (598–2,995 vikaa); muuten kaikki, mitä AI ei voi poistaa korkealla luottamuksella, menee ihmiselle. Alle 0.1%:n vikojen läpipääsyprosenttia ei voi todistaa ennen ostoa (2,995 vikaa nollalla ohituksella; 0.01% vaatisi 29,956), joten linja pitää AI-poistettujen kutsujen ihmisotannan, loppupään ICT/FCT:n varavarmistuksena ja SPC:n läpipääsyille. Varmennetut merkinnät tislataan sitten perinteiseen ilmaisimeen tai luokittelijaan ja validoidaan uudelleen jokaisella uudella tuotteella.

Ehdot ja datasäännöt ratkaisevat myös opettajan. Anthropic kieltää palveluidensa käytön kilpailevien mallien kouluttamiseen (Anthropicin kaupalliset ehdot); OpenAI sallii ulostulojen käytön sellaisten sisäisten luokittelijoiden kouluttamiseen, joita ei myydä kolmansille osapuolille (OpenAI:n liiketoimintaehdot); DeepSeek sallii tislauksen nimenomaisesti (DeepSeek-ehdot) primary terms. Mikään ei määrittele »kilpailevaa mallia«, joten kaupallinen käyttö vaatii juridisen tarkastelun, ja asiakkaiden datasäännöt pitävät yleensä kuvat paikan päällä. Turvallisin oletus on paikallisesti ajettava avoimen painon opettaja, pilven frontier-mallit vain kun asiakas sallii sen kirjallisesti.

Tarkastusoppilaat: pienet ja nopeat; pullonkaulat ovat optiikka, data ja validointi

Oppilas ei ole pullonkaula: YOLO26n vie 3.80 ms per kuva INT8:ssa $249–399 Orin Nano Superilla (Ultralytics) vendor test, NVIDIA raportoi 98.51% kolmessa PCB-vikaluokassa sen jälkeen kun perustusmallia sovitettiin noin 600

kuvalla (NVIDIA) vendor claim, ja synteettiset viat lisäävät vain 0.9–2.5 mAP-pistettä (arXiv 2605.04635). Rajoitteet ovat optiikka, linjadata, validointi ja lisenssit: Ultralytics YOLO on AGPL-3.0 tai yrityslisensoitu (Ultralytics), joten suljetut tuotteet tarvitsevat lisenssin tai Apache-2.0-ilmaisimen, kuten RF-DETR:n.

Robottioppilaat: strukturoidut asemat ovat lähellä tuotantotasoa; joustava ja dynaaminen työ ei ole

Marraskuussa 2026 on kolmenlaisia robottiopettajia, ja vain yksi voi muuttua paikalliseksi oppilaaksi: avoimet, hienosäädettävät VLA:t (π0/π0.5, GR00T N1.7, X-VLA, RDT2, SmolVLA). Suljettuja robottimalleja (π0.6/π0.7 beta-API:n kautta, Gemini Robotics 2 luotetuille testaajille) ei voi ottaa käyttöön paikan päällä (The AI Insider, DeepMind). Frontier-yleismallit ovat hitaita ja heikkoja hienomanipulaatiossa: Artificial Analysisin testissä ne saivat 46–69 ja 28–45% tartuntaonnistumisen sekä noin 30 minuuttia per tehtävä, »liian hitaasti ja kalliisti mihinkään tuotantokäyttöön« (AA-Robotics); GPT-6 Astra onnistui tarkkuusurassa vain 2 kertaa 20:stä (RoboCurve); ja nivelten ajaminen suoraan antaa 0–5.5% LIBERO:ssa 0.2–0.4 Hz:llä vastaan tarvittava noin 83 Hz (Anthropic) verified across three sources. Fable 5.2:n 64.9% simuloidussa RoboDojo-benchmarkissa on sisäinen ajo (Anthropic) vendor claim.

Kolmannen osapuolen tutkimukset lokakuusta alkaen ovat yksimielisiä: noin 33–44% LIBERO-10:ssä kolmelle johtavalle agentille (arXiv 2610.30051); agentit väittävät virheellisesti onnistuneensa 24–39%:ssa osatehtävistä (arXiv 2611.08209); ja 104 tehtävää 108:sta kvasi-staattisesta oikean robotin tehtävästä Opus 5.5:lle, mutta 280 sekuntia kukin eikä yhtään asennusta tai kokoonpanoa (AMP1) single sources. Frontier-mallit kuuluvat offline-tilaan: kirjoittamaan ohjelmia, orkestroimaan tehtäviä ja laatimaan onnistumiskriteerejä.

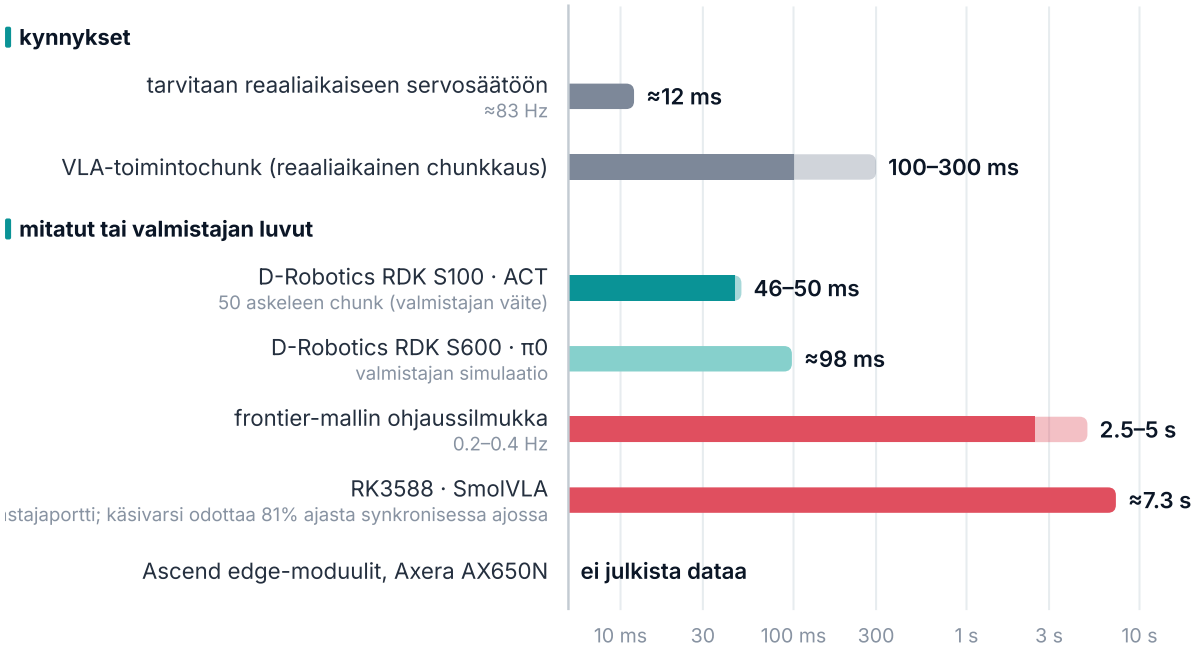
Oppilaan laadulla on selvä reuna: hyvä koulutusjakauman sisällä, romahtaa sen ulkopuolella. π0.7 »ylittää usein 90%« nähdyissä tehtävissä ja saavuttaa 60–80% näkemättömissä (π0.7-paperi) vendor research; ContactDP saavuttaa 97.8% koulutetuilla liittimillä mutta 28.6–66.7% näkemättömillä (ContactDP); pienet kamera- tai asentomuutokset pudottavat 95%:n alle 30%:n LIBERO-Plus:ssa (LIBERO-Plus, CVPR 2026); liikkuvilta kuljettimilta oppiva tartunta on huipussaan 58.89% (ForeTime-VLA) single sources, työ, jonka klassinen näköseuranta on tehnyt tuotannossa vuosia.

Lähellä tuotantoa oleva näyttö tulee kokonaan strukturoiduilta asemilta, ihmisdemonstraatioista ja oikean robotin korjauksesta. Neuromeka piti tilakoneen ja ennalta opetetun liikkeen ja oppi vain tartunnan, kaapelin asennuksen ja juottamisen, kukin alle 20 minuutin datasta: 322 tehtävää 324:stä tuotannossa, 12.8% hitaampi kuin ihminen (Neuromeka) single source, vendor. Fraunhofer saavutti 92.8% neljässä liittimessä 68 minuutin demonstraatioista (Fraunhofer); Berkeleyn HIL-SERL onnistui 100 kertaa 100:sta RAM-, SSD- ja USB-asennuksessa 1–2.5 tunnin oikean robotin RL:n jälkeen (HIL-SERL); AgiBot ajoi 18–20 sekuntia per vaihe 20 sekunnin tahdin sisällä tablettitestilinjalla (IThome) vendor claim.

Tislaus ostaa nopeutta, ei yleistystä: π0.5 ajaa 0.70 Hz:llä Jetson Orinilla raakana ja 10.30 Hz:llä asynkronisen ajoituksen jälkeen (EagleVLA); kerrostislaus vie sen noin 3 Hz:stä noin 10 Hz:iin (Shallow-π) verified. Oppilas perii vain sen, mitä opettaja kattoi; jokainen uusi tuote tarvitsee silti tehtävädataa.

FIG 15 **Edge-politiikan viive***Pieni ACT-politiikka ajaa noin 50 ms edge-kortilla; hobby-sirulle portattu VLA kestää 7.3 s.*

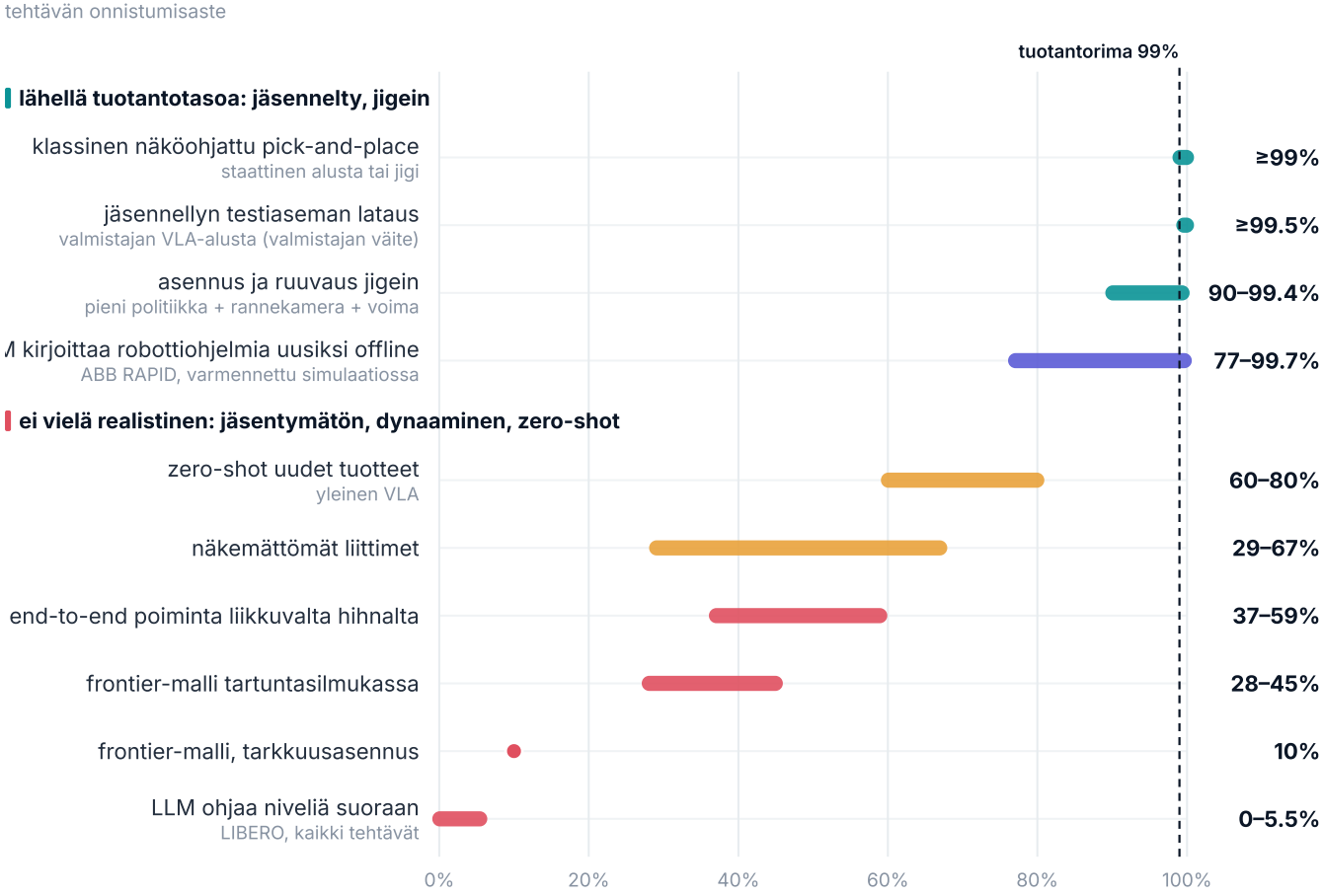
päättelyviive per toimintochunk tai ohjaussykli (log-asteikko)



Lähde: D-Robotics-dokumentaatio ja -foorumi (valmistajan luvut); GitHub-yhteisöportit; Anthropicin tutkimus.

Kiinalaisilla reuna-siruilla ainoa mitattu opittu politiikka on ACT-politiikka D-Roboticsin RDK S100:lla 46–50 ms:ssa per 50 askeleen pala, ilman julkaistua onnistumisprosenttia (D-Robotics RDK S -dokumentit) vendor claim; SmolVLA:n harrastajaporttaus RK3588:lla vie noin 7.3 s per pala (GitHub). Kvantisointi ei osta nopeutta ilmaiseksi: mikään 4-bittinen π0.5-rakennus ei ollut nopeampi kuin 16-bittinen eräkoossa 1 (LoopQ). Demonstraatiot ovat kalliita (Reuters raportoi noin 300 yritystä per käyttökelpoinen liike aloittelevalle teleoperaattorille (Notebookcheck)), ja validointi maksaa enemmän: ≤0.1%:n virheprosentin todistaminen 95%:n luottamuksella vie noin 3,000 peräkkäistä onnistumista, 17–22 robottituntia estimate. Millään opitulla manipulaatiopolitiikalla ei ole turvallisuussertifiointia.

FIG 16 **Robottioppilaat: lähellä tuotantotasoa vain, kun asema on jäsennelty** ***Jigein varustetut asemat yltävät 90–99%+; jäsentymättömät, dynaamiset ja zero-shot-tehtävät eivät ole vielä realistisia.***



Lähde: Luvussa 3 siteeratut paperit ja valmistajamateriaali; osa luvuista on valmistajan väitteitä.

Elektroniikkatehtävä	Toimiva oppilas	Odotettu onnistuminen	Nopeus vs ihminen	Kustannus per vaihto	Tuomio 2026–2028
High-mix pick-and-place, kittaus, koneidenpalvelu (staattinen tarjotin tai kiinnike)	Opittu havainnointi plus ohjelmoitu tai suunniteltu liike	≥99% klassisella näköohjauksella	Sama kuin perinteiset asemat	Tunteja	Toteutettavissa nyt
Kiinnitetty liitin-, FFC- ja kaapeliasennus, ruuvaus, juottaminen	Tilakone + pieni BC/diffuusio/ACT-politiikka + rannekamera + voima/vääntö (mieluiten kosketus) + ihmiskorjaus	90–99.4%	10–15% hitaampi	10–300 demoa (≈15–70 min) + 1,000–3,000 validointiajoa (6–22 robottituntia)	Toteutettavissa, R&D-painotteinen kuukausia ensimmäiseen asemaan
Strukturoitu testiasemien palvelu ja OK/NG-lajittelu	Toimittajan VLA-alusta + digitaalinen kaksonen + oikean robotin RL	≥99.5% vendor claim, conflicting	18–20 s per vaihe, 20 s tahdin sisällä	≤4 h uudelleenkoulutus + 15 min kalibrointi	Toteutettavissa toimittajan alustalla

Elektroniikkatehtävä	Toimiva oppilas	Odotettu onnistuminen	Nopeus vs ihminen	Kustannus per vaihto	Tuomio 2026–2028
Vaihtojen ohjelmointi	LLM kirjoittaa tai muokkaa robottiohjelmia offline-tilassa, varmennetaan simulaatiossa	77–99.7% ABB RAPID -uudelleenkirjoituksissa	Ei vaikutusta tahtiin	Minuuteista tunteihin per ohjelma	**Toteutettavissa suunnittelutyökaluna**
Päästä päähän opittu poiminta liikkuvilta kuljettimilta	VLA-oppilas	37–59%; ≤37% nopeilla hihnoilla	—	≥458 demoa per asetus	**Ei ennen vuotta 2028; käytä klassista seurantaa plus opittua havainnointia**
Uudet tuotteet ilman uutta dataa (zero-shot)	Yleinen VLA	60–80%; näkemättömät liittimet 29–67%	—	—	**Ei realistinen**
Frontier-LLM silmukassa ajamassa vartta	GPT-6, Claude, Gemini -agentit	Tartunta 28–45%; tarkkuusasennus 10%	≈30 min tai 280 s per tehtävä vs ≈20 s	—	**Ei realistinen**
Vapaasti reititetyt johtosarjat ja monivaiheinen joustava kokoonpano	—	Ei vuoden 2026 tuotantonäyttöä	—	—	**Ei ennen vuotta 2028**

Lähteet: yllä olevat tutkimukset ja (Passaun yliopisto RAPID-uudelleenkirjoituksesta, GraspVLA, Komax) **mostly single source and vendor data** . Vuosina 2026–2028 suuren mallin arvo roboteille on esikoulutettuna priorina ja offline-ohjelmoijana, ei jonakin, joka »opettaa« oppilasta. Jokainen löytämäni lähellä tuotantoa oleva tapaus (Neuromeka, AgiBot Longcheerilla, Fraunhofer, ContactDP) nojaa ihmisdemonstraatioihin, voima- tai kosketusanturointiin, simulaatioon tai digitaalisiin kaksosiin ja valvottuun RL:ään. Mikään ei nojaa frontier-mallin merkkeihin.

Kustannukset ja takaisinmaksu

04 Kustannukset ja takaisinmaksu: AI-tarkistus maksaa itsensä takaisin kuukausissa, koneidenpalvelu vuosissa, poimintavarret eivät koskaan

Työvoimakustannus: Yhdysvallat on noin 5.5 kertaa Shenzhen, Taiwan noin 1.5 kertaa, suurin osa Kaakkois-Aasiasta alle puolet

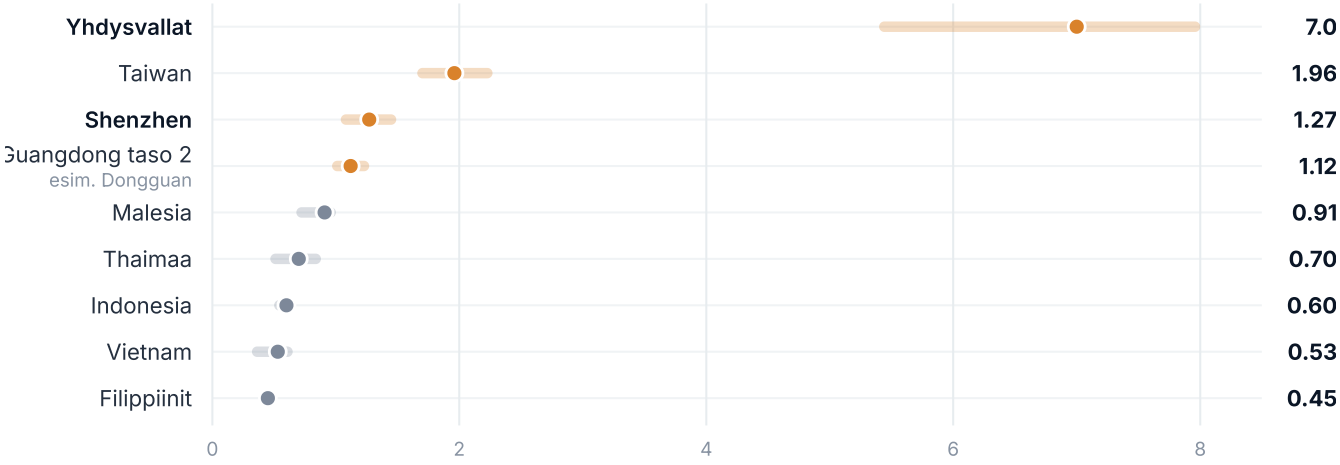
Työvoiman korvaamisen tuotto alkaa siitä, mitä työvoima maksaa. Shenzhenin virallinen palkkaohjeistus asettaa vuoden 2024 mediaanin valmistuksen laatuinsinöörille tasolle **RMB 74,074** vuodessa; palkat ovat 86.92% kokonais-työvoimakustannuksesta elektroniikkavalmistuksessa, joten täysin kuormitettu kustannus on noin RMB 85,000. JET-RO:n vuoden 2025 kysely asettaa kiinalaisen tehdastyöntekijän vuosikustannukseksi $12,667, noin RMB 85,100, 0.2%:n sisällä (Shenzhenin palkkaohjeistus, JETRO 2025) verified .

Alue	Täysin kuormitettu vuosikustannus yhdestä tarkastajasta tai käsittelijästä (matala / perus / korkea)	Peruste
Manner-Kiina, Shenzhen	RMB 70k / **85k** / 100k ($10.4k / **12.7k** / 14.9k)	Virallinen mediaani × 1.15; vastaa JETRO:a verified
Guangdongin toisen tason palkka-alueet (Dongguan jne.)	RMB 65k / **75k** / 85k	Guangdongin 2023 mediaani × 1.15 plus kaksi vuotta korotuksia estimate
Jangtse-joen suisto (Suzhou, Kunshan, Wuxi)	Kuten Shenzhen	Ei perustetta halvemmalle tarkastustyövoimalle; Jiangsun korkein vähimmäispalkka on noin 5.6% Shenzhenin yläpuolella estimate
Taiwan	$16.6k / **19.6k** / 22.7k (NT$534k / **630k** / 729k)	Työministeriön ammattipalkkakysely plus ≈1.18 lakisääteiset sivukulut; JETRO yläpäänä estimate
Malesia	$6.8k / **9.1k** / 10.0k	JETRO ja vähimmäispalkat estimate
Thaimaa	$4.7k / **7.0k** / 8.8k	Sama
Indonesia	$5.0k / **6.0k** / 6.3k	Sama
Vietnam	$3.2k / **5.3k** / 6.5k	Sama
Filippiinit	$4.0k / **4.5k** / 4.9k	Sama
Yhdysvallat	$54k / **70k** / 80k	BLS toukokuu 2025 tarkastajamediaani $48,570 ÷ palkat 65.5%:ssa korvauksesta estimate

Lähteet: (JETRO 2025, Guangdongin palkkaohjeistus, Wuxi HR-virasto, Taiwanin ammattipalkkakysely, PTS News, BLS OEWS, BLS ECEC).

FIG 17 **Mitä yksi tarkastus- tai käsittelytyöntekijä maksaa vuodessa *Täysin kuormitettuna Yhdysvallat on noin 5.5× Shenzhen ja Taiwan noin 1.5×.***

vuotuinen täysi kustannus per QC- tai käsittelytyöntekijä ($10k; piste = perus, palkki = matala–korkea)



Lähde: Shenzhenin virallinen palkkaohje, Taiwanin työministeriö, JETRO, BLS; kirjoittajan arviot.

Kolme korjausta asettaa perustan. Ensinnäkin Shenzhen nosti eläkemaksujen alarajan RMB 4,775:stä 5,521:een kuukaudessa heinäkuussa 2026 (Shenzhen Bendibao) single source, joten Shenzhenin tarkastaja maksaa vuonna 2026 todennäköisemmin RMB 80–90k. Toiseksi, virka ei ole henkilö: kaksi 12 tunnin vuoroa tarvitsee noin 2.0 henkilöä (kuusi päivää viikossa) – 2.4 (ympäri vuoden) Helmijoen suistossa, noin 2.7–3.1 Kaakkois-Aasiassa ylityökattojen alla, ja 4.2–4.5 24×7:lle Yhdysvalloissa ja Taiwanissa estimate. AI-tarkistus antaa yleensä yhden tarkistajan kattaa kahdesta neljään linjaa, joten realistinen säästö on **0.5–1.5 kokopäiväistä henkilöä per linja, ei yksi henkilö per linja per vuoro**. Kolmanneksi, Taiwanin, Vietnamin ja Malesian ostajat eivät jahtaa vain kustannusta: JETRO:n kyselyssä 61.1% Taiwanin yrityksistä, 48.2% Vietnamin ja 44.9% Malesian sanoi rekrytoinnin vaikeutuneen viimeisen kahden vuoden aikana, vastaan 18.6% Manner-Kiinassa (JETRO 2025) single source.

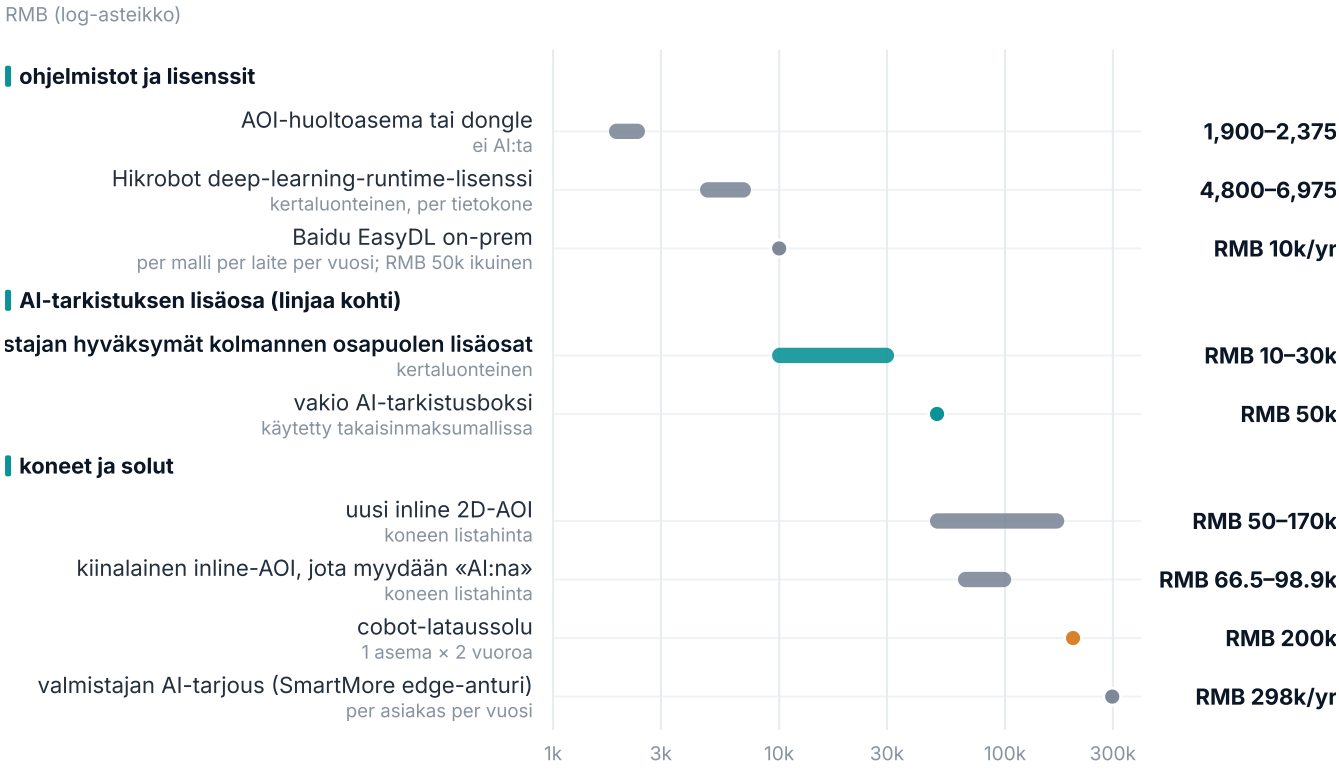
Laitehinnat: neljä perustaa, joita ei tulisi keskiarvoistaa

AOI-hinnat eroavat pääasiassa siksi, että ne mittaavat eri asioita. Verkkolistaukset (marraskuu 2026, uudet, käytetyt ja vuokrat sekaisin) ovat noin RMB 17–80k offline- tai pöytä-2D:lle, RMB 50–170k inline-2D:lle ja RMB 80–475k inline-3D:lle, jopa RMB 700k korealaiselle 3D:lle (1688 inline AOI, 1688 offline AOI, 1688 3D AOI) single source, list prices. Marraskuun 2025 tarjouskilpailu kattoi yhden 3D-AOI:n plus yhden 3D-SPI:n tasolla RMB 800k (tarjousilmoitus). Sinic-Tekin esite antaa RMB 428–512k per 3D-AOI vuosina 2019–2022, noin RMB 340–470k vuoden 2025 raportilla (Sinic-Tek-esite, Sinic-Tek vuosikertomus 2025) primary + estimate. Ulkomainen toimittaja arvioi $3,000–20,000 pöytä-2D:lle, $30–70k inline-2D:lle, $50–90k entry-3D:lle ja $100–200k+ high-end-3D:lle, sama inline-kone $30–50k Kiinassa (Averroes) vendor estimate from a seller of competing AI software.

AI-tarkistuksella itsellään ei ole julkista RMB-hintaa; toimittajat hinnoittelevat tapauskohtaisesti ilmaisen paikan päällä tehdyn arvioinnin jälkeen (Sohu Hengtianyistä), eivätkä verkkokauppa-, tarjous-, toimittaja-artikkeli- tai taiwanilaiset mediahaut tuottaneet julkista hintaa (1688, 51SMT). Ankkurit: noin €27k per linja Siemensin tapauksesta johdettuna estimate; $21,924 listahinta yhdysvaltalaisen jakelijan etätarkistusverkon moduulille (Manncorp) vendor list price; noin RMB 298k per asiakas per vuosi SmartMoren reuna-AI-antureille vuonna 2025 (36Kr) single source. Kotimainen inline-2D-AOI, jota myydään »AI:na«, listataan hintaan RMB 66.5k (1688 inline AOI), ja NG-puskuri manuaaliseen uudelleentarkistukseen noin RMB 50k (1688 AOI -tarkistus). Kolmannen osapuolen tarkistuslisäosan katto on siis noin RMB 10–30k per linja, tai vastaava vuosimaksu; sen yli ostaja mieluummin korvaa koneen kotimaisella AOI:lla, jossa AI on sisäänrakennettu estimate.

Ankkuri	Hinta (RMB)	Mitä se ostaa	Lähde
AOI-korjausasema tai ohjelmistodongle (vanhempi TRI, Zhenhuaxing)	≈1,900–2,375	Lisenssiavain, ei AI:ta	1688 list price
Yleinen syväoppimisen näköajoaika (Hikrobot VisionMaster -dongle)	≈4,800–6,975 kertaluonteisesti per PC	Alusta; asiakas rakentaa ja ylläpitää mallit	1688 list price
Baidu EasyDL -paikalliskäyttöönotto	10,000 per malli per laite per vuosi, tai 50,000 pysyvästi	Paketoitu inferenssipalvelu	Baidu AI -dokumentit 2022 price page
Kotimainen inline-AOI, jota myydään »AI:na«	66,500–98,900 per kone	Koneen vaihto	1688 list price
SmartMoren reuna-AI-anturit	≈298,000 per asiakas per vuosi	Toimittajan ratkaisu useissa koneissa	36Kr single source

FIG 18 **Hintaporras** ***Muutamasta tuhannesta RMB:n ohjelmistolisenssistä RMB 200–300k:iin robottisolusta tai valmistajan AI-tarjouksesta.***



Lähde: 1688-listaukset, Baidu AI -dokumentaatio (hinnasto 2022), 36Kr, toimialahaastattelu (vahvistamaton).

Baidu-tyylinen vuosimaksu, yksi inferenssipalvelin yhdestä neljään linjaan ja yhdestä neljään mallia kullekin, tarkoittaa tilauksen RMB 2.5–40k per linja per vuosi, realistisesti noin RMB 5–10k; 20%:ssa pysyvästä lisenssistä tilaus ja osto menevät tasoihin viidentenä vuonna, rakenne, jota kannattaa kopioida estimate. Ostajat ovat tottuneet lähes nollaan ohjelmistomaksuun: Sinic-Tekin koko »muu« liikevaihto (varaosat, palvelu, vuokra, lisävarusteet) oli 7.65% vuoden 2025 myynnistä, noin RMB 2,300–3,100 per asennettu kone per vuosi (Sinic-Tek vuosikertomus 2025) primary + estimate. AI-tilaus RMB 5–10k per linja per vuosi on kaksi–viisi kertaa se, mitä ostajat nyt käyttävät AOI-ohjelmistoon, joten se on perusteltava vapauttamillaan tarkistustunneilla (noin RMB 75–90k per kokopäiväinen henkilö vuodessa), ei vertailulla olemassa oleviin ohjelmistomaksuihin.

Robottivarsille Kiinan keskimääräinen cobot-hinta putosi noin RMB 58,600:een vuonna 2025 (GGII) estimate, ja Dobotin kuusiakselisen keskiarvo laski 19.1% sinä vuonna halvempien mallien kasvattaessa osuuttaan (Huxiu) verified,

vaikka samojen mallien listahinnat nousivat 5–15% vuonna 2026 (Sina Finance). Yhdysvalloissa FANUC CRX-10iA listattiin hintaan $51,434 (Vention) ja koosteet asettivat UR7e:n $30–48k:hon (cobotcost) estimate. Varsi on vain 40–50% yhdysvaltalaisesta solusta (Standard Bots); Kiinassa kamerat, tarttujat, turvallisuus ja suunnittelu maksavat helposti kahdesta neljään kertaa RMB 40k:n varren, joten budjetoi absoluuttinen suunnittelukustannus eikä kerrointa estimate.

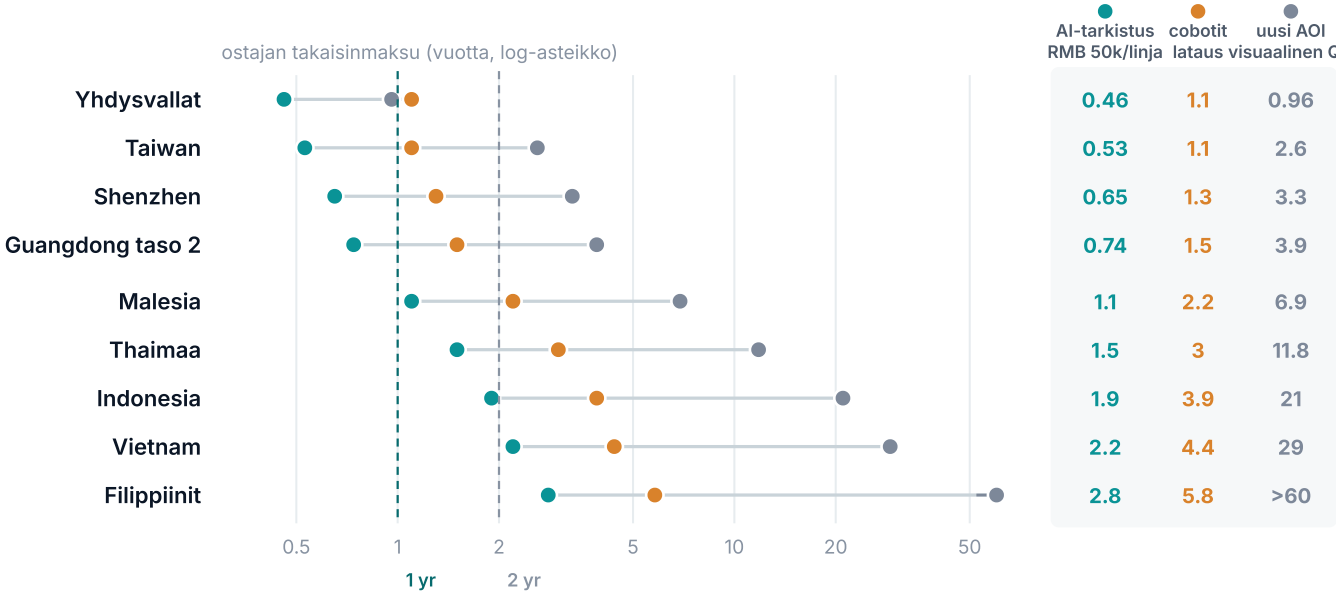
Takaisinmaksu: tarkistus kuukausissa, koneidenpalvelu vuosissa, poiminta ei koskaan

Yksinkertainen takaisinmaksu = investointi ÷ (säästetyt henkilöt × kuormitettu työvoimakustannus − vuotuinen käyttökustannus), kahden vuoron linjalle ilman tukia tai tulleja. Taiwanin laitteisto on hinnoiteltu 1.3 kertaa Kiinaan nähden, Vietnam, Malesia ja Thaimaa 1.15 kertaa, Indonesia ja Filippiinit 1.2 kertaa, ja Yhdysvallat ulkomaanhintaan estimate.

Skenaario	Investointi (Kiina / Yhdysvallat)	Säästetyt henkilöt	Vuotuinen käyttökustannus
(a) AI-tarkistuslaatikko tai AI-kamaralaatikko	RMB 50k / $30k per linja	1.0 per linja	15%
(b) Uusi inline-2D-AOI korvaamassa manuaaliset visuaalitarkistukset (0.5 tarkistajaa per vuoro jää)	RMB 200k / $60k	1.0	12%
(c) Cobot-lastaussolu (yksi asema × kaksi vuoroa)	RMB 200k / $140k	2.0	8%
(d) Integroitu tunnistus-ja-poiminta-solu (tarkastus 1.0 + poiminta 0.07)	RMB 300k / $200k	1.07	8%
(e) Robottivarsi lisätty vain NG-piirilevyjen poimintaan	RMB 150k / $100k	0.07	8%

Alue	(a) AI-tarkistus	(b) Uusi AOI	(c) Cobot-solu	(d) Tunnistus-ja-poiminta	(e) Poimintavarsi
Shenzhen	0.65 v (0.54–0.80)	3.3 (2.6–4.4)	**1.3** (1.1–1.6)	4.5 (3.6–5.9)	Ei koskaan
Guangdongin toinen taso	0.74	3.9	1.5	5.3	Ei koskaan
Taiwan	0.53	2.6	1.1	3.6	Ei koskaan
Malesia	1.1	6.9	2.2	9.2	Ei koskaan
Thaimaa	1.5	11.8	3.0	15	Ei koskaan
Indonesia	1.9	21	3.9	25	Ei koskaan
Vietnam	2.2 (1.6–4.5)	29	4.4	34	Ei koskaan
Filippiinit	2.8	>60 (käyttökustannus ≈ säästöt)	5.8	≈100	Ei koskaan
Yhdysvallat	0.46	**0.96**	**1.1**	3.4	Ei koskaan

FIG 19 **Takaisinmaksu alueittain** ***AI-tarkistus maksaa itsensä kuukausissa USA:ssa, Taiwanissa ja Shenzhenissä ja 1–3 vuodessa Kaakkois-Aasiassa; cobot-lataus vuosissa.***



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

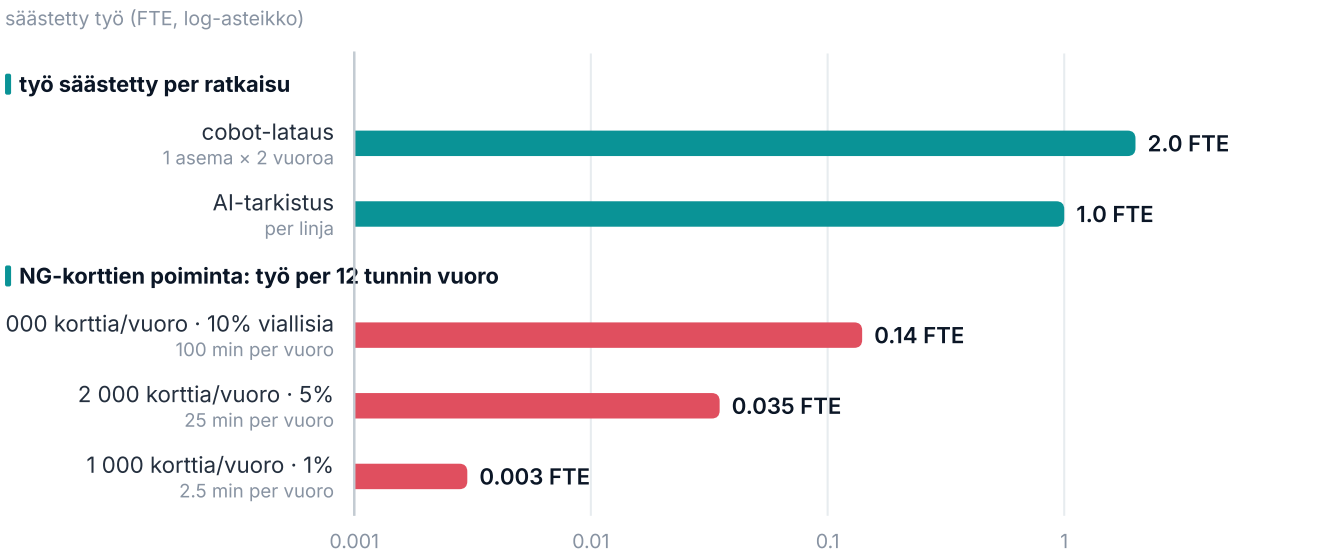
Lähde: Kirjoittajan malli: RMB 50k AI-tarkistusboksi linjaa kohden; cobot-lataussolu RMB 200k tai $140k, kaksi vuoroa.

Kaikki arvot ovat arvioita yllä olevista syötteistä. Herkkyydet: puolita säästetyt henkilöt ja jokainen takaisinmaksu suunnilleen kaksinkertaistuu; aja yksi vuoro ja (b)–(d) kaksinkertaistuvat; 100% ensimmäisen vuoden poisto Yhdysvalloissa lyhentää takaisinmaksua noin 20%, kun taas kiinalaisten, japanilaisten tai korealaisten laitteiden tullit pidentävät sitä noin 10–40%; 15% paikallinen tuki Kiinassa lyhentää sitä noin 15%. En löytänyt riippumatonta kyselyä ostajien takaisinmaksukynnyksistä; toimittajat sanovat AOI:n maksavan itsensä takaisin »tyypillisesti 9–18 kuukaudessa« (Averroes) ja Siemensin tapaus väittää kahdeksaa kuukautta vendor claims. Käytän yhtä ja kahta vuotta seulontarajoina. Malli jättää pois laatuvoitot (takuu, palautukset) sekä vaihtuvuus- ja koulutuskustannukset, joten se on konservatiivinen.

»Tunnistus ja poiminta«:n vastaintuitiivinen osa on, että työ on tarkistuksessa, ei niiden harvojen todellisten NG-piirilevyjen ottamisessa pois linjalta. 15 sekunnin käsittelyllä per NG-piirilevy estimate:

Piirilevyt per vuoro	Vikaprosentti	Poiminta-aika per 12 tunnin vuoro	Ihmiset
1,000	1%	2.5 min	0.003
2,000	5%	25 min	0.035
4,000	10%	100 min	0.14

FIG 20 **Miksi huonojen korttien poiminta ei maksa itseään** ***Yli 90% first-pass yieldillä poiminta vie vain 0.003–0.14 henkilöä vuorossa.***



Lähde: Kirjoittajan arviot.

Perustapaus (2,000 piirilevyä per vuoro, 5% viallisia, kaksi vuoroa) on 0.07 henkilöä, arvoltaan noin RMB 6,000 vuodessa Shenzhenissä, vähemmän kuin varren noin RMB 12,000 vuotuinen käyttökustannus, joten se ei koskaan maksa itseään takaisin missään; pahinkin tapaus (4,000 piirilevyä per vuoro, 10% viallisia) vie noin 13 vuotta Shenzhenissä ja 9 Yhdysvalloissa estimate. Jos huolena on linjan pysäyttäminen poimintaa varten, vakio-NG-ohjain tai puskurikuljetin ratkaisee sen ilman vartta. Alan ihmiset sanovat »yli 90%:n first-pass-saannolla pysäytä linja ja ota piirilevy pois käsin«, ja **se on oikein poiminnalle, mutta ei tarkastukselle**. SMT-linjan tuotesuunnittelu on siis »tarkasta plus merkitse tai ohjaa sivuun«, robottivarret pidetään paikkoihin, joissa jokaista osaa käsitellään (testikiinnikkeiden lastaus, tarjotin- ja kasettikäsittely, pakkaus), missä tarkastuksesta tulee lähes ilmainen lisäosa ja skenaario (c) pätee.

Tuet, vero ja tullit liikuttavat takaisinmaksua 15–25%, mutta eivät järjestystä

Manner-Kiina: tuki enimmäkseen alentaa rahoituskustannusta; yksittäiset koneet harvoin kelpaavat suoraan. Kansallinen lainatuki maksaa 1.5 prosenttiyksikköä korkoa enintään kahdeksi vuodeksi 14 prioriteettiketjussa (Yicai) verified, noin RMB 9,000 RMB 300k:n koneella; Guangdongin jopa 20%:n päivityspalkkio vaatii rekisteröidyn projektin, jossa on vähintään RMB 7 miljoonaa uusia laitteita, ja sulkee Shenzhenin pois (Guangdongin säännöt), ja Dongguan maksoi tosiasiassa 4.42% heinäkuussa 2026 (Dongguanin allokaatio) single source, primary. AI-tarkastuslaite hyväksytään vain laitteena, jolla on »tukiohjelmisto«, ostajan rekisteröidyssä projektissa, joten perustapaus olettaa, ettei tukea ole.

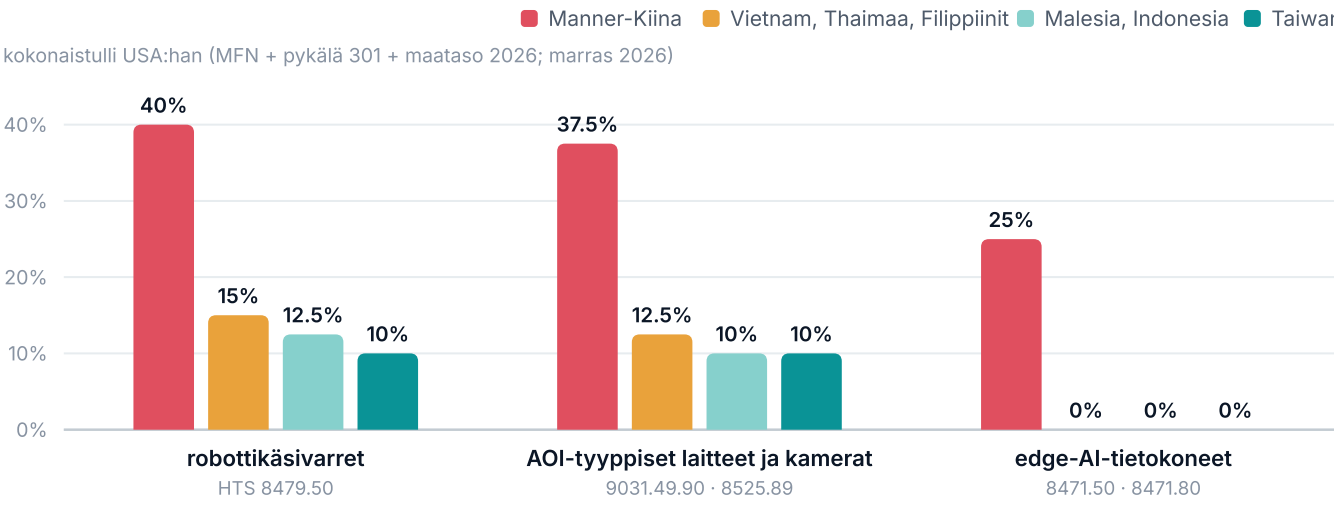
Taiwan: kannustimet menevät ostajalle. Teollisen innovaation lain artiklan 10-1 mukaan, muutettuna toukokuussa 2025 sisältämään AI:n, ostaja voi hyvittää 5% vuosien 2025–2029 menoista uusiin älykkäisiin koneisiin tai AI:hin (mukaan lukien CNN/DNN-pohjainen tarkastus) kyseisen vuoden tuloverosta, tai 3% vuodessa kolmen vuoden ajan (Laki, hyvityssäännöt) verified; toimittajapuolen avustukset ovat suljettuja mannermaapääomalta (MOEA) single source.

Kaakkois-Aasia: vain Malesia ja Thaimaa palkitsevat automaation ostamisesta. Malesian 200% automaation pääomavähennys ensimmäisistä RM10 miljoonasta on noin 24% capexista kannattavalle ostajalle (MIDA, PwC Malaysia) verified; Thaimaan BOI antaa kolmen vuoden verovapautuksen jopa 50–100%:iin päivitysinvestoinnista, korkeamman katon, kun thaimaalaiset automaatiotoimittajat ovat mukana (BOI) single source, primary, joten Thaimaahan meneminen toimii parhaiten paikallisen integraattorin kanssa. Vietnam, Indonesia ja Filippiinit palkitsevat tehtaiden rakentamisesta automaation ostamisen sijaan (Vietnam Law Magazine, PwC Philippines).

Yhdysvallat: poisto lyhentää takaisinmaksua; tullit pidentävät sitä. 19. tammikuuta 2025 jälkeen ostetut hyödykkeet saavat pysyvän 100% ensimmäisen vuoden poiston, noin 21% liittovaltion verosuojan kannattavalle ostajalle (IRS Notice 2026-11) single source, primary ; robottien ja teollisuuskoneiden Section 232 -tutkinta päättyi 28. lokakuuta 2026 neuvotteluihin uusien tullien sijaan, uudelleenarvioitavaksi 180 päivän kuluessa (Valkoinen talo, Mayer Brown) verified . Loppukokoonpano Kaakkois-Aasiassa leikkaa varsien ja AOI-tyyppisten instrumenttien lisämaksun noin 37.5–40%:sta 10–15%:iin (luku 1).

Alue	Keskeiset instrumentit	Vaikutus ostajan takaisinmaksuun estimate
Manner-Kiina	1.5 prosenttiyksikön lainatuki enintään kahdeksi vuodeksi; maakunnalliset ja kaupunkien päivityspalkkiot (Guangdong vaatii ≥RMB 7M rekisteröidyt projektit; Dongguan maksoi tosiasiassa 4.42%); Shenzhenin 2026–2029 toimenpiteet (prosentit eivät julkisia)	Noin 0–5% yhdelle koneelle; 4–15% suuren projektin sisällä
Taiwan	Lain §10-1 -hyvitys, 5% tai 3% × 3 vuotta	Noin 5% lyhyempi, jos ostaja maksaa tarpeeksi veroa
Malesia	200% automaation pääomavähennys (ensimmäiset RM10M)	Noin 15–25% lyhyempi kannattaville ostajille
Thaimaa	BOI:n kolmen vuoden verovapautus jopa 50–100% investoinnista	Noin 15–25% lyhyempi kannattaville ostajille veroloman ulkopuolella
Vietnam, Indonesia, Filippiinit	Tuloverokannustimet tehtaiden rakentamiselle; ylimääräinen 20% laitteiden poisto Filippiineillä	Lähes ei mitään yksittäisille automaatiohankinnoille
Yhdysvallat	100% ensimmäisen vuoden poisto; ≈37.5–40% yhdistetty tulli mannermaavalmisteisille laitteille	Poisto ≈20% lyhyempi; tullit ≈10–40% pidempi

FIG 21 **USA:n tulli roboteille, AOI:lle ja edge-tietokoneille** ***Manner-Kiinassa tehdyt käsivarret maksavat noin 40%; Kaakkois-Aasiasta tai Taiwanista lähetetyt 10–15%.***



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

Alueittain: Manner-Kiinassa AI-tarkistuslaatikko maksaa itsensä takaisin kuukausissa ja cobot-solu 1.3–1.5 vuodessa, kun taas vain työvoiman leikkaamiseen ostettu uusi AOI vie 3–4 vuotta ja integroitu tunnistus-ja-poiminta 4.5–5.3, molemmat kahden vuoden seulon yli. Taiwan pärjää hieman Shenzheniä paremmin (0.53 vuotta tarkistukselle, 1.1 cobot-solulle), ja rekrytointi siellä on vaikeampaa. Malesiassa ja Thaimaassa AI-laatikko vie 1–1.5 vuotta ja cobot-

solu 2–3, noin 15–25% nopeammin paikallisilla verokannustimilla kannattaville ostajille. Indonesiassa, Vietnamissa ja Filippiineillä vain erittäin halpa AI-laatikko maksaa itsensä takaisin 2–3 vuodessa; kysyntä siellä tulee enemmän asiakkaiden laatuvaatimuksista ja työvoimapulasta. Yhdysvalloissa jokainen vaihtoehto paitsi puhdas poimintavarsi maksaa itsensä takaisin 0.2–3.4 vuodessa, tullien, Section 232 -uudelleenarvioinnin ja NRTL-sertifioinnin ollessa päämuuttujat.

05

Markkina ja kilpailu

Markkina, kilpailu ja se, miten ostajat maksavat

Markkinan koko: julkaistut luvut eroavat moninkertaisesti; vain alhaalta ylös -laskenta on hyödyllinen

Jokainen markkinaluku on luettava laajuutensa kanssa. Kiinan konenäkömarkkina oli RMB 18.15 miljardia vuonna 2024 (Zhiyan) verified, 3C-elektroniikan ollessa suurin ostaja; globaalit arviot konenäöstä eroavat noin kolminkertaisesti ja AOI:sta noin 6.5-kertaisesti (MarketsandMarkets, Vision Systems Design/Interact Analysis, Zhiyan). Alhaalta ylös Koh Youngin, TRI:n, Jutzen, Sinic-Tekin ja ViTroxin liikevaihdoista globaali SMT-tarkastuslaitteisto on luokkaa $1–2 miljardia estimate.

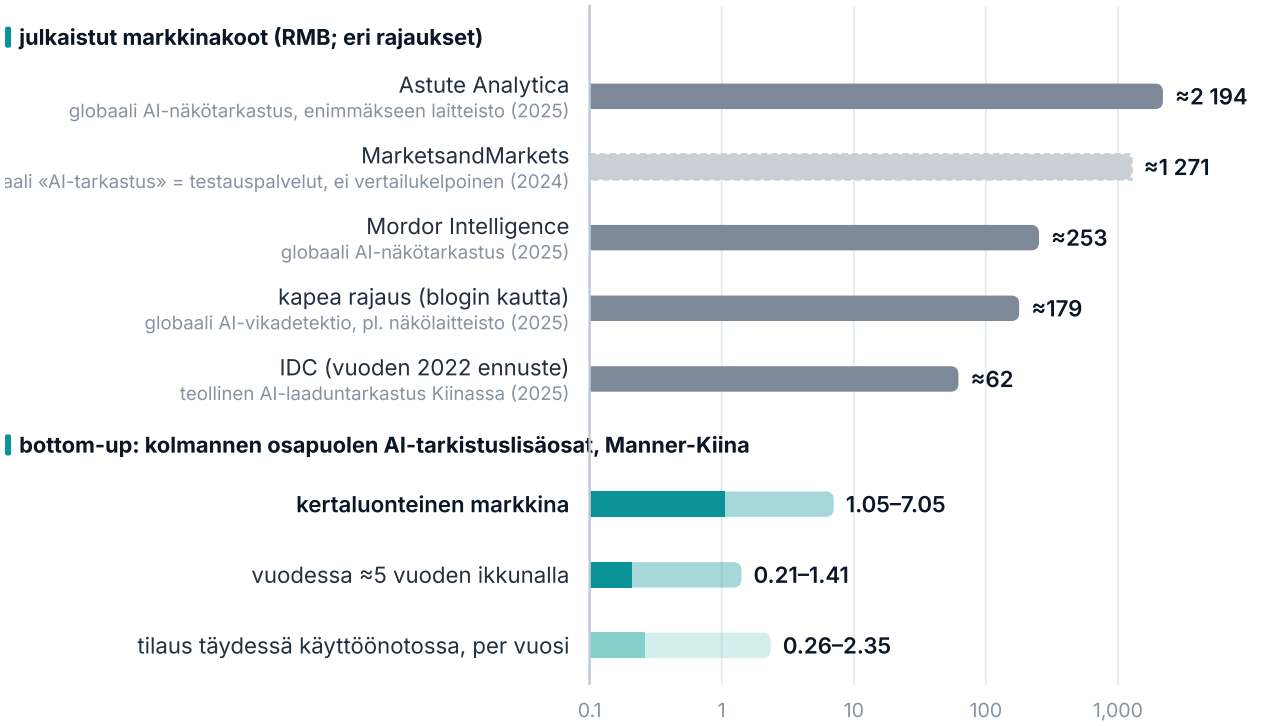
Ei ole olemassa erillistä markkinaa »AI-näkötarkastusohjelmistolle«. Julkaistut luvut eroavat yli kymmenkertaisesti ja sisältävät kaikki laitteiston tai palvelut:

Laajuus	Julkaisija	Luku
Globaali »AI-teollisuusvikojen tunnistus« (kapea, ilman näkölaitteistoa)	Nimeämätön yritys, iFactory-blogin kautta	$2.66 miljardia vuonna 2025, 8.6% CAGR vuoteen 2035, elektroniikka 34%
Globaali »AI-näkötarkastus«	Mordor Intelligence	$3.76 miljardia vuonna 2025, $12.8 miljardia vuonna 2031, 22.67% CAGR
Globaali »AI-näkötarkastus« (enimmäkseen laitteisto)	Astute Analytica	≈$32.66 miljardia vuonna 2025
Globaali »AI-tarkastus« (testaus- ja sertifiointipalvelut; ei vertailukelpoinen)	MarketsandMarkets	$18.92 miljardia vuonna 2024
Kiinan »teollinen AI-laatutarkastus«	IDC, ennuste vuodelta 2022	$958 miljoonaa vuonna 2025 (≈RMB 6.2 miljardia), 91.5% viestinnässä, elektroniikassa ja kahdessa muussa toimialassa

Lähteet: (iFactory, GII/Mordor, GII/Astute, MarketsandMarkets, IDC) each single source, mostly paid-report summaries.

FIG 22 **Markkinakoot eroavat yli kymmenkertaisesti** ***Vain kapea rajaus ja bottom-up-laskenta ovat hyödyllisiä päätöksille.***

RMB 100M (log-asteikko; USD kurssilla 6.7188)



Lähde: Mordor Intelligence, Astute Analytica, MarketsandMarkets, IDC (2022), iFactory; kirjoittajan bottom-up-arvio.

Alhaalta ylös on vain yksi julkinen SMT-linjojen laskenta: New Venture Research arvioi noin 73,231 linjaa maailmanlaajuisesti vuonna 2020, 47% niistä Kiinassa (19% vuonna 2000), noin 70% high-end ja 30% low-end (EMSNow, NVR SMT2020 -tiivistelmä) single source, 2020; NVR kuuluu nykyään IPC:lle ja uudempi data on maksullista (NVR). Kasvaen 3–5% vuodessa 40–47% Kiina-osuudella saadaan noin 87,000–98,000 linjaa maailmanlaajuisesti vuonna 2026 ja 35,000–46,000 Manner-Kiinassa (perus 40,000) estimate.

Syöte	Matala	Perus	Korkea	Peruste
Manner-Kiinan SMT-linjat (2026)	35,000	40,000	46,000	NVR 2020 -perus × kasvu × osuus
Osuus ilman AI-tarkistusta	75%	80%	85%	Jälkiasennusikkuna, alla
Osuus, jonka kolmas osapuoli voi tavoittaa (ei sisäinen, ei sidottu OEM-AI:hin, voi maksaa)	40%	50%	60%	Oletus: ≈30% low-end-linjat plus osa sekamerkkisistä high-end-linjoista, pois lukien DBG-tyyliset sisäiset rakennukset
Palveltavat linjat	**10,500**	**16,000**	**23,500**	Tuote
Kertaluonteinen hinta per linja	RMB 10k	RMB 20k	RMB 30k	Hintaporras ja katto (luku 4)
Kertaluonteinen palveltava markkina (asennettu kanta)	**RMB 105M**	**RMB 320M**	**RMB 705M**	Tuote
Per vuosi ≈5 vuoden ikkunassa	RMB 21M	RMB 64M	RMB 141M	Ikkuna kutistuu 8–12% vuodessa
Tilaus (RMB 2.5k / 5k / 10k per linja per vuosi, täysi käyttöönotto)	RMB 26M vuodessa	RMB 80M vuodessa	RMB 235M vuodessa	Baidu-tyylinen vuosimaksuankkuri

FIG 23 **Bottom-up: 40 000 linjaa → 16 000 huollettavaa → ≈RMB 320M kertaluonteinen*Kolmannen osapuolen AI-tarkistusniche Manner-Kiinassa on todellinen, mutta pieni.***



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.

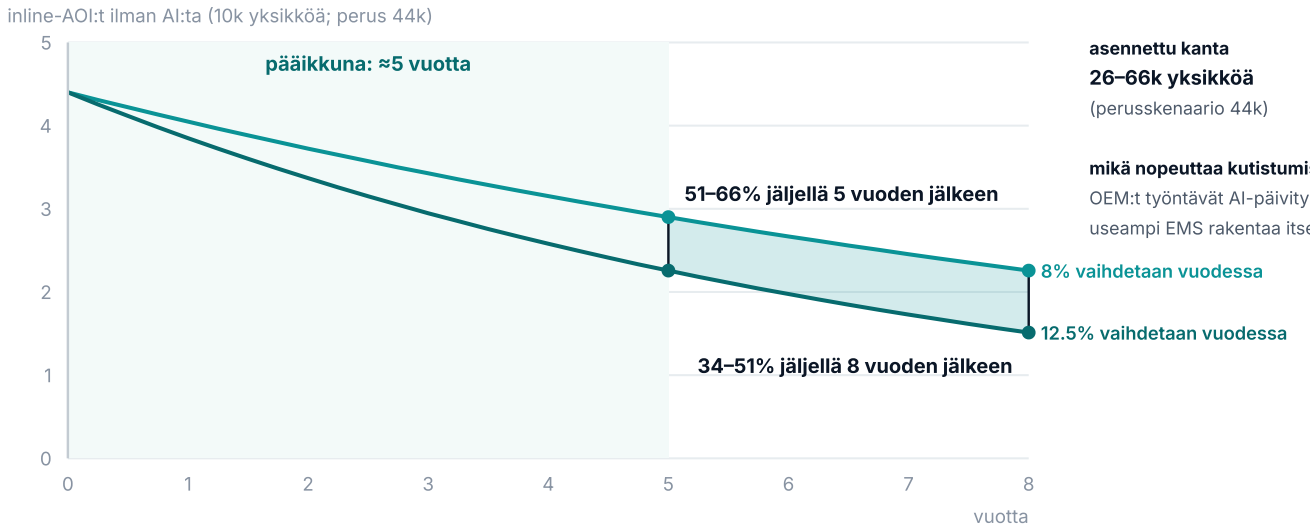
Kaikki nämä ovat arvioita; osuutta eikä hintaa ole mitattu julkisesti. Niche on arvoltaan vain 0.3–2.3% vuodessa IDC:n ennusteesta kaikesta Kiinan teollisesta AI-laatutarkastuksesta vuonna 2025 (noin RMB 6.2 miljardia). Tulokas, joka voittaa 2–5% peruspalveltavista linjoista kolmessa vuodessa, saisi noin 320–800 linjaa: RMB 6.4–16 miljoonaa yhteensä RMB 20,000 per linja -hinnalla, noin RMB 2–5 miljoonaa vuodessa, tai RMB 1.6–4 miljoonaa vuodessa toistuvaa liikevaihtoa RMB 5,000 per linja -hinnalla estimate. Se riittää liiketoimintayksikölle yrityksen sisällä, ei venture-luokan itsenäiselle yritykselle. Jokainen 1,000 asennettua linjaa Taiwanissa, Kaakkois-Aasiassa tai Yhdysvalloissa on arvoltaan noin RMB 3–15 miljoonaa kertaluonteisesti mannerhinnoilla; hinnat ovat korkeampia Taiwanissa ja Yhdysvalloissa, mutta ostajat siellä käyttävät useammin OEM-3D-AOI:ta AI-vaihtoehdoilla estimate.

Jälkiasennusikkuna on noin viisi vuotta

Mikään AOI-valmistaja ei julkaise koneen elinikää; EMS-yritykset poistavat laitteet 3–10 vuodessa (DBG vuosikertomus 2025), ja vanhemmat AOI:t menettävät ohjelmistopäivitykset ja varaosat elinkaaren lopun jälkeen (I-Connect007) single source. Käytän 8–12 vuotta (perus 10).

1.0–1.65 inline-AOI:lla per linja mantereella on noin 35,000–78,000 inline-AOI:ta käytössä (perus noin 55,000), johdonmukaisesti tunnettujen toimitusten kanssa (Circuits Assembly, Sinic-Tek vuosikertomus 2025). Mikään lähde ei mittaa, kuinka moni ajaa AI-tarkistusta; olettaen että kotimaiset koneet ovat tarjonneet sitä noin vuodesta 2023 ja 40–60% viimeaikaisista toimituksista käyttää sitä, **noin 26,000–66,000 inline-AOI:ta Manner-Kiinassa (perus noin 44,000) ei aja AI:ta** estimate. Jos jokainen uusi kone toimitetaan nyt AI:lla, tuo pooli kutistuu 8–12.5% vuodessa: 51–66% jää viiden vuoden jälkeen ja 34–51% kahdeksan, nopeammin jos AOI-valmistajat työntävät AI-päivityksiä uudempiin koneisiin. **Suurin osa mahdollisuudesta sijoittuu seuraaviin noin viiteen vuoteen**, ytimessään keskikokoiset EMS:t, jotka ajavat vanhempia kotimaisia 2D-AOI:ta, sekamerkkejä eikä AI-päivityspolkua.

FIG 24 **Retrofit-ikkuna on noin viisi vuotta** ***Inline-AOI:t ilman AI:ta kutistuvat 8–12.5% vuodessa, kun ne korvataan tai päivitetään.***

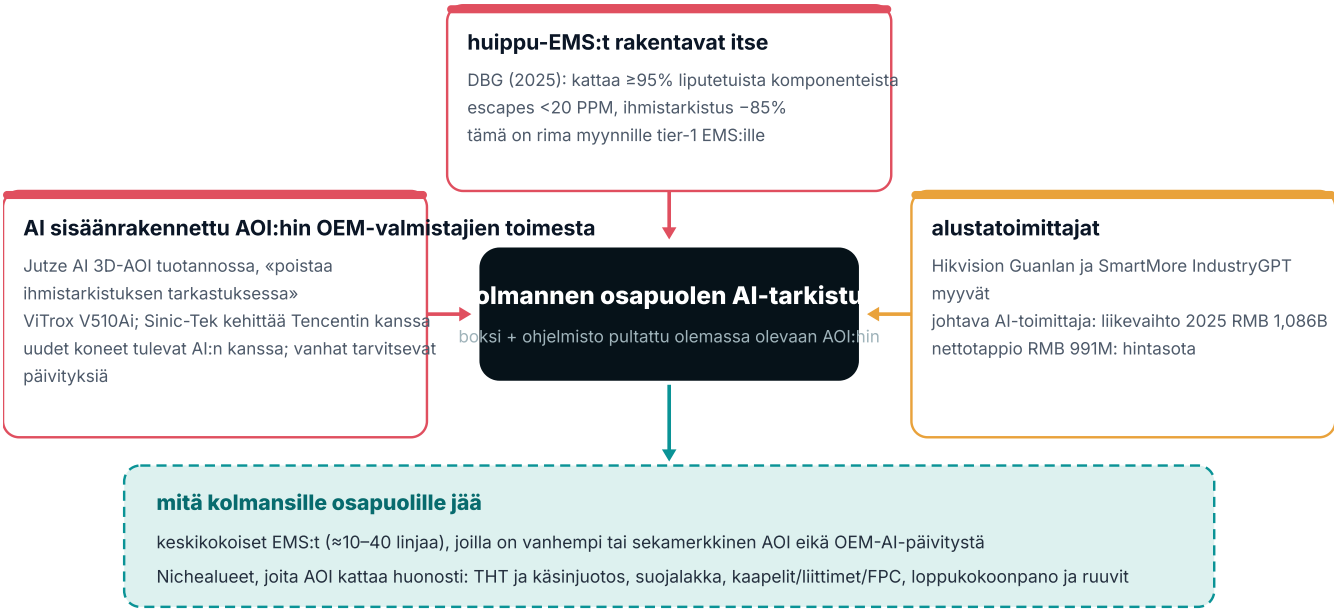


Lähde: Kirjoittajan arviot; asennettua kantaa ja osuuksia ei ole riippumattomasti varmennettu.

Kilpailijat ovat jo vahvoja: tarkistuskiila on piiritetty

AI-tarkistuskiila kapenee kolmesta suunnasta. AOI- ja näköjohtajat rakentavat AI:ta uusiin alustoihin: Jutze on »täysin ottanut käyttöön AI-algoritmit« (Jutze-sijoittajasuhteet, kesäkuu 2026), OPT:n teollisen AI:n liikevaihto kasvoi 96.77% vuonna 2025 (OPT vuosikertomus 2025) single source, primary, ja ViTrox väittää jopa 95% tarkkuutta autonomiselle tarkistukselle (ViTrox) vendor claim. Suuret valmistajat rakentavat omansa (iThome). Ja venture-rahoitteiset AI-yritykset myyvät mittakaavassa: SmartMoren reuna-anturiasiakkaat kasvoivat 65:stä 251:een kahdessa vuodessa (36Kr) single source, Hikvision myy Guanlan-malliaan tarkastukseen (Xinhua), ja »silmä, aivot ja käsi« -integraatio on jo tarjolla SmartMorelta, Hikrobotilta ja Mech-Mindiltä (36Kr, Securities Star).

FIG 25 **Tarkistuskiila on piiritetty kolmelta puolelta** ***Tilaa kolmansille osapuolille on keskikokoisissa EMS:issä ja tarkastusnicheissä, joita AOI kattaa huonosti.***



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

Tulokkaalle jäävä tila on kapea: keskikokoiset EMS:t, joilla on vanhempia 2D/3D-AOI:ta eikä AI-päivitystä valmistajalta; linjat, jotka sekoittavat useita AOI-merkkejä (yksi jälkiasennustoimittaja tukee jo Omronia, VI:tä, Koh Youngia ja Mirteciä (Sohu Hengtianyistä)); niche-t, jotka SMT-AOI:t kattavat huonosti, kuten läpivienti- ja käsinjuotetut liitokset, konforminen pinnoite, kaapelit, liittimet ja FPC:t, sekä lopullinen ulkonäkö ja ruuvit; ja pienet tehtaat, joilla ei ole varaa RMB 230–280k:n AOI:hin.

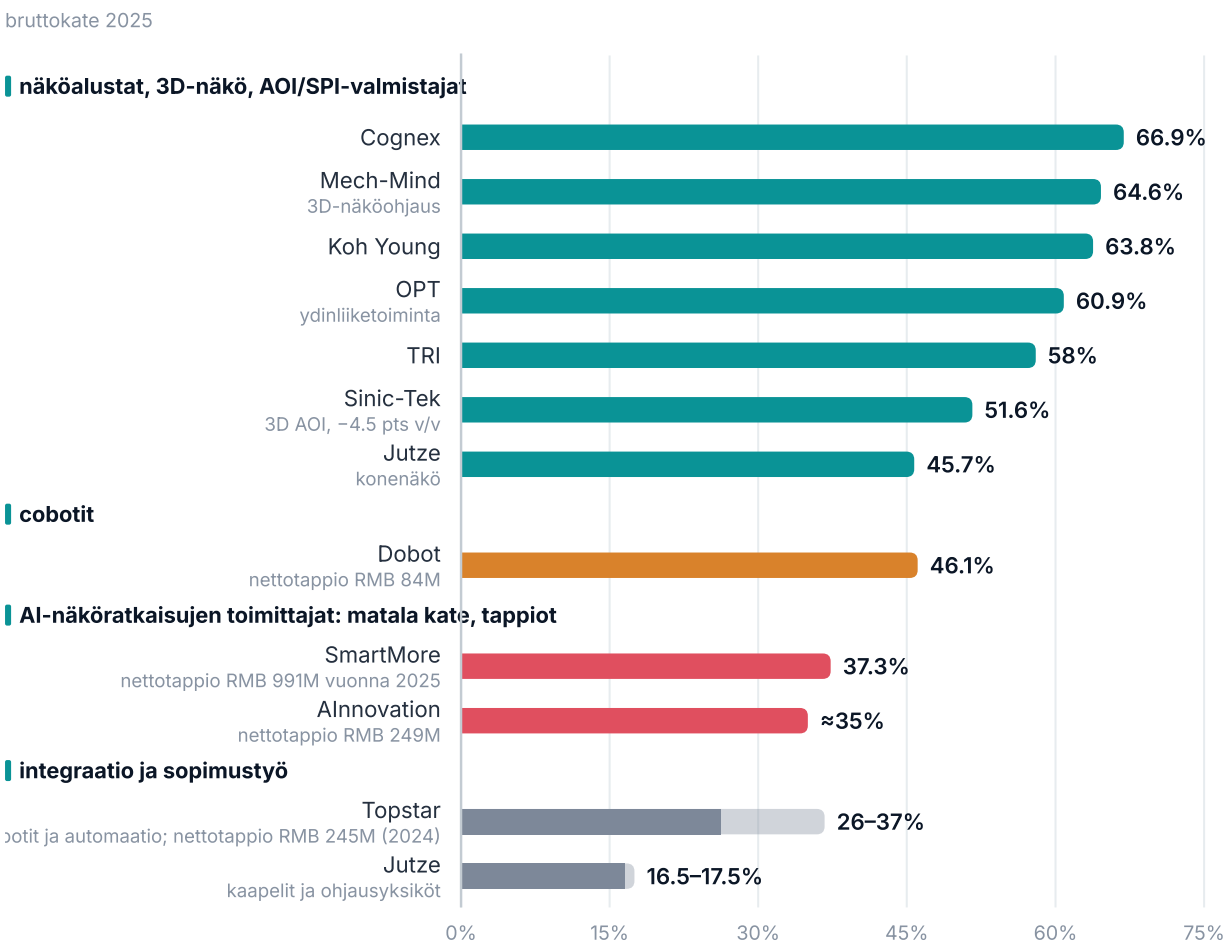
Lähin listattu vertailuyritys antaa varoituksen. Weiyi Zhizao, joka myy AI-tarkastuslaitteita ja robotteja, näki 3C-liikevaihdon laskevan 79.9% vuodentakaisesta tammi–toukokuussa 2026, tunnusti »kovenevan kilpailun ja hintapaineen«, siirsi Hongkongin listautumistaan 25. lokakuuta 2026, ja ilmoitti 15 projektista, jotka päättyivät ennen valmistumista, joista 12 embodied-robottiprojekteja (Weiyi Zhizao -esite, siirtoilmoitus) single source, primary. AInnovation päätti vuoden 2025 29.8%:lla saamisistaan varauksena (AInnovation vuosikertomus 2025). 3C-tarkistuskiila on täynnä, ja hintavoima per linja on heikko.

Kate on tuotteistetussa laitteistossa

Paikka ketjussa	Edustavat yritykset ja vuoden 2025 bruttokate	Voitto ja saatavat
Näköalustat	Cognex 66.9%	Kannattava; luopumassa ≈$22M matalan katteen liikevaihdosta
AOI/SPI-laitteet	Koh Young 63.8%; TRI 58%; OPT:n ydinliiketoiminta 60.85%; Sinic-Tek 3D-AOI 51.62% (−4.53 pistettä vuodentakaisesta); Jutzen konenäkö 45.74%	Kannattava; saatavapäiviä 139 (Jutze) – 247–274 (OPT)
3D-näköohjaus	Mech-Mind 64.6%	—
AI-näköratkaisutoimittajat	SmartMore 37.3%; AInnovation ≈35%	Tappiollinen: SmartMoren nettotappio RMB 991M vuonna 2025, AInnovationin RMB 249M
Cobotit	Dobot 46.1%	Dobotin nettotappio RMB 84M; UR:n liikevaihto $326M:sta (2022) ≈$232M:een (2025, ennuste)
Järjestelmäintegraatio	Topstar-robotiikka ja automaatio 26.2–36.7%	Nettotappio RMB 245M (2024); saatavapäiviä 180–240
Sopimuslaitteisto	Jutzen kaapelit ja ohjausyksiköt 16.5–17.5%	—

Lähteet: (Cognex, StockAnalysis Koh Youngista, Fugle TRI:stä, OPT vuosikertomus 2025, Sinic-Tek vuosikertomus 2025, Jutze vuosikertomus 2025, Jiemian Mech-Mindistä, 36Kr SmartMoresta, Yicai SmartMoresta, TMTPost, DoNews AInnovationista, The Paper Dobotista, The Robot Report UR:stä, Jiemian Topstarista).

FIG 26 **Kate on tuotteistetussa laitteistossa** ***Näköalustat ja laitevalmistajat ansaitsevat 46–67% bruttokatteen; AI-toimittajat 35–37% ja tekevät tappiota.***



Lähde: Vuoden 2025 vuosiraportit tai esitteet.

Tulokas pitää katteensa vain muuttamalla tarkastuksen tuotteeksi, laitteeksi tai ohjelmistoksi; projekti-projektilta viritys painaa katteet noin 35%:iin jatkuvilla tappioilla. Mekaniikka toimii myös pieniä yrityksiä vastaan: liikevaihto kirjataan vasta paikan päällä tapahtuneen hyväksynnän jälkeen, ennakkomaksut ovat pieniä (Jutze, OPT), pilotit ovat yleensä ilmaisia (A3/Mindtrace), ja brändinomistajat usein määräävät tarkastuslaitteet sopimusvalmistajiensa linjoille.

Miten ostajat maksavat: 30% allekirjoitettaessa, 60% hyväksynnän jälkeen, 10% pidossa vuoden

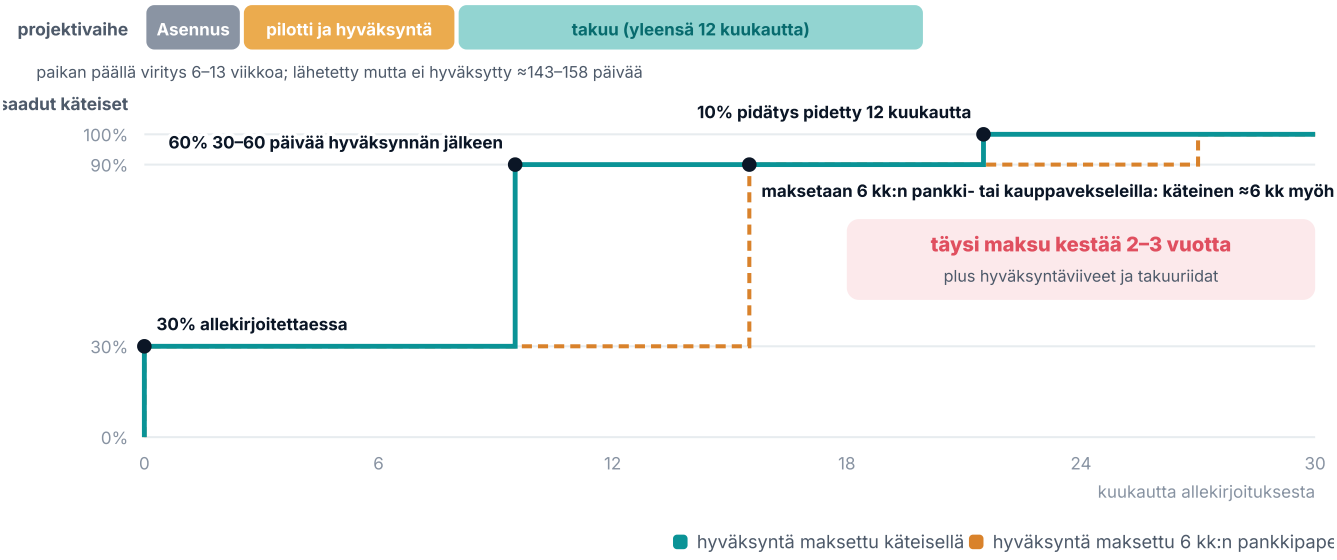
Maksuehdot, joita mannerkiinalaiset elektroniikkatehtaat käyttävät tarkastuslaitteille, on kirjoitettu 13 nimetyssä ostajasopimuksessa, jotka on julkistettu Sinic-Tekin listautumiskyselyn vastauksessa (Sinic-Tek kyselyvastaus 8-1-1) single source: one primary filing, several independent buyers, 2020–2022 :

Ostaja (vuosi)	Allekirjoitus	Toimitus	Hyväksyntä	Pito tai loppuerä
Hikvision-yksikkö (2021)	30% 15 päivän sisällä	—	65% 30 päivän sisällä lopullisesta hyväksynnästä	5% takuupito maksetaan 12 kuukautta hyväksynnän jälkeen; osa maksetaan 6 kuukauden+ pankkivekseleillä
Nanchang Huaqin (2020–2021)	30% 10 työpäivän sisällä	—	60% 60 päivän kuluttua hyväksynnästä	10% vuoden takuun jälkeen

Ostaja (vuosi)	Allekirjoitus	Toimitus	Hyväksyntä	Pito tai loppuerä
Guangdong Yinuo (2021, 3D-AOI)	30% 10 työpäivän sisällä	—	60% 30 päivän sisällä	10% kolmen virheettömän ajokuukauden jälkeen
Xiamen Hongxin, Jingmen Hongyi (2022)	30% 10 työpäivän sisällä	—	60% 30 työpäivän sisällä lopullisesta hyväksynnästä, 6 kuukauden pankkivekselit	10% vuoden takuun jälkeen
AKM Panyu, Suzhou (2021–2022)	30% 7–10 työpäivän sisällä	—	60% kuukausi hyväksynnän ja laskutuksen jälkeen, 180 päivän pankkivekselit	10% 360 päivän jälkeen
BYD Precision, Shenzhen, Huizhou (2020)	—	30% saapumisen yhteydessä	70% hyväksynnän ja laskutuksen jälkeen	Kaikki 6 kuukauden yritysvekseleissä
Shenzhen H&T (2020)	—	—	90% hyväksynnän ja laskutuksen jälkeen	10% kuuden virheettömän käyttökuukauden jälkeen

Muut primaarilimoitukset näyttävät saman rakenteen: Mech-Mindin suuret projektit maksavat 30% allekirjoitettaessa, 30% ennen toimitusta, 30% hyväksynnän jälkeen ja 10% takuupito 12–15 kuukauden aikana (Mech-Mind-esite); GKG sanoo laitealan pidon olevan yleensä 5–10% sopimuksesta, maksettuna vuosi hyväksynnän jälkeen (GKG-kyselyvastaus) single sources, primary . Normi on siis noin 30% allekirjoitettaessa (20–30%, nolla joissakin tehtaissa, kuten BYD), 60–65% hyväksynnän jälkeen (maksetaan 30–60 päivää myöhemmin, usein kuuden kuukauden pankki- tai yritysvekseleissä, mikä viivästyttää käyttökelpoista kassaa vielä puoli vuotta), ja 5–10% pito 3–12 kuukautta (12 yleisin) verified across several contracts .

FIG 27 **Miten ostajat maksavat *30% allekirjoitettaessa, 60% hyväksynnän jälkeen, 10% pidetään vuoden: täysi maksu kestää 2–3 vuotta.***



Lähde: Sinic-Tekin vastaus tiedusteluun, Mech-Mind, GKG, JT ja muut asiakirjat; kaavio tavanomaisin ehdoin, ajoitus arvioitu.

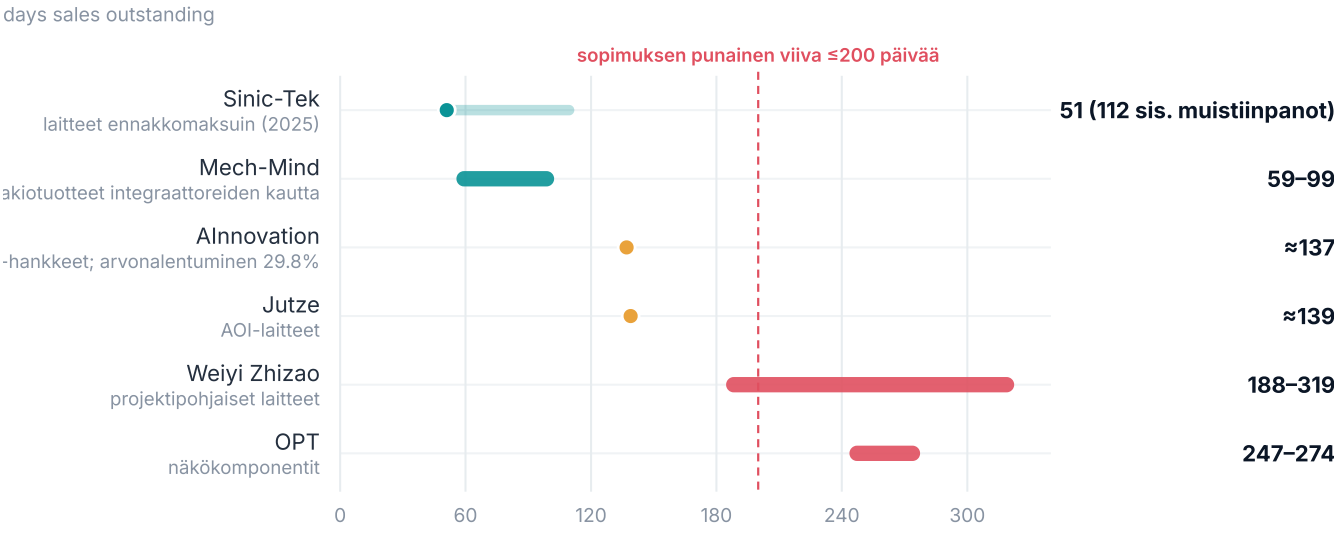
Hyväksyntä ja kokeilut ovat hitaita ja myyjän maksamia. Sinic-Tekin toimitettujen mutta hyväksymättömien tavaroiden kierto vei noin 143–158 päivää, koska suuret EMS- ja brändiasiakkaat tarvitsevat koko linjan integraatiotestauksen ja pidennetyn koeajon (Sinic-Tek kyselyvastaus 8-1-2); Weiyin AI-projektit vievät 4–8 kuukautta arvioinnista käyttöönottoon (Weiyi Zhizao -esite) single sources, primary . AI-tarkistuspiloteille ei ole konversiodataa; Sinic-Tek

muunsi vain noin 18–19% demokoneistaan suoraan myynniksi. Suunnittelen yksi kolmesta – yksi viidestä ilmaisille piloteille ja noin 80% maksetuille piloteille lyhyen listauksen jälkeen estimate.

Yritys	Liiketoimintamalli	Days sales outstanding
Sinic-Tek (2025)	Laitteet ennakkomaksuilla	≈51 (≈112 vekseleillä)
Mech-Mind	Vakiotuotteet integraattoreiden kautta	59–99
Jutze	AOI-laitteet	≈139
AInnovation (2025)	AI-projektit	≈137 vuoden lopussa, 29.8% arvonalennuksella
Weiyi Zhizao	Projektipohjaiset laitteet	188–319
OPT	Näkökomponentit	247–274

Lähteet: yllä olevat vuosikertomukset ja esitteet; saatavat (mukaan lukien sopimusvarat) ÷ liikevaihto × 365 primary + estimate.

FIG 28 **Days sales outstanding** ***Vakiotuotteet 51–99 päivää; projektipohjaiset laitteet 188–319 päivää.***



Lähde: Yhtiöasiakirjat; saamiset (sis. sopimusvarat) ÷ liikevaihto × 365.

AI-tarkistuslisenssit, jotka myydään AOI-valmistajien tai integraattoreiden kautta, kerääntyvät kuten Mech-Mindin 60–100 päivää; suorat projektimyynnit kuten Weiyin 190–320 päivää. Kassan aikajanaksi koottuna: ilmainen pilotti yhdestä kolmeen kuukautta, kelpuutus suuressa ODM:ssä jopa noin kaksitoista kuukautta, rakennus, toimitus ja hyväksyntä kolmesta seitsemään kuukautta; 30% saapuu tilauksen myötä, 60% noin neljä–yhdeksän kuukautta sen jälkeen ja viimeiset 10% noin 16–21 kuukautta sen jälkeen. **Ensimmäisestä pilotista suuressa EMS:ssä täyteen maksuun voi kulua kahdesta kolmeen vuotta**; keskikokoiset EMS:t ilman muodollisia tarjouskilpailuja voivat lyhentää kelpuutuksen viikkoihin estimate. Julkaistujen sopimusten hyväksyntäkriteerit kattavat vain koko linjan integraation, läpäisynopeuden (yksi taiwanilainen projekti vaati 100 yksikköä tunnissa) ja kuukausia virheetöntä ajoa; mikään ei määritä läpipääsy- tai väärän hälytyksen prosentteja (Anda-kyselyvastaus) single source, primary. AI-tarkistuksen kirjalliset hyväksyntäkriteerit on sovittava ennen pilottia.

Neljä epäonnistumisen kaavaa

Dokumentoidut epäonnistumiset jakautuvat neljään kaavaan: toimitus ennen kuin tuote oli luotettava (Rethink (The Robot Report)); ohjelmistokerros johtajan laitteistolla, jonka johtajan ekosysteemi myöhemmin korvasi (READY Robotics (The Robot Report)); rahan loppuminen syklin pohjalla (Dextrous Robotics (Robots & Startups)); ja malliyhtiöt, jotka päättyvät acqui-hireihin (Covariant (GeekWire)). Opit: tuotteista suppeasti sen sijaan että virittäisit projekti-

projektilta; pidä käyttöpääoma hyväksyntäpohjaiselle liikevaihdolle ja pitkille saataville; tarjoa paikallista palvelua tehtaille, jotka ajavat 24 tuntia; äläkä skaalaa ennen kuin tuote on todistettu.

Ajoitus: tarkastus ei hyödy odottamisesta; varsilaitteisto halpenee

Odotuksen argumentit ovat heikkoja. Laitteisto ei halventunut vuonna 2026: robottivalmistajat nostivat hintoja 5–15%, jotkin tuotteet 25–50% (Sina Finance) single source, ja NVIDIA-kitit nousivat kolmannen kerran (36Kr). Tuotantotason VLA:t eivät saavu ikkunan sisällä (IFR, Instrumental). Samaan aikaan jokainen AOI-vaihto poistaa jälkiasennuskohteen ja jokainen OEM-AI-käyttöönotto lukitsee linjan datan ja prosessin; mallikyvykkyys kommoditisoituu, ja harvinaista on pääsy tehtaisiin ja merkittyyn tehdasdataan. Paikallisella tuella on myös ikkunoita: Shenzhenin vuoden 2026 »AI-pioneerikaupunki« -säännöt, jopa RMB 2 miljoonaa AI-sovellusdemoprojekteille ja malliseteleitä, jotka kattavat 30% hankinnoista, ovat voimassa **30. kesäkuuta 2027** asti (Yicai, toukokuu 2026) terms single source.

Mikä yhä halpenee nopeasti, ovat humanoidit ja taitavat kädet (kädet putosivat noin RMB 50,000:sta alle 10,000:een kahdessa vuodessa (Sina Finance)), sekä entry-cobotit tuotevalikoiman siirtyessä alaspäin; se puoltaa embodied-osan lykkäämistä, ei tarkastusosaa. **Kaiken kaikkiaan: tarkastus nyt, suppeana tuotteena; robottisolut nyt, kumppaneiden ja integraation kautta; embodied AI myöhemmin, tänään vain R&D-asemalla.**

Embodied AI

06 Embodied AI: ensin se muuttaa sen, miten robotteja opetetaan, myöhemmin sen, miten ne liikkuvat

Mikä muuttuu on havainnointi ja ohjelmointi; liike pysyy deterministisenä

Jokainen robottivarsijohtaja markkinoi nyt »fyysistä AI:ta«, mutta se, mitä on toimitettu, jakautuu kolmeen kerrokseen: opittu havainnointi ilman opetusta (FANUCin AI Masterless Vision, toimituksessa tammikuussa 2027 (FANUC); KUKAn neuraalinen tartunnan valinta (KUKA)); suuret mallit, jotka kirjoittavat ohjelmia ja suunnittelevat tehtäviä (KUKAn iiQWorks.Copilot, joka varoittaa, että AI-tuotettu koodi tulisi varmistaa digitaalisessa kaksosessa (KUKA); Yaskawa Gemini Robotics-ER:llä, jossa »generatiivinen AI päättää, mitä tehdään« ja robotti päättää, »miten liikutaan« (Yaskawa)); sekä laskenta- ja data-alustat (UR:n AI Accelerator Jetson Orinilla (Universal Robots)) vendor claims. Yksikään johtaja ei julkaise tuotannon onnistumisprosentteja AI-ominaisuuksilleen, ja japanilaiset johtajat kumppanituvat Googlen, SoftBankin, Microsoftin ja muiden kanssa sen sijaan että rakentaisivat frontier-VLA:ta (FANUC-uutisindeksi): opittu politiikkakerros tulee malliyrityksiltä, sertifioidut varret ja ohjaimet varsivalmistajilta.

FIG 29 **Embodied-AI-pino** ***Suuret mallit suunnittelevat offline, pienet politiikat ajavat solussa, liike ja turvallisuus pysyvät 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 · robottivalmista
liikkeenohjaus L2	**robottiohjain** radat, servo, voimansäätö, törmäystarkistukset deterministinen koodi; opitut politiikat vain asettavat tavoitteet	**millisekunteja (reaaliaika vaat >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 + integraattor

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

Lähde: Kirjoittajan synteesi (luvut 3 ja 6); ISO 10218:2025; EU:n koneasetus.

Kuinka kaukana strukturoimattomasta, joustavasta, pienieräisestä työstä: strukturoidut asemat 1–3 vuodessa, joustava kokoonpano 5+

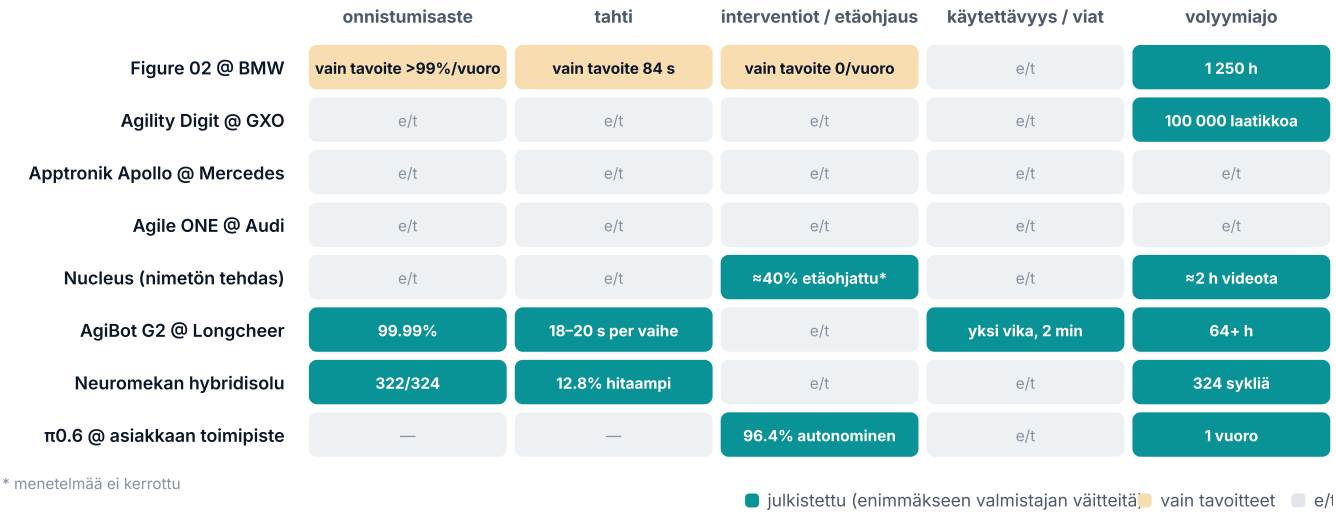
Oikeita tehdaslukuja on alkanut ilmestyä, mutta ne ovat toimittajan raportoimia, kapeita ja strukturoiduilta asemilta. AgiBotin kahdeksan humanoidia Longcheerin tablettien lopputestilinjalla kirjasivat 64,828 tehtävää 99.99%:lla yli 64 tunnissa (AgiBot, Yicai Global) vendor and customer, mutta tämä on palvelutyötä, jonka perinteinen varsi näöllä voi tehdä. UBTech sanoo Walker S2:n toimivan 30–50%:ssa ihmisen tehokkuudesta (Irish Times/FT) single source. Figure

02:n 11 kuukautta BMW Spartanburgissa tuotti volyymilukuja (1,250+ tuntia, 90,000+ osaa), kun taas sen sykli-, onnistumis- ja interventioluvut ovat tavoitteita, eivät tuloksia (Figure, BMW Group) verified, numerators only. Nucleus sanoo noin 40% tehdasvideostaan olevan teleoperoitua (Interesting Engineering) vendor claim, ja Reutersin tutkimus lainasi noin 20% työntekijän tuotoksesta joillekin kiinalaisille humanoideille (Notebookcheck) single source. Yksikään käyttöönotto ei julkaise onnistumisprosenttia, sykliaikaa ja interventioprosenttia yhdessä, eikä yhtään ole auditoitu, mutta juuri ne kolme ovat, mitä takaisinmaksulaskenta tarvitsee.

Käyttöönotto	Onnistumisprosentti	Tahti	Interventiot tai teleoperaatio	Käyttöaika tai vikaväli	Volyymiajo
Figure 02 @ BMW Spartanburg	Vain tavoite (>99% per vuoro)	Vain tavoite (84 s)	Vain tavoite (0 per vuoro)	Julkaisematon (kyynärvarren yläosa vikapiste)	1,250 h
Agility Digit @ GXO	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon	100,000 laatikkoa
Apptronik Apollo @ Mercedes-Benz	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon
Agile ONE @ Audi	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon	Julkaisematon
Nucleus (nimeämätön tehdas)	Julkaisematon	Julkaisematon	≈40% teleoperoitu (menetelmä julkaisematon)	Julkaisematon	≈2 h videota
AgiBot G2 @ Longcheer	99.99% 64,828 tehtävästä	18–20 s per vaihe	Julkaisematon	Yksi viestintävika, ≈2 min palautumiseen	64+ h
Neuromekan hybridisolu	322/324	12.8% hitaampi kuin ihminen	Julkaisematon	Julkaisematon	324 sykliä
Physical Intelligence π0.6 asiakaskohteessa	—	—	96.4% autonomista vuoron aikana	Julkaisematon	Yksi vuoro

Lähteet: tämä luku ja luku 3 mostly vendor claims.

FIG 30 **Mitä tehtaan robotikäyttöönotot oikeasti julkistavat** ***Useimmat julkistavat vain volyymin; yksikään ei julkista onnistumisastetta, tahtia ja interventiotaajuutta yhdessä.***

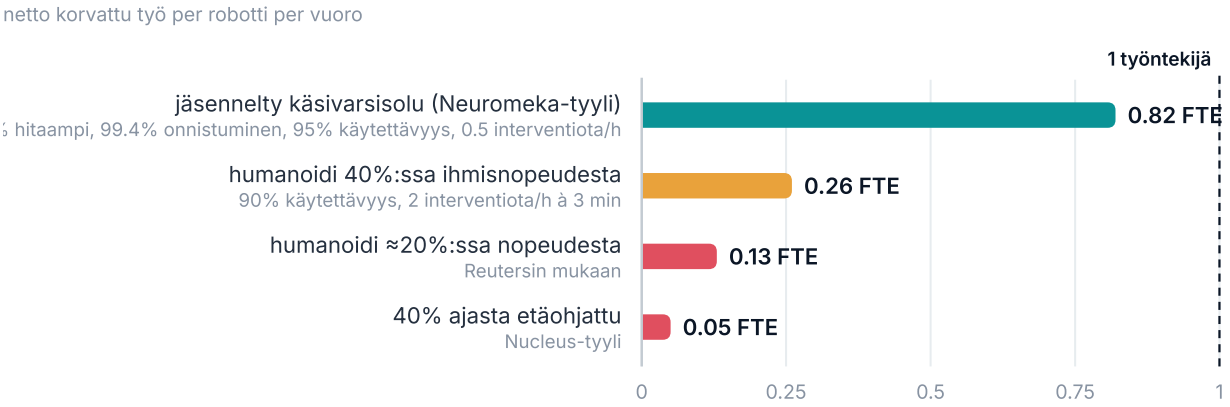


* menetelmää ei kerrottu

Lähde: Julkinen materiaali BMW:ltä, Figurelta, Agilityltä, Mercedes-Benziltä, Audilta, AgiBotilta, Neuromekalta, Physical Intelligenceltä ym.

Teleoperaatio merkitsee taloudelle enemmän kuin onnistumisprosentti. Netto korvattuja ihmisiä per robotti per vuoro ≈ (ihmisen sykli ÷ robotin sykli) × käyttöaika × onnistuminen, miinus interventioaika ja teleoperaatio estimate, my formula. Neuromeka-tyylinen strukturoitu asema (12.8% hitaampi, 99.4% onnistuminen, 95% käyttöaika, 0.5 interventiota 2 minuutin välein tunnissa) korvaa noin 0.82 ihmistä; humanoidi 40%:ssa ihmisnopeudesta, 90% käyttöajalla ja kahdella 3 minuutin interventiolla tunnissa noin 0.26; Reutersin 20%:lla noin 0.13; ja jos, kuten Nucleuksella, yksi operaattori teleoperoi sitä 40% ajasta, noin 0.05, lähes ei mitään. Noin RMB 600k per humanoidi ja RMB 85k per henkilö per vuosi mantereella, kolme viimeistä maksavat itsensä takaisin vuosikymmenissä; vain strukturoitu varsiasema on realistinen takaisinmaksu (luku 4) estimate.

FIG 31 **Netto korvattu työ robottia kohden** ***Jäsennelty käsivarsisolu korvaa noin 0.82 työntekijää; humanoidi etäohjattuna 40% ajasta, noin 0.05.***



Lähde: Kirjoittajan kaavapohjaiset arviot.

Poissa strukturoiduilta asemilta yleiset mallit saavat yhä 40–90% uusissa tehtävissä: Gemini Robotics 2 saavuttaa 74.2% laboratorion pick-and-place:ssa, 78.9% työkalukittauksessa ja 44% pussin sitomisessa (eesel/DeepMind); RoboChallenge Table30:ssä, 30 oikean robotin tehtävässä, π0.5 saa 43.7% ja paras avoin malli 50.3% (RoboChallenge, QbitAI).

Ulkopuoliset ennusteet eroavat, mutta mikään ei tue laajaa käyttöä kahden vuoden sisällä. IFR sanoo yleisen fyysisen AI:n olevan »ei vielä teollisuusluokkaa« ja useimpien humanoidien olevan »yhä prototyyppejä tai pilotteja« (IFR); Interact Analysis arvioi, että vain noin 10% vuonna 2025 tuotetuista humanoideista päätyi todelliseen käyttöön, kaupallisen käännekohdan ollessa »vuoden 2032 jälkeen« (automation.com); UBS pitää humanoidin »EV-hetkeä« epätodennäköisenä ennen vuotta 2030 (Yicai Global); kiinalaiset sisäpiiriläiset arvioivat kahdesta kolmeen vuotta lisää ennen tehdasmittakaavan käyttöä (Gasgoo) single sources. Arvioni estimate: hyvin resursoiduissa elektroniikka- ja autotehtaissa toimittajan ollessa paikan päällä **strukturoidut asematehtävät** (palvelu, OK/NG-lajittelu, kiinnitetty asennus) saavuttavat ≥99% lähellä ihmisnopeutta noin 1–3 vuodessa; **sekäosien kittaus** yleisillä VLA:illa noin 3–5:ssä; **vapaasti reititetyt johtosarjat ja monivaiheinen joustava kokoonpano** yli 5:ssä. Humanoidin takaisinmaksu ei toimi tänään: Walker S2 noin RMB 600k:lla (10jqka) single source, 30–50%:ssa ihmisen tehokkuudesta kahdessa vuorossa, vastaa noin 0.6–1.0 työntekijää, yksinkertainen takaisinmaksu 7–12 vuotta manner-työvoimakustannuksilla ennen integraatiota, ylläpitoa ja seisokkeja estimate.

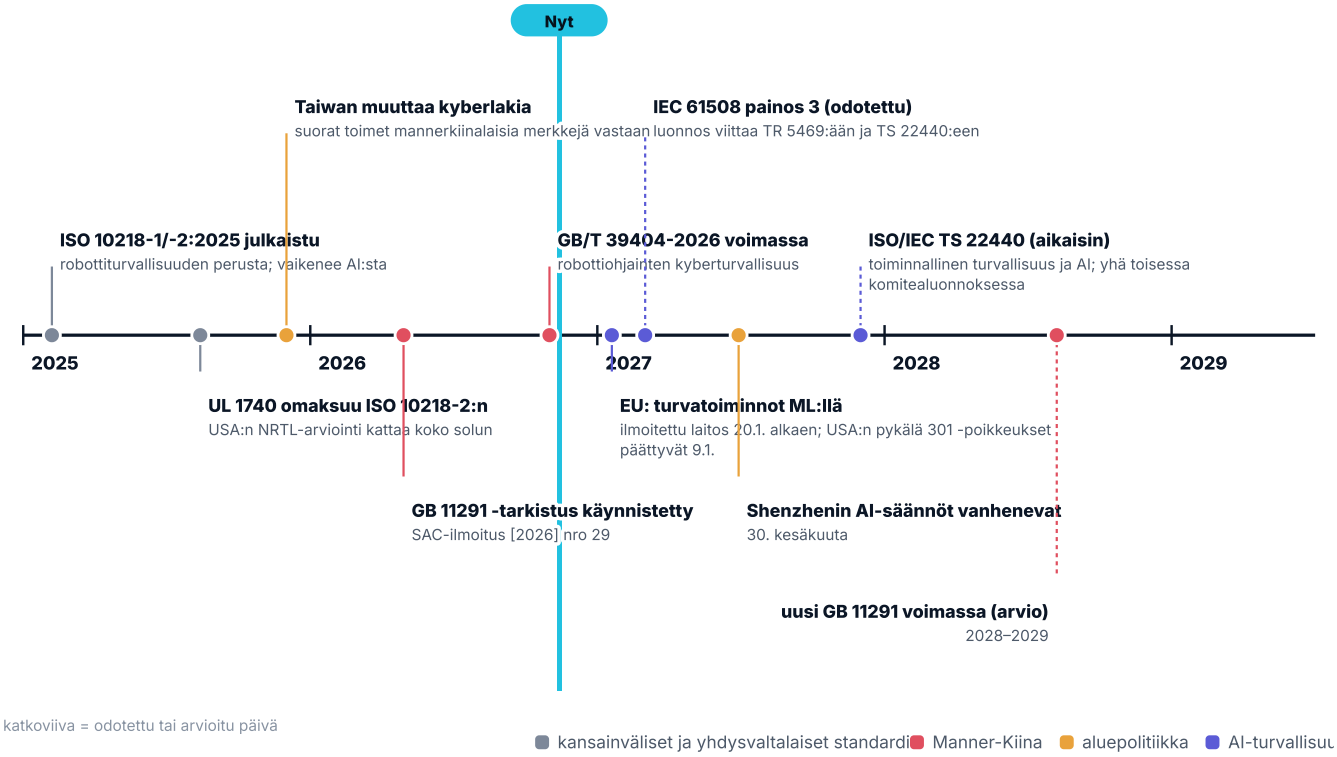
Missä se on jumissa

Linkki	Näyttö vuonna 2026
Data	Ala arvioi vähintään 10 miljoonaa tuntia korkealaatuista oikeaa dataa tarvittavan ja vain noin 500,000 olleen kerätty vuoden 2026 alkuun mennessä (Gasgoo); Reuters raportoi noin 500,000 tuntia vastaan noin 100 miljoonaa tarvittavaa (Notebookcheck); aloitteleva teleoperaattori tarvitsee noin 300 yritystä per käyttökelpoinen liike; tehtaat eivät jaa prosessidataa; simulaatiokoulutetut politiikat putoavat jyrkästi oikeilla roboteilla

Linkki	Näyttö vuonna 2026
Luotettavuus	Strukturoidut asemat 98–99.99% (toimittajien väitteet, vika määrittelemätön); yleiset mallit 40–90% uusissa tehtävissä; näkemättömät liittimet 29–67%
Nopeus	Humanoidit 30–50%:ssa ihmisnopeudesta (UBTech), jotkin noin 20%:ssa (Reuters); frontier-agentit noin 280 s per kvasi-staattinen oikean robotin tehtävä; LLM-ohjaussilmukat 0.2–0.4 Hz:llä vastaan tarvittava noin 83 Hz (Anthropic)
Kustannus	Walker S2 keskimäärin noin RMB 600k; 7–12 vuoden takaisinmaksu estimate
Turvallisuussertifiointi	ISO 10218-1/-2:2025 tekee toiminnallisesta turvallisuudesta nimenomaisempaa ja sulauttaa yhteistyövaatimukset, mutta ei sano mitään AI:sta (The Robot Report); ISO/IEC TS 22440 (toiminnallinen turvallisuus ja AI) oli yhä toinen komitealuonnos marraskuussa 2026 (ISS, ISO Open Data); IEC 61508-3 -ohjeistus neuvoo AI:ta vastaan SIL 1:n yläpuolella (Analog Devices); EU:n koneasetuksen mukaan koneoppimista sisältävät turvatoiminnot tarvitsevat ilmoitetun laitoksen arvioinnin 20. tammikuuta 2027 alkaen (EUR-Lex)
Kädet ja työkalut	Taitavat kädet hallitsevat noin 30 N (≈3 kg) per sormi vastaan noin 10 kg ihmiskädellä (Gasgoo); työkalun vaihdot ovat yhä manuaalisia
Integraatio	Anturin virheluvut, protokollavirheet ja MES-linkit paikan päällä; interventioprosentteja ei lähes koskaan julkisteta

Turvallisuusimplikaatio on suora: standardit eivät kiellä opittuja politiikkoja eivätkä tunnista niitä. ISO 10218-1/-2:2025 ei sano mitään AI:sta; ISO/IEC TS 22440 (toiminnallinen turvallisuus ja AI) on yhä komitealuonnoksessa ja epätodennäköinen ennen loppuvuotta 2027 tai 2028 estimate ; ISO/IEC TR 5469:2024 on vain ohjeistus, joka suosittelee ei-AI-varavaihtoehtoja, valvontarajoituksia ja redundanttia äänestystä; IEC 61508 edition 3 odotetaan vuoden 2027 alkuun (ISO Open Data, BSI, 61508 Association) verified . Mikään julkaistu standardi ei vielä tarjoa hyväksyttyä reittiä koneoppimishavainnoinnin sertifioimiseen turvatoiminnoksi. Alueelliset säännöt liikkuvat myös: Kiina uudistaa GB 11291:tä (voimassa noin 2028–2029) (uudistussuunnitelma 20262543); UL 1740 on tuonut ISO 10218-2:n Yhdysvaltain NRTL-tarkastukseen elokuusta 2025; EU vaatii ilmoitetun laitoksen arvioinnin koneoppimista sisältäville turvatoiminnoille 20. tammikuuta 2027 alkaen; eikä yhtään humanoidia ole sertifioitu aidattomaan tehdaskäyttöön ISO 25785-1:n ollessa yhä luonnoksessa (i-SCOOP). Puolustettava arkkitehtuuri: koneoppiminen tekee vain prosessipäätökset (»mikä osa«, »onko tämä piirilevy hyvä«), kun taas sertifioitu deterministinen turvakerros (tyypillisesti PL d / Category 3) ja turva-PLC päättävät nopeuden, voiman ja pysäytykset. Kohtele mitä tahansa »kamera-AI:ta aidattomaan turvallisuuteen« -väitettä todistamattomana, kunnes PL d - tai SIL 2 -sertifikaatti nimeää koneoppimiskomponentin.

FIG 32 **Standardien ja sääntelyn aikajana** ***Sertifiointipolku AI:lle turvatoimintojen sisällä ei selviä ennen vuosia 2027–2029.***



Lähde: ISO, IEC, UL, EUR-Lex, SAC ja kansalliset sääntelytietokannat.

Mikä kerros on mahdollisuus: mallit kuuluvat jättiläisille, reunalaatikot siruvalmistajille, pienet yritykset integraatioon ja anturointilaitteistoon

Mallikerros tarvitsee pääomaa ja dataa ja kuuluu jättiläisille (AgiBot koulutti GO-2:n »kymmenillä tuhansilla tunneilla« (iFeng Tech); vahvimmat mallit ovat suljettuja tai vain pilvessä). Reunalaatikkokerros kuuluu siruvalmistajille: Jetson Thor on de facto -standardi, ja mantereella D-Roboticsin RDK-levyt (D-Robotics) ja Rockchip-yhteisprosessorit (CSDN) kilpailevat, enimmäkseen ilman julkaistuja VLA-tuloksia.

Pienillä yrityksillä on kaksi aukkoa. Toinen on anturointilaitteisto, joka ostaa suoraan luotettavuutta: kosketus nostaa ContactDP:n asennusonnistumisen 58.7%:sta 97.8%:iin, ja voima/vääntö-anturit ja rannekamerat tekevät samaa; datankeruukitit myyvät myös (10jqka), vaikka kädet, anturit ja varret ovat kaikki hinnan laskussa. Toinen on integraatiokerros varsivalmistajien ja malliyritysten välissä, omistaen kunkin aseman tehtävädatat, turvallisuusverhokäyrän ja MES-linkin, mitä varsivalmistajat eivät myy tuotteena tänään. Kilpailijat jakautuvat neljään ryhmään: varsijohtajat (FANUC, Yaskawa, KUKA, ABB, UR, JAKA, Dobot ja muut), näkö-plus-varsi-yritykset (Mech-Mind, Hikrobot, SmartMore), embodied AI -yritykset (AgiBot, UBTech, Unitree, Galbot, Figure, Physical Intelligence, Google DeepMind, NVIDIA) ja autosirujen tulokkaat.

Ostajan hyväksyntä: ei lukua ilman nimittäjää

Koska yksikään toimittaja ei julkaise interventioprosentteja, vikavälejä tai pitkän ajan onnistumismääriä, nämä kuuluvat sopimuksen hyväksyntäehtoihin. Tilastollisesti 3,000 peräkkäistä tuotantosykliä nollalla vialla todistaa enintään 0.1%:n vikaprosentin 95%:n luottamuksella; 10 vikaa 3,000:ssa todistaa vain ≤0.57%:n; ≤1%:n, ≤0.5%:n, ≤0.1%:n ja ≤0.01%:n todistaminen nollalla vialla vie 299, 598, 2,995 ja 29,956 sykliä estimate, exact binomial. Sillä standardilla Neuromekan 322/324:lla on kaksipuolinen 95%:n väli 97.8–99.9% eikä se todista ≥99%:a; AgiBotin noin 6 vikaa 64,828 tehtävässä tarkoittaa 99.98–100%, mutta vain jos »vika« määritellään kuten ostaja sen määrittelee estimate. Nämä ovat hyväksyntävaatimukset, jotka esittäisin mille tahansa robottivarsi- tai embodied-solulle; kynnykset poh-

jautuvat Figuren omiin BMW-tavoitteisiin sekä Neuromekan ja AgiBotin tapauksiin, ja ne ovat arvio, eivät standardi estimate:

Kohta	Vaatimus	Ehdotettu läpäisykynnys
Määritelmät	Allekirjoitetut määritelmät syklistä, onnistumisesta, viasta (osittainen onnistuminen, uudelleentartunta, pudotus, laatuläpipääsy), interventiosta (kosketus, etäteleoperaatio, nollaus, hätäpysäytys) ja siitä, miten autonomia lasketaan	Määritelmät tulevat ennen mitään metriikkaa; ei prosenttia ilman kaavaa
Interventiot ja teleoperaatio	Per robottitunti, tyypin ja keston mukaan; keskimääräinen aika interventioiden välillä; teleoperaatiominuutit osuutena ajoajasta; operaattorit per robotti	Strukturoidut asemat ≤0.5 interventiota per robottitunti (≥2 h välein); nolla teleoperaatiota hyväksynnän aikana
Pitkän ajan onnistuminen	≥3,000 peräkkäistä tuotantosykliä ≥3 vuoron, ≥2 osanumeron ja normaalin valaistuksen ja syötön vaihtelun aikana; viat luokiteltu; eksakti alaraja	Alaraja ≥99.5% linjan pysäyttäville inline-asemille, ≥99.0% offline-tilassa; laatuläpipääsyt raportoidaan erikseen
Sykliaika	P50/P90/P99 per osa mukaan lukien palautuminen, vastaan ≥30 ajoitettua ihmisen sykliä samalla asemalla	≤1.15 × ihmisen P50, tai linjan tahdin sisällä
Käyttöaika ja viat	Ajotunnit, seisokkiloki, viat komponenteittain, osan vaihtoaika	≥95% käyttöaika ≥2 viikon aikana; MTTR ≤20 min varaosilla paikan päällä
Palautuminen	Skriptattu vian injektio: pudotukset, peitot, valaistusmuutos, kuljettimen pysäytys, MES- tai verkko katkos, sähkökatkos, hätäpysäytys	≥90% autonominen palautuminen, takaisin tuotannossa 2 minuutissa
Vaihto	Tunnit, demonstraatiot, operaattorin taito ja datankeruukustannus per uusi osanumero tai kiinnike	Strukturoidut asemat: ≤1 vuoro ja ≤100 demoa per uusi osanumero
Turvallisuus	Varsi ja solu ISO 10218-1/-2:2025:n mukaan, solun riskiarviointi, paikalliset säännöt (GB 11291 mantereella; CNS 14490 plus kirjallinen arviointi Taiwanissa; ANSI/A3 R15.06-2025 ja UL 1740 Yhdysvalloissa)	Ei koneoppimisella toteutettua turvatoimintoa; sertifioitu turvakerros (tyypillisesti PL d / Cat 3) rajoittaa nopeuden ja voiman; ei aidattomia jalkarobotteja ennen kuin ISO 25785-1 on julkaistu ja arvioitu
Laskenta ja offline-käyttäytyminen	Inferenssilaitteisto, P99-latenssi, käyttäytyminen ilman verkkoa, malliversiointi, uudelleenvalidointi jokaisen päivityksen jälkeen	Tahtikriittinen inferenssi ei riipu pilvestä; täysi uudelleenhyväksyntä jokaisen malli-, kvantisointi- tai moottorimuutoksen jälkeen
Todisteet	Leikkaamaton video ja raakalokit koko hyväksyntäikkunasta; asiakkaan laatutiimin tai kolmannen osapuolen todistamana	Ei kohokohtakeloja tai vain-toimittaja-yhteenvetoja
Kaupalliset ehdot	Maksun virstanpylväät sidottu hyväksyntämetriikkaan; saatavuussanktiot kun laskutetaan per robottitunti; datan omistus ja etäkäytön säännöt	Loppumaksu ja pito vapautetaan vasta 3,000 syklin hyväksynnän ja ≥4 viikon vakaan ajon jälkeen
Talous	Netto korvattuja ihmisiä = nopeussuhde × käyttöaika × onnistuminen − interventioaika − teleoperaatio-osuus	Hylkää mikä tahansa ehdotus, jonka nettokorvaus ei tue sen väitettyä takaisinmaksua

Lähteet: (Figure, Neuromeka, Yicai Global, i-SCOOP); kynnykset ovat ehdotuksiani.

Avoimet kysymykset

07 Mihin julkinen aineisto ei voi vastata, ja miten pilotti ratkaisee sen

Kysymykset, joihin julkiset lähteet eivät voi vastata, jakautuvat viiteen ryhmään: mitä AI-tarkistus todellisuudessa maksaa ja mitä ostajat maksavat; miten AOI-valmistajat niputtavat AI:n ja päivittävät vanhoja koneita; kuinka vanhoja asennetut AOI:t ovat ja kuinka moni ajaa jo AI:ta; kuinka monta ihmistä ja tuntia tarkistus todella vie per linja; ja miten pilotit konvertoituvat ja miten ostajat maksavat. Näiden päälle tulee se, miten uusimmat mallit, kvantisoidut rakennukset ja robottivarret todella suoriutuvat tietyn tehtaan olosuhteissa. Jokainen voidaan muuttaa testiksi, jolla on selkeä kynnys. Alla olevat kynnykset ovat päätössääntöjä, jotka johdin tämän raportin näytöstä estimate; laske ne uudelleen, kun ensimmäinen tehdasdata tulee.

Avoin kysymys	Miten se ratkaistaan	Miltä hyvä tulos näyttää
AI-tarkistuksen hinta ja maksuhalukkuus	Vakiotarjouspyyntö (esimerkiksi neljä linjaa sekavanhemmilla 2D- ja uudemmilla 3D-AOI:illa, kaksi vuoroa, noin 2,000 piirilevyä per vuoro, 12 vikaluokkaa, vain paikallisesti, MES- tai IPC-CFX-integraatio) lähetettynä useille kolmannen osapuolen toimittajille; neljän kysymyksen hintajoustokysely 20–30 EMS-tehtaalle	Useimmat tarjoukset RMB 40–120k kertaluonteisesti tai 20–40k vuodessa neljälle linjalle; vähintään puolet tehtaista hyväksyy RMB 10–30k per linja takaisinmaksulla 12 kuukauden sisällä
AOI-valmistajien AI-niputus ja päivitykset vanhoille koneille	Lyhyet strukturoidut haastattelut noin tusinan AOI-valmistajan ja -jakelijan kanssa	Onko AI-tarkistus vakio, valinnainen vai poissa vuosien 2025–26 malleissa; voiko ennen vuotta 2020 tehtyjä koneita päivittää ja millä hinnalla
Asennettujen AOI:iden ikä ja AI:ta ajavien osuus	Paikan päällä tehty kysely noin 30 EMS-tehtaalle, ositettuna koon ja alueen mukaan, laiteluettelot tarkistettuna NDA:n alla	AOI:n mediaani-ikä ≥5 vuotta ja ≥60% ilman AI:ta tarkoittaa, että jälkiasennuspooli on todellinen
Tarkistustyö ja -tunnit	Haastattelut ja 2–4 viikkoa AOI-hälytys-, tarkistus-, korjaus- ja vuorolokeja kahdessa tai useammassa tehtaassa, työnäytteenotolla	≥1 omistettu tarkistaja per linja per vuoro ja ≥3 tarkistustuntia per linja per vuoro, vähintään 0.5 FTE per linja, jonka tehdas on valmis uudelleensijoittamaan
AI-tarkistuksen itsensä suorituskyky	Golden set plus varjotila aidolla linjalla (luku 3): datasopimus viikolla 0, perustaso ja merkintä viikoilla 1–2, varjoajo viikoilla 2–4, valinnainen avustettu ajo viikoilla 4–8	Väärät hälytykset tai tarkistustunnit leikattu ≥50–60%; luokkakohtaiset läpipääsyrajat eivät huonompia kuin ihmisperustaso; nolla ohitusta kriittisillä luokilla; p95-latenssi ≤½ tahti; automaattinen fail-open ihmisille
Frontier-mallien opettajamerkkauksen laatu	Aja kaksi tai kolme ehdokasta samalla golden setillä, kolme kehotteen muotoilua kullakin, yksi hyvä viitekuva, yksikomponenttiset rajaukset ≥42–48 px	Automaattinen hyväksyntä vain luokille, joissa nolla ohitusta ≥299 viassa ja ihmistasoinen yksimielisyys; muuten vain esimerkitys ja priorisointi
Kvantisoidut rakennukset	Muuta vain tarkkuus; kiinnitä painohashit, mallipohja, esikäsittely, dekoodaus, moottori ja eräkoko; poista tai nollaa prefix-välimuisti; tarkista että viiterakennus toistaa toimittajan tulokset; pisteytä parit golden setillä ja ajautumisviipaleella	Ei uusia ohituksia kriittisillä luokilla; ≤1 uusi ohitus 1,000 viassa; poistoprosentti laskee ≤2 pistettä; ≥99.5% identtiset päätökset kolmessa ajossa; muuten palaa FP8/INT8:aan

Avoin kysymys	Miten se ratkaistaan	Miltä hyvä tulos näyttää
Linjavarren laitteisto, puhtaus ja ESD	≥2 yksikköä kutakin ehdokaslaatikkoa rasitustestattuna kaksinkertaisella odotetulla hälytystaajuudella; 72 tunnin liuotus todellisella kaappi-ilmavirtauksella; ESD-tarkistus asiakkaan koordinaattorilta; ISO 14644-14 -testi ISO 7:n ja puhtaammille asiakkaille	p95 ≤½ tahti; ei kaatumisia tai kuristusta 72 tunnissa; ESD-hyväksyntä; partikkeliraportti oikeassa luokassa
Maksuehdot, pilottisäännöt ja konversio	Maksulausekkeet viimeaikaisista tarkastuslaitesopimuksista tutkituissa tehtaissa; haastattelut pilottisäännöistä, hyväksyntäkriteereistä ja kelpuutusajasta	Noin 30/60/10 käteisellä 60 päivän sisällä hyväksynnästä; pilotit ≤8–12 viikkoa nimetyllä hyväksynnän omistajalla; ≥1 kolmesta kokeilusta konvertoituu; viitekehys kattaa ≥5–10 linjaa ensimmäisenä vuonna
Data, IT ja vastuu	Haastattelut ja sopimustarkastelu lakimiehen kanssa	Paikallinen laatikko voi yhdistää ja käyttää dataa; vastuu rajattu ohjelmistovikoihin
Alueellinen vaatimustenmukaisuus ennen ulkomaille menoa	Taiwan: asiakkaan kirjallinen asema kyberturvallisuuden hallintalain alla, E187-itsearviointi; Yhdysvallat: tullirulkkaus solun luokittelusta, NRTL-tarjoukset, ITAR-tarkistus; Kaakkois-Aasia: BOI:n paikallissidos ja Malesian vähennyksen kelpoisuus, asiakkaan emoyhtiö; manner: CCC-laajuus niputetuille PC:ille ja virtalähteille	Asiakas ei ole valvottu elin, ja takaisinmaksu pysyy ≤2 vuodessa tullin ja sertifioinnin kanssa
Robotti- tai embodied-solun hyväksyntä	Luvun 6 12-kohtainen hyväksyntätaulukko: allekirjoitetut määritelmät, ≥3,000 peräkkäistä tuotantosykliä ≥3 vuoron ja ≥2 osanumeron aikana, skriptattu vian injektio, ≥30 ajoitettua ihmisen sykliä, todistettuna	Alaraja ≥99.5% inline-tilassa (≥99.0% offline); sykli ≤1.15 × ihminen; ≤0.5 interventiota tunnissa ja nolla teleoperaatiota; ≥95% käyttöaika; MTTR ≤20 min; ≥90% palautuminen
ACT- ja VLA-politiikat kiinalaisilla reuna-siruilla	Neljä viikkoa: porttaus ja mikrobenchmark (≥1,000 inferenssiä, latenssijakauma, teho, 60 minuutin liuotus); suljettu silmukka -simulaatio mitatulla latenssilla injektoituna; oikean robotin A/B GPU:ta vastaan; 8–24 tunnin kestävyys (≥3,000 sykliä)	ACT-palat p95 ≤100 ms, VLA ≤300 ms; oikean robotin onnistuminen 3 pisteen sisällä GPU:sta ja sykli ≤1.2 × ihminen; muuten pidä politiikka Jetsonilla tai GPU:lla
Cobot-, AMR- ja integraatiohinnat	Mallikohtaiset tarjoukset useilta cobot-jakelijoilta, ja kokosolu tarjoukset kahdelta tai kolmelta integraattorilta testikiinnikkeiden lastaukseen (yksi asema, kaksi vuoroa)	Kokosolu ≤RMB 200k ja takaisinmaksu ≤1.5 vuotta kahdessa vuorossa Shenzhenissä
SMT-linjamäärät Taiwanissa, Kaakkois-Aasiassa ja Yhdysvalloissa	IPC:n (entinen New Venture Research) data tai paikallisten laitejakelijoiden asennettu kanta	Tarpeeksi palveltavia linjoja per alue paikallisen sovellussuunnittelun perustelemiseksi

Kaikista näistä neljä ratkaisee tämän raportin herkimmät luvut: hinnan, jonka ostajat maksavat, työvoiman, jonka AI-tarkistus todella vapauttaa, sen, jääkö AI-tarkistus todella huonommaksi kuin ihmiset, ja sen, kuinka nopeasti kassa palaa. Ne kannattaa ratkaista ennen merkittävää sitoutumista, ostoa harkitsevan tehtaan tai tuotetta harkitsevan toimittajan toimesta.

Pilottisekvenssi, joka toimii molemmille puolille

Tehtaalle ja uskottavaa referenssiä haluavalle toimittajalle järjestys on sama:

1. **Viikot 0–2: sovi datasta ja määritelmistä.** Allekirjoita datasopimus, määrittele vikaluokat ja se, mikä lasketaan läpipääsyksi, ja kirjaa perustaso: väärät hälytykset per piirilevy, tarkistussekunnit per kutsu, loppupäässä löytyneet läpipääsyt.

2. **Viikot 1–4: rakenna golden set** AOI-arkistosta ja säilytetyistä NG-piirilevyistä, merkittynä sokkona ja ratkaistuna (luku 3).
3. **Viikot 2–4 (tai pidempään): varjotila.** Malli kirjaa päätöksensä, kun ihmiset päättävät kuten ennen; vertaile luokittain.
4. **Viikot 4–8: avustettu ajo satunnaisilla vuoroilla,** mallin poistaessa vain portin läpäisseet luokat ja kaiken muun mennessä ihmisille.
5. **Hyväksyntä kirjallisesti ennen skaalausta:** luokkakohtaiset tulokset, latenssi, fail-open-käyttäytyminen ja se, kuka omistaa mallit ja merkinnät. Skaalaa linja kerrallaan ja validoi uudelleen jokaisella uudella tuotteella, malliversiolla, kvantisointi- tai moottorimuutoksella.

Tämän raportin rajoitukset

Tämä on pöytätutkimusta. En tehnyt ensisijaisia haastatteluja tehtaille tässä painoksessa; suuri osa linjadatasta tulee toimittajilta eikä sitä ole itsenäisesti auditoitu. Useita hallituksen verkkosivustoja, tarjouskilpailutietokantoja ja rekrytointialustoja ei voitu käyttää, joten Shenzhenin vuoden 2026 päivitystukiprosentit, Jangtse-joen suiston palkkaohjeistus, AI-tarkistuksen transaktiohinnat, tarkistajat per linja ja pilottikonversioprosentit ovat arvioita tai analogioita; kukin esiintyy yllä avoimena kysymyksenä. Valuuttakurssit ovat Kiinan keskuspankin keskikurssi 9. marraskuuta 2026 ($1 = RMB 6.7188) ja Taiwanille SMBC:n noteeraus samana päivänä ($1 = NT$32.12); Vietnamin dong käyttää toukokuun 2026 dataa. Kaikki kynnykset ovat päätössääntöjä, jotka on johdettu siteeratusta näytöstä, eivät standardeja.

Tekijästä

Tan Shuai

Tan Shuai on teknologi ja perustaja, jolla on yli kaksikymmentä vuotta työtä sirujen, laitteistojen ja järjestelmäohjelmistojen parissa sekä 20 myönnettyä patenttia. 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 todellisuudessa käytetään tehtaan lattialla.

Hän ottaa mielellään vastaan keskusteluja valmistuksessa AI:n parissa työskentelevien kanssa, rakennetaanpa tiimiä, etsitään kumppania tai verrataan muistiinpanoja: i@tanshuai.com · tanshuai.com

Huomautukset ja vastuuvapauslauseke

Tämä raportti on riippumatonta pöytätutkimusta, joka perustuu julkisiin asiakirjoihin, jotka ovat saatavilla 11. marraskuuta 2026 asti. Se on tarkoitettu vain tiedoksi, eikä se ole sijoitus-, oikeudellista, vero- tai suunnitteluneuvontaa. Tuotenimet, hinnat, mallijulkaisut, vientiluokitukset, tullit ja säädökset muuttuvat nopeasti; varmista kaikki, mihin luotat, ensisijaisesta lähteestä. vendor claim - tai estimate -merkityt luvut tulee lukea sellaisina. Yritys- ja tuotenimet kuuluvat omistajilleen ja niitä käytetään vain tunnistamiseen; mikään yritys ei arvioinut tai sponsoroinut tätä raporttia.

© 2026 Tan Shuai. Voit jakaa tämän raportin muuttumattomana nimeämällä tekijän.

ELEKTRONIIKKAVALMISTUS · AI-TARKASTUS × ROBOTIIKKA

AI-näkötarkastus ja robottivarret elektroniikkatehtaissa: arvio vuodelta 2026

Jokainen keskeinen luku kantaa lähteensä ja luotettavuusmerkinnän: verified, single source, vendor claim tai estimate. Se, mihin julkinen aineisto ei voi vastata, on koottu lukuun 7, sekä se, miten pilotti ratkaisee kunkin kysymyksen.

Tan Shuai
tanshuai.comi@tanshuai.com

JULKINEN PAINOS · TIEDOT 11. MARRASKUUTA 2026

