



TEKNOLOGISK
INSTITUT

Teknologisk Udsyn · Maj 2025

Humanoide robotter: Når robotterne ligner mennesker

Teknologisk Institut er et uafhængigt og almennyttigt forsknings- og udviklingsinstitut, der er godkendt som GTS-institut af Uddannelses- og Forskningsministeren. Instituttet har siden 1906 arbejdet for at fremme udnyttelsen af teknologiske fremskridt til gavn for erhvervsliv og samfund gennem udvikling, rådgivning og formidling. Vi opfylder dette formål ved at udvikle ny viden gennem forsknings- og udviklingsaktiviteter, som omsættes til teknologiske serviceydelser og stilles til rådighed på markedsvilkår.

Udarbejdet af
Teknologisk Institut
Gregersensvej 1
2630 Taastrup

Teknologisk Udsyn · Maj 2025
Humanoide robotter: Når robotterne ligner mennesker

Forfattere: Stig Yding Sørensen, Andreas Bjerre Lunkeit, Emil Højbjerg Thomsen, Arne Hørlück Høeg, Nikolaj Birkkjær Andersen, Jonas Degn Henriksen, Mads Bruun Andersen, Teknologisk Institut.

Til rapporten bidrog desuden forretningsleder Birgitte Østergaard Sørensen og faglig leder Søren Peter Johansen, Teknologisk Institut.

Fotos: s.6: Unitree. s.13, 53: Pavel Mikheyev / Shutterstock.com. s.17: Giovanni Cancemi / Shutterstock.com. s.41: Wirestock Creators / Shutterstock.com. s.43: ChatGPT. s.47: alvarog1970 / Shutterstock.com.

ISBN 978-87-91461-94-1

Indhold

Tre hovedpointer	5
Executive summary	7
Indledning	14
Internationalt udsyn for humanoide robotter	20
Forskning - videnskabens frontlinje	20
Teknologiudvikling og innovation	26
Markedsanalyse	36
Ekspertvurderinger af teknologiens status og fremtid	43
Teknologiens potentiale for danske robotvirksomheder	54
Humanoide robotter i danske virksomheder	58
Konklusion og perspektivering	62
Bibliografi	63
Teknologisk Institut rådgiver også om humanoide robotter	66



Se fremad, fremad! Aflur den kommende tid de veje, den vil bane for udviklingen, og stil jer så dér, hvor I aner, at Instituttets hjælp bliver fornøden. Vent ikke, at nyt land nås ad gamle, banede veje. Ad ukendte stier og snarveje vil vejen ofte gå.

Gunnar Gregersen,
Grundlægger af Teknologisk Institut

Tre hovedpointer

De første humanoide robotter banker snart på døren. Danmark kan møde teknologien med afsæt i sin styrke som en af verdens mest automatiserede og digitaliserede nationer.



Følg teknologien tæt og inddrag brugerne

Danske virksomheder har brug for et overblik over, hvad der virker, og hvornår teknologien er klar til brug. Danmark bør være tættere på frontløberne – især Kina og USA. Det kræver styrket overvågning og formidling af viden, så den bliver relevant og brugbar. Samtidig bør udvikling af investeringer og pilotprojekter ske i samarbejde med de virksomheder, der kan få mest ud af teknologien.



Skab testmiljøer tæt på praksis

Virksomhederne viser interesse, men få vil gå forrest. Derfor bør vi opbygge testmiljøer, hvor robotterne kan prøves af i mindre skala – fx i produktion, sundhed eller pleje. Samtidig kan disse miljøer inspirere til ny innovation inden for fx cobots og mobile robotter, hvor Danmark allerede står stærkt.



Sæt Danmark på landkortet via samarbejde og standarder

På nuværende tidspunkt virker det usandsynligt, at Danmark bliver producent af hele humanoide robotter, men vi kan få stor værdi gennem samarbejde om test, regler og standarder. Vi bør engagere os i EU's kommende strategi for AI-robotter. Med vores erfaring i cobots og arbejdsmiljø kan vi være med til at sætte retningen for ansvarlig brug af teknologien – både i Danmark og Europa.

Teknologisk Udsyn skaber klarhed i et komplekst landskab ud fra fakta om teknologi, marked, tendenser og kortlægning af aktører. Vi viser mulighederne for at styrke de danske virksomheders konkurrenceevne gennem innovation, samarbejde og investering i teknologi. Vi har som mål at vise vejen til en banebrydende, bæredygtig og økonomisk levedygtig fremtid.

Lad os bygge en bedre fremtid sammen!

Juan Farré,
Adm. direktør, Teknologisk Institut





Et stigende antal virksomheder og forskningsmiljøer globalt investerer massivt i humanoid teknologi, særligt i Kina og USA.

Executive summary

Humanoide robotter: Når robotterne ligner mennesker

Fra science fiction til strategisk virkelighed

Humanoide robotter – dvs. robotter der ligner og bevæger sig som mennesker – er hastigt på vej fra science fiction til virkelighed. Udviklingen er accelereret markant de seneste år, drevet af fremskridt inden for kunstig intelligens (AI), sensorer, aktuatorer (mekaniske "muskler") og batteriteknologi. Et stigende antal virksomheder og forskningsmiljøer globalt investerer massivt i humanoid teknologi, særligt i Kina og USA, hvor milliarder af yuan og dollars pumpes i nye projekter og startups. Denne globale satsning afspejler en udbredt tro på, at humanoide robotter kan blive den næste store teknologiske revolution. Optimistiske prognoser forudsiger desuden en eksplosiv vækst i antallet af humanoide robotter på arbejdsmarkedet i de kommende år.

Allerede nu vurderes materialeprisen for en avanceret humanoid robot kun at svare til cirka en årsløn for en industriarbejder, og prisen forventes at falde yderligere i takt med stor-drift og modning. På sigt tegner der sig således et billede af en teknologi, der kan blive både teknisk kapabel og økonomisk attraktiv.

Teknologisk Institut har taget temperaturen på udviklingen af de humanoide robotter, og analysen kombinerer bibliometriske analyser af

over 15.000 forskningspublikationer, kortlægning af mere end 6.000 patenter, en survey blandt internationale eksperter og interviews med centrale aktører. Desuden inddrages virksomhedsdata, markedstal og cases fra både Danmark og udlandet, samt Teknologisk Instituts globale database over humanoide robotter. Analysen samler teknologiske, markedsmæssige og samfundsmæssige perspektiver og giver et samlet overblik over humanoide robotter.

Teknologiens tilstand: Smarte hoveder – svage kroppe

På trods af de seneste fremskridt befinder teknologien sig stadig på et umodent stadie med væsentlige udfordringer. De nuværende humanoide robotter kan kun udføre relativt simple opgaver, ofte i et langsommere tempo end mennesker. Kritiske færdigheder, som autonom navigation og problemløsning i uforudsigelige miljøer, er endnu ikke fuldt tilfredsstillende.

Der er behov for markante forbedringer i robotternes "krop" – herunder stærkere aktuatorer, bedre batterier, mere følsomme sensorer og finere motorik – for at udvide anvendelsesområdet. Der er mange demonstrationer af humanoide robotter, der kan gå på trapper, hoppe, løbe og slå kolbøtter – men det samfundsmæssige gennembrud vil først ske, når de

effektivt kan gavne produktiviteten der, hvor de bliver indsat.

Udover de rent tekniske barrierer står humanoide robotter også over for spørgsmål om pålidelighed, sikkerhed og etik. Robotterne skal kunne operere sikkert, side om side med mennesker, uden at udgøre en risiko, og samfundet skal opbygge tillid til, at de skaber værdi uden at kompromittere menneskelig velfærd og arbejdsvilkår.

Robotter med potentiale – men også benspænd

Potentialet for humanoide robotter er enormt. Fordi de er udformet som mennesker, kan humanoide robotter i princippet arbejde i alle omgivelser designet til mennesker – fra fabrikshaller og kontorer til hospitaler og private hjem. I industrien kan de fleksibelt overtage forskellige monotone eller fysisk belastende opgaver på produktionslinjer og lagre; i logistik kan de håndtere varehåndtering og intern transport; i byggeriet og energisektoren kan de udføre inspektion og vedligeholdelse i farlige miljøer; og i service- og sundhedssektoren kan de på sigt assistere med plejeopgaver eller fungere som interaktive assistenter for borgere.

Deres menneskelignende fremtoning rummer også en vigtig social dimension: Robotter, der minder om os selv, kan være lettere for mennesker at acceptere og samarbejde med intuitivt. Denne kombination af fysisk alsidighed og potentiel brugervenlighed betyder, at humanoide robotter – når de engang modnes – kan få en bred tværsektoriel betydning i samfundet og indgå i mange forskellige brancher.

Markedsforventninger: Ekspløsiv vækst på vej?

Markedsanalytikere forventer en markant vækst i brugen af humanoide robotter i de

kommende år. Flere prognoser forudsiger årlige vækstrater på over 50 %, drevet af faldende produktionsomkostninger og hurtige teknologiske fremskridt inden for nøgleteknologier – især inden for AI.

Robotterne forventes først at vinde indpas inden for industri og logistik, men med tiden også i sundhed, service og pleje. Særligt i lande med aldrende befolkninger ses teknologien af analytikerne som en mulig løsning på manglen på arbejdskraft – især mhp. arbejdsopgaver, der er svære at automatisere med mere traditionelle industri- eller servicrobotter. Optimister ser humanoide robotter som den næste teknologiske megatrend efter smartphones og elbiler – men fremhæver også, at udbredelsen afhænger af, om teknologien kan blive både pålidelig, sikker og økonomisk attraktiv.

Verden investerer – Kina fører an i kapløbet

Globalt set drives udviklingen af humanoide robotter af en række toneangivende aktører. I Kina har regeringen satset massivt på teknologien med en målrettet national strategi for humanoide robotter og en ny statsstøttet kapitalfond. Kinesiske virksomheder som UBTECH Robotics, Fourier Intelligence, LimX Dynamics og Leju Robotics udvikler avancerede humanoide robotter til industri, logistik og service. Kinesiske universiteter og forskningsinstitutioner – fx Beijing Institute of Technology, Zhejiang University og Tsinghua University – spiller en central rolle i at udvikle både hardware og software. Et godt eksempel på den kinesiske prioritering af humanoid robotteknologi er, at landet i perioden 2010–2014 kun stod for 3 % af de nye robotter, men siden 2020 har Kina øget sin andel til 71 %.

I USA investerer både private virksomheder og venturekapitalfonde betydelige beløb i humanoide robotter. Tesla har satset stort med

Dansk status for humanoide robotter

2900	Status	Næste skridt
	Science Danmark indtager en global 29. plads målt på antal forskningsartikler om humanoide robotter pr. indbygger.	Følg udviklingen tæt Styrk teknologiovervågning og inddrag virksomheder tidligt.
	Teknologi Der er ingen danske patenter på humanoide robotter. 71% af verdens patenter er fra Kina.	Test i virkeligheden Skab praksisnære miljøer til afprøvning og innovation.
	Marked Danmark har ingen virksomheder, der udvikler og sælger humanoide robotter. Siden år 2000 er 53 % af nye humanoide robotter kinesiske.	Spil ind internationalt Deltag aktivt i samarbejde om test, regler og standarder.

robotten Optimus, og OpenAI samarbejder med Figure om at udvikle generalist-robotten Figure 01. Derudover har virksomheder som Agility Robotics og Boston Dynamics udviklet avancerede prototyper med fokus på mobilitet og funktionalitet. Amerikanske universiteter som Stanford, Oregon State University og University of Texas bidrager med avanceret forskning og open-source-platforme.

Europa har ikke samme volumen i investeringer som USA og Kina, men rummer stærke forskningsmiljøer og nichevirksomheder. Tyske og franske universiteter og institutioner har udviklet centrale komponenter, mens virksomheder som NEURA Robotics i Tyskland og PAL Robotics i Spanien arbejder med udviklingen af humanoide robotter. EU arbejder desuden på en strategi for AI-drevne robotter, som skal sikre Europas position i konkurrencen.

Danmark i en venteposition – men med potentiale

I en dansk kontekst er interessen for humanoide robotter bestemt til stede, og den er præget af nøgtern realisme. Danmarks stærke robotindustri og forskningsmiljø anerkender teknologiens potentiale, men flere aktører vurderer, at det endnu er for tidligt at satse stort på humanoide robotter.

Danske robotleverandører og -integratorer fokuserer fortsat primært på eksisterende specialiserede robotløsninger – såsom kollaborative robotarme (cobots) og mobile robotplatforme – hvor de allerede er globalt konkurrencedygtige. Den menneskelignende formfaktor betragtes som interessant, men modenheten vurderes at være så lav, at danske robotvirksomheder foretrækker en forsigtig og afventende strategi.



Danmarks stærke robotindustri og forskningsmiljø anerkender teknologiens potentiale, men flere aktører vurderer, at det endnu er for tidligt at satse stort på humanoide robotter.

På længere sigt kan man forestille sig, at danske teknologiudviklere bliver underleverandører af nøglekomponenter til humanoide robotter, men det anses som usandsynligt, at danske firmaer selv vil udvikle komplette humanoide robotsystemer inden for en overskuelig fremtid. Desuden peger flere industriaktører på, at de første gennembrud for humanoide robotter sandsynligvis vil ske inden for relativt afgrænsede opgaver som industriel montage og logistik, før teknologien når ud i mere komplekse sektorer. Denne afventende holdning går igen hos potentielle brugere af teknologien i dansk erhvervsliv.

En håndfuld større danske virksomheder – herunder Energinets innovationsafdeling, Grundfos, LEGO, Topsoe og BIRN – har i rapporten delt deres syn på humanoide robotter. Billedet

er præget af forsigtig optimisme: Alle anerkender visse langsigtede fordele ved teknologien, men de fleste vil se den bevist under stabile forhold andetsteds, før de selv tager den i brug. Samtidig planlægger Energinets innovationsafdeling som pioner at afprøve en kommerciel humanoid robot allerede i 2026, da de ser et stort potentiale i at få løst farlige og krævende opgaver i energisektoren. Omvendt forventer en virksomhed som Grundfos, at der kan gå op mod 15 år, før humanoide robotter har den nødvendige pålidelighed og værdi til fuld integration i produktionen.

Samlet set konkluderer analysen, at humanoide robotter vurderes at have et betydeligt langsigtet potentiale for Danmark, men at teknologien her og nu ikke er moden nok til store investeringer. Danske interessenter indtager derfor

forståeligt en "vent-og-se"-position, mens udviklingen primært drives frem internationalt.

Et kapløb med tiden – eller et spring fremad?

På trods af de aktuelle begrænsninger er fremtidsudsigterne for humanoide robotter imponerende – og udviklingen kan ske hurtigere, end man umiddelbart skulle tro. Vi befinder os nu i en fase, hvor de grundlæggende teknologiske byggeklodser er faldet på plads, og hvor kraftige AI-modeller, bedre mekanik og billigere komponenter kan udløse nye gennembrud i funktionalitet fra år til år.

Internationale tech-giganter og førende forskere arbejder målrettet på at lære robotterne nye færdigheder gennem både fysiske eksperimenter og simulering i virtuelle miljøer, hvilket effektiviserer udviklingsprocessen betragteligt. Det betyder, at det, der i dag kun lige akkurat kan lade sig gøre – som at få en robot til at gå, løfte kasser eller skrue en skrue i – sandsynligvis vil kunne udføres hurtigere, sikrere og mere autonomt inden for få år.

Om 5–10 år kan vi meget vel se de første humanoide robotter udføre mere komplekst og værdifuldt arbejde i nicheområder. På længere sigt – måske inden for et årti eller to – kan de udvikle sig til et lige så almindeligt syn i visse arbejdsmiljøer, som industrirobotter er det i dag. Dette tempo understreges af den globale konkurrence: Når Kina investerer trecifrede milliardbeløb i området og forpligter sig på nationale strategier, og når amerikanske og europæiske virksomheder ligeledes intensiverer deres satsning, skabes et kapløb, der vil forkorte tiden fra prototype til produkt. Med andre ord kan humanoide robotter gå fra at være et futuristisk koncept til at blive en konkret teknologisk mulighed hurtigere, end den nuværende skepsis måske tilsiger.

For danske industrivirksomheder og øvrige sektorer rejser dette spørgsmålet om relevans og timing: Hvornår giver det mening at tage teknologien i brug, og i hvilket omfang? Lige nu er rådet at følge udviklingen nøje – men med en kritisk sans. Teknologien er stadig umoden, og det vil være risikabelt at kaste sig hovedkulds ud i store investeringer allerede nu. Alligevel er det afgørende at være forberedt. Danske virksomheder bør allerede nu identificere de områder i deres forretning, hvor en humanoid robot på sigt kunne gøre en positiv forskel – fx afhjælpe mangel på arbejdskraft, udføre farlige eller ergonomisk belastende opgaver, eller forbedre serviceoplevelser. Med et langsigtet blik for disse muligheder bliver det lettere at vurdere, hvornår tidshorisonten er rigtig til at tage næste skridt.

Relevansen vil variere på tværs af sektorer: Produktionsvirksomheder med behov for dynamiske og fleksible løsninger – fx grundet hyppige omstillinger i produktionen – kan få stor gavn teknologien, når den er moden, mens kreative erhverv eller højt specialiserede fag måske slet ikke får samme behov. I sundheds- og plejesektoren kan humanoide robotter blive højaktuelle, hvis de formår at aflaste personalet og øge velfærden for borgerne, men kun hvis de kulturelle og etiske aspekter håndteres, så patienter og personale føler sig trygge ved robotternes tilstedeværelse. Timingen for adoption bør derfor nøje afstemmes med både teknologisk modenhed og konkrete behov: Virksomheder, der står over for akutte udfordringer som mangel på arbejdskraft eller sikkerhedsrisici for medarbejdere, kan med fordel eksperimentere tidligere i mindre skala, mens andre gør klogt i at afvente mere håndgribelige beviser på teknologiens værdi.

For Danmark betyder det, at vi skal udnytte internationale samarbejder og støttemuligheder, samtidig med at vi fastholder et nationalt fokus på områder, hvor vi kan gøre en forskel. Vores stærke kompetencer inden for

bl.a. cobots, AI og automation bidrager også til udviklingen af humanoide robotter. Selvom teknologien i sig selv er global, skal dens implementering tilpasses lokale forhold, arbejdskultur og regulativer.

Der er endnu rum til at Danmark kan blive et foregangsland, om ikke i udviklingen så i anvendelsen af humanoide robotter – på samme måde som vi er blandt verdens mest digitaliserede lande uden egentlig at have fostret egne, danske teknologigiganter. Det er klogt allerede nu at forberede os på en fremtid med humanoide robotter.

Tre skridt Danmark kan tage

Inden for få år vil de første humanoide robotter være klar til praktisk brug. Danmark kan møde udviklingen med afsæt i sin position som en af verdens mest digitaliserede og automatiserede nationer. Her er tre vigtige skridt.

Følg teknologien tæt og inddrag virksomhederne

Danske virksomheder har brug for at vide, hvornår teknologien er moden, og hvor den kan bruges i praksis. Derfor er der behov for styrket teknologiovervågning og bedre formidling af ny viden – både fra Kina, USA og andre førende lande. Denne viden skal omsættes til noget, der er relevant og brugbart for beslutningstagere og brugere.

Samtidig bør udvikling af investeringer og pilotprojekter ske i samarbejde med de virk-

somheder og brancher, der har størst gavn af teknologien. Det sikrer, at innovationen tager udgangspunkt i reelle behov.

Opbyg test- og læringsmiljøer tæt på virkeligheden

Flere danske virksomheder er nysgerrige på humanoide robotter, men de færreste ønsker at være de første til at investere. Derfor er der behov for praksisnære testmiljøer, hvor robotterne kan prøves af i mindre skala – fx i produktion, logistik, energi, sundhed eller pleje.

Disse miljøer bør ikke kun være testpladser, men også fungere som steder, hvor ny viden og teknologi kan inspirere udviklingen af den næste generation af løsninger. Her har Danmark en særlig mulighed for at udbygge sin stærke position inden for cobots og mobile robotter.

Skab international gennemslagskraft via samarbejde og standarder

Selvom Danmark ikke umiddelbart bliver førende i at bygge hele humanoide robotter, kan vi få stor strategisk betydning ved at deltage aktivt i internationale samarbejder. Her handler det især om test, regulering og udvikling af fælles standarder.

EU arbejder på en ny strategi for AI-drevne robotter, og her bør Danmark spille en aktiv rolle. Med erfaring fra kollaborative robotter (cobots) og fokus på arbejdsmiljø har vi gode forudsætninger for at påvirke, hvordan humanoide robotter integreres ansvarligt – både herhjemme og i Europa.

Der er endnu rum til at Danmark kan blive et foregangsland, om ikke i udviklingen så i anvendelsen af humanoide robotter.

Indledning

The Terminator, C-3PO fra Star Wars og replicants i Blade Runner – populærkulturen er fuld af menneskelignende robotter. Helt tilbage til græsk mytologi har mennesket forestillet sig maskiner, der lignede mennesker – automa-ton'ere. Denne teknologi er dog ikke længere kun science fiction eller mytologi. De menne-skelignende robotter har allerede gjort deres indtog i den virkelige verden.

'Humanoids' eller humanoide robotter er avan-cerede maskiner, der imiterer menneskets ana-tomi og bevægelsesmønstre. De adskiller sig fra andre robottyper (industrirobotter, mobile robotter og cobots) ved netop deres menne-skelignende design, der typisk inkluderer torso, arme og ben. Og netop det menneskelignende design gør dem velegnede til at operere i miljø-er og omgivelser, der er designet til mennesker – fx at gå på trapper, bevæge sig på ujævne overflader eller åbne døre. Humanoide robotter er komplekse og bygger på kombinationen af en lang række tekniske discipliner.

Foruden det teknologiske og forretningsmæssige potentiale i humanoide robotter rummer de en interessant samfundsmæssig dimension. Netop på grund af den menneskelignende fremtoning kan humanoide robotter vække en genkendelig-hed, der potentielt kan fremme accept og samar-bejde mellem mennesker og robotter.

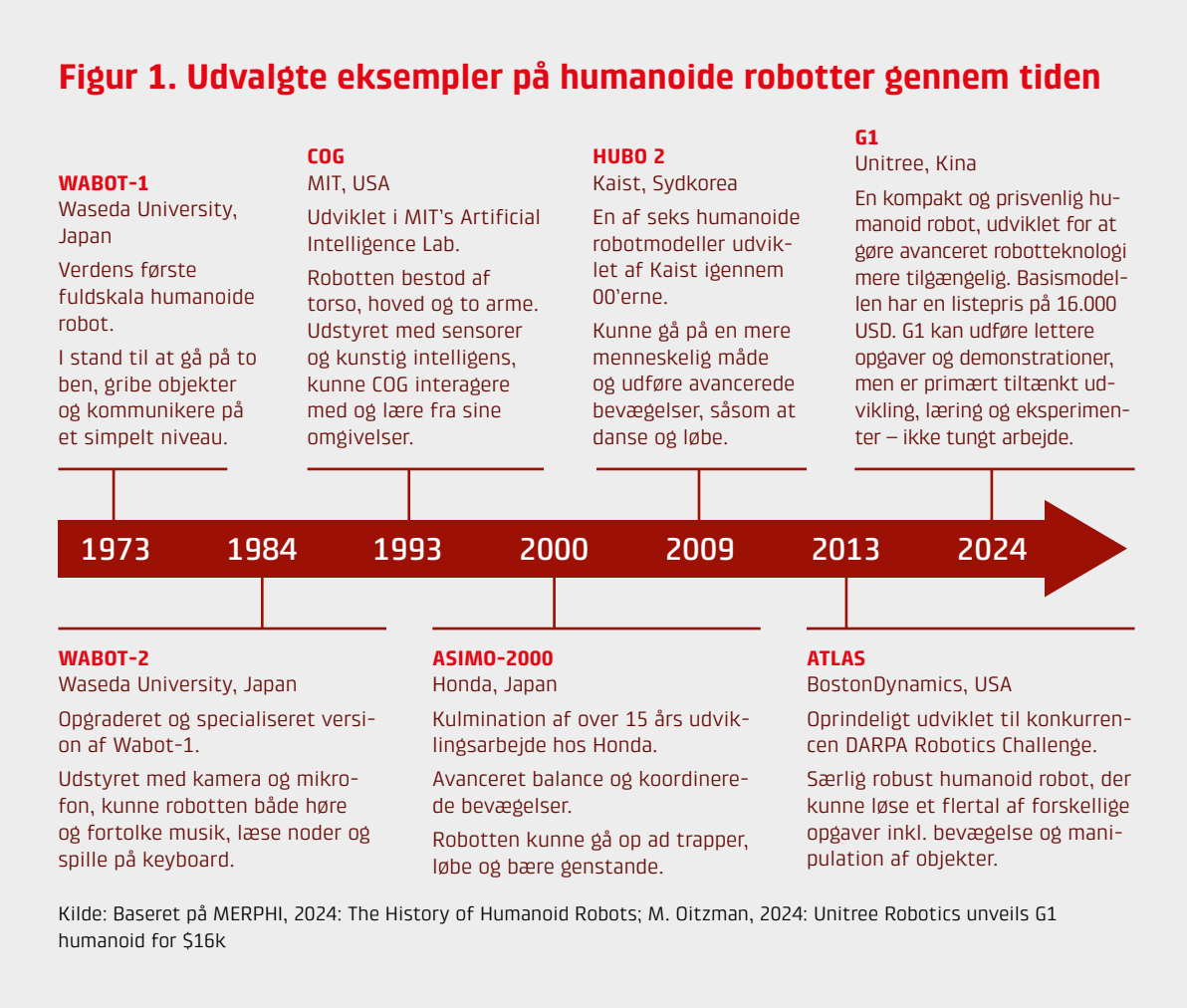
Teknologisk Udsyn giver et overblik over teknologifelter med betydning for Danmarks fremtid, og humanoide robotter er med store

skridt på vej til at blive en teknologi, der kan få betydning for danske arbejdspladser – både i det private og det offentlige. I dette udsyn har Teknologisk Institut undersøgt, hvor langt teknologien er, og om Danmark er parat. Analy-sen kombinerer bibliometriske analyser af over 15.000 forskningspublikationer, kortlægning af mere end 6.000 patenter, en survey blandt in-ternationale eksperter og interviews med cen-trale aktører. Desuden inddrages virksomheds-data, markedstal og cases fra både Danmark og udlandet, samt Teknologisk Instituts globale database over humanoide robotter og de knap 300 virksomheder og forskningsinstitutter, der står bag. Analysen samler teknologi-, markeds- og samfundsperspektiver og giver et samlet overblik over humanoide robotter lige nu.

Hvad er humanoide robotter?

Udviklingen af humanoide robotter begyndte allerede i 1960'erne med tidlige eksperimenter som "Shakey" fra SRI International, der var den første mobile robot til at opfatte og ræsonnere om sine omgivelser.¹ I 2000 revolutionerede Honda feltet med robotten ASIMO – en hu-manoid robot der bl.a. kunne løbe og interagere med mennesker.² Siden da er investeringerne i teknologien vokset, og fremskridt inden for kunstig intelligens (herefter AI), sensortekno-logi og batterier har rykket udviklingen af hu-manoide robotter væsentligt. I dag kaster flere og flere virksomheder sig ind i udviklingen af teknologien.

¹ Abundance360, 2025: The Rise of Humanoid Robots
² Tong et. al., 2024: Advancements in Humanoid Robots: A Comprehensive Review and Future Prospects



Udviklingen inden for de delteknologier, der kan bruges som byggesten til humanoide robotter, har taget fart de seneste år, især med henblik på AI. Gennembrud inden for generativ AI, kombineret med løbende forbedringer af relevant hardware og software, har været med til at drive innovationen inden for humanoide robotter. Der er fx sket store fremskridt inden for sensorteknologi, hvilket spiller en helt central rolle for humanoide robotters evne til at opfatte deres omverden. Her er prisen på fx LiDAR-sensorer (bruges af robotter til at kortlægge og navigere i deres omgivelser) faldet drastisk over en årrække – og denne udvikling forventes at fortsætte.³ Billigere aktuatorer

(motorer til bevægelsen af robotens mekaniske dele) og forbedret batteriteknologi har også bidraget til at gøre humanoide robotter mere økonomisk attraktive og rykket dem tættere på kommerciel anvendelse.⁴

Humanoide robotter har dog stadig et stykke vej, før de for alvor indtager arbejdspladserne. Blandt de udviklingsområder, der volder udviklerne problemer, er balancering, bevægelsesplanlægning, finmotorik og perception. Sidstnævnte er en af de centrale grunde til, at humanoide robotter har svært ved at agere fuldstændig autonomt og løse opgaver uden forudgående programmering. Det kræver nem-

³ Just Auto, 2024: China's Hesai reportedly plans to cut LiDAR prices by half next year
⁴ Abundance360, 2025: The Rise of Humanoid Robots
⁵ MIT News, 2025: Expanding robot perception

Tabel 1. Forskelle på humanoide robotter og traditionelle industrirobotter

	Humanoide robotter	Industrirobotter
Design & form	Menneskelig anatomi	Funktionelt design til specifikke opgaver
Bevægelsesmønstre	Fleksible, menneskelignende bevægelser	Forudbestemte, gentagne bevægelser
Tilpasningsevne	Kan udføre mange opgaver i dynamiske miljøer	Specialiseret til få opgaver
Interaktioner med mennesker	Kan samarbejde tæt med mennesker via sprog og ansigtsgenkendelse	Arbejder selvstændigt bag sikkerhedsbarrierer

lig, at robotterne har en klar forståelse af deres egen fysiske form i forhold til omgivelserne. De skal ikke blot kende objekternes egenskaber omkring sig, men også kunne fortolke, hvordan og til hvilke formål disse objekter kan anvendes.⁵ Forenklet sagt skal humanoide robotters sansning integreres bedre i deres kunstige intelligens, før de kan ræsonnere og fx forstå årsagssammenhænge og omdanne specifikke oplevelser til generel viden.

Disse udfordringer understreger, at humanoide robotter er en kompleks teknologi. Ikke desto mindre vurderes de til at have et stort potentiale i industriel sammenhæng.⁶ Det skyldes bl.a. deres fleksibilitet og alsidighed samt muligheden for på sigt at overtage arbejdsopgaver fra mennesker i krævende og farlige miljøer.⁷ Det kunne være arbejde på atomkraftværker med risiko for stråling, arbejde relateret til minedrift, hjælp ifm. redningsarbejde ved brand, naturkatastrofer eller i giftige miljøer. Herudover er der som nævnt også potentiale for humanoide robotter i menneskedesignede miljøer, såsom fabrikker og lagerhuse, hvor deres antropomorfe design kan gøre dem bedre i stand til at navigere og interagere med eksisterende infrastrukturer – fx smalle gange og trapper.⁸

Endelig udgør humanoide robotters potentielle evne til at håndtere uventede situationer en stor fordel i industriel sammenhæng. Forestil dig en robot, der ligesom mennesker kan udføre flere opgaver samtidigt. Det kunne være at bevæge sig gennem et travlt lager, samtidig med at identificere fejlplacerede varer og foretage kvalitetskontrol på produkterne. Selvom ikke-humanoide robotter med sensorer og avanceret AI også kan udføre mange af disse opgaver, har humanoide robotter den fordel, at de er designet til at fungere i miljøer, der allerede er indrettet til mennesker.

Humanoide robotter adskiller sig for alvor fra mere konventionelle robottyper ved deres evne som generalister. Med deres fleksible design og evne til at træffe autonome beslutninger baseret på omfattende sensordata kan de løse opgaver, der i dag er svære at automatisere.⁹ Tabel 1 sammenfatter forskellene mellem humanoide robotter og mere traditionelle industrirobotter.

En række virksomheder, primært i Asien og USA, arbejder allerede på at udvikle humanoide robotter til kommerciel brug på tværs af forskellige brancher og anvendelsesområder.

⁵ Se fx The Robot Report, 2025: How 2024 reshaped the humanoid robotics landscape
⁶ Goldman Sachs, 2024: Humanoid Robot: The AI Accelerant
⁷ Autopilot, 2024: To Humanoid or Not to Humanoid?
⁸ Bank of America, 2024: Next Gen Tech: Robots

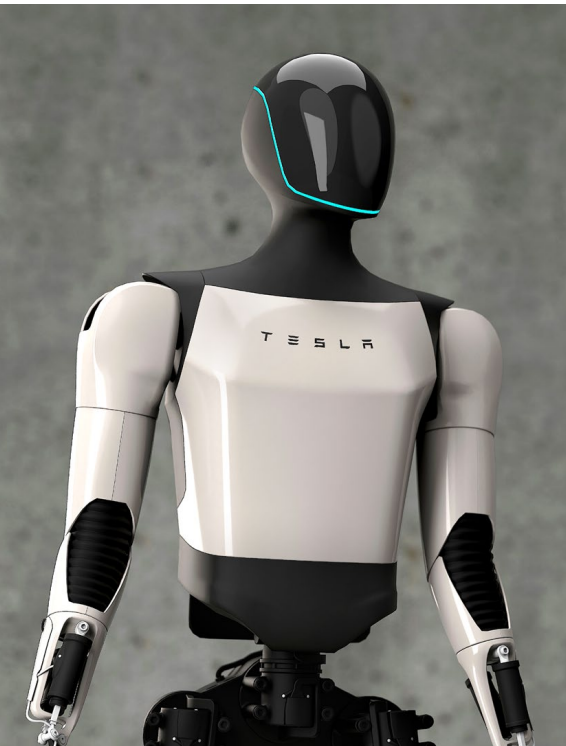
Selvom udviklingen har taget store skridt de senere år, har humanoide robotter stadig lang vej til at opnå de komplekse kognitive og motoriske færdigheder, som mennesker besidder. Vejen til udbredelse går igennem en fortsat udvikling af de delteknologier, der er nødvendige for at skabe humanoide robotter.¹⁰

En grundig gennemgang af delteknologiernes modenhed, foretaget af Goldman Sachs i 2024, indikerer, hvor teknologien på nuværende tidspunkt er moden, men også hvor der stadig er behov for yderligere fremskridt for at realisere de humanoide robotters potentiale. Gennemgangen viser, at der bl.a. stadig er brug for fremskridt inden for AI og software til manipulation og interaktion.¹¹ Derudover er der behov for forbedringer inden for forskellige sensortyper, herunder dem, som måler drejningsmoment ('torque sensors'), kraft ('force sensors') og andre fysiske egenskaber ved kontakt med objekter ('tactile sensors'). Kortlægningen af delteknologierne viser dog også, at størstedelen af de teknologiske komponenter til humanoide robotter befinder sig på et højt teknologisk modenhedsniveau.

Nøgleteknologier bag udviklingen af humanoide robotter

Humanoide robotter udgøres af et komplekst samspil af teknologier såsom mekaniske komponenter, AI, avancerede sensorer og batterier – alle sammen teknologier, der anvendes bredt i andre sammenhænge og ikke er eksklusive for humanoide robotter. Den bredere teknologiske udvikling inden for disse områder er med til at fremme de humanoide robotter. I den følgende vurdering af forskningsmæssige og teknologiske fremskridt indgår derfor både en analyse af humanoide robotter som selvstændig teknologi og en bredere analyse af udviklin-

¹⁰ The U.S.-China Economic and Security Review Commission, 2024: Humanoid Robots
¹¹ Goldman Sachs, 2024: Humanoid Robot: The AI Accelerant



gen i de tilstødende teknologier, der kan gavne humanoide robotter.

Mekanik og bevægelse: Humanoide robotter er konstrueret på en måde, der efterligner den menneskelige krops anatomi. En række mekaniske systemer gør humanoide robotter i stand til at bevæge sig. Blandt de mest kritiske komponenter i disse systemer er aktuatorerne, der fungerer som robotters muskler og led og muliggør bevægelse og interaktion med omgivelserne.

Der er primært tre typer aktuatorer, der anvendes i humanoide robotter: elektriske, hydrauliske og pneumatiske. Elektriske aktuatorer er de mest udbredte og foretrækkes ofte på grund af deres kompakte størrelse. En enkelt elektrisk aktuator producerer dog ikke altid tilstrækkelig kraft til at drive et menneskeligt dimensioneret led, hvilket gør det nødvendigt at implementere flere elektriske aktuatorer for et enkelt led på en humanoid robot. Pneumatiske aktuatorer kan bl.a. levere høj hastighed,

Figur 2. Eksempel på fire nøgleteknologier bag humanoide robotter

Mekanik og bevægelse

Aktuatorer sætter bevægelse i robotten. Aktuatorer fungerer som kunstige muskler, der driver leddene. De kan være elektriske, hydrauliske eller pneumatiske afhængigt af behov. Aktuatorer får robotten til at bevæge sig stabilt og naturligt.

Kunstig intelligens (AI) og maskinlæring

Kunstig intelligens er robotens hjerne.

AI og maskinlæring sætter robotten i stand til at navigere, interagere og lære af sine omgivelser. Robotten kan se sine omgivelser, og med naturlig sprogforståelse er det muligt at kommunikere med mennesker. Ansigts- og gestusgenkendelse hjælper med at fortolke følelser og intentioner.

AI sikrer, at robotten kan tilpasse sig og forbedre sine færdigheder over tid. Udover AI indgår også software og styresystemer.



Sensorer og perception

Sensorer giver robotten adgang til verden. Robotten bruger kameraer, LIDAR og dybdesensorer til at opfatte sin omverden og undgå forhindringer. Gyroskoper og accelerometre hjælper med balance, mens tryk- og berøringssensorer muliggør præcis manipulation af objekter. Mikrofoner og lydsensorer giver robotten evnen til at opfange og forstå lyd.



Energi og strømstyring

Elektricitet holder robotten i gang.

Genopladelige lithium-ion-batterier forsyner robotten med strøm og sikrer mobilitet uden kabler. Effektiv strømstyring optimerer forbruget og sikrer, at robotten kan operere i længere tid. Trådløs opladning er en potentiel løsning for at forlænge driftstiden.



hvilket gør dem velegnede til opgaver, som kræver hurtige gentagelser. Brugen af trykluft gør dog disse komponenter forholdsvis støjende og mindre præcise. Hydrauliske aktuatorer genererer mere kraft end både elektriske og pneumatiske alternativer og tilbyder bedre kontrol over det producerede drejningsmoment. Deres primære ulempe er deres størrelse. Nogle robotter bruger en hybridløsning i form af elektro-hydrostatisk aktuatorer (EHA).

AI og maskinlæring: AI fungerer som hjernen i moderne humanoide robotter og giver dem evnen til at navigere, træffe beslutninger og interagere med mennesker. AI trækker på dybe læringsalgoritmer, der gør robotterne i stand til at fortolke visuelle data fra kameraer og sensorer og derved navigere i omgivelserne. Natural Language Processing (NLP) gør det muligt for dem at forstå og føre samtaler, hvilket udvider deres anvendelsesmuligheder betyde-

ligt. Beslutningsalgoritmer analyserer data fra flere sensorer for at skabe en form for "intuition", der gør robotter i stand til at justere deres bevægelser og tilpasse sig forskellige miljøer. Udfordringen ligger i at forene alle disse teknologier i et stabilt, fleksibelt system, der kan håndtere komplekse situationer i realtid.

Sensorer og perception: Sensoriske systemer fungerer som humanoide robotters sanser og gør dem i stand til at opfatte og interagere med deres omgivelser. Visuelle sensorer, som kameraer, giver robotter evnen til at genkende objekter og ansigter. Light Detection and Ranging-teknologi, LiDAR, anvender laserstråler til at skabe detaljerede 3D-kort og registrere forhindringer, mens infrarøde sensorer muliggør varmedetektion, hvilket er nyttigt i mørke. Taktile sensorer fungerer som robotternes hud og registrerer berøring og tryk, hvilket er afgørende for sikker interaktion med objekter og mennesker. Avancerede sensorsystemer kombinerer input fra flere kilder, herunder syn, hørelse og berøring, for at give robotten en mere komplet miljøforståelse. Specialiserede sensorer, som ultralyd, kan identificere gulvmaterialer og hjælpe robotter med at tilpasse deres gangart, hvilket forbedrer stabilitet og forhindrer skader. AI kan også gøre robotter i stand til at fortolke på deres omgivelser, og eksempelvis genkende en persons humør på baggrund af ansigtstræk.

Energi og strømstyring: Effektiv energistyring og batterier er afgørende for humanoide robotter. Energilagringssystemer skal balancere høj energitæthed, hurtig opladning, lang levetid og lav vægt. Lithium-ion-batterier er den mest udbredte løsning, da de tilbyder høj kapacitet og genopladelighed (Teknologisk Institut, 2025). Strømstyringssystemer fordeler energi mellem robotternes forskellige komponenter, prioriterer kritiske funktioner ved lavt batteriniveau og optimerer forbruget afhængigt af driftsforhold. Intelligent systemer tilpasser dynamisk energiforbruget,

hvilket forlænger driftstiden og forbedrer ydeevnen. Energieffektivitet er særligt vigtig i robotter med komplekse bevægelser og mange aktuatorer. Alternative energikilder og ladeteknologier kan forbedre autonomi og anvendelsesmuligheder. Trådløs opladning, hurtigladedeteknikker og selvforsynende energisystemer, der genvinder energi fra bevægelser eller omgivelser, kan reducere robotternes afhængighed af eksterne strømkilder og gøre dem mere fleksible i praksis.

De nævnte nøgleteknologier ovenfor er eksempler og ikke de eneste teknologier, der understøtter udviklingen af humanoide robotter. Fx spiller valg af materialer en afgørende rolle i humanoide robotters ydeevne, holdbarhed og funktionalitet. Letvægtsmaterialer er særligt vigtige i humanoide robotkonstruktioner, da de direkte påvirker energieffektivitet og bevægelseshastighed. Holdbare og stærke materialer er afgørende for komponenter, der skal kunne bære tunge belastninger eller modstå gentagen brug. Desuden har nye fremstillingsteknologier, som fx 3D-printteknologi, gjort det muligt at udvikle robotter med større præcision og lavere omkostninger end tidligere.

Endelig er robotterne afhængige af robuste kommunikationssystemer for at interagere effektivt med både mennesker og andre enheder. Trådløse forbindelser som Wi-Fi, 5G og Bluetooth muliggør dataudveksling i realtid og opdatering af AI-modeller via skybaserede systemer. Edge computing reducerer latens-tid ved at behandle data lokalt på robotten i stedet for at sende det til eksterne servere. I industrielle og serviceorienterede applikationer er robot-til-robot (R2R) kommunikation vigtig for koordineret bevægelse, samarbejde og læring. Cybersikkerhed spiller også en rolle, fordi robotter, der er forbundet til internettet, er sårbare over for hacking og manipulation.

Internationalt udsyn for humanoide robotter

Humanoide robotter er blevet et dynamisk teknologifelt med accelererende udvikling inden for både forskning og kommerciel innovation. Særligt Kina og USA fører an med massive investeringer, mens Europa forsøger at holde trit. I dette internationale udsyn kortlægger vi udviklingen af humanoide robotter inden for forskning, teknologi og marked – og sætter Danmarks position i et globalt perspektiv.

De følgende analyser viser bl.a. en markant stigning i forsknings- og patentaktivitet i de

seneste år, delvist drevet af fremskridt inden for nøgleteknologier som AI, sensorer og aktuatorer. Interviews med internationale eksperter afspejler en forsigtig optimisme, idet flere forventer gennembrud for humanoide robotter inden for 10-15 år, særligt i nicher, hvor traditionelle robotløsninger kommer til kort. Markedsanalytikere forudser årlige vækstrater på op til 50 %, men teknologien står stadig over for væsentlige udfordringer – fx vedrørende manipulation, sikkerhed og energieffektivitet – før den kan blive bredt implementeret.

Forskning – videnskabens frontlinje

Udviklingen af humanoide robotter er afhængig af at kunne anvende den nyeste viden. Særligt startup-virksomhederne har stærke forbindelser til forskningsmiljøer inden for til humanoide robotter. De humanoide robotter drives både frem af den målrettede forskning i robotteknologi samt af forskning og innovation inden for de delteknologier, robotterne trækker på.

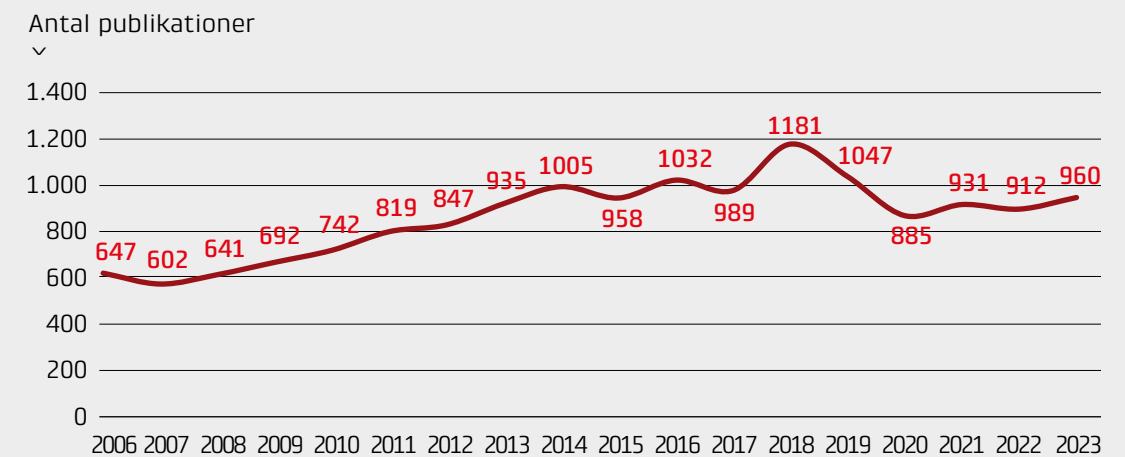
I det følgende præsenteres en kortlægning af forskningen inden for humanoide robotter, der er udført som en bibliometrisk analyse af data hentet fra forskningsdatabasen OpenAlex. Bibliometri er en kvantitativ analyse af publikationer og publiceringsmønstre, og via data

fra OpenAlex har Teknologisk Institut adgang til bibliografiske oplysninger på mere end 250 millioner artikler, hvilket gør det muligt at tegne et billede af forskningslandskabet for humanoide robotter.

Humanoide robotter i forskningslitteraturen

Teknologisk Institut har identificeret 15.820 publikationer inden for humanoide robotter i perioden 2006–2023. Som det fremgår af figur 3, er antallet af årlige publikationer inden for humanoide robotter steget stødt, med to und-

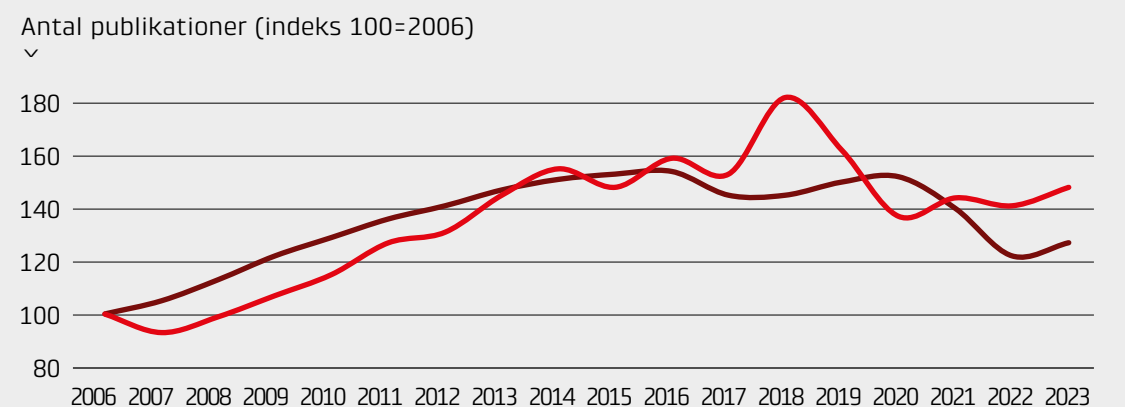
Figur 3. Antal publikationer inden for humanoide robotter



Antal publikationer inden for humanoide robotter 2006-2023. Data hentet fra OpenAlex.

Figur 4. Indekseret forskningsaktivitet: humanoide robotter versus den samlede forskningsvolumen

■ Humanoide robotter ■ Samlede forskning



Indekseret årlig antal publikationer per år for fire teknologier, der kan have relation til humanoide robotter (2006-2023).

tagelser, fra 2006 (647 publikationer) til 2018 (1.181 publikationer). Efter 2018 knækker kurven og stabiliserer sig ved omkring 900 publikationer pr. år. Når man tager mindre udtalte udsving i 2015, 2017 og 2019 i betragtning, er det nærlæggende at antage, at covid-pandemien har begrænset forskningsaktiviteten inden for humanoide robotter mere markant i perioden 2020-2022. Det er i hvert fald mere

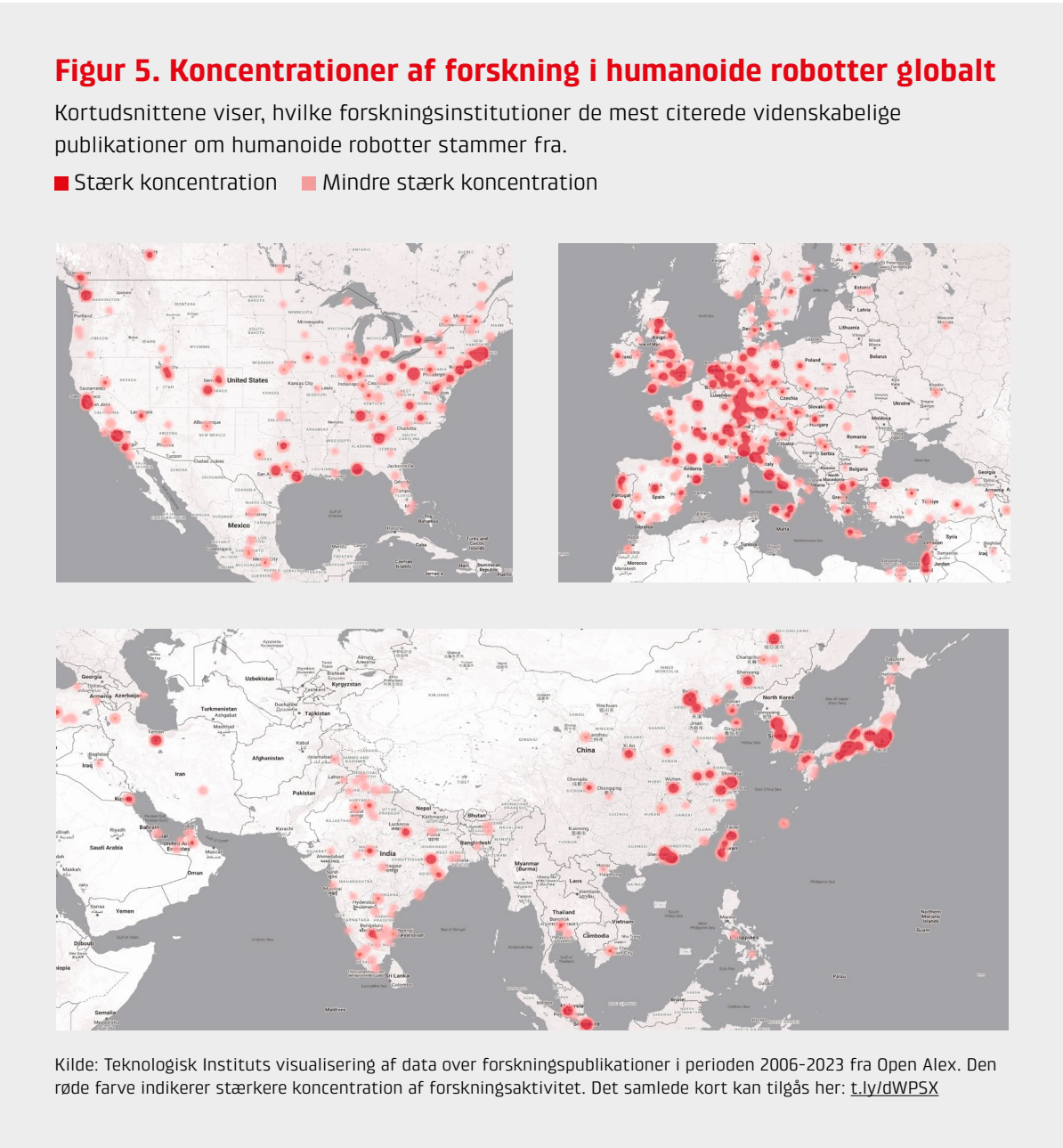
sandsynligt end en faldende interesse i teknologiområdet, især fordi de seneste tilgængelige data for 2023 igen viser en trend mod et voksende antal forskningsartikler.

Billedet understøttes af figur 4, hvor den indekserede udvikling inden for humanoide robotter sammenholdes med den samlede forskningsaktivitet. Her ses det, at udviklingen

inden for humanoide robotter samlet set følger den generelle forskningsudvikling, der også oplevede et dyk omkring 2020. I perioden 2006 til 2012 lå forskningen i humanoide robotter under den generelle forskningsudvikling, hvorefter den har ligget tæt på den generelle udvikling. Dog ser vi i 2018, at forskningen inden for humanoide robotter øges betydeligt og stiger markant mere end den generelle udvikling. Fra 2022 ser vi, at den nedadgående kurve knækker både inden for humanoide robotter og

den generelle forskning. Bemærkelsesværdigt viser figur 4, at forskningsaktiviteten inden for humanoide robotter ligger et godt stykke over den generelle forskning i denne periode, hvilket antyder et forskningsfelt i vækst.

Figur 5 viser geografiske områder med høj forskningsaktivitet inden for humanoide robotter. Ikke overraskende ses den største koncentration i Japan, samt på USA's og Kinas østkyst. I Europa findes den største koncen-



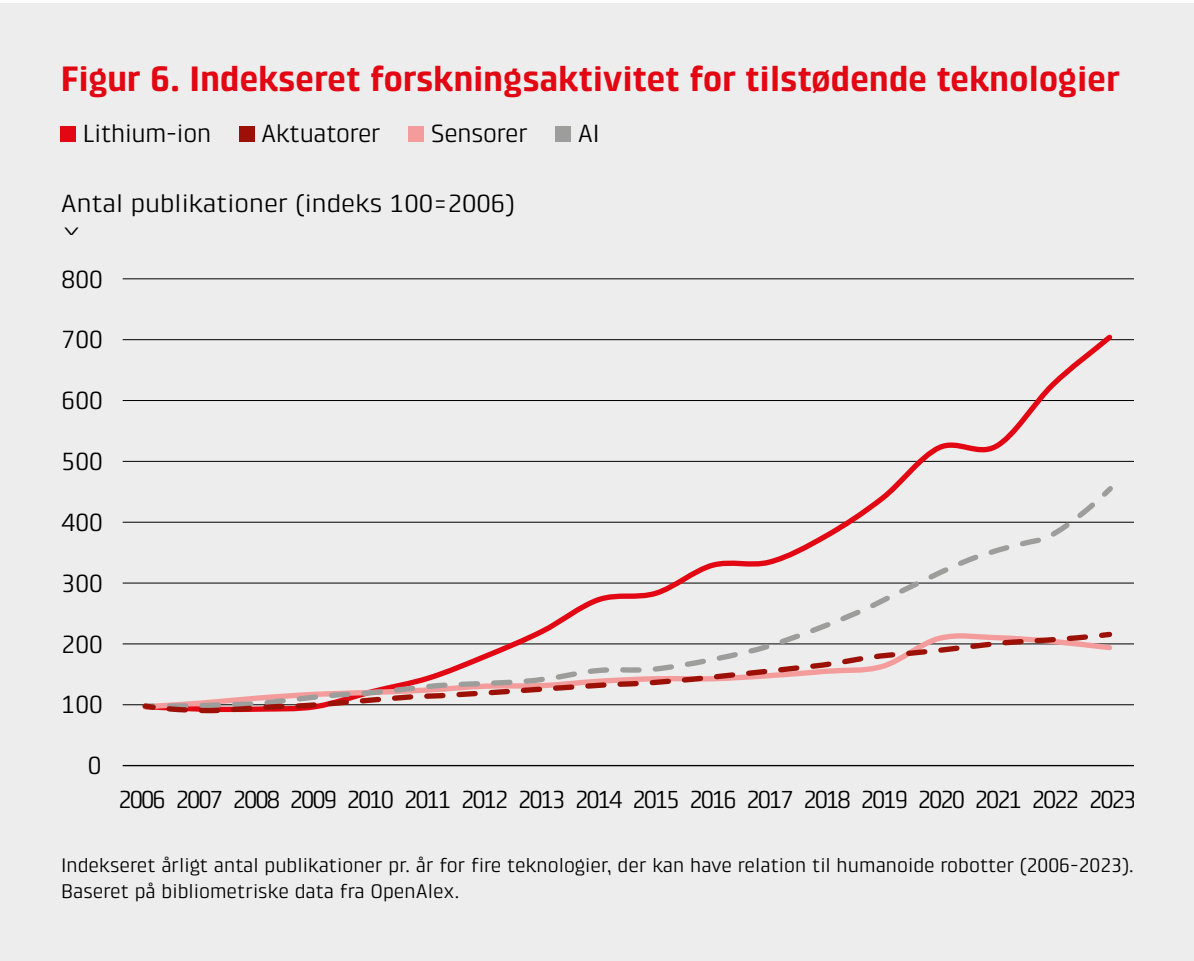
tration i Tyskland, Italien og Frankrig, der alle i absolutte tal placerer sig lige efter Japan, USA og Kina som de mest forskningsaktive lande globalt. Danmark er med 47 identificerede forskningsartikler om humanoide robotter det 35. mest publicerende land på området i perioden 2006-2023. Målt i forskningsartikler pr. indbygger indtager Danmark en global 29. plads. Blandt de mest aktive danske aktører er Aalborg Universitet, der stod for 18 artikler i perioden, efterfulgt af Syddansk Universitet med i alt 12 publicerede artikler.

Forskning i delteknologier

Udviklingen inden for humanoide robotter er dog i lige så høj grad drevet af de delteknologier, der indgår i og understøtter robotterne.

Her eksemplificeret ved litium-ion batterier, aktuatorer, sensorer og AI. I absolutte tal er forskning inden for AI mere end firdoblet fra ca. 43.000 artikler i 2006 til ca. 196.000 i 2023. I samme periode er antallet af publikationer med fokus på litium-ion-batterier steget fra ca. 4.800 til ca. 33.000, mens antallet af artikler om hhv. aktuatorer og sensorer ca. er fordoblet (fra hhv. ca. 5.500 til 12.000 og ca. 2.900 til 5.600).

Figur 6 viser den relative udvikling målt ved indeksering og illustrerer, hvordan der har været en tydelig fremgang i alle de fire belyste delteknologier med relation til humanoide robotter mellem 2006 og 2023.





De 10 mest publicerende forskningsorganisationer inden for humanoide robotter

**Tokyo University, Japan
714 publikationer**

Instituttet for Mekanisk Informatik ved Tokyo University beskæftiger sig bredt set med robotteknologi, herunder mekatronik og intelligente mekaniske systemer samt humanoide robotter (Tokyo University, 2025).

**Italian Institute of Technology (IIT), Italien
532 publikationer**

IIT er anerkendt for sit arbejde med humanoide robotter. Inden for AI og mekanik, har IIT gjort sig særlig bemærket med de humanoide robotter iCub og iCub3 (TechXplore, 2024).

**National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan
294 publikationer**

AIST er kendt for HRP-serien af humanoide robotter, som sigter mod praktisk industriel brug. Dette illustreres af HRP-5P, der er udviklet til at håndtere tungt arbejde, især inden for konstruktion og farlige miljøer (AIST, 2018).

**Waseda University, Japan
288 publikationer**

Waseda University har ydet tidlige og betydningsfulde bidrag til humanoide robotter siden 1970'erne. Universitetets Institut for Humanoide Robotter udvikler robotter som WABIAN med fokus på menneske-robot samarbejde (Waseda University, 2025).

**Osaka University, Japan
276 publikationer**

Osaka University har udviklet den humanoide robot Affetto; en børnelignende robotplatform der efterligner ansigtsudtryk. Deres forskning fokuserer bl.a. på kognitiv robotteknologi med henblik på at forstå menneskelig intelligens og social udvikling (PhysOrg, 2011).

**Beijing Institute of Technology (BIT), Kina
189 publikationer**

På BIT arbejdes der i en dedikeret forskningsenhed, Intelligent Robotics Research Institute, med udviklingen af humanoide robotter. Fokus er mobilitet og menneske-robot interaktion, mens forskningen også stiller skarpt på enkelte nøgleteknologier til udviklingen af humanoide robotter (Beijing Institute of Technology, 2024).

**Karlsruhe Institute of Technology, Tyskland
188 publikationer**

Karlsruhe Institute of Technology har siden 1998 gennem forskningsenheden H2T, High Performance Humanoid Technologies, udviklet ARMAR-familien af humanoide robotter. H2T fokuserer bl.a. på robotmekanik, gribeteknik, bevægelsesanalyse og systemintegration for at skabe alsidige robotapplikationer (Karlsruhe Institute of Technology H2T, 2025).

**Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Sydkorea
169 publikationer**

KAIST driver et forskningscenter for humanoide robotter med fokus på bl.a. elektriske drivsystemer, hydrauliske humanoide robotter og objektgenkendelsesteknologi. Deres forskning skal bidrage til udviklingen af centrale teknologier for avancerede humanoide robotsystemer (AsianScientist, 2017)

**University of Tsukuba, Japan
117 publikationer**

University of Tsukuba forsker gennem deres laboratorie for AI, UTAIL, i humanoide robotter med fokus på maskinlæring, robotsyn og menneske-robot kommunikation. Deres forskning beskæftiger sig bl.a. med udviklingen af systemer og teknologier, der kan genkende, tolke, simulere og reagere på menneskelige følelser (dvs. affektiv databehandling) (UTAIL, 2025).

**Carnegie Mellon University, USA
116 publikationer**

Carnegie Mellon University driver gennem deres Institut for Robotteknologi omfattende forskning inden for humanoid robotteknologi. Deres arbejde fokuserer på avancerede bevægelser, perception og menneske-robot interaktion. Instituttet er kendt for at have etableret verdens første ph.d.-program i robotteknologi (Carnegie Mellon University - Robotics Institute, 2025).

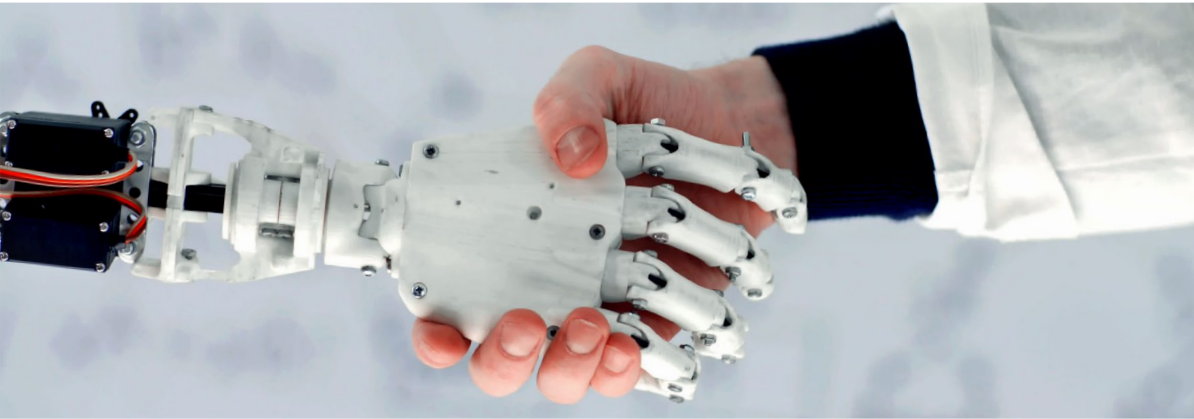
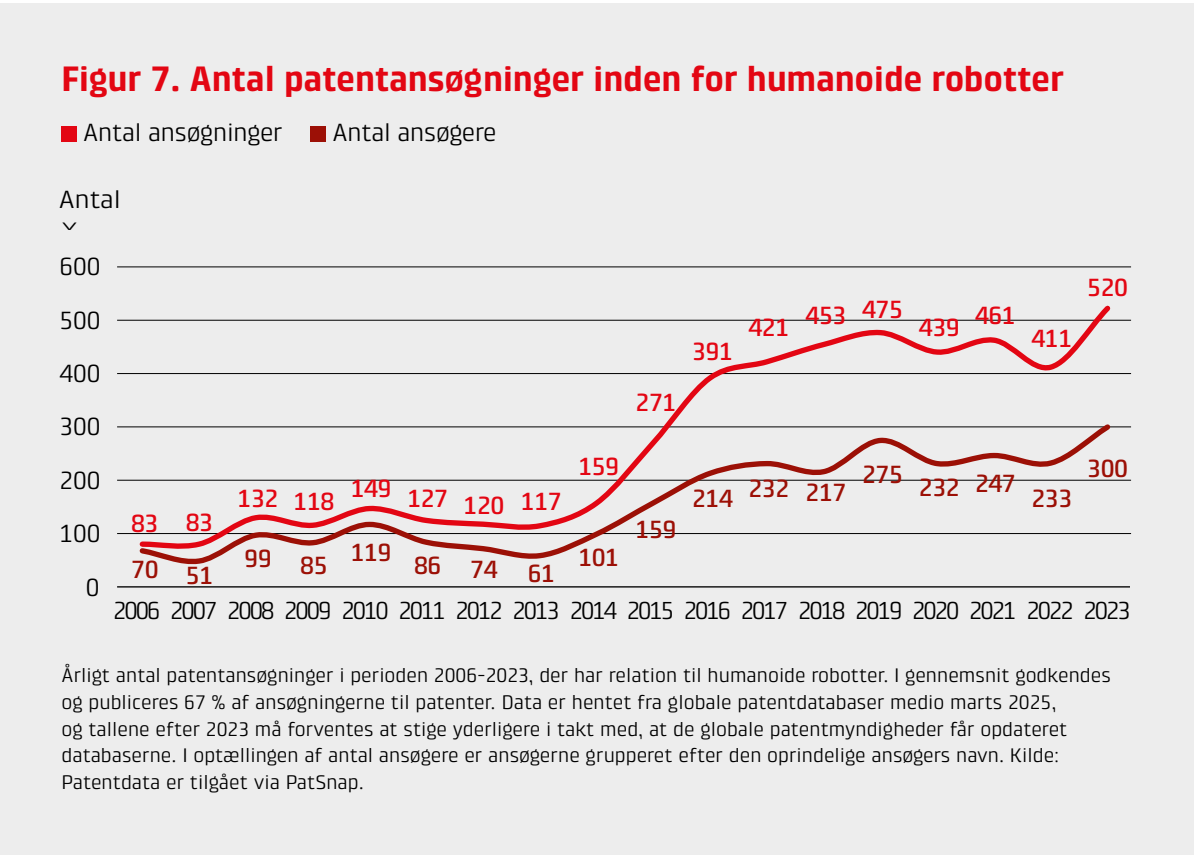
Teknologiudvikling og innovation

Innovation handler bl.a. om at udnytte viden fra forskningsaktiviteter til at udvikle nye metoder, processer eller produkter, der skaber værdi. Patentansøgninger er en indikator for innovation, da de viser, at en patentmyndighed har vurderet en idé eller et produkt som noget nyt. Samtidig signalerer de, at en person eller virksomhed har udviklet en idé, de har fundet værd at investere tid og penge i at beskytte. Selvom langt fra alle nyudviklinger patenteres, og en patentkortlægning derfor ikke giver et komplet billede af innovationen, udgør det stadig en stærk indikator for teknologisk udvikling.

¹² Søgning medio marts 2025. Et patent udtages for et geografisk område, og "patentfamilie" er en samlet betegnelse for alle patenter, der henhører til samme idé. Der er fundet i alt 10.419 patenter, hvoraf nogle er ens men udtaget i flere lande. Derfor er patenterne samlet til "patentfamilier", der svarer til antallet af patenterede innovationer.

For at skabe overblik over patenter i direkte relation til humanoide robotter har Teknologisk Institut gennemført en målrettet søgning efter globale efter patenter, der omhandler robotter med menneskelignende funktioner. Søgningen inkluderer kun delteknologier, såsom vision eller energisystemer, i det omfang, de eksplicit beskrives som relevante for humanoide robotter.

I alt har Teknologisk Institut identificeret 6.292 patentfamilier eller innovationer.¹² Figur 7 illustrerer udviklingen i antallet af ansøgninger om patenter siden 2006, hvor relativt



få patentansøgninger omhandlede humanoide robotter. Det ændrede sig fra 2013, hvor udviklingen for alvor tog fart. Det årlige antal patentansøgninger er nu 4-5 gange højere end i 2013. Bemærk at data fra 2023 ikke er fuldt opdateret, hvorfor det nyeste tal formentligt er højere end det angivne.

Den internationale patentorganisation WIPO følger udviklingen i patentansøgninger, og helt generelt er antallet af årlige ansøgninger fordoblet fra 2006 til 2023, når alle 3.552.100 patentansøgninger verden over tælles med (World Intellectual Property Organization, 2024). Siden 2013 er antallet af årlige patentansøgninger generelt steget med 13 %, mens det tilsvarende tal for humanoide robotter hedder 452 %. Væksten inden for humanoide robotter er, med andre ord, 35 gange så stor som den generelle udvikling.

Ud af de 6.292 patentfamilier, der er registreret gennem tiden, er kun én dansk. I 2001 ansøgte Grundfos om et patent på et system, der bestod af to stablede robotter: en nedre cylindrisk robot, der flytter paller mellem arbejdsstationer, og en øvre antropomorf robot, der håndterer og samler dele. Systemet var designet til at være mere pålideligt og mere enkelt end eksisterende løsninger, samtidig med at det hurtigt kunne omstilles til nye opgaver. Men selvom løsningen har menneske-

lignende egenskaber, kan den kun i begrænset omfang betegnes som humanoid. Derudover er der ikke fundet yderligere danske patenter, der kan relateres til den undersøgte teknologi.

Når det gælder patentansøgninger inden for humanoide robotter, ligger Kina langt foran andre lande med i alt 4.487 patenter. Herefter følger Japan (789 patenter), Korea (366) og Indien (139). USA placerer sig som nummer fem med 123 patenter. Europa er for sin vis godt med: Frankrig (55), Italien (37), Tyskland (27), Polen (21), Spanien (16) og UK (14) står tilsammen for 170 patenter. En vigtig nuance ift. Kinas dominans på patentområdet er, at landet i mange år har givet økonomisk støtte til patentering, hvilket har fremmet antallet af ansøgninger. Støtten er imidlertid ved at op-høre, og Kina skifter nu fokus mod at fremme "high-value"-patenter med større kommerciel og teknologisk betydning (Patent- og varemærkestyrelsen, 2021; Winninger, 2025).

En metode at isolere innovationer med større markedsmæssig betydning er at afgrænse søgningen til patentfamilier med ansøgninger i mindst to lande. En sådan søgning finder 1.264 patentfamilier, hvoraf de 679 stammer fra Kina. Når blot 1.264 patentfamilier indeholder to eller flere patenter indikerer det, at udviklingen af humanoide robotter er på et tidligt stadie, ofte ikke over demonstrationsniveau. Når

markedsinteressen på et tidspunkt bliver større, vil patenterne sandsynligvis blive udtaget i flere lande end bare ét. Væksten i både ansøgende aktører og patenter er en indikation på en forventning om større markedsinteresse i fremtiden.

De seneste ti år er to ud af tre patenter blevet udtaget af virksomheder eller privatpersoner, mens de resterende primært er fra det offentlige eller videnskabelige institutioner. Tabel 2 viser de førende virksomheder inden for patentansøgninger globalt.

Tabel 2. De ti mest patenterende private virksomheder inden for humanoide robotter

Virksomhed	Land	Beskrivelse af virksomhedens aktivitet ift. humanoide robotter	Antal patenter
Ubtch Robotics Corp. Ltd.	Kina	Udvikler både små og store humanoide robotter. Kendt for Alpha-serien og Yanshee (mindre robotter til undervisning) samt Walker (en menneskestor, tobenet robot).	128
Shanghai Fourier Intelligence Co. Ltd.	Kina	Udvikler humanoide robotter, herunder GR-1 (1,65 m høj, 55 kg), der kan gå 5 km/t og bære op til 50 kg. GR-2 er en nyere forbedret version.	76
Limx Dynamics (Shenzhen)	Kina	Nyopstartet virksomhed der udvikler humanoide robotter i fuld størrelse (CL-1 og CL-2) til brug i industri og logistik. Robotterne kan navigere i ujævnt terræn og gå på trapper.	41
Leju (Shenzhen) Robotics Tech Co. Ltd.	Kina	Specialiseret i undervisnings- og underholdningsrobotter, herunder AELOS-serien (små humanoide robotter) og PAN-DO-serien. Har også produceret humanoide robotter i fuld størrelse.	30
Softbank Robotics Europe (Tidligere Aldebaran)	Frankrig	Udvikler sociale humanoide robotter. Står bag NAO (58 cm høj robot) og den kendte service-robot Pepper, der bruges i undervisning og til kundeservice.	24
Beijing Youbixuan Intelligent Robot Co. Ltd.	Kina	Nyopstartet enhed etableret af UBTECH i Beijing. Har udviklet den humanoide robot Tiangong Walker (170 cm høj), som kan løbe 10 km/t og navigere trapper og ramper.	18
State Grid Corporation Of China	Kina	Udvikler humanoide robotter til elnetvedligeholdelse. Robotterne kan gå på trapper, trykke på knapper, åbne døre og bruge værktøj til sikkerhedstjek af elektriske installationer.	18
Shanghai Qingbao Engine Robot Co. Ltd.	Kina	Specialiseret i livagtige humanoide robotter til service og underholdning. Har udviklet humanoide robotguider og robotmunke til religiøse ceremonier.	17
Kawasaki Jūkōgyō K.k. (Kawasaki Heavy Industries)	Japan	Industrikonglomerat med en robotdivision. Har udviklet Kaleido-serien af humanoide robotter, som bruges til katastrofeberedskab og industrielt samarbejde.	17
Shaanxi Vihero Tech Co. Ltd.	Kina	En nyere kinesisk startup, der arbejder på masseproduktion af humanoide robotter til industri og service med fokus på lave omkostninger.	16

Kilde: Virksomheder identificeret via patentdatabasen PatSnap. Beskrivelserne er AI-genereret på baggrund af patentbeskrivelser og indhold fra virksomhedernes hjemmesider.

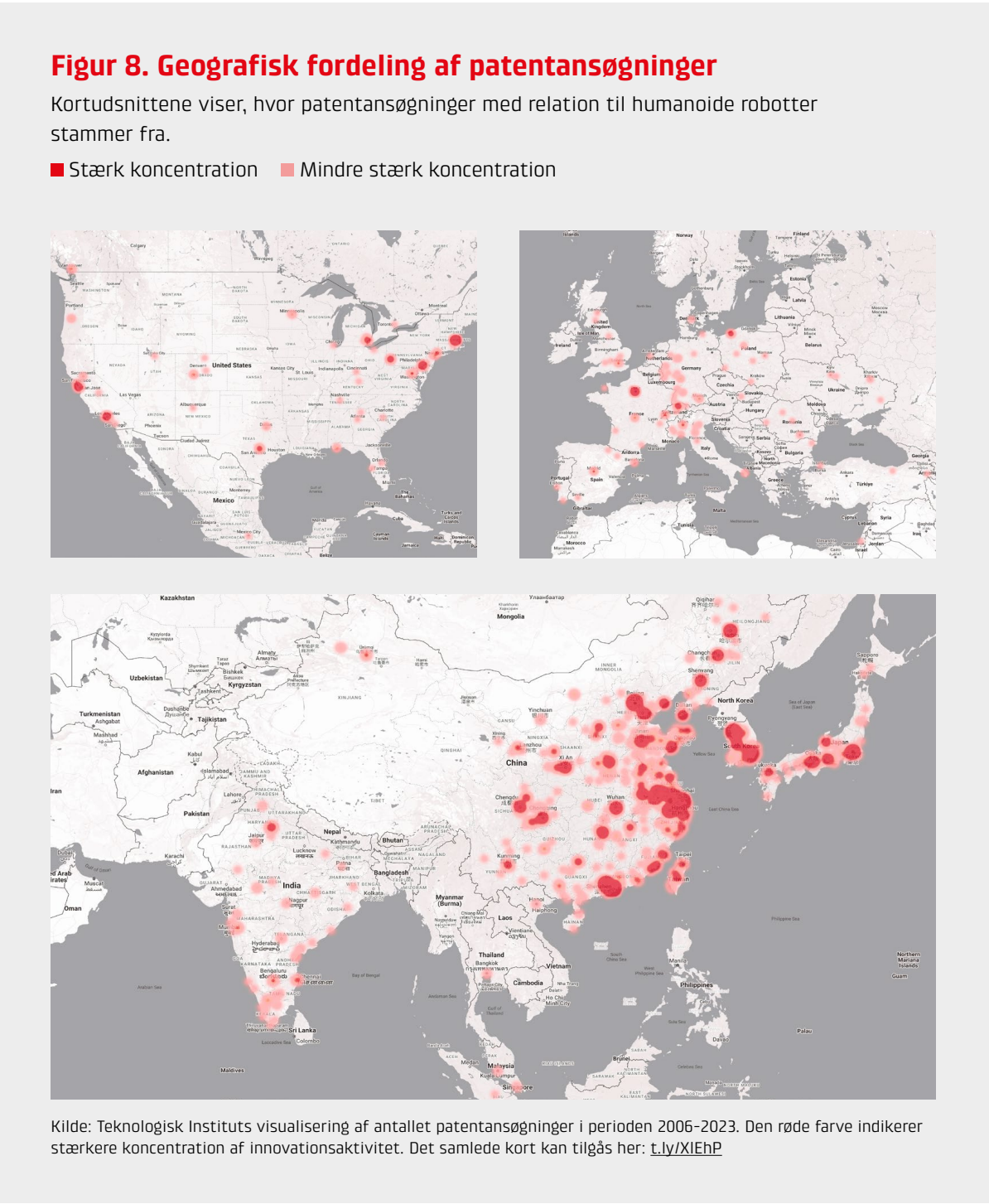
Tabel 3. De ti mest patentsøgende forskningsinstitutioner inden for humanoide robotter

Institution	Land	FOU-aktiviteter inden for humanoide robotter	Samarbejdspartner/projekter	Antal patenter
Beijing Institute Of Technology (Bit)	Kina	Udvikler BHR-serien af humanoide robotter. BHR-6 (2017) kan gå, hoppe, krybe og rejse sig efter fald. Robotterne har også lært Tai Chi og bordtennis. Fokuserer på bevægelseskontrol og balance.	Statsstøttet via BIT's Intelligent Robotics Institute. Deltager i Kinas nationale robotstrategi.	94
Zhejiang Lab	Kina	Udvikler humanoide robotter med avanceret balance og høj mobilitet. Deltog i RoboCup 2019, hvor de opnåede en 2. plads i en fodboldturnering for humanoide robotter. Arbejder på humanoide serviceplatforme.	Provinsregeringsfinansieret, samarbejder med Zhejiang Universitet og lokale virksomheder.	69
Harbin Institute Of Technology (Hit)	Kina	Forsker i gangkontrol, fald-genopretning og humanoide hop. Eksperimenterer med hybride mobilitetsformer (ben + hjul). Fokus på stabilitet i ujævnt terræn.	Støttet af et statsfinansieret robotlaboratorium. Samarbejder med HIT Robot Group.	63
Zhejiang University (Zju)	Kina	Udvikler humanoide robotter i verdensklasse. NAVIAI 2 (2024) har naturlig gang, AI-styret balance og fleksible hænder. Robotten kan skrue bolte i og bære objekter.	Samarbejder med industrien via Zhejiang Humanoid Robot Innovation Center. Har en fabrik til masseproduktion af humanoide robotter.	60
South China University Of Technology (Scut)	Kina	Fokuserer på humanoide robotter til industri og service. Etablerede Super Robotics Institute (2023). Udvikler to-armede robotter.	Samarbejder med Guangzhous regeringsinitiativer og virksomheder om humanoid robotindustri.	36
Huazhong University Of Science And Technology (Hust)	Kina	Har udviklet den humanoide robot Jingchu med unikke lineære aktuatorer for stabil gang. Forsker i humanoide robotter til vedligeholdelse af elnettet. Robotterne kan løfte 40 kg.	Partnerskab med Wuhan Glory Road Intelligent Tech og Wuhans Optics Valley.	27
Tsinghua University	Kina	Har udviklet en humanoid robot, der kan løbe 3,6 m/s og håndtere præcisionsopgaver. Testet på Den Kinesiske Mur og i ørkensand. Forsker i AI-læringsmodeller til ujævnt terræn.	Spin-off RobotEra har sikret 300 mio. yuan i investeringer. Samarbejder med tech-giganter om AI-integration.	24
Jilin University	Kina	Har udviklet en bionisk robouthånd, der kan bladre i bøger, samle små genstande op og løse en Rubiks terning. Fokuserer på biometriske humanoide systemer.	Startup'en Yuequan Bionic udspandt fra Jilin og arbejder på at kommercialisere teknologien.	22
Beijing University Of Technology (Bjut)	Kina	Udvikler AI-baserede humanoide gangalgoritmer og hybrid-robotter (ben + hjul). Forsker i "intelligente led" til humanoide robotter.	Støttet af Beijing Kommune, deltager i byens humanoid-robot initiativer og standardisering.	21

Kilde: Institutioner identificeret via patentdatabasen PatSnap. Beskrivelserne er AI-genereret på baggrund af patentbeskrivelser og indhold fra forskningsinstitutionernes hjemmesider.

Figur 8 viser koncentrationen af patientansøgninger med relation til humanoide robotter i USA, Europa og Asien. Her er Kinas dominans meget tydelig. Udviklingen samler sig derudover i områder, der er kendt for højteknologisk udvikling, såsom Singaper, Californien og området fra Washington til Boston i USA. Der er også nævneværdige aktiviteter i Europa langs "den blå banan", dvs. fra London langs Rhinen til Norditalien, samt i Indien.

For at få et overblik over patenternes indhold kan man bruge de patentklassifikationskoder, som alle patenter er udstyret med. Tabel 4



viser de ti mest anvendte IPC-koder i patenter, der knytter sig til humanoide robotter. Tabellen illustrerer, at fokus for udvikling af humanoide robotter er rettet mod mere menneskelignende og autonome systemer, der kan bevæge sig fleksibelt, gribe præcist og tilpasse sig omgivelserne. Fokusområderne omfatter avanceret bevægelse via ben og hjul, præcise manipulatorer med stor bevægelsesfrihed, sensorik der muliggør interaktion med mennesker samt software til programstyring og koordinering af komplekse opgaver. Robotterne bliver i stigende grad intelligente enheder, der kan operere sikkert og effektivt i dynamiske miljøer. Selve

Tabel 4. Gruppering af patenter vha. de ti mest anvendte teknologikoder

IPC-kode	Beskrivelse	Antal patenter
B25J11/00	Manipulatorer generelt. Fx specialdesignede robotarme og gribeværktøjer, der bruges i forskellige industrielle og medicinske sammenhænge. Teknologien dækker både enkle og avancerede mekaniske systemer, der efterligner menneskelig håndtering.	848
B62D57/032	Systemer med ben, der gør det muligt for robotter og autonome køretøjer at bevæge sig effektivt i ujævnt terræn. Disse systemer bruges ofte i avancerede humanoide robotter og terrængående enheder, der kræver høj balanceevne og stabilitet.	640
B25J9/16	Programstyring og central kontrol af flere maskiner i en fabrik eller produktionslinje. Dette omfatter softwarebaserede løsninger, der sikrer præcis og automatiseret styring af robotarme og manipulatorer, der typisk anvendes i industrien.	424
B25J19/00	Tilbehør til manipulatorer, herunder overvågnings- og sikkerhedsanordninger. Dette felt dækker kameraer, sensorer og andre hjælpeværktøjer, der øger præcisionen og sikkerheden ved robotstyring, især i miljøer med mennesker.	331
B25J9/00	Programstyrede manipulatorer, der opererer automatisk baseret på forudbestemte instruktioner. Dette inkluderer både industrielle robotarme og mere avancerede systemer, der kan lære og justere deres bevægelser i realtid.	240
B25J5/00	Manipulatorer monteret på hjul eller vogne, hvilket gør dem mobile og mere fleksible i deres bevægelser. Disse robotter anvendes ofte til lagerhåndtering, produktionsanlæg og autonom logistik, hvor mobilitet er afgørende.	227
B25J17/00	Leddelt forbindelser der muliggør komplekse bevægelser. Disse forbindelser sikrer fleksibilitet og præcision i robotarme og andre mekaniske systemer, der kræver en høj grad af bevægelsesfrihed.	192
B25J17/02	Håndledsled som gør det muligt for robotarme at rotere og bevæge sig med høj præcision. Denne teknologi er afgørende for humanoide robotter, der har brug for menneskelignende fingerfærdighed og fleksibilitet.	174
B25J19/02	Sensorenheder til at registrere og tilpasse bevægelser baseret på eksterne input. Dette kan omfatte trykfølsomme sensorer, afstandsmålere og andre enheder, der forbedrer robotters interaktion med omgivelserne.	170
G05D1/02	Styring af position eller bane i to dimensioner bruges i robotter og autonome systemer. Dette inkluderer navigationsalgoritmer og feedbacksystemer, der muliggør præcis bevægelseskontrol på plane overflader som produktionslinjer og lagerhaller.	162

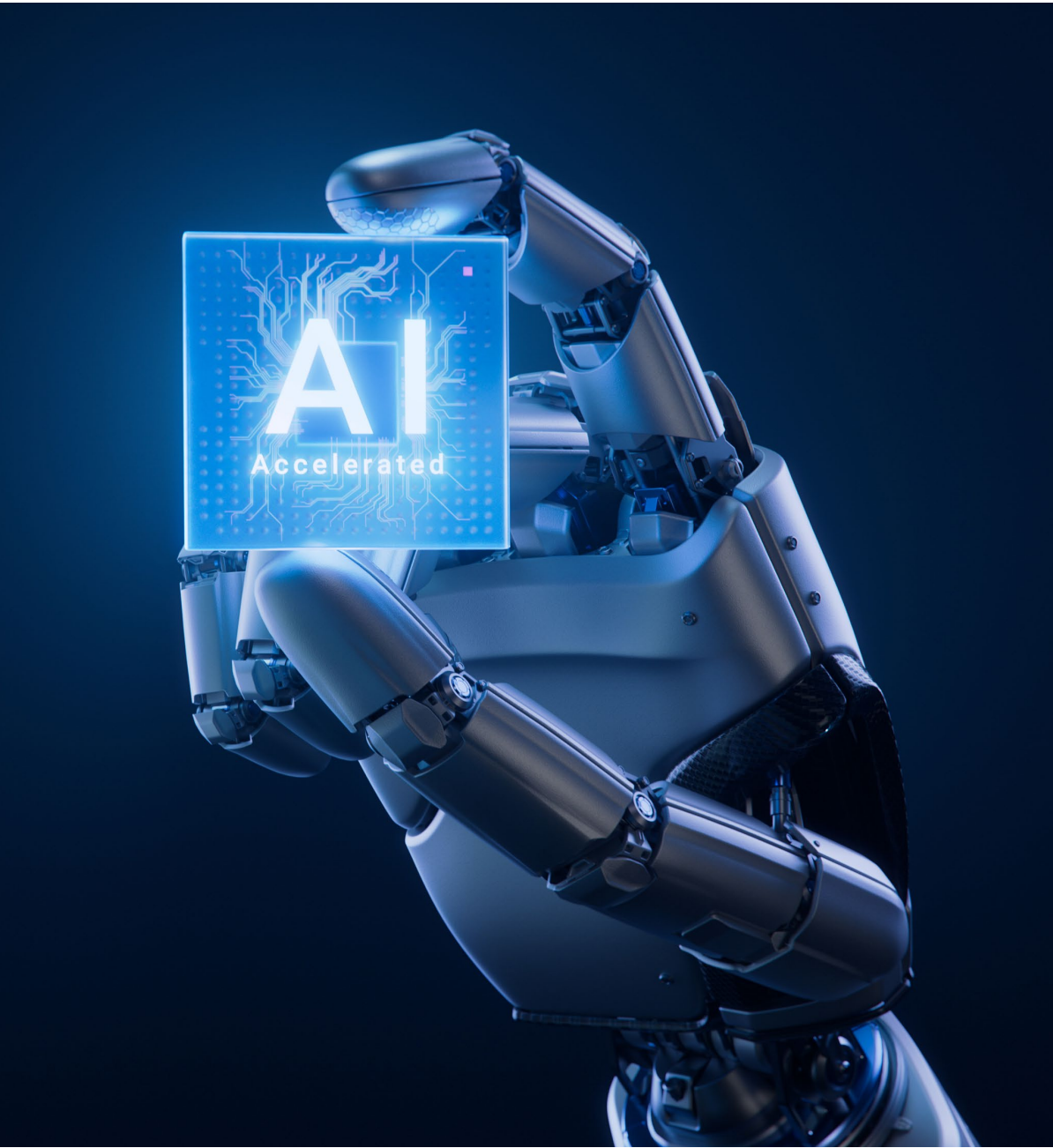
Kilde: Data identificeret via patentdatabasen PatSnap. Beskrivelser af koderne er genereret via ChatGPT.

robotten sjældent patenteret, da det er en integrationsopgave mellem mange teknologier.

Udvikling af nøgleteknologier

Til at supplere ovenstående analyse har vi også søgt efter tilstødende nøgleteknologier, der har afgørende betydning for udviklingen af humanoide robotter – her afgrænset til AI,

lithium-ion-batterier, sensorer og aktuatorer. Søgningerne viser, at der i forhold til teknologiområdet "humanoide robotter" er større innovationsaktivitet på alle fire områder. Det gælder særligt for AI og batterierne, hvor aktiviteten for alvor har løftet sig efter 2014-15. Dette er i tråd med vores afdækning af forskningsaktiviteterne inden for de to teknologier. Netop dette fremskridt kan have åbnet for en accelereret udvikling af humanoide robotter. Også

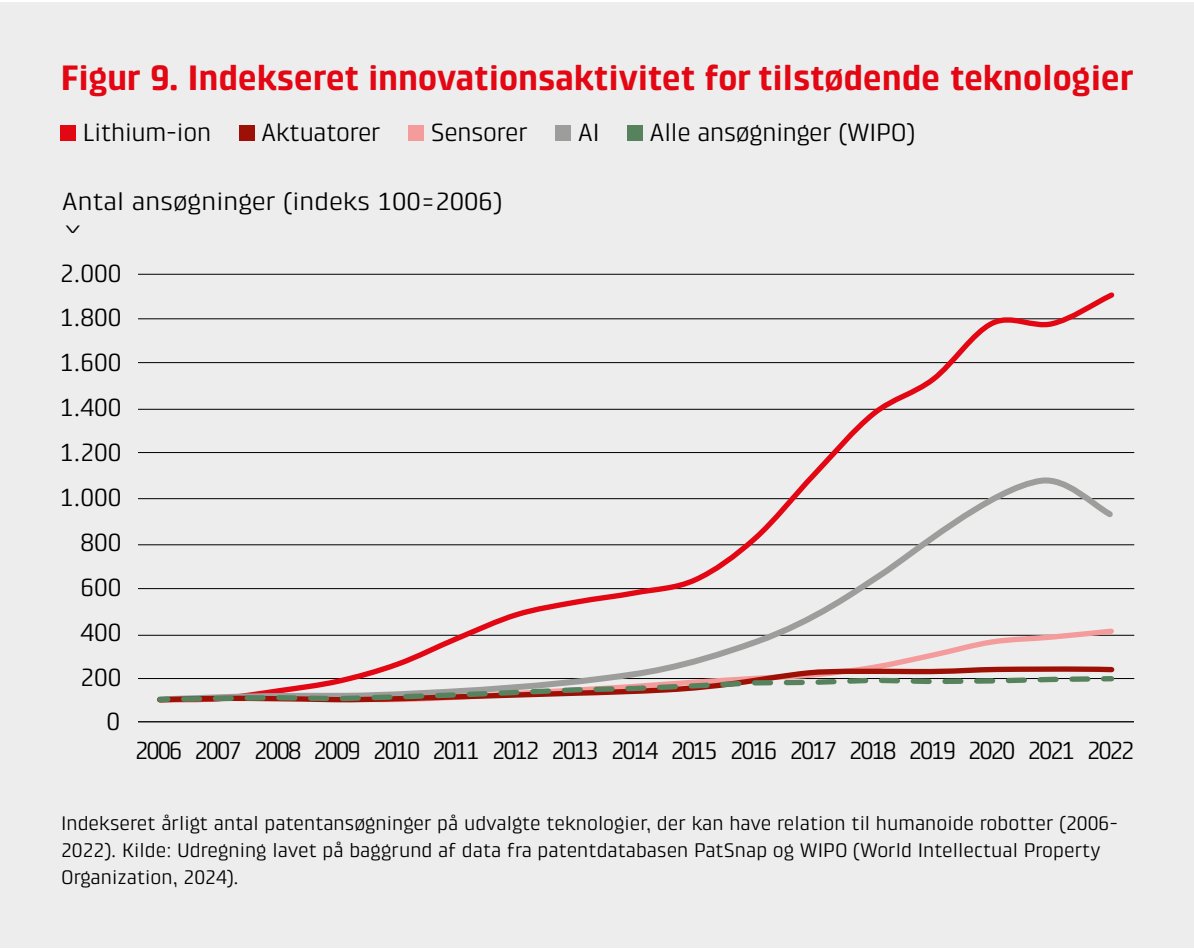


for aktuatorer har der været en stigning fra et niveau på omkring 20.000 ansøgninger årligt til nu omkring 40.000 ansøgninger pr. år. Det illustrerer interessen for automatisering, hvor aktuatorer anvendes i vid udstrækning. Endelig ses en udvikling inden for sensorer af enhver slags. Indtil år 2010-11 lå antallet af årlige patentansøgninger på knap 20.000, mens tallet i dag nærmer sig 70.000 ansøgninger årligt.

Figur 9 illustrerer innovationsaktiviteterne inden for tilstødende teknologier i perioden 2006 til 2022. Udviklingen for de fire nøgleteknologier sammenlignes med den generelle udvikling i antallet af patentansøgninger, som ifølge oplysninger fra verdenspatentorganisationen, WIPO, blev fordoblet fra 2006 til 2022 (World Intellectual Property Organization, 2024). I samme periode steg antallet af ansøgninger relateret til

humanoide robotter 6,4 gange. For aktuatorer kom der lidt mere end dobbelt så mange ansøgninger i 2022, for sensorer 4 gange så mange ansøgninger, for AI 9 gange så mange og for litium-ion-batterier hele 19 gange så mange.

Tekstboksen på næste side viser et udvalg af nyere patenter, der har relation til humanoide robotter. Udvalget spænder bredt fra avancerede kontrolsystemer og forbedrede bevægelsesmønstre til realistiske robotdesigns med anvendelser i industri, sundhed, service og underholdning.





Eksempler på patenterede teknologier relateret til humanoide robotter

1. Patent **SG10202401985UA** blev udstedt af **MBL LIMITED** fra Storbritannien i august 2024. Det beskriver en metode og et system til robotmanipulation, der kan forbedre præcisionen i humanoide robotters håndteringsmekanismer. Teknologien anvender avancerede sensorer og AI-drevne algoritmer til at forbedre robothænders evne til at gribe og interagere med objekter.
2. Fra Italien kommer patentet **KR3009399620002S**, udtaget af **Fondazione Istituto Italiano di Tecnologia** i januar 2018. Det omhandler et ydre design til en humanoid robot, hvor materialer og struktur er optimeret med henblik på at efterligne menneskelige bevægelser og udseende. Dette er særligt nyttigt for robotter, der skal interagere med mennesker i sociale og serviceorienterede miljøer.
3. Patent **JP6691583B2**, udstedt af **SoftBank Robotics Europe** i april 2020, fokuserer på en forbedret robothånd med fleksible fingre. Teknologien gør det muligt for humanoide robotter at håndtere en bredere vifte af objekter med større præcision, hvilket gør den relevant for både industrielle og sociale anvendelser.
4. Japan er også repræsenteret med patent **JP2024158721A**, udstedt af **SoftBank Group Corporation** i november 2024. Dette patent dækker et kontrolsystem og program, der forbedrer humanoide robotters evne til at interagere med deres omgivelser gennem adaptiv styring og maskinlæring.
5. Fra Australien kommer patent **US10875188B2**, der blev udstedt i december 2020 af **Deakin University**. Det omhandler en universel bevægelsessimulator, der kan anvendes til at forbedre træning og udvikling af humanoide robotter. Teknologien gør det muligt at teste forskellige bevægelsesmønstre i et virtuelt miljø, før de implementeres i fysiske robotter.
6. Patent **US20210387346A1**, blev udstedt i december 2021 til **Carla R. Gillett** i USA. Dette patent indbefatter en humanoid robot designet til at udføre manøvrer som hop og skub, hvilket forbedrer robotters evne til at efterligne menneskelig bevægelse. Teknologien er relevant for både forskning i biomekanik og udvikling af mere dynamiske robotter.
7. Patent **CN220044195U**, udstedt i november 2023 af **Zhejiang Baima Technology Co., Ltd.** i Kina. Patentet dækker en gangrobot med en forbedret bevægelsesmotor, som sikrer en mere stabil og naturlig gang. Teknologien kan anvendes i rehabilitering, industri og serviceorienterede humanoide robotter.
8. Patent **CN116337496A**, blev udstedt i juni 2023 til **Jinhua Huaqiang Electronics Technology Co., Ltd.** i Kina. Det beskriver en testningsenhed til løbebånd med en antropomorf robot. Denne teknologi gør det muligt at simulere realistiske gang- og løbetests på humanoide robotter, hvilket er værdifuldt i forhold til at forbedre robotters gangteknik og stabilitet.
9. Patent **IN430080B**, blev udstedt af **BRAVE ROBOTICS INC.** i april 2023. Det beskriver en transformerbar robot, der kan ændre form og funktion afhængigt af dens omgivelser. Teknologien kan anvendes i både industri og serviceapplikationer, hvor fleksible robotløsninger er nødvendige.
10. Patent **SG10201708113UA**, udstedt af **AITREAT PTE. LTD.** i maj 2019 i Singapore. Dette patent beskriver et automatisk massageapparat med en kunstig menneskelig hånd. Teknologien efterligner menneskelig massage og kan anvendes i sundheds- og wellness-sektoren.
11. Patent **US20200083763A1**, udstedt af **Halodi Robotics A/S** fra Norge i marts 2020, dækker en teknologi, der giver robotter mulighed for at bevæge sig mere naturligt og præcist ved hjælp af elektriske motorer med lav friktion, hvilket gør dem særligt velegnede til interaktion med mennesker.
12. Fra Tyskland kommer patent **WO235426S**, udstedt i marts 2024 af **Nabtesco Precision Europe GmbH**. Dette patent fokuserer på designet af en antropomorfisk robotmaskot. Teknologien anvendes især i underholdningsindustrien, hvor humanoide robotter spiller en rolle i offentlige præsentationer og reklame.

Kilde: Patenterne er udvalgt fra søgninger i patentdatabasen PatSnap og beskrevet af AI på baggrund af patenternes indhold.

Markedsanalyse

Humanoide robotter anvendes kun i begrænset omfang inden for områder som uddannelse, underholdning, sundhedsvæsen, ældrepleje og produktion – i dag bruges de primært til forskning. Virksomhederne bag har endnu ikke fået gang i det kommercielle salg. Men hurtigt faldende produktionsomkostninger og forbedret teknologi kan bane vejen for en bredere anvendelse i de kommende år. Markedsanalytikerne er optimistiske, mens andre aktører lægger en dæmper på forventningerne.

Markedsanalytikere er optimistiske ift. vækst i det globale marked for humanoide robotter. Det gælder fx Markets & Markets, der forudser en årlig vækst på 45,5 % i de kommende 5 år fra en værdi i 2024 på 2 milliarder USD (Markets & Markets, 2025). En anden analyse fra Market Research Future forventer en årlig vækst på 50,2 % fra 2023 frem mod 2032 (Market Research Future, 2024).

Morgan Stanley Research fremhæver også potentialet for humanoide robotter. I deres analyse estimeres værdien af det globale arbejdsmarked til 30 billioner USD, mens det understreges, at der i en tid med aldrende befolkninger åbner sig et marked med store muligheder for humanoide robotter. Rapporten fra Morgan Stanley citerer også Nvidias CEO Jensen Huang's synspunkt om, at humanoide robotter er velegnede til at fungere i en verden, der i forvejen er designet til mennesker: *“The easiest robots to adapt into the world are humanoid robots, because we built the world for us. We also have the most amount of data to train these robots than other types of robots because we have the same physique”* (Morgan Stanley Research, 2024).

En scenarianalyse fra Goldman Sachs (Goldman Sachs, 2024) er ligeledes optimistisk på vegne af de humanoide robotter. Alene udvik-

lingen i AI kan resultere i et stigende salg. Frem mod 2035 forudser Goldman Sachs en årlig vækst på mellem 53 %, for deres "baseline-scenarie" (det forventelige scenarie), og op til 76 % for deres "blue-sky-scenarie" (det bedst mulige scenarie), hvor der er særlig fokus på innovation og vækst. De sidstnævnte procenttal svarer til en stigning fra omkring 50.000 enheder i 2025 til 26 millioner i 2035.

Der er flere forklaringer på optimismen. Teknologiske landvindinger inden for AI øger både udviklingshastigheden af humanoide robotter og deres kapacitet. Samtidig er der fremgang inden for mange andre teknologikomponenter, såsom computerchips, sensorer, gear, aktuatorer og batterier. En del af udviklingen er optræningen af AI-modellerne bag robotterne, som kan foregå enten i virtuelle miljøer (fx NVIDIA Isaac™ GR00T) eller fysisk, som i det kinesiske Humanoid Robot Training Center (Humanoid Robotics Technology, 2025). Både i Beijing og Shanghai er der etableret innovationscentre med fokus på humanoide robotter.

Andre dæmper dog optimismen. Det gælder fx den amerikanske regering, der i en analyse påpeger, at der stadig er lang vej, før humanoide robotter selv kan tænke sig frem til løsninger i uforudsete situationer og handle derefter. De argumenterer for, at de humanoide robotter i dag kun evner opgaver som at sortere og flytte genstande, gøre rent, løfte og placere kasser samt gå – nogle gange i samspil med mennesker. De henviser til demonstrationsvideoer fra forskellige udviklere, hvor humanoide robotter er langsommere end det gennemsnitlige menneske i deres bevægelser, selv når det gælder ret simple opgaver: Fx bruger Teslas Optimus næsten ti sekunder på at lægge et æg i en æggekoger, og Figure 01 (udviklet af virksomheden Figure i samarbejde med OpenAI) er omkring fire sekunder om at sætte en plastikkop i et

tørrestativ (U.S. China Economic and Security Review Commission, 2024). Måske er det derfor, en del kinesiske udviklere har brugt kræfter på at få deres humanoide robotter til at løbe – endda en halvmaraton.¹³ Løbet skulle formentlig demonstrere, at robotternes bevægelser kan gøres hurtigere, og at teknologien kan klare den større belastning, som følger med.

Og måske går tempoet i vejret?

Den amerikanske investeringsbank Goldman Sachs illustrerer den accelererede udvikling ved at sammenligne Boston Dynamics' Atlas robot med Teslas Optimus. Den første Atlas debuterede i 2013, og efter 5 år kunne robotten gennemføre et let løb, samtidig med at vægten var halveret i forhold til første generation. Tesla startede deres Optimus projekt i august 2021, fremviste første generation i marts 2023 og anden generation i december 2023. Altså en langt hurtigere udviklingscyklus end for Atlas robotten (Goldman Sachs, 2024). Hvis denne hurtigere udvikling er en del af en større trend imod hurtigere innovation, kan fremtidens humanoide robotter potentielt udvikles endnu hurtigere end hidtil.

I Kina satser man i stor stil på robotteknologi med målrettede statslige investeringer, der skal drive udviklingen i landet. Så sent som i marts 2025 blev det offentliggjort, at Kina opretter en statsstøttet kapitalfond. Den kinesiske regering forventer, at denne fond over 20 år vil kunne tiltrække 1 billion yuan (138 milliarder USD) fra regionale regeringer og den private sektor med fokus på robotter. Kina, der i forvejen har mere end halvdelen af verdens industrielle robotter installeret, har nu også sat sig som strategisk mål at blive verdens førende inden for humanoide robotter i 2027 (Qviro, 2024; SCM, 2025). Det statsejede medie China Daily forventer, at Kina vil have en

tredjedel af verdensmarkedet for humanoide robotter i 2027 (Fan Feifei, 2024). Japan deler ambitionen om at blive verdensførende inden for det samlede robotområde og har afsat 440 millioner USD frem mod 2050 til udvikling af robotteknologi i bredere forstand.

Den amerikanske regering har støttet robotudvikling gennem den offentlige sektor, og ifølge IFRs data fra Crunchbase har private investorer vist stor interesse for amerikanske robot-startups. I 2023 løb investeringerne op i 6,8 milliarder USD, og frem til 27. juni 2024 var tallet allerede på 4,2 milliarder USD – heraf mindst 773 millioner til startups, der udvikler humanoide robotter (IFR, 2025).

Morgan Stanley Research estimerer, at de samlede materialeomkostninger for Teslas humanoide robot Optimus beløber sig til 50-60.000 USD pr. stk. – omtrent på niveau med den årlige gennemsnitsløn på det amerikanske arbejdsmarked, som ligger på 59.428 USD. CEO for Tesla, Elon Musk, forudser endda, at en Optimus robot kan blive så billig som 20.000 USD pr. stk. (Morgan Stanley Research, 2024). Goldman Sachs forventer en lignende udvikling og begrundet det med, at materialeomkostningerne falder kraftigt – med 40 % alene fra 2023 til 2024. Den amerikanske investeringsbank noterer desuden, at der er stigende investeringer i værdikæden, især blandt startups i USA og Asien, samt statsstøtte fra især Kina (Goldman Sachs, 2024).

Som med andre strategisk vigtige teknologier satser den kinesiske regering massivt på at fremme udviklingen af humanoide robotter for at styrke landets position på det globale marked. Mange af målene er dog uklare og åbner for forskellige fortolkninger. Det er derfor usikkert, om Kina kan indfri dem inden for de angivne tidsrammer. Hvis indsatsen lykkes, kan humanoide robotter ifølge den amerikanske regering

¹³ youtu.be/1kAlF0qPA3Q



få stor betydning på tværs af sektorer som industri, landbrug og sundhed – og potentielt også i militær og politi (U.S. China Economic and Security Review Commission, 2024).

Blandt de europæiske robotproducenter har Dr. Dietmar Ley, formand for VDMA Robotics/Automation, konstateret: "Kina har vist, hvordan man kan udnytte enorme stordriftsfordele. Der investeres massivt i humanoide robotter, ikke kun i Kina, hvor der findes en national strategi for humanoide robotter, men også i USA, hvor betydelig venturekapital driver innovationen frem. Europa må ikke sakke bagud på dette kritiske område. Det er afgørende, at europæisk humanoid teknologi bevæger sig ud af laboratorierne og ind i en produktion, der er skalerbar og konkurrencedygtig. Dette kræver en koordineret indsats for at sikre, at Europa fortsat er blandt de førende inden for humanoid robotteknologi."¹⁴

¹⁴ (ibid.)

¹⁵ Euro News, 2024: Commission plans robotics strategy early 2025

¹⁶ EU Kommissionen, 29. Januar 2025: An EU Compass to regain competitiveness and secure sustainable prosperity

Europæisk forskning og udvikling af humanoide robotter kan hente midler i det europæiske Horizon Europe. EU-Kommissionen er i 2025 på vej med en EU-strategi for "AI-powered robotics",¹⁵ som vil handle om at lukke det europæiske innovationsefterslæb inden for nøgleteknologier, herunder robotteknologi. Den vil også adressere administrativt bøvnl, der kan stå i vejen for iværksættere.¹⁶

Goldman Sachs opstiller scenarier for udviklingen og forudser i deres mest optimistiske version, "blue-sky-scenariet", at humanoide robotter står til at blive den næste, nye almindeligt udbredte teknologi efter elbiler og smartphones (Goldman Sachs, 2024). Samtidig ser analysebureauerne et muligt marked for humanoide robotter i både strukturerede arbejdsmiljøer, som fx produktionsvirksomheder, og andre sammenhænge – herunder løsningen af særlige eller farlige opgaver (fx patruljering og nødhjælp).

Men analysebureauerne fremhæver også forhindringer for, at humanoide robotter kan begå sig i menneskelige miljøer. Det kræver fortsat store fremskridt inden for generativ AI og, vigtigst af alt, at disse modeller målrettes specifikt til robotkroppe. Ydermere er der behov for forbedringer i aktuatorer, sensorer og batterikapacitet, hvis robotterne skal kunne udføre et bredere spektrum af opgaver. I dag risikerer vi, at deres mentale kapaciteter, drevet af generativ AI, udvikler sig langt hurtigere end deres fysiske evner, hvilket skaber hardware-flaskehalse, der skal overvindes. Der venter også udfordringer med lovgivning, sikkerhed og samfundets accept – ligesom det ses med selvkørende biler. Her kan humanoide robotter dog have en fordel: Uden for simulationer og digitale tvillinger kan de oplæres i lukkede miljøer, såsom laboratorier og fabrikker, uden at være underlagt de samme strenge regler og sikkerhedskrav, som selvkørende biler

skal leve op til, når de skal færdes på offentlige veje (Morgan Stanley, 2025). Rapporten vender tilbage til de teknologiske udfordringer for humanoide robotter senere ifm. analysen af internationale ekspertvurderinger.

Roboteksperter (bl.a. fra NASA og Arizona State University) og investorer i både USA og Kina, samt rapporter fra Reuters, CNBC, Business Insider, Sixth Tone, er ligeledes skeptiske over for, at humanoide robotter står over for et snarligt gennembrud på markedet. Hovedargumenterne bag denne tvivl inkluderer de teknologiske begrænsninger (robusthed, autonomi og menneskelignende færdigheder, der stadig halter), manglende klare anvendelser og forretningsmodeller (det er uklart, hvem der vil betale de høje omkostninger for disse robotter lige nu), samt omkostnings- og efterspørgselsudfordringer (robotterne er dyre, og behovet hos kunder er tvivlsomt i forhold til simple robotløsninger). Dertil kommer etiske og socia-

le bekymringer omkring job, sikkerhed og accept. Som både vestlige og kinesiske eksperter pointerer, er humanoide robotter indtil videre primært et imponerende teknologisk koncept – men et reelt gennembrud i vores dagligdag kræver fortsatte fremskridt og et klart formål, før skepsissen kan gøres til skamme (Jin, 2022; Xin, 2025).

Verdenskortet – hvor kommer de humanoide robotter fra?

Teknologisk Institut har ved hjælp af eksisterende virksomhedsdatabaser, patenter, nyhedsartikler og oversigter over humanoide robotter dannet en database over virksomheder, der udvikler humanoide robotter. Nogle virksomheder er små startups og andre er store virksomheder med solid finansiering. Kortet i figur 10 illustrerer virksomhedernes geografi og afslører igen, at aktiviteten er størst i Østasien

Figur 10. Verdenskort over producenter af humanoide robotter

■ Stærk koncentration ■ Mindre stærk koncentration



Kilde: Kortet er baseret på Teknologisk Instituts globale database over humanoide robotter. Senest opdateret april 2025. Kortet er visualiseret ved hjælp af batchgeo og kan tilgås her: t.ly/E02wz

(Kina, Sydkorea, Japan) og i USA (især omkring Boston, Los Angeles og San Francisco), mens billedet i Europa er mere spredt.¹⁷

Teknologisk Institut har identificeret 360 robotmodeller, som i højere eller mindre grad kan betegnes som humanoide; og af dem er 77 (22 %) i høj grad humanoide. Robotter med en høj score er fx Atlas fra amerikanske Boston Dynamics, Optimus fra Tesla og Fourier GR-1 fra Fourier Intelligence i Shanghai, Kina. En lav score ses fx hos COZMO (2016) fra Anki Inc. i USA, som er en underholdningsrobot. Bemærk at de identificerede humanoide robotter er på meget forskellige udviklingsstadier – fra forskningsprojekter og demonstrationsmodeller til enkelte, der er kommercielt tilgængelige. Anvendelsen foregår som regel i test- og demonstrationsmiljøer, og der er endnu ingen humanoide robotter, som produceres og markedsføres i stor skala.

I tabel 5 er antallet af robotmodeller i tre tidsperioder (2010-2014, 2015-2019 og 2020-2025) vist. Tabellen viser, hvordan udviklingen af humanoide robotter findes i alle verdensdele, og at Europa er godt med. Der er enkelte lande, som Iran, Rusland og lande i Afrika, der falder uden for grupperingen, men de er medregnet i totalen. Før 2015 var der ikke den store opmærksomhed eller udvikling i Kina, men det har siden ændret sig bemærkelsesværdigt. Målt på antal robotmodeller står USA og Kina lige i front, men Kina har de nyeste modeller. Tabellen viser alle humanoide robotter fra 2010 til 2025. Hvis kun de mest avancerede robotter medtælles, med en "humanoidgrad" på over 80 (se fodnote 17), er der fra år 2000 til 2025 fundet i alt 77 robotter. Heraf er 29 (38 %) præsenteret efter år 2020, og 13 (17 %) er fra før 2010.

I tabel 6 er de mest almindelige anvendelsesområder for de humanoide robotter registreret, grupperet og talt op. De forskellige anvendelsesområder for humanoide robotter dækker et bredt spektrum af anvendelser. Forskning og uddannelse omfatter robotter udviklet til videnskabelige formål, undervisning og teknologisk eksperimentering. Industri dækker robotter til produktion, logistik og samarbejde med mennesker i arbejdsmiljøer. Service og assistent rummer robotter til praktiske opgaver som kundeservice, navigation og redningsopgaver. Hjemmet og social fokuserer på robotter

Tabel 5. Antal robotmodeller 2010-2025 i udvalgte geografiske regioner

Humanoide robotter	USA / Canada	Kina	Europa	Østasien*	Total
2010-2014	29	2	24	26	81
2015-2019	30	16	22	37	105
2020 -2025	17	48	12	13	90
Hele perioden	76	66	58	76	276

*Østasien omfatter Japan, Sydkorea, Taiwan, Indien, Malaysia, Singapore og Vietnam. Andre regioner er ikke vist, men indgår i summen for hele perioden. Kilde: Tabellen er baseret på Teknologisk Instituts globale database over humanoide robotter.

¹⁷ Kortet omfatter i alt 360 robotter. Oplysninger om robotnavne og producentnavne er indsamlet ved søgninger i relevante artikler, rapporter mv. Dernæst blev producenterne internetsider webscrapet, og AI blev anvendt til at vurdere, i hvor høj grad der er tale om en humanoid robot. AI blev også anvendt til at afgrænse udviklingsstadie, anvendelsesområder samt til at udarbejde beskrivelser af robotterne og virksomhedernes adresse. Desuden har AI indsamlet information om, hvornår robotten blev præsenteret, samt – når muligt – deres højde og vægt. Om robotten er humanoid er vurderet på en skala fra 0 – 100. Robotter med en score under 40 blev udelukket fra listen, da de ikke kan betegnes som humanoide, fx cobots fra Universel Robots. Udviklingsgraden spænder fra FoU til demonstration, prototyper og hyldevarer. Kortet inkluderer kun robotter og producenter, hvor "humanoidgraden" er vurderet til at være over 40.

Tabel 6. Antal robotmodeller fordelt efter anvendelsesområde i udvalgte geografiske regioner

Formål	USA / Canada	Kina	Europa	Østasien*	Total
Forskning og uddannelse	66	32	49	69	222
Hjemmet og social	18	8	19	36	81
Industri	13	25	8	11	58
Sundhed og pleje	12	6	8	13	39
Service og assistent	25	19	19	33	97
Underholdning og hobby	16	10	7	24	59
All-round	5	17	5	3	31
Andet	12	5	12	28	59

*Østasien omfatter Japan, Sydkorea, Taiwan, Indien, Malaysia, Singapore og Vietnam. Andre regioner er ikke vist, men indgår i det totale antal. Kilde: Tabellen er baseret på Teknologisk Instituts globale database over humanoide robotter. Grupperingen efter formål er foretaget ved hjælp AI. Robotterne kan have flere formål.



Der er fart over feltet i Kina

Et godt eksempel på udviklingskapaciteten i Kina er Wuhan East Lake High-tech Development Zone også kaldet Optics Valley (OVC), som i februar 2025 præsenterede hele ti humanoide robotter udviklet af universiteter og virksomheder i området:¹⁸ "Worker" er lavet af det teknologiske universitet i Huazhong og firmaet Wuhan Glory Road. Robotten bærer meget vægt og styres præcist, mens AI gør den i stand til at kommunikere med mennesker. "Jingchu" kan stå og gå stabilt i lang tid. Robotten

"Shennong" går selv rundt på ujævnt og svært terræn. Den kan let rette sig selv, hvis den får stød eller skub. Firmaet Wuhan Optics Valley Huahui Technology præsenterede "Chubao", der kan både gå, løbe og hoppe. Wuhan Universitet har lavet to robotter kaldet "Tianwen" nr. 1 og nr. 2. 80 % af de vigtige dele i "Tianwen" nr. 1, såsom led, chips, hænder og følere, er lavet lokalt i Hubei provinsen.

Kilde: China Daily, 2025: OVC's humanoid robots debut

¹⁸ China Daily, 2025: OVC's humanoid robots debut

Tabel 7. Antal robotmodeller fordelt efter oprindelse i forskning eller kommercielle virksomheder samt udvalgte geografiske regioner

Formål	USA / Canada	Kina	Europa	Østasien*	Total
Forskning	32	11	27	45	119
Kommerciel	63	56	44	74	241
Total	95	67	71	119	360

*Østasien omfatter Japan, Sydkorea, Taiwan, Indien, Malaysia, Singapore og Vietnam. Andre regioner er ikke vist, men indgår i det totale antal. Kilde: Tabellen er baseret på Teknologisk Instituts globale database over humanoide robotter, og kategoriseringen af forskning/kommerciel er baseret på, hvem der står bag robotten. Kategoriseringen viser ikke samarbejder mellem forskning og kommercielle interesser.

til interaktion, støtte og hjælp i hverdagslivet. Sundhed og pleje omfatter løsninger til pleje, terapi og hospitalsbrug. Underholdning og hobby dækker robotter til leg, formidling og kulturelle oplevelser, mens all-round-robotter er udviklet til bredere, fleksible formål. Kategorien andet indeholder specialiserede eller uklart beskrevne anvendelser.

Der er markante regionale forskelle i, hvordan humanoide robotter anvendes og prioriteres globalt. I Østasien, særligt i lande som Japan og Sydkorea, ses et bredt og mangeårigt engagement i humanoid robotteknologi. Regionen udmærker sig især ved en stærk tilstedeværelse i både forskning og uddannelse samt i udviklingen af robotter til service og assistentfunktioner – ikke mindst inden for sundhed og ældrepleje. Det afspejler sandsynligvis en kombination af teknologisk fremsyn, en aldrende befolkning og kulturel accept af robotter i hverdagslivet.

Kina adskiller sig ved sin stærke satsning på all-round-robotter og industrielle anvendelser. Kinesiske aktører retter blikket mod brede anvendelsesscenarier, hvor humanoider potentielt kan spille roller i alt fra logistik og produktion til detailhandel og offentlige tjenester. Denne tilgang passer godt ind i Kinas ambition om teknologisk selvforsyning og globalt lederskab inden for avanceret robotik.

I USA og Canada er forsknings- og uddannelsesmiljøer dominerende. Derudover ses et bemærkelsesværdigt fokus på robotter til hjemmet og social interaktion, hvilket kan relateres til de teknologivirksomheder og startups, der ofte udvikler produkter med fokus på forbrugersegmentet og brugeroplevelser.

Europa fremstår mere balanceret i sin anvendelse af humanoide robotter. Regionen har stærke traditioner inden for både forskning og industri, og mange projekter retter sig mod samarbejdende robotter, social interaktion og sundhedsteknologi. Der er desuden fokus på etik, samfundsforhold og menneskecentreret teknologiudvikling, hvilket præger de europæiske robotprojekter. Andre regioner er i langt mindre grad repræsenteret og indgår primært i kontekster relateret til forskning og enkelte industrielle initiativer.

De humanoide robotter udvikles både i kommercielle virksomheder og i forskningsregi, og her er der iøjnefaldende forskelle mellem landene. Mens næsten en tredjedel af robotmodellerne i USA/Canada, Europa og Asien stammer fra forskningsmiljøer, gælder det blot 13 % i Kina. Som vist i tabel 7, er det her 87 % af robotmodellerne, der er udviklet af private virksomheder.

Ekspertvurderinger af teknologiens status og fremtid

For at forstå forventningerne til humanoide robotter og teknologiens nuværende modenhed har Teknologisk Institut indsamlet perspektiver, viden og forventninger til teknologien blandt internationale, førende eksperter på området.

Internationale eksperter er forsigtig optimistiske omkring humanoide robotters potentiale, men vurderer samtidig, at teknologien stadig står over for væsentlige udfordringer. Mens

nogle forudser en bredere udbredelse inden for de næste 10-15 år, er andre mere skeptiske og peger på tekniske barrierer som finmotorik, sikkerhed og batterilevetid. De fleste eksperter ser humanoide robotter som en supplerende teknologi med nicheanvendelser frem for en erstatning for eksisterende robotløsninger. Teknologiens største fordel ligger i dens evne til at integrere sig i menneskeskabte miljøer, men der er endnu lang vej til fuld kommercialisering.

Sådan har vi gjort

Resultaterne er delvist baseret på en spørgeskemaundersøgelse foretaget af Teknologisk Institut i foråret 2025. Undersøgelsens respondenter er primært internationale forskere inden for teknologiområdet humanoide robotter og, i enkelte tilfælde, virksomheder, der direkte arbejder med udviklingen af humanoide robotter.

Teknologisk Institut inviterede en lang række forskere samt 50 teknologiudviklere, herunder 20 virksomheder med særlig fokus på humanoide robotter, til at deltage i undersøgelsen. Forskerne blev identificeret på baggrund af de mest citerede artikler omhandlende humanoide robotter i forskningsdatabasen OpenAlex, mens virksomhederne blev fundet via virksomhedsdatabasen Crunchbase kombineret med desk research. I alt har 85 respondenter fra de to grupper deltaget i undersøgelsen.



Ud over resultaterne fra spørgeskemaet inddrages løbende perspektiver fra uddybende interviews med 10 survey-respondenter, der stillede sig til rådighed. Her er der tale om ni forskere fra bl.a. Frankrig, Japan, Skotland, Tyskland og USA samt CEO og grundlægger af den europæiske robotvirksomhed PAL Robotics. Der indgår flere direkte citater fra interviewpersonerne i dette kapitel. Citaterne er oversat fra engelsk til dansk.

Hvornår indtager robotterne industrien?

Næsten to ud af tre af de adspurgte internationale eksperter mente, at humanoide robotter bliver bredt tilgængelige for industrivirksomheder inden for de kommende ti år (se figur 11). Samtidig vurderede over en tredjedel (36 %), at det allerede vil ske inden for de kommende fem år. Kun en forholdsvis lille andel af eksperterne (16 %) spåede, at det først vil ske på den anden side af 2050.

I deres svar var eksperterne dermed relativt optimistiske ift. udviklingen og udbredelsen af humanoide robotter og vurderede, at et gennembrud for humanoide robotter ligger inden for en overskuelig fremtid.

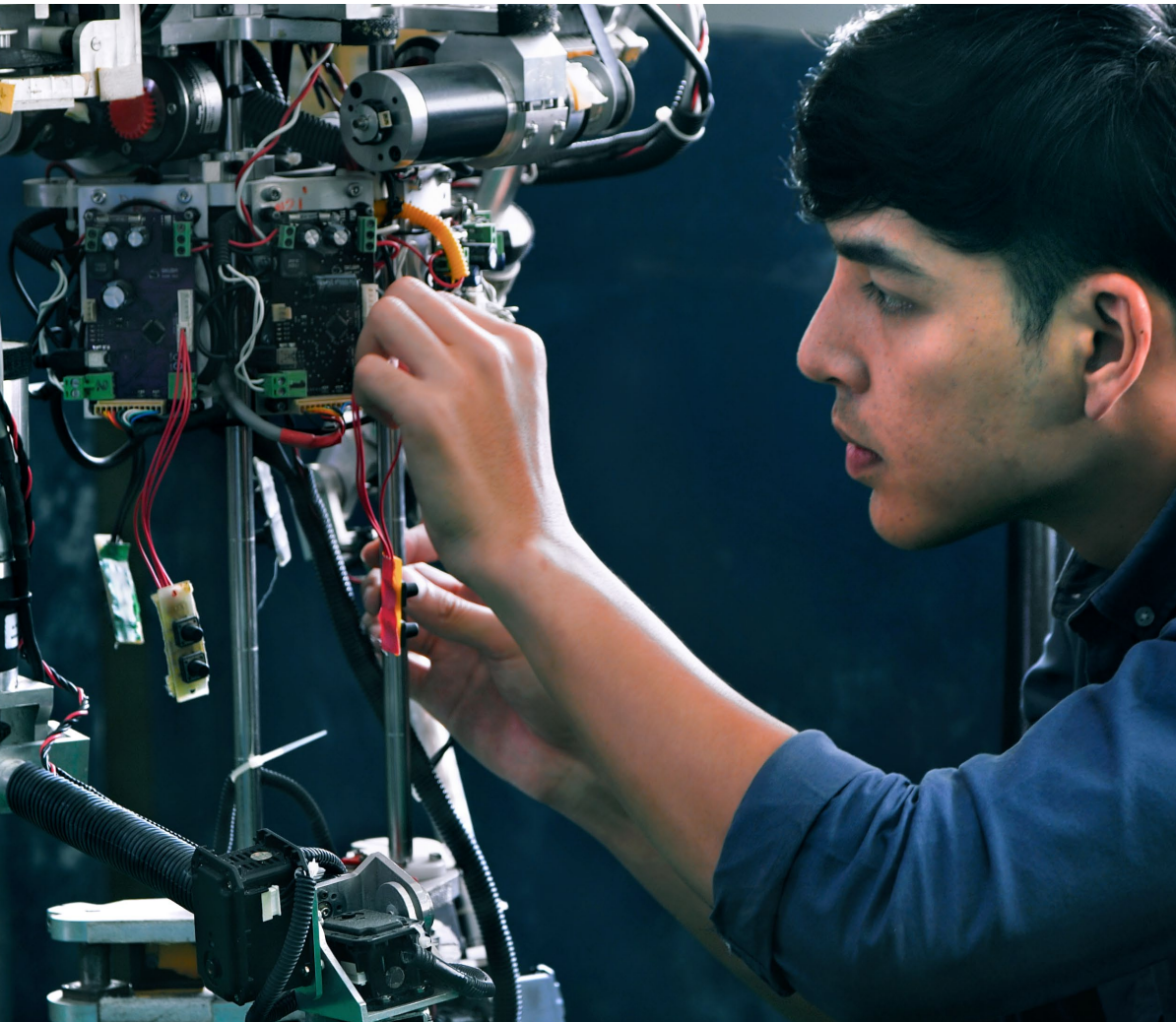
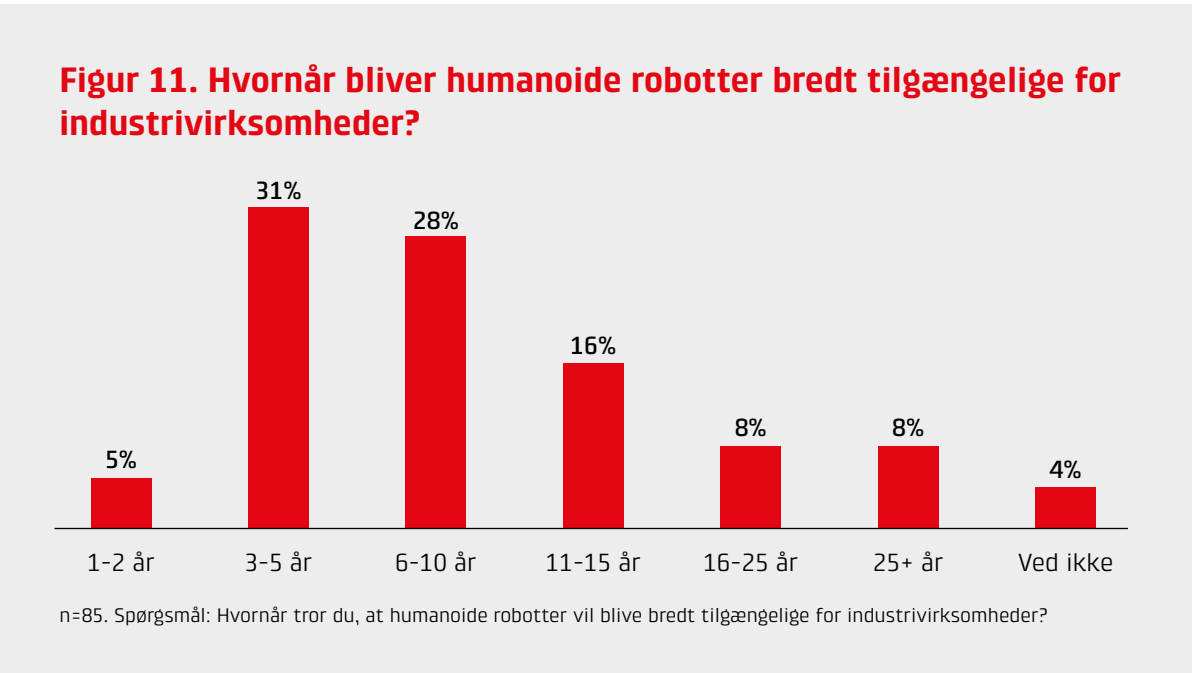
De uddybende interviews med udvalgte eksperter afslørede dog et mere nuanceret billede af tidslinjen for humanoide robotters udbredelse, der i højere grad er præget af betydelige forbehold. I spørgeskemaet blev respondenter

spurgt til humanoide robotter generelt, men teknologien kan ses i et spektrum: fra første generation af robotter, der ikke kan meget mere end at hente og placere objekter ("pick-and-place"), til avancerede humanoide robotter, der er autonome og fleksible generalister i stand til at overtage de fleste menneskelige arbejdsopgaver. Demonstrationer fra fx Agility Robotics¹⁹ og Boston Dynamics²⁰ har vist, at den første generation af humanoide robotter er klar til at blive rullet ud, selvom der fortsat er udfordringer med hastighed i opgaveløsningen og batterilevetid.

Dr. Carlos Mastalli, adjunkt og leder af Robot Motor Intelligence (RoMI) laboratoriet ved Heriot-Watt Universitet i Skotland, er blandt de eksperter, som tvivlede på en hurtig udbredelse af humanoide robotter. Han estimerede, at der vil gå mindst 11-15 år, og han understregede udfordringerne i denne sammenhæng:

"Humanoide robotter er meget komplekse og dyre maskiner, og selvom det måske er teknisk

¹⁹ www.youtube.com/shorts/2zCh_6GQ49c?si=mxhs5FrXp8A8AJJZ
²⁰ www.youtube.com/watch?v=v8UaiRgqvlc



og økonomisk muligt at bygge dem, er der stadig langt til de evner, der skal til, for at de kan blive udbredt. Når det er sagt, tror jeg, at det er muligt at opnå dette inden for 11-15 år, selvom det vil være meget udfordrende. Der er store investeringer i humanoide robotter lige nu, og de er i høj grad drevet af hype og håbet om at skabe generalist-robotter. Men det er en enorm opgave at opnå det inden for denne tidsramme, og det er måske ikke realistisk."

Seniorforsker ved Robot- og Mekatronikinstituttet under det Tyske Luft- og Rumfartscenter (DLR), Dr. Maximo A. Roa, forventede ligeledes, at avancerede humanoide robotter ikke vil være moden nok til bred integration i

industrivirksomheder før 2035. Han påpegede bl.a., at det vil kræve tid at øge teknologiens sikkerhed ift. undgå skader på de mennesker og omgivelser, som de humanoide robotter interagerer med. Derudover understregede han, at der er behov for et gennembrud inden for udviklingen af robotternes finmotorik.

I interviewene med de internationale eksperter blev der i høj grad talt om de væsentligste barrierer for mere avancerede humanoide robotter – først og fremmest fordi teknologiens merværdi overvejende ligger i muligheden for automatiseringen af mere komplekse arbejdsopgaver. I denne sammenhæng pegede eksperterne på en længere tidshorisont, særligt

pga. tekniske begrænsninger i aktuatorer og mekatronik, sikkerhedsproblemer, manglende manipulationsevner i ustrukturerede miljøer samt uafklarede cost-benefit-forhold.

Generelt fremhævede eksperterne en diskrepans mellem optimistiske forudsigelser og den faktiske udviklingshastighed, hvor laboratoriepræstationer sjældent afspejler de reelle udfordringer i praktiske anvendelser. **Francesco Ferro**, medstifter og CEO for PAL Robotics – en virksomhed med over 20 års erfaring med servicerobotter og en pioner inden for udvikling af humanoide robotter – mener, at selvom feltet udvikler sig hurtigt, vil der stadig gå tid, før humanoide robotter bliver bredt implementeret.

Humanoide robotter vil supplere, men ikke erstatte andre robotløsninger

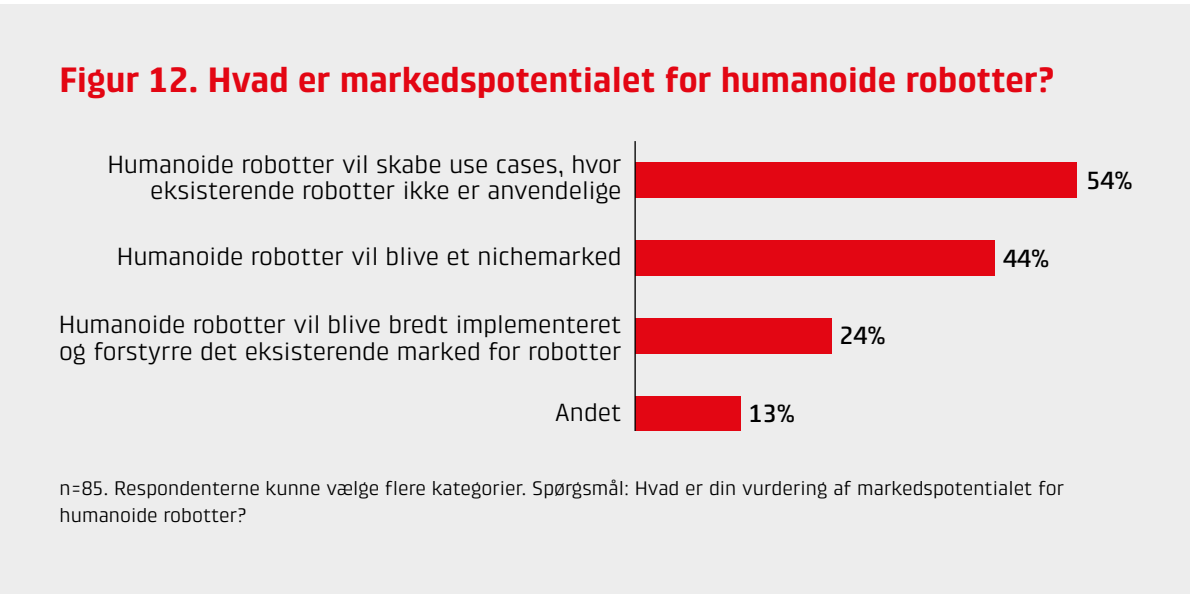
De internationale eksperter var overvejende enige i, at humanoide robotter bliver en supplerende teknologi med specialiserede anvendelser frem for en teknologi, der fundamentalt ændrer robotmarkedet. Som vist i figur 12 mente over halvdelen (54 %), at humano-

ide robotter vil kunne automatisere opgaver, hvor eksisterende robotter ikke er anvendelige. I tråd hermed mente 44 %, at humanoide robotter vil udgøre deres egen niche på det globale robotmarked, mens kun 24 % forventede, at humanoide robotter vil blive bredt implementeret og forstyrre det eksisterende marked for robotter.

Fem eksperter anfægtede desuden i fritekst-svar, at humanoide robotter overhovedet vil få et marked og ikke blot forblive forskningsplatforme til udvikling og innovation af avanceret robotteknologi. Som det følgende citat viser, understregede andre respondenter, at humanoide robotter vil have en eksistensberettigelse, men ikke kunne erstatte specialiserede automatiseringsløsninger:

"På lang sigt har humanoide robotter en enorm kapacitet, men lavere end den nuværende tro. De vil aldrig blive lige så effektive som eksisterende industrirobotter."

De uddybende interviews med internationale eksperter bekræfter de ovenstående resultater og viser en klar konsensus om, at humanoide robotter primært forventes at skabe værdi



i nicher, hvor eksisterende robotteknologier kommer til kort. Hvis en opgave fx kan løses af en mindre kompleks robotarm, er der næppe behov for at indsætte en mere avanceret og dyr humanoid robot.

Eksperterne fremhævede særligt tre områder, hvor humanoide robotter vil kunne tilføre unik værdi: 1) I miljøer designet for mennesker, hvor traditionelle robotter ikke kan navigere effektivt, 2) Til opgaver der kræver menneskelignende fleksibilitet og manipulation, og 3) Som løsning på arbejdskraftmangel i forskellige samfund. De to førstnævnte fordele belyses nærmere i det følgende underafsnit. I forhold til det tredje punkt kan det tilføjes, at flere eksperter påpegede den voksende middelklasse i Kina – og dermed mindre villighed til at tage lavtlønnede industrijobs – som en af hovedårsagerne til, at landet investerer så massivt i automatiseringsløsninger. Disse behøver dog ikke nødvendigvis at være humanoide robotter og kan også være andre former for industri- og servicerobotter.

Samtidig udtrykte flere eksperter betydelig skepsis over for idéen om, at humanoide robotter vil forstyrre det eksisterende robotmarked fundamentalt. De fleste ser dem som et supplement til, snarere end en erstatning for, specialiserede robotløsninger. Et gennemgående argument er, at specialiserede robotter ofte vil være mindre ressourcekrævende og mere effektive til specifikke opgaver.

Det var **Robert Griffin** enig i. Han er seniorforsker ved IHMC (Florida Institute for Human Machine Cognition) og fokuserer i sit arbejde på forbedring af mobilitet og autonomi af bl.a. tobenede robotter. Robert Griffin sagde: "Folk glemmer, at en af grundene til at vi laver industriel automatisering, ikke bare er at reducere antallet af medarbejdere, men at øge produktionshastigheden. Den hastighed, som industriel automatisering kan opnå, er utrolig, og jeg tror ikke, at vi kommer i nærheden af den med



humanoide robotter. Når man tænker på den rene gennemstrømning [af emner], vil industriel automatisering være det endelige mål for opgaver med stor efterspørgsel uanset hvad. Det reelle marked for humanoide robotter er sandsynligvis mindre end det, folk antyder."

Denne holdning delte **Rüdiger Dillmann**, som er videnskabelig direktør ved forskningscentret for Informatik (FZI) samt talsmand for den kollaborative forskningsdivision "Humanoid Robots" ved Karlsruher Institut für Technologie (KIT), og **Kei Okada**, der er professor med speciale i humanoide robotter på Institutet for Videnskab og Teknologi ved Tokyo University. Begge understregede, at traditionelle og specialiserede industrirobotter formentlig også i fremtiden vil være det fortrukne valg, når det gælder udførelsen af et højt antal gentagne opgaver i kontrollerede miljøer.

På denne baggrund fremhævede flere eksperter, at humanoide robotters bredere kommercielle succes afhænger af, om de udvikler sig til reelt fleksible, generelle maskiner med avanceret AI – en udvikling som mange anser for at være længere væk.

Maximo Roa sagde således: *"Humanoide robotters sande potentiale ligger i deres evne til at være alsidige maskiner, der kan tilpasse sig forskellige miljøer og opgaver. Integrationen af avanceret AI er afgørende for, at humanoide robotter kan opnå deres potentiale som alsidige maskiner. Uden sofistikeret perception, manipulation, beslutningstagning, læring og evnen til at rette fejl vil humanoide robotter mangle fleksibilitet og være begrænset til blindt at udføre forprogrammerede opgaver. De vil have svært ved at konkurrere med specialiserede robotter eller automationsløsninger, da deres omkostninger og kompleksitet ikke ville kunne retfærdiggøres."*

Lettere integration i menneskelige omgivelser er teknologiens største fordel

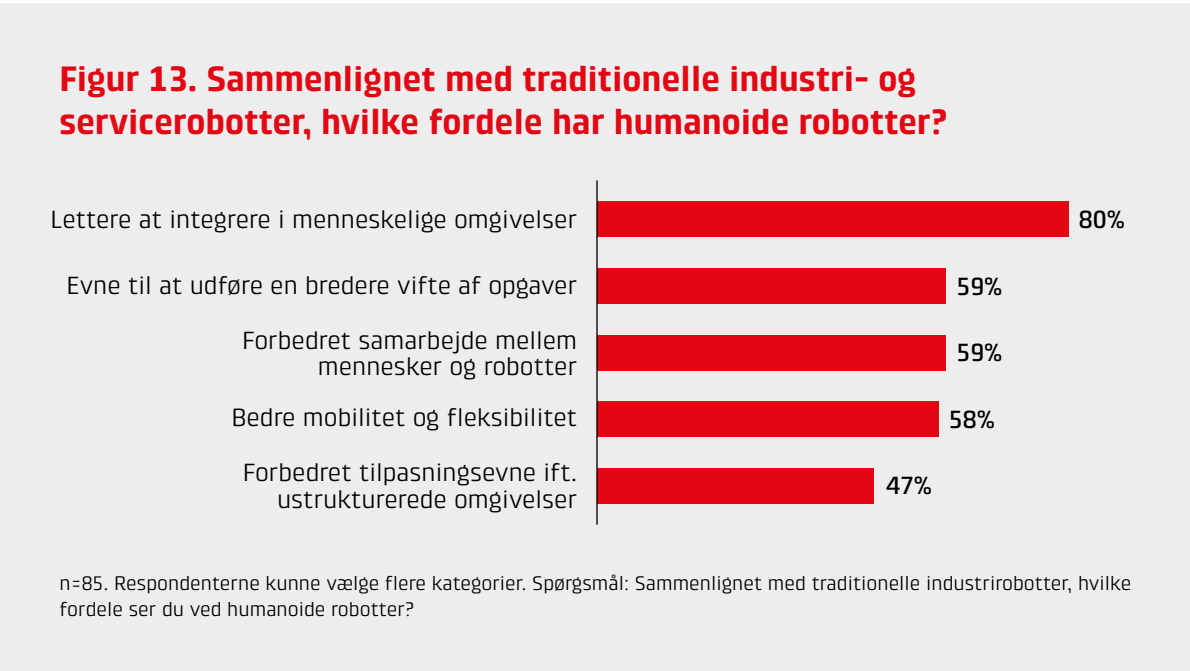
Ifølge fire ud af fem adspurgte internationale eksperter er den mest fremtrædende fordel ved humanoide robotter, at de nemmere kan integreres i menneskelige miljøer end traditionelle industri- og servicrobotter. Som vist i figur 13 vurderede derudover cirka tre ud af

fem, at humanoide robotter har en fordel inden for tre centrale områder: evnen til at udføre en bredere vifte af opgaver, forbedret samarbejde mellem mennesker og robotter samt bedre mobilitet og fleksibilitet. Endelig mente næsten halvdelen (47%) af respondenterne, at humanoide robotter har en forbedret tilpasningsevne til ustrukturerede omgivelser.

De uddybende interviews med internationale eksperter bekræfter, at den primære fordel ved humanoide robotter er deres evne til at fungere i miljøer designet til mennesker. Eksperterne nævnte bl.a., at produktionsmiljøer, hospitaler og private hjem er indrettet med menneskelig anatomi som udgangspunkt, hvilket giver humanoide robotter en naturlig fordel.

Et centralt argument i flere interviews er, at humanoide robotter kan operere i eksisterende infrastruktur uden behov for omfattende ombygninger.

Robert Griffin sagde: *"USA fokuserer i øjeblikket på at skabe en arbejdsstyrke, der gør det muligt at hjemtage produktionen – og vi har en masse*



eksisterende, ældre fabrikker og lagerbygninger, som i øjeblikket ikke bliver brugt. De blev bygget før den klassiske industrielle automatisering og ville være et mareridt for robotsystemer på hjul at navigere rundt i. Men vi kommer formentlig til at bruge dem igen. Så jeg tror, der er et argument for den humanoide form, der kan klare trapper og lettere bevæge sig gennem smalle korridorer."

Professor Emeritus ved Massachusetts Institute of Technology, **Thomas Sheridan**, henviste til flere områder, hvor humanoide egenskaber kunne være fordelagtige, herunder navigering i katastrofeområder med vræggods eller murbrokker på jorden, hvor hjul ville være ineffektive, samt udførelse af arbejdsopgaver i svært tilgængelige eller smalle områder.

Eksperterne er også enige om, at humanoide robotter har værdi som forskningsplatforme, der kan bidrage til forståelsen af menneskelig motorisk kontrol og biomekanik, selvom dette ikke nødvendigvis oversættes direkte til industrielle anvendelser på kort sigt. Forskningsleder ved det franske nationale forskningscenter LAAS-CNRS (Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systèmes), **Philippe Souères**, fremhævede betydningen af humanoide robotter som værktøjer til at forstå menneskelig motorisk kontrol og biomekanik. Han vurderede, at innovation inden for humanoide robotter vil gavne udviklingen af avanceret robotteknologi, mens han er mere pessimistisk, når det gælder indfrielsen af humanoide robotters potentiale som avanceret teknologi til generelle formål.

Som allerede drøftet i forrige underafsnit, bekræfter interviews med de internationale eksperter, at evnen til at udføre en bredere vifte af opgaver står centralt i spørgsmålet om humanoide robotters værditilførsel. Det hænger fint sammen med survey-svarene, der bl.a. fremhæver bedre mobilitet og tilpasningsevne som delvise forudsætninger for dette.

De fleste interviewede eksperter er dog enige i, at de humanoide robotters menneskelige form vil gøre interaktionen med mennesker nemmere. **Kei Okada** sagde: *"Den menneskelige form giver naturlige muligheder for interaktion. Når en robot har arme, hænder, et ansigt og kan lave bevægelser, der ligner menneskers, skaber den intuitive kommunikationskanaler, der ikke kræver særlig træning eller tilpasning fra menneskelige brugere."*

Ligeledes fremhævede **Paul Oh**, der er professor i mekanisk ingeniørvidenskab ved Las Vegas Universitetet og seniormedlem af IEE's Humanoids Technical Committee: *"Den humanoide form handler ikke kun om æstetik eller teknisk funktionalitet - det handler om at skabe robotter, der kan integreres problemfrit i menneskelige miljøer og sociale strukturer. Når en robot har et menneskelignende udseende, kan den udnytte eksisterende sociale protokoller og interaktionsmønstre, som mennesker allerede er fortrolige med."*

Thomas Sheridan advarede dog: *"Der er risiko for uncanny valley-effekter, når robotter virker for menneskelignende, men ikke helt menneskelige nok. Det kan skabe ubehag eller afsky hos mennesker, der interagerer med dem. Samtidig kommer den humanoide form med forventninger. Når folk ser en robot, der ser menneskelig ud, forventer de, at den opfører sig og reagerer som et menneske. Hvis robotens evner ikke stemmer overens med disse forventninger, kan det føre til frustration og skuffelse."*

Endelig henviste flere eksperter til, at der også er behov for at finde en balance mellem forsøg på at få humanoide robotter til at ligne mennesker så meget som muligt og teknologiens ydeevne. Mens den menneskelige form kan fremme bestemte sociale interaktioner, kan den også begrænse designmulighederne for robotterne, hvilket i sidste ende kan gå ud over funktionaliteten.

Eksperterne spår størst
potentiale inden for
husholdningstjenester og
sundhedssektoren

Som illustreret i figur 14 er husholdningstjenester (55 %) og sundhedssektoren (53 %) de to sektorer, hvor eksperterne vurderer, at humanoide robotter har det største potentiale. Omkring en tredjedel af respondenterne pegede på forsvar (36 %), inspektion og vedligeholdelse (36 %), fremstillingsindustrien (35 %), logistik (34 %) og byggeri (31 %) som områder med betydeligt potentiale for humanoide robotter. Derimod vurderede kun 15 %, at landbruget har et større potentiale, hvilket understreger, at denne sektor opfattes som mindre velegnet til humanoide robotters kapaciteter.

Uddybende interviews med eksperter peger ligeledes på sundhedssektoren som et lovende

anvendelsesområde for humanoide robotter, hvor særligt rehabiliteringsstøtte og patientforflytning fremhæves som mulige anvendelser, hvis teknologien viser sig at være sikker i omgang med mennesker.

Ifølge **Francesco Ferro** er der et stort potentiale i sektorer som sundhedsvæsen og landbrug, hvor mangel på arbejdskraft bliver stadig mere akut. På kortere sigt peger han på logistik som det mest oplagte indgangspunkt for humanoide robotter, især til gentagne 'pick-and-place'-opgaver, hvor den nuværende teknologi allerede viser sig effektiv.

Fremstillingsindustrien fremstår i uddybende interviews som et mere lovende område, end survey-resultaterne indikerer. Eksperterne peger specifikt på automobilindustrien som en tidlig adopter, hvor humanoide robotter allerede er begyndt at overtage repetitive, ikke-kollabora-



tive opgaver. Et eksempel er BMW's samarbejde med robotvirksomheden Figure, hvor humanoide robotter testes i produktionen på bilproducentens amerikanske fabrik i Spartanburg, South Carolina. Her har robotterne vist sig i stand til at udføre præcisionskrævende opgaver som at indsætte metaldele med millimeternøjagtighed – en udfordring for traditionelle robotarme i dynamiske produktionsmiljøer.²¹

Maximo Roa understregede: *"At bringe humanoide robotter ind i bilindustrien er et smart første skridt. Bilindustrien var den første, der tog industriel robotteknologi til sig, og det er et frugtbart område for humanoide robotter. De opgaver, der er planlagt for humanoide robotter i denne branche, kræver gentagne manipulationshandlinger næsten uden interaktion med mennesker, hvilket mindsker problemerne i forbindelse med robotsikkerhed."*

Ældre produktionsfaciliteter designet til mennesker, hvor traditionel automatisering er vanskelig, er allerede blevet nævnt ifm. gode anvendelsesområder. Eksperterne identificerer også forsvar og katastrofeberedskab som områder, hvor humanoide robotter kan udføre højrisikoopgaver som bomberydning eller redningsaktioner i farlige miljøer.

Carlos Mastalli beskrev derudover et projekt med flyproducenten Airbus: *"Da jeg arbejdede i Frankrig som forsker, havde vi et projekt med Airbus, som efterspurgte en humanoid robot, der kunne bære de nødvendige huller i deres fly. Airbus laver omkring en million huller om året, og de kan ikke bruge traditionel robotteknologi, fordi deres krav er ret komplicerede. De havde brug for en humanoid robot, som for eksempel kunne sidde på hug, bevæge sig i snævre rum og navigere på trapper – opgaver som traditionelle robotter ikke kan løse."*

Mens flere eksperter på længere sigt ser potentiale for humanoide robotter i private

husstande til alt fra støvsugning og opvask til sortering af vasketøj, udtrykte en stor del af eksperterne skepsis i de dybdegående interviews. Det skyldes især spørgsmålet om sikkerhed af teknologien i omgangen med mennesker og omkostningerne. Selvom priserne på sigt forventes at falde, vil humanoide robotter formentlig være en dyr teknologi for mange private forbrugere.

Flere teknologiske barrierer står i
vejen for humanoide robotter

Som fremhævet flere steder i denne rapport, er der betydelige teknologiske udfordringer, der skal overkommes, før humanoide robotter kan vinde udbredelse. Figur 15 viser de vigtigste udfordringer, der blev påpeget af respondenter. Mobilitet og præcision i ustrukturerede omgivelser (79 %) fremstår som de mest udbredte barrierer, efterfulgt af menneske-robot interaktion og sikkerhed (73 %) samt perception og kontekstforståelse (71 %). I betragtning af at mere end halvdelen (56 %) af de adspurgte eksperter også ser et forbedringsbehov inden for avanceret AI og beslutningstagning, må det samlet set betragtes som en konsensus, at humanoide robotter endnu ikke er tilstrækkeligt autonome, intelligente og sikre i deres opgaveløsning og interaktion med mennesker.

Hertil kommer, at mindst to ud af tre eksperter fremhævede udfordringer relateret til teknologiens effektivitet og skalerbarhed. Mere end to tredjedele af eksperterne (67 %) angav, at høje omkostninger hæmmer teknologiens skalerbarhed, mens tre ud af fem pegede på udfordringer relateret til batterilevetid og energieffektivitet.

I de uddybende interviews blev det ligeledes understreget, at de teknologiske udfordringer for humanoide robotter er både mange og vidtrækkende.

²¹ AMS, 2025: How AI-powered humanoid robots are changing auto manufacturing at BMW, Tesla, and Mercedes-Benz

Flere eksperter påpegede blandt andet, at selvom der er gjort fremskridt inden for gang og balance, så forbliver avanceret manipulation (evnen til at interagere fleksibelt med objekter i uforudsigelige miljøer) en fundamental barriere. Den mekatroniske kompleksitet ved at efterligne menneskelige hænder, arme og ben med tilsvarende præcision og fleksibilitet fremhæves som en særlig vanskelig opgave.

Som allerede nævnt udgør sikkerhed i menneske-robot interaktion en kritisk udfordring. Eksperterne fremhævede behovet for, at robotter skal kunne forklare deres handlinger, operere sikkert omkring mennesker og skabe tillid. Dette kræver både avancerede sikkerhedssystemer og intuitive kommunikationsgrænseflader.

Et andet centralt problem er batterilevetid og energieffektivitet. **Rüdiger Dillmann** påpegede:

"Den begrænsede batterilevetid for de nuværende humanoide robotter, typisk kun et par timer, begrænser deres praktiske anvendelighed bety-

deligt. Hvis disse robotter skal være levedygtige i den virkelige verden, har vi brug for enten dramatiske forbedringer i batteriteknologien eller en grundlæggende nytænkning af, hvordan vi designer og driver disse systemer."

Robert Griffin adresserede specifikt spørgsmålet om batterilevetid og afviste direkte påstanden af enkelte robotvirksomheder om længere driftstid: *"Der er udviklere, som påstår at deres robot kan køre i syv timer. Det er en flot målsætning, men de kan bare ikke opnå det endnu. Robotternes måde at gå på er stadig ret ineffektiv, og batteriteknologien er ikke helt på plads endnu uden en enorm batteripakke, som man ikke ser i disse robotter."*

Mens der overvejende hersker optimisme blandt de interviewede eksperter ift. innovative gennembrud og løsninger på de omtalte udfordringer, var **Philippe Souères** mere skeptisk:

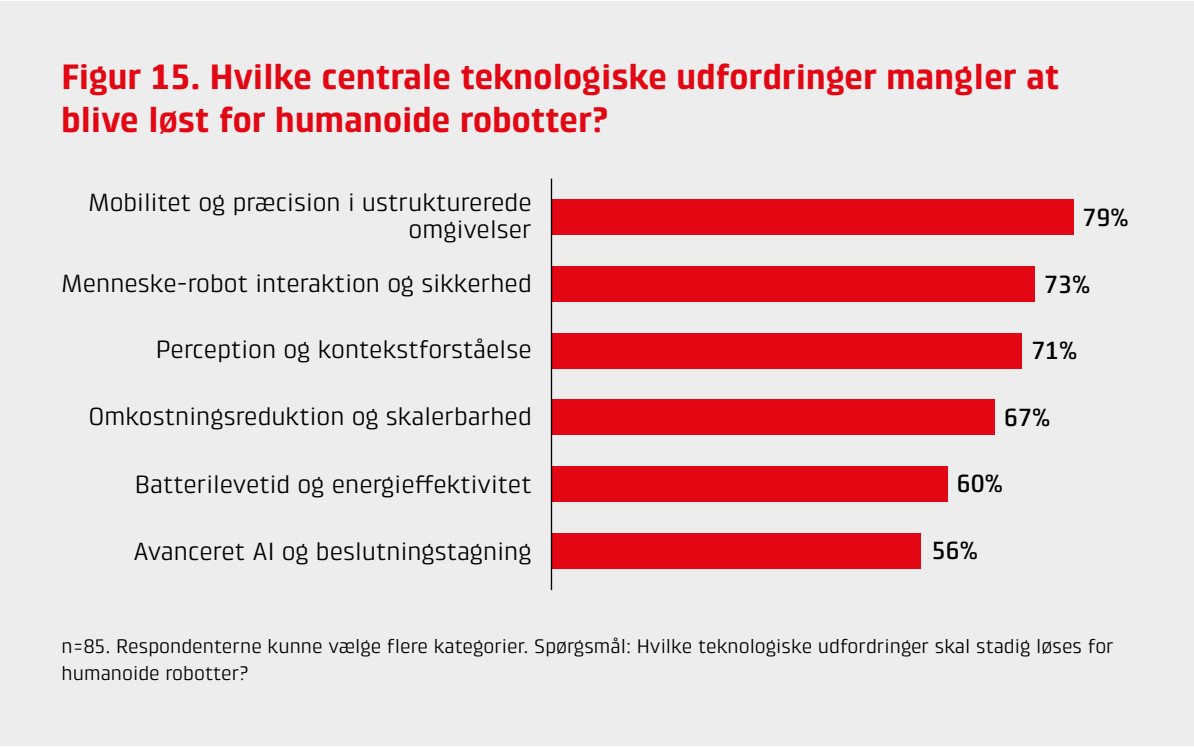
"Menneskekroppen er resultatet af millioner af års evolution, og det er ekstremt udfordrende at

genskabe dens evner i en maskine. Hver menneskelig evne - syn, manipulation, bevægelse, kognition - kræver specialiseret udvikling. Komplexiteten i at skabe en robot, der kan matche menneskets evner på tværs af alle dimensioner, er overvældende. Det kræver ekspertise inden for mekanik, elektronik, computervidenskab, AI og mange andre områder. Denne kompleksitet gør det meget vanskeligt at skabe en virkelig generel ('general-purpose') humanoid robot."

Dette står i stærk kontrast til mere optimistiske holdninger, der tror på, at de tekniske

udfordringer vil blive overvundet hurtigere, end mange forventer. Som **Paul Oh** udtrykte det:

"Tempoet for teknologiske fremskridt inden for robotteknologi accelererer. Det, der tidligere tog et årti at opnå, kan nu tage bare få år. Jeg er særligt optimistisk omkring gennembrud inden for energilagring, materialevidenskab og AI, som vil løse mange af de nuværende begrænsninger ved humanoide robotter."



Teknologiens potentiale for danske robotvirksomheder

Danske robotvirksomheder anerkender potentialet i den humanoide robotform, men forholder sig samtidig skeptiske over for dens aktuelle, praktiske anvendelighed. Teknologisk Institut har talt med fem danske robotvirksomheder om deres vurderinger af humanoide robotters potentiale i en dansk kontekst, og konklusionen er klar: Det er endnu for tidligt at satse på humanoide robotløsninger.

Selvom humanoide robotter teoretisk set tilbyder en høj grad af fleksibilitet, påpeger virksomhederne, at teknologien stadig er omgærdet af væsentlige udfordringer. Disse inkluderer sikkerhedsrisici ved tungt, frit og bevægeligt maskineri samt problemer forbundet med pålidelig drift og robusthed. Dette skyldes særligt, at øget fleksibilitet medfører langt større kompleksitet i hhv. design- og implementeringsfasen, hvilket resulterer i højere omkostninger.

På baggrund af dette fremhævede **John Erland Østergaard**, medstifter og CEO ved Blue Ocean Robotics, der specialiserer sig i service- og sundhedsrobotter, at der oftest findes bedre alternativer blandt mere traditionelle robotløsninger:

"Hvis robotter skal kunne varetage mange forskellige ting samtidigt, bliver de enormt dyre. I de fleste industrielle anvendelser vil speciali-

serede robotløsninger være mere effektive og økonomisk fordelagtige."

Danske robotvirksomheder vurderer, at merværdien ved anvendelsen af humanoide robotter endnu ikke kan opveje de ekstra omkostninger, der følger med. Derfor ville det enten kræve betydelige teknologiske fremskridt eller markante prisfald, før humanoide robotter for alvor slår igennem på tværs af den danske industrisektor.

I forlængelse af dette understregede **Jimmy Jørgensen**, medstifter og CTO ved Nordbo Robotics, som bl.a. udvikler softwareplatforme til intuitiv automatisering af overfladebehandling, behovet for teknologiske gennembrud:

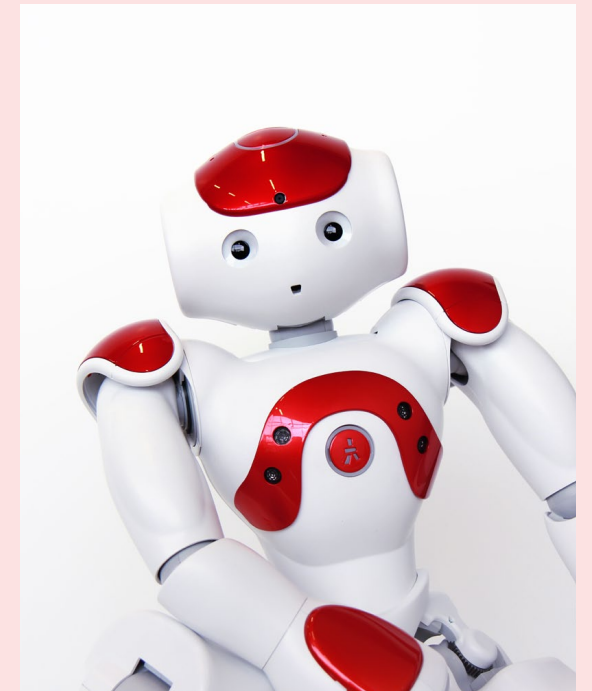
"Der er brug for en teknologisk landvinding i størrelse af det, vi har set med generativ AI for nylig, før der kommer en decideret markedsrevolution inden for humanoide robotter."

Denne vurdering afspejler en generel opfattelse blandt de danske robotvirksomheder: Selvom teknologien er under hastig udvikling, er der stadig behov for fundamentale fremskridt, før humanoide robotter bliver en rentabel investering. Særligt fremhæves behovet for forbedringer inden for AI, sensorteknologi og energieffektivitet.

Hvem har vi talt med?

For at afdække danske robotvirksomheders perspektiver på humanoide robotter, har vi gennemført interviews med følgende virksomheder og personer:

- **Blue Ocean Robotics:** John Erland Østergaard (medstifter & CEO)
- **Danrobotics:** Kim Koertsen (Direktør)
- **Life Science Robotics:** Rune Kristensen (CTO)
- **Nordbo Robotics:** Jimmy Jørgensen (medstifter & CTO)
- **Universal Robot:** Anders Billesø Beck (Vice President, Technology)



Trods skepsis identificerer danske robotvirksomheder flere fremtidige anvendelsesområder, særligt inden for industrielt montagearbejde, som består af mange små delprocesser og kræver fleksibilitet. Derudover fremhæves logistik- og sundhedssektoren som områder, hvor humanoide robotter kunne skabe værdi i fremtiden.

Fra et forretningsmæssigt perspektiv indtager danske robotudviklere en afventende position i forhold til humanoide robotter, mens de fastholder fokus på eksisterende specialiserede løsninger. De danske aktører opfatter på nuværende tidspunkt primært deres rolle som underleverandører:

"Jeg ser p.t. ikke én eneste dansk virksomhed, der kunne producere hele humanoide robotter. Fremtiden for danske leverandører er nok snarere som underleverandører eller specialister på specifikke delteknologier," vurderede direktør

Kim Koertsen fra virksomheden Danrobotics, der er integrator for industrielle robotløsninger.

Denne strategiske positionering afspejler en nøgtern vurdering af danske virksomheders muligheder på et marked, der er domineret af stærke internationale aktører med omfattende budgetter. I stedet for at konkurrere direkte med sådanne aktører ser de danske robotvirksomheder i stedet muligheder i at udvikle specialiserede kompetencer og teknologier, der kan indgå i større systemer.

Virksomhederne er forsigtige i deres vurderinger af internationale samarbejds muligheder. På europæisk plan identificeres især den tyske virksomhed NEURA som førende, og et eventuelt samarbejde forventes derfor primært at komme fra Tyskland. **John Erland Østergaard**

fra Blue Ocean Robotics efterlyste dog en mere behovsbaseret tilgang:

"Det ville være en fordel, hvis man kunne blive enige om, hvilke udfordringer de humanoide robotløsninger skal rettes mod. Samfundsbehov bør prioriteres over teknologifokus."

Dette synspunkt understreger vigtigheden af at fokusere på konkrete anvendelsesområder frem for teknologien i sig selv. Flere af de danske robotvirksomheder påpegede desuden, at en mere koordineret europæisk indsats, hvor man tager udgangspunkt i fælles samfundsmæssige udfordringer, kan styrke Europas position inden for humanoide robotløsninger og samtidig skabe mere værdi på tværs af landegrænser.

På den baggrund opfordrede **Anders Billesøe Beck**, Vice President of Technology hos Univer-

sal Robots, som er blandt de førende producenter af cobots, til strategisk refleksion:

"Det er et spørgsmål, som vi i Danmark skal stille os selv – hvad betyder humanoid-trenden? Skal vi bare gøre det samme, eller skal vi prøve noget andet? Jeg hælder til det sidste. Men vi skal lære af udviklingen internationalt."

Samlet set betragter danske robotvirksomheder humanoide robotter som interessante, omend de ikke forventes at revolutionere markedet på den korte bane. Denne pragmatiske holdning afspejler anerkendelsen af et langsigtet teknologisk potentiale samt en generel vurdering af, at udviklingen på nuværende tidspunkt foregår andetsteds. Derfor vurderes fremtiden for danske robotaktører primært at ligge i specialiserede nicher og som underleverandører til større internationale aktører.



Fra et forretningsmæssigt perspektiv indtager danske robotudviklere en afventende position i forhold til humanoide robotter, mens de fastholder fokus på eksisterende specialiserede løsninger.

Humanoide robotter i danske virksomheder

Udbredelsen af humanoide robotter afhænger i sidste ende af, hvorvidt aftagere er villige til at investere i teknologien. Af den grund har Teknologisk Institut talt med repræsentanter fra fem store danske virksomheder, der har erfaringer med automatisering (se tekstboks).

De interviewede virksomheder ser potentialet i humanoide robotter, men deres holdninger spænder fra forsigtig optimisme til klar skepsis. Mens en enkelt virksomhed har planer om at teste teknologien inden for få år, er andre mere tilbageholdende og foretrækker at fokusere på eksisterende automationsløsninger. Fælles for dem alle er dog anerkendelsen af, at humanoide robotter stadig står over for betydelige udfordringer, før de kan integreres i bredere forstand. Fleksibilitet og tilpasnings-evne fremhæves som de største fordele, men også som områder hvor teknologien stadig kræver markante fremskridt.

Potentialet i humanoide robotter

De interviewede virksomheder ser varierende potentiale i humanoide robotter afhængigt af deres specifikke behov og branche. LEGO viser interesse for robotters evne til at håndtere kompleks overfladebehandling og flytning af komponenter mellem maskiner, hvor fleksibilitet er afgørende. **Christian Wissing Kruse**, Head of Mould Factory Technology ved LEGO, fremhæver, at humanoide robotter potentielt kunne være mere attraktive end

traditionelle linjerobotløsninger, da de lettere kan omprogrammeres og tilpasses ændringer i produktionen:

"Vi kunne på længere sigt have interesse i at få humanoide robotter til at håndtere og transportere komponenter ind og ud af maskiner. Jeg er klar over, at dette også kunne løses med en traditionel linjerobot, men det ville aldrig være så fleksibelt som en mobil enhed, som man kan omprogrammere til at bevæge sig til en anden produktionscelle eller en nyinstalleret maskine."

Topsoe ser muligheder i humanoide robotter til stabling og håndtering af op til 400 komponenter i forholdsvis ustabile tårne, der skal transporteres til ovne med forskellige udformninger. Teknologi- og katalysatorvirksomheden påpeger også potentialet for sammenstilling af flere tårne til større produkter og adskillelse af brugte produkter til genanvendelse. Derudover kunne robotterne potentielt udføre stikprøvekontrol og transportere prøver til laboratoriet. **Mathias Kirkegaard**, som er R&D Manager hos Topsoe, ser den helt store fordel i humanoide robotters fleksibilitet: *"Hvis vi kan få en humanoid robot, der er så fleksibel, at den kan gå hen til den ene maskine og så til den anden maskine, så er det jo fantastisk, fordi så kan man jo også flytte rundt på maskinerne. Så er man ikke bundet af, at den her robot skal stå lige her."*

Grundfos har identificeret flere anvendelsesområder, herunder forberedelse af komponenter

Hvem har vi talt med?

For at afdække danske virksomheders perspektiver på humanoide robotter, har vi gennemført interviews med følgende virksomheder og personer:

- **BIRN:** Carsten Erichsen (Produktionsteknisk chef)
- **Energinet – Innovationsafdeling:** Alexander Frederiksen (Robot Specialist and Design Engineer)
- **Grundfos:** Torben Rasmussen (Chief Partnership Leader, Advanced Manufacturing Engineering) og Jesper Markussen (Project Manager, Advanced Manufacturing Engineering)
- **LEGO:** Christian Wissing Kruse (Head of Mould Factory Technology)
- **Topsoe:** Mathias Kirkegaard (R&D manager)

ter til samling, bevægelse mellem arbejdsstationer (særligt i områder uden 24/7-produktion), og enkle samleopgaver. De ser også potentiale i at lade humanoide robotter overtage monotont gentaget arbejde og komplekse manuelle montageopgaver, der er svære at automatisere med traditionelle robotter.

Energinets innovationsafdeling skiller sig ud med deres store forventninger til humanoide robotter, særligt til inspektions- og vedligeholdelsesopgaver på Energinets anlæg, især offshore-stationer. Som robotspecialist **Alexander Frederiksen** siger: *"Det ville jo være fantastisk at have en eller flere humanoide robotter, der bor fast ude på vores offshore-stationer, så det kun er i yderste nødstilfælde, at vi skal have mennesker derude."* Energinets innovationsafdeling ser også betydeligt potentiale i øget

sikkerhedsovervågning af kritisk infrastruktur og håndtering af farlige opgaver.

Derimod har BIRN en mere skeptisk holdning til humanoide robotter. Støbevirksomheden refererede bl.a. til forskellige demonstrationer af humanoide robotter og understregede, at de ikke har behov for robotter, der kan slå kolbøtter. I stedet efterspørger de robuste automatiseringsløsninger, der kan håndtere det hårde miljø i deres støberi med sand, støv og varme.

Udfordringer ved implementering

Alle fem virksomheder identificerede væsentlige udfordringer ved implementering af humanoide robotter, om end med forskellige prioriteringer.

LEGO fremhævede sikkerhedsspørgsmål som en central bekymring. Her understregede LEGO vigtigheden af at klarlægge, hvordan man kan sandsynliggøre, at det er tilstrækkeligt sikkert at arbejde side om side med en humanoid robot. Alternativt foreslog LEGO, at man kunne anvende indhegnede områder, ligesom når man arbejder med industrirobotter. Driftssikkerhed er også afgørende for LEGO, som prioriterer minimal forstyrrelse i produktionen. Virksomheden stillede bl.a. spørgsmålstegn ved robotters energiforbrug og opetid samt deres evne til at opretholde tilstrækkelig produktivitet i forhold til deres energiforbrug, især hvis de har behov for lang opladningstid.

Topsoe mente, at teknologien stadig er under udvikling og mangler modenhed. Bl.a. fremhævede **Christian Wissing Kruse** fra virksomheden forholdsvis lave vægtbegrænsninger ved den nuværende generation af humanoide robotter: *"Ergonomien er et vigtigt punkt for os. Humanoide robotter bør derfor kunne bære 70, 80 eller helt op til 100 kg, hvilket ikke er muligt med den nuværende generation af humanoide robotter."* Virksomheden nævnte

i forlængelse heraf, at selvom humanoide robotter kunne være nyttige, kunne mange af de samme opgaver også løses med andre teknologier, hvilket rejser spørgsmål om investeringens værdi.

Som tidligere beskrevet, fremhævede Grundfos flere potentielle anvendelsesområder for humanoide robotter, herunder særligt komplekse opgaver inden for motorproduktion, der hidtil har været vanskelige at automatisere med traditionelle robotter. Netop ved disse opgaver, hvor tråde skal håndteres med stor præcision, kunne humanoide robotter tilbyde en løsning. Dog har Grundfos observeret begrænsninger i humanoide robotters finmotorik og evne til kompleks manipulation. Som **Jesper Markussen**, der er projektleder i afdelingen for Advanced Manufacturing, udtrykker det: "Når det kommer til komplekse samleopgaver, der kræver finmotorik, så mangler vi stadig at se nogle teknologiske gennembrud inden for gribeevner. Det, man kan gøre med fingrene, er svært at efterligne. Den fingerteknologi, der skal til, er nemlig utroligt kompleks." Derudover fremhævede Grundfos andre begrænsninger såsom sikkerhed, pålidelighed, energiforbrug og omkostningseffektivitet. Deres vurdering er, at det kan tage op til 15 år, før humanoide robotter når en moden implementeringsfase.

Energinets innovationsafdeling har identificeret specifikke tekniske udfordringer med nuværende robotteknologier, såsom manglende finmotorik, problemer med at åbne døre eller betjene udstyr designet til mennesker samt navigationsproblemer på trapper. Selv om den teknologiske modenhed er en væsentlig udfordring, understregede **Alexander Frederiksen**, at selv med markedsklare løsninger vil der være et betydeligt forberedelsesarbejde, før humanoide robotter kan implementeres fuldt ud i Energinets drift: "Vi kan bare godt se, at der er rigtig meget forberedelsesarbejde, vi skal gøre i vores eget bagland, før vi reelt set kan drifte en så genembrigende teknologi som en humanoid robot."

Dette forberedelsesarbejde omfatter både tekniske aspekter som cybersikkerhed, men også kulturelle og psykologiske barrierer. Særligt de menneskelige aspekter er ifølge robotspecialisten fra Energinets innovationsafdeling vigtige at adressere: "Hvis vi om et år kom gående med en humanoid robot fra en markedsaktør nede i frokostpausen, så ville der nok være ret mange, der vil synes, det var virkelig skræmmende og ikke så rart."

BIRN fremhævede de særlige udfordringer i støberbranchen, hvor variationen i produkter, det hårde miljø samt krav om hurtige omstillinger og høj driftssikkerhed gør automatisering kompleks. **Carsten Erichsen**, der er produktionsteknisk chef, understregede behovet for robusthed, tilpasningsevne og avancerede visionssystemer, som kan fungere under vanskelige forhold med sand, støv og høj varme:

"I vores miljø er der støv og sand i luften, og hvis der hænger lidt sand på emnerne, så ligner de ikke længere det, vi har programmeret robotten til at genkende [...] Robotten skal kunne håndtere en varierende mængde af emner og være let at omstille, for vi skifter produkter hver anden time på vores maskiner. Også driftssikkerheden er afgørende - det koster os mange millioner hver dag, hvis en produktionslinje står stille."

Fremtidige strategier og forventninger

LEGO's tilgang til humanoide robotter er konservativ. De ønsker at se teknologien fungere driftssikkert hos andre store virksomheder i længere tid, før de selv overvejer implementering. LEGO prioriterer robuste processer og har hovedsageligt fokuseret på digital automatisering. Som **Christian Wissing Kruse** siger, ønsker virksomheden først at sikre, at processer fungerer optimalt med menneskelige operatører, før de investerer i fuld fysisk automatisering: "Vi prioriterer, at arbejdsprocesserne er robuste,

inden vi erstatter eller eventuelt bare supplerer menneskelige operatører med humanoide robotter."

Topsoe har ingen konkrete planer om at implementere humanoide robotter på nuværende tidspunkt, men følger udviklingen tæt. Virksomheden anerkender, at teknologien skal modne yderligere, før den kan anvendes bredt i industrien. **Mathias Kirkegaard** fra Topsoe udelukker dog ikke muligheden for at integrere teknologien i fremtidige projekter:

"Det er først, når vi begynder at tale om fremtidige fabrikker, at vi vil overveje at teste teknologien."

Grundfos forventer en langsom implementering af humanoide robotter og prioriterer løsninger, der er pålidelige frem for at være banebrydende. **Torben Rasmussen**, som er Chief Partnership Leader i afdelingen Advanced Manufacturing, siger: "Vi er ikke så interesseret i at være dem, der er de første til at implementere humanoide robotter i produktionen. Vi vil hellere have noget, der virker, og som er testet af." Grundfos vurderer i forlængelse heraf, at det kan tage op til 10-15 år, før humanoide robotter når en moden implementeringsfase, hvor de kan integreres fuldt ud i produktionsmiljøer.

Energinets innovationsafdeling har en langt mere proaktiv tilgang og robotspecialist **Alexander Frederiksen** beskrev konkrete planer om at anskaffe deres første kommercielle humanoide robot: "Vi håber på, at vi kan få vores første markedsprodukt ud og gå i driftstest på en af vores stationer. Nok onshore til at starte med, men allerede i løbet af 2026 [...] Vi forventer, at vi til at starte med skal teleoperere den humanoide robot meget. Det giver også god mening for forandringsledelsen, at medarbejderne selv kan prøve teknologien, idet det gør robotten mindre mystisk og fremmedgørende." Energinets innovationsafdeling ser altså et stort potentiale i teknologien og er villige til at være blandt de første til at implementere den i deres drift.

BIRN vurderede, at traditionelle robotarme med avanceret AI sandsynligvis er mere velegnede end humanoide robotter til deres specifikke opgaver. Virksomhedens fokus er på intelligente og robuste automatiseringsløsninger, der kan håndtere de særlige udfordringer i støberbranchen, snarere end på humanoide robotter. Produktionsteknisk chef, **Carsten Erichsen**, slår fast: "Vi har mange andre automatiseringsmuligheder, som vi prioriterer højere på nuværende tidspunkt. For eksempel har vi fokus på at implementere flere traditionelle robotløsninger og cobots i vores produktion. Det giver mere mening for os på kort sigt. Teknologien bag humanoide robotter er simpelthen ikke udviklet nok endnu til, at vi kan se en klar værdi af den i vores produktionsprocesser."

Opsamling

De fem virksomheders perspektiver afspejler en nuanceret holdning til humanoide robotter i dansk industri. Fra entusiasme og konkrete implementeringsplaner i Energinets innovationsafdeling til BIRNs skepsis og fokus på andre automatiseringsløsninger, tegner der sig et billede af en teknologi, der stadig søger sin plads i industrilandskabet. Mens alle anerkender visse potentialer, er der bred enighed om, at teknologien stadig står over for betydelige udfordringer, før den kan blive en integreret del af produktionsmiljøer. Virksomhedernes forskellige tilgange afspejler både deres branchespecifikke behov og deres generelle holdning til ny teknologi, hvor nogle er villige til at være pionerer, mens andre foretrækker at være følgere, når teknologien er mere moden.

Konklusion og perspektivering

Humanoide robotter har i de seneste år bevæget sig fra vision til konkret teknologi, understøttet af markante fremskridt i AI, mekanik og energi-optimering samt massive investeringer i særligt Kina og USA. Globalt opleves en voksende forventning om, at teknologien vil spille en væsentlig rolle i fremtidens arbejdsmarked. I Danmark er interessen klart til stede, både i robotbranchen og blandt større virksomheder, men er præget af en sund og nøgtern realisme. Danske robotvirksomheder er fortsat verdensførende inden for specialiserede teknologier som samarbejdende robotarme og mobile robotter og ser endnu ikke humanoide robotløsninger som en naturlig strategisk forlængelse. Teknologien vurderes som umoden, og danske aktører fokuserer i stedet på at afsøge roller som komponentleverandører frem for systemudviklere.

De store danske virksomheder, fx Grundfos og Topsoe, anerkender teknologiens perspektiver, men signalerer, at der først skal dokumenteres stabil drift og klar merværdi, før en egentlig implementering kommer på tale. Enkelte, såsom innovationsafdelingen i Energinet, vil dog begynde at teste konkrete løsninger i mindre skala. Fælles for de danske erfaringer og udmeldinger er, at humanoide robotter endnu ikke opleves som en teknologisk nødvendighed. De ses snarere som en fremtidig mulighed, hvis udvikling det er værd at holde øje med.

Kigger vi frem mod det næste årti, vil tempoet i den internationale udvikling få stor betydning for dansk beslutningstagning. Kombinationen af

kraftigere AI-modeller, mere avanceret mekanik og faldende komponentpriser vil sandsynligvis føre til, at humanoide robotter inden for 5-10 år bliver i stand til at løse specifikke og værdiskabende opgaver – først i kontrollerede miljøer som logistikcentre eller produktionshaller og senere i mere komplekse sammenhænge som energisektoren og sundhedspleje. For Danmark betyder det, at danske virksomheder bør begynde at analysere, hvor i deres værdikæde teknologi-en på sigt kan skabe værdi. Ikke nødvendigvis som erstatning for eksisterende løsninger, men som supplement, særligt i tilfælde af mangel på arbejdskraft eller behov for øget fleksibilitet eller forbedret sikkerhed.

Derudover bør Danmark tage stilling til, hvilken rolle vi vil spille i det globale udviklingslandskab: Skal vi forholde os afventende og importere løsninger, når de er modne? Eller skal vi aktivt engagere os i at forme teknologien gennem testmiljøer, nicheinnovation og internationalt samarbejde?

Potentialet ligger i at koble vores eksisterende styrker inden for robotik, automation og AI med den globale humanoid-udvikling og sikre, at danske virksomheder og institutioner bliver relevante aktører, også i fremtidens robotøkonomi.

Med den rette kombination af strategisk overvågning, selektive pilotprojekter og international positionering kan Danmark ikke blot følge udviklingen – men bidrage aktivt til, hvordan humanoide robotter formes, anvendes og reguleres i en europæisk og global kontekst.

Bibliografi

- AIST. (2018). Development of a Humanoid Robot Prototype, HRP-5P, Capable of Heavy Labor. Retrieved from www.aist.go.jp/aist_e/list/latest_research/2018/20181116/en20181116.html
- AsianScientist. (2017). US\$13 Million Humanoid Robot Research Center Opens In South Korea. Retrieved from www.asianscientist.com/2017/01/tech/humanoid-robot-research-center
- Bastille Post. (2024). China's colleges join industry in developing humanoid robots. Retrieved from Bastillepost: www.bastillepost.com/global/article/4064524-chinas-colleges-join-industry-in-developing-humanoid-robots
- Beijing Institute of Technology. (2024). BIT accelerates 'evolution' of humanoid robots. Retrieved from english.bit.edu.cn/2024-08/23/c_1015342.htm
- Beijing Institute of Technology. (2024). BIT accelerates 'evolution' of humanoid robots. Retrieved from english.bit.edu.cn/2024-08/23/c_1015342.htm
- Carnegie Mellon University - Robotics Institute. (2025). About Us. Retrieved from www.ri.cmu.edu/about
- Fan Feifei. (2024). China ahead in humanoid robots field. China Daily. Retrieved from www.chinadaily.com.cn/a/202408/23/WS66c7dd37a31060630b924859.html
- Goldman Sachs. (2024). The global market for humanoid robots could reach \$38 billion by 2035. Goldman Sachs. Retrieved from www.goldmansachs.com/insights/articles/the-global-market-for-robots-could-reach-38-billion-by-2035
- Humanoid Robotics Technology. (2025). Shanghai Electric Supports Launch of China's First Heterogeneous Humanoid Robot Training Center. Humanoid Robotics Technology. Retrieved from www.humanoidroboticstechnology.com/industry-news/shanghai-electric-supports-launch-of-chinas-first-heterogeneous-humanoid-robot-training-center
- Humanoid, W. U. (2025). History of Humanoid Robot in Waseda University. Retrieved from www.humanoid.waseda.ac.jp/history.html
- IFR. (2025). Robotics Research: How Asia, Europe and America Invest. Retrieved from www.ifr.org/ifr-press-releases/news/robotics-research-goverment-programs-asia-europe-and-america-2025
- Jin, H. (2022). Elon Musk faces skeptics as Tesla gets ready to unveil 'Optimus' robot. Euro News.
- Karlsruhe Institute of Technology H2T. (2025). Welcome to H²T. Retrieved from h2t.iar.kit.edu/english
- Market Research Future. (2024). Global Humanoid Robots Market Overview. Retrieved from t.ly/mi3vL
- Markets & Markets. (2025). Humanoid Robot Market. Markets & Markets. Retrieved from t.ly/dPRS3
- Morgan Stanley. (2025). The Humanoid 100: Mapping the Humanoid Robot Value Chain. Morgan Stanley. Retrieved from advisor.morganstanley.com/john.howard/documents/field/j/jo/john-howard/The_Humanoid_100_-_Mapping_the_Humanoid_Robot_Value_Chain.pdf
- Morgan Stanley Research. (2024). Humanoids: Investment Implications of Embodied AI. Morgan Stanley. Retrieved from www.futuremanagementgroup.com/wp-content/uploads/240626-Humanoid-Robots-Morgan-Stanley.pdf
- Nelson, J. (2024). The Rise of Humanoid Robots in 2024. Emerge. Retrieved from decrypt.co/292728/rise-of-humanoid-robots-2024
- Patent- og varemærkestyrelsen. (2021). China Raises IP-ambitions. Patent- og varemærkestyrelsen. Retrieved from www.dkpto.org/news/2021/apr/china-raises-ip-ambitions
- PhysOrg. (2011). Affetto: a realistic robot baby is looking at you. Retrieved from: www.physorg.com/news/2011/04/affetto-a-realistic-robot-baby-is-looking-at-you.html

- phys.org/news/2011-02-affetto-realistic-robot-baby-video.html#google_vignette
- Qviro. (2024). Humanoid Robots in China 2025. Retrieved from www.qviro.com/blog/humanoid-robots-in-china-2024
- SCM. (2025). Kina investerer milliarder i robotteknologi og AI. Retrieved from www.scm.dk/kina-investerer-milliarder-i-robotteknologi-og-ai
- TechXplore. (2024). Moving humanoid robots outside research labs: The evolution of the fully immersive iCub3 avatar system. Retrieved from www.techxplore.com/news/2024-01-humanoid-robots-labs-evolution-fully.html
- Teknologisk Institut. (2025). Batterier i cirkulær økonomi - Teknologisk Udsyn. Teknologisk Institut.
- Tokyo University. (2025). Retrieved from Tokyo University: www.i.u-tokyo.ac.jp/edu/course/m-i/index_e.shtml
- U.S. China Economic and Security Review Commission. (2024). Humanoid robots - Issue Alert. U.S. China Economic and Security Review Commission (USCC.gov). Retrieved from www.uscc.gov/sites/default/files/2024-10/Humanoid_Robots.pdf
- UTAIL. (2025). Welcome to UTAIL. Retrieved from www.ai.iit.tsukuba.ac.jp
- Waseda University. (2025). History of Humanoid Robot in Waseda University. Retrieved from www.humanoid.waseda.ac.jp/history.html
- Winner, A. (2025). Chinese Invention Patent Grants Down Almost 21% in First Quarter of 2025; Trademark Registrations Down Almost 15%. Retrieved from www.natlawreview.com/article/chinese-invention-patent-grants-down-almost-21-first-quarter-2025-trademark
- World Intellectual Property Organization. (2024). World Intellectual Property Indicators 2024. World Intellectual Property Organization. Retrieved from www.wipo.int/publications/en/details.jsp?id=4759
- Xin, L. (2025). Humanoid Hype: Top VC Sounds the Alarm on China's Robot Boom. Sixth Tone. Retrieved from www.sixthtone.com/news/1016916



|| Potentialet for Danmark ligger i at koble vores eksisterende styrker inden for robotik, automation og AI med den globale udvikling af humanoide robotter.

Teknologisk Institut rådgiver også om humanoide robotter

Som uafhængig teknologipartner hjælper Teknologisk Institut virksomheder – både store og små – med at udnytte det store potentiale i humanoide robotter og avanceret automationsteknologi. Gennem strategisk rådgivning og teknologisk udvikling styrker vi virksomhedernes konkurrenceevne, forbedrer arbejdsmiljøet og hjælper med at løse udfordringer som mangel på arbejdskraft.

Teknologien bag humanoide robotter – en mulighed for danske virksomheder

Humanoide robotter repræsenterer en ny æra inden for robotteknologi, drevet af store globale investeringer i avancerede teknologier som AI, sensorer, maskinlæring, mekanik og energistyring. Selvom Danmark ikke nødvendigvis skal udvikle humanoide robotter, er det afgørende for danske virksomheder at udnytte de teknologiske gennembrud, der ligger bag.

Hos Teknologisk Institut arbejder vi for at sikre, at danske virksomheder kan implementere og drage fordel af disse teknologier i deres egne produkter og løsninger. Vi

ser et stort potentiale i at overføre teknologierne fra humanoide robotter til mange andre anvendelser – fra avanceret automation og fleksible produktionssystemer til smartere samarbejde mellem mennesker og robotter.

Vi har samlet:

- **Den nødvendige erfaring:** Vi har hjulpet virksomheder med robotløsninger i mere end 30 år.
- **De rette kompetencer:** Vores specialister er blandt de førende inden for udvikling og anvendelse af robotteknologi.
- **Det rigtige udstyr:** Du kan teste og validere robotløsninger i vores avancerede robotlaboratorium, uden at du selv behøver investere i udstyr, før løsningen er gennemprøvet.

Effektive og skræddersyede robotløsninger

Vi rådgiver virksomheder til at træffe det rette valg af robotteknologi og sikrer den rigtige implementering i produktionsmiljøer. Her er faktorer som investeringsomkostninger, produktivitet, sikkerhed og fleksibilitet centrale. Vi hjælper vores samarbejdspart-

nere med at forstå deres anvendelsesområder i robotteknologiens kontekst og sikrer, at valget af robot matcher de krav, som applikationen stiller.

Ved at kombinere avancerede testfaciliteter med vores eksperters erfaring sikrer vi, at din virksomhed får en løsning, der lever op til kravene for effektivitet, kvalitet og økonomi.

Test og validering reducerer risiko

I vores udviklingscenter i Odense har vi samlet den nødvendige erfaring, de rette kompetencer og det nyeste udstyr til at identificere, teste og validere robotløsninger. Her kan du afprøve koncepter og teknologier under realistiske forhold, før du investerer i nyt udstyr. Det reducerer både risiko og kompleksitet i implementeringen af ny teknologi.

Brugervenlig robotintegration

Samtidig har vi et stærkt fokus på at gøre robotteknologi tilgængelig for alle typer virksomheder. Vi udvikler metoder til effektiv og sikker integration af humanoide

robotter i eksisterende produktionsmiljøer, hvilket inkluderer designprincipper til at facilitere samarbejde mellem mennesker og robotter, programmering og opsætning. Ved at forstå processen fra design til implementering og drift kan vi rådgive på tværs af hele værdikæden. Vi kan også sikre, at omkostningerne holdes nede, så robotautomatisering bliver kommercielt attraktiv for både små og store virksomheder. På den måde bidrager vi til, at robotteknologiens potentiale kan udnyttes fuldt ud i dansk erhvervsliv.

Din partner i robotteknologi

Hos Teknologisk Institut er vi specialister i robotteknologi og automatisering, og vi står klar til at hjælpe dig med at finde og implementere de løsninger, der passer til netop din virksomhed. Sammen kan vi skabe innovation og værdi gennem humanoide robotter.

Kontakt os i dag, og hør mere om, hvordan vi kan hjælpe dig sikkert i mål med dit næste automationsprojekt.

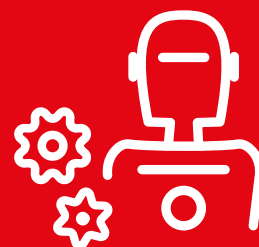


Henrik Jacobsen
Centerchef
Teknologisk Institut
hnjn@teknologisk.dk
+45 72 20 28 15



Kurt Nielsen
Teknologichef,
Teknologisk Institut
kuni@teknologisk.dk
+45 72 20 22 11

Teknologisk Udsyn giver en oversigt over den seneste udvikling på et teknologifelt med betydning for Danmarks fremtid. Vi giver et indblik i aktørlandskaber og fremtidige tendenser, Danmarks aktuelle position samt anbefalinger til samfundets implementering.



teknologisk.dk