



UPPSALA
UNIVERSITET

Kollaborativa robotar

**Vad är dagens och framtidens applikationer för
kollaborativa robotar samt vilka säkerhetsrisker
medför implementeringen av dem?**

Uppsala universitet
Institutionen för samhällsbyggnad och industriell teknik
Teknisk rapport i Introduktionskurs till Maskinteknik 5 hp
(2022/HT)
Författare: Kalle Axelsson, William Densjö, Benjamin Grönvik
Albin Larsson, Abbas Rezai, Mikael Westman

Sammanfattning

Kollaborativa robotar kan hjälpa den tillverkande industrin att möta kraven på en alltmer flexibel produktion, med en ökande andel beställningar av skräddarsydda produkter. Robotarna är tänkta att arbeta nära människor, utan säkerhetsbarriärer, för att utnyttja båda parternas respektive styrkor. Människan är kreativ och flexibel, medan roboten är uthållig och noggrann.

Rapporten kommer ta upp skillnader mellan kollaborativa robotar, traditionella industrirobotar samt människor, så väl som tekniska och säkerhetsmässiga utmaningar för fortsatt utveckling av kollaborativa robotar.

För faktainsamling användes vetenskapliga artiklar med "Scopus", "Google scholar" och "Diva portalen" som sökmotor. Information hämtades också från berörda företags hemsidor.

Idag arbetar kollaborativa robotar med en rad olika saker inom den tillverkande industrin, som plockning, montering och ytbehandling av produkter. För att möjliggöra ett nära samarbete mellan robot och människa krävs att människor känner tillit till de kollaborativa robotarna och att kommunikationen parterna emellan är effektiv. För att säkerställa en trygg arbetsmiljö och undvika skador på människa och utrustning begränsas robotens hastighet och effekt. I morgondagens fabriker förväntas kollaborativa robotar inneha en viktig roll där de kommer assistera, samarbeta med och instruera människor i arbetet.

Innehåll

1	Introduktion	1
1.1	Bakgrund.....	1
1.2	Problembeskrivning.....	1
1.3	Syfte	2
1.4	Frågeställningar	2
1.5	Avgränsningar	2
1.6	Metod	2
2	Litteraturstudie	3
2.1	Skilnaden mellan en traditionell industrirobot och en kollaborativ robot	3
2.1.1	Fördelar och nackdelar med kollaborativa robotar	5
2.2	Därför behövs kollaborativa robotar	6
2.2.1	Kollaborativa robotar som hjälpmedel för arbetare.....	6
2.2.2	Nuvarande arbetsuppgifter.....	6
2.3	Interaktion mellan människa och robot	8
2.3.1	Samarbete mellan maskin och människa.....	8
2.3.2	Dagens kommunikation mellan människa och robot	9
2.3.3	Framtidens kommunikation mellan människa och robot	10
2.4	Säkerhet och faror med kollaborativa robotar.....	11
2.4.1	Utformning av arbetsplats	12
2.5	Framtida arbetsuppgifter	14
2.5.1	Kollaborativa robotars roll i Industri 4.0	14
3	Resultat och analys.....	16
3.1	Säkerhetsmässiga utmaningar med kollaborativa robotar i tillverkande industri....	16
3.2	Applikationer för kollaborativa robotar	16
3.3	Framtidens applikationer för kollaborativa robotar	17
4	Diskussion och Slutsatser	19
5	Referenser	21

Tabellförteckning

Tabell 1 - Tabell som jämför styrkor och svagheter för människa och robot (Sherwani et al., 2020).....	5
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---

Figurförteckning

Figur 1 – Traditionella industrirobotar arbetar på en bilram inom ett inhägnat område (ABB, 2015).....	3
Figur 2 - En kollaborativ robot utför slutmonteringen (Sandra, 2021).	6
Figur 3 - Kollaborativ robot vid svetsning (Migatronik, u.å.).	7
Figur 4 - En kollaborativ robot vid sammanställning av en bildörr (Universalrobots, u.å.).	7
Figur 5 - Olika grader av människa-robot samarbete: (a) samexistens, (b) samverkan och (c) samarbete (Arents et al., 2021).	8
Figur 6 - Operatören använder lead-through-programmering för att bestämma hur roboten ska röra sig under drift (Elektroautomatik, u.å.).	9
Figur 7 - Exempel på handgester avlästa och tolkade av robot (Mazhar et al., 2019).	10
Figur 8 - Säkerhetszoner för människa-robotsamarbete med hastighetsövervakningsteknik (SICK USA Blog, 2019).....	12
Figur 9 - Olika typer av säkerhetsfunktioner hos kollaborativa robotar (Wevolver, 2020).....	13

1 Introduktion

Automatiseringen har varit en stark drivkraft inom industrin för att öka effektiviteten och lönsamheten, men på senare år har det blivit allt viktigare att ha en flexibilitet i produktionen. Traditionella industrirobotar är väldigt bra på de uppgifter de är programmerade att utföra men det är tidskrävande att programmera om dem för nya arbetsuppgifter. Här kommer kollaborativa robotar in i bilden vars största styrkor är just flexibilitet och förmåga att samarbeta med människor (Sherwani et al., 2020).

1.1 Bakgrund

Det finns idag ett stort antal typer av industrirobotar på marknaden, vilka kan användas inom en mängd olika områden. Kollaborativa robotar är en typ av robot som är tänkt att samarbeta nära människor, utan de säkerhetszoner som är förknippat med traditionella industrirobotar. Ytterligare fördelar med kollaborativa robotar är bland annat enkelheten att tilldela dem nya arbetsuppgifter, samt att de väger mindre och därför är smidigare att flytta runt i fabriken (Sherwani et al., 2020). Kollaborativa robotar kan utföra arbetsuppgifter som är monotona eller ställer höga krav på precision eller uthållighet. När de utför dessa uppgifter kan människan använda sin tid till mer kreativa och avancerade uppgifter (ABB, u.å.).

Kollaborativa robotar är inte bara användbara när det kommer till slitsamma eller repetitiva arbetsuppgifter. De ses även som en lösning för att tillfredsställa marknadens ökande krav på skräddarsydda produkter från den tillverkande industrin (Segura et al., 2022). Kollaborativa robotar är också en kritisk del i det som benämns som Industri 4.0, där fabriker förväntas bli "smarta" och uppkopplade för att på så sätt öka effektiviteten och flexibiliteten (Sherwani et al., 2020).

En större andel traditionella industrirobotar har resulterat i reducerad produktionskostnad, men det har också gjort industrin mindre flexibel. Kollaborativa robotar förväntas att tillsammans med människor öka flexibiliteten igen (Rega et al., 2021).

1.2 Problembeskrivning

Vid implementering av ny teknik, i det här fallet robotar som interagerar med och arbetar nära människor uppstår utmaningar. Att arbetet sker på ett säkert sätt för både människa och utrustning, är i det här fallet en balansgång mellan säkerhet och effektivitet. Genom olika ISO-standardiseringar har det tillkommit regleringar för hur samarbete mellan människa och robot ska utformas. Arbetsplatsen behöver planeras väl så att de kollaborativa robotarna kan arbeta ostört i största möjliga mån, eftersom effektiviteten blir lidande när de behöver sänka sin hastighet vid mänsklig närvaro.

Ett annat problem som finns idag är avsaknaden av teknik som möjliggör en ömsesidig kommunikation mellan robotar och människor (Gustavsson, 2020). Detta kan medföra en brist på tillit för de kollaborativa robotarna från operatörernas sida. Det finns ett flertal olika metoder för människa-robot-kommunikation under utveckling som till exempel handgester och verbal kommunikation för att styra roboten i arbetet (Badia et al., 2022). Utvecklingen av kollaborativa robotar sker snabbt och det är fortfarande en väldigt ung teknik som kräver mer forskning och testning för att bli optimerad och säker. Det har gjorts många studier på de tekniska och mekaniska aspekterna av mänskligt samarbete med kollaborativa robotar men betydligt mindre på psykosociala aspekter och säkerhetsrisker kopplade till cyberattacker (Berx et al., 2022).

1.3 Syfte

Syftet med projektarbetet är att undersöka dagens och framtidens applikationer för kollaborativa robotar samt de potentiella säkerhetsriskerna som medföljer. Tekniska och ekonomiska aspekter kommer analyseras, samt vilka metoder som används för att lösa olika säkerhetsproblem.

1.4 Frågeställningar

- Vilka säkerhetsmässiga utmaningar finns det idag hos kollaborativa robotar inom tillverkande industri och vilka metoder kan användas för att komma till rätta med dessa?
- Vilka applikationer har kollaborativa robotar inom industrin?
- Vilka framtida applikationer kan kollaborativa robotar ha inom industrin?

1.5 Avgränsningar

Rapporten fokuserar enbart på den tillverkande industrin.

1.6 Metod

Information hämtas från akademiska texter funna via sökmotorer som "Scopus", "Google scholar" och "Diva portalen". Ytterligare information samlas in från relevanta företags hemsidor samt internationella organisationer inom robotik. Inom framtida applikationer kommer vi undersöka närliggande framtidsscenario med nuvarande teknik.

2 Litteraturstudie

I huvudsak har två olika jämförelser gjorts: kollaborativa robotar mot traditionella industrirobotar och kollaborativa robotar mot människor. I jämförelsen med kollaborativa robotar mot industrirobotar har information samlats in om nackdelar och fördelar för respektive typ. I jämförelsen kollaborativa robotar mot människor har insamlandet av information fokuserats på säkerhet, kommunikation och parternas respektive styrkor och svagheter.

2.1 Skillnaden mellan en traditionell industrirobot och en kollaborativ robot

En traditionell industrirobot är en programmerbar, självstyrd maskin som kan utföra komplexa arbetsuppgifter. Många traditionella industrirobotar är stora, tunga och används för att utföra de arbeten som är svåra eller farliga för en människa, till exempel lyfta stora laster i en fabrik. Traditionella industrirobotar utför normalt sett en uppgift och har en egen arbetszon isolerad från människor (Sherwani et al., 2020). Arbetszonerna är ofta isolerade med skyddsstängsel eller andra säkerhetsbarriärer för att skydda människor, se figur 1. Även om robotarna når säkerhetskraven för att undvika skyddsstängsel kan deras storlek upplevas skrämmande, vilket gör dem olämpliga för arbete i närheten av människor (Gustavsson, 2020).



Figur 1 – Traditionella industrirobotar arbetar på en bilram inom ett inhägnat område (ABB, 2015).

Kollaborativa robotar är däremot designade för att dela arbetsutrymme med människor och samarbeta med dem. Att dessa robotar inte behöver någon avdelad skyddszon och oftast är mindre och lättare än traditionella robotar, gör de enklare att flytta runt i fabriken. Omprogrammering av dessa robotar är enkel och bidrar till ökad flexibilitet (Sherwani et al., 2020). Flexibiliteten som kollaborativa robotar erbjuder är en tydlig kontrast mot den

traditionella industriroboten som noggrant programmeras av en utbildad programmerare för att utföra en specifik uppgift (Gustavsson, 2020).

Den allmänna definitionen av en kollaborativ robot är en robot anpassad för nära samarbete med människor i ett delat utrymme (Østergaard, 2017). Vad som är en kollaborativ robot är inte entydigt. Olika uppgifter involverar olika nivåer av samarbete, dessa interaktioner mellan människa och robot sammanfattas av Pichler (2017) genom fyra typer av samarbete:

- **Human-robot coexistence**, där människa och robot arbetar i samma utrymme, men på olika uppgifter.
- **Human-robot assistance**, där roboten passivt hjälper människan med en uppgift, exempelvis genom att lyfta tunga objekt.
- **Human-robot cooperation**, där både robot och människa samtidigt arbetar på en del, men med olika arbetsuppgifter på delen.
- **Human-robot collaboration**, där människa och robot samtidigt samarbetar koordinerat på samma arbetsuppgift

Olika företag har mer konkreta krav på vad en robot behöver för egenskaper för att vara en kollaborativ robot. Tillverkaren Universal Robots kräver att kollaborativa robotar har specifika egenskaper som skiljer dem från traditionella industrirobotar. Kollaborativa robotar ska inte behöva någon skyddszon avskild från människor. De ska vara tillräckligt säkra för människor att de kan arbeta i samma utrymme. Kollaborativa robotar ska vara lätta för operatörer att programmera, modifiera och använda. Kollaborativa robotar ska vara ett verktyg till människan, inte en ersättning av människan (Østergaard, 2017).

2.1.1 Fördelar och nackdelar med kollaborativa robotar

Sherwani (2020) jämför fördelarna och nackdelarna mellan robotar och människor, se tabell 1.

Tabell 1 - Tabell som jämför styrkor och svagheter för människa och robot (Sherwani et al., 2020).

Människa		Robot	
Fördelar	Nackdelar	Fördelar	Nackdelar
Fingerfärdighet	Fysisk svaghet	Fysisk styrka	Saknar processkunskap
Flexibilitet	Uttrötthet	Uthållighet	Saknar erfarenhet
Kreativitet	Stora felmarginaler	Noggrannhet	Saknar kreativitet
Beslutfattande	Låg produktivitet	Hög produktivitet	Inkapabel att fatta beslut

Tabellen visar att nackdelarna med människor är fördelarna med robotar och omvänt. Fördelen med en mänsklig arbetare är fingerfärdigheten och flexibiliteten som gör att de enkelt kan byta mellan arbetsuppgifter. Människor är också kreativa och kapabla till att fatta beslut. Bristen hos mänskliga arbetare är att de är svaga och blir trötta av fysiskt arbete. De behöver återhämta sig efter långa arbetspass vilket påverkar produktiviteten negativt. Med människor kommer stor felmarginal, som slarvfel och små variationer i produktionen. Svaghet, trötthet och stor felmarginal skapar lägre produktivitet hos mänskliga arbetare. Robotar däremot är starka, uthålliga och noggranna. De klarar av stora belastningar, behöver inte återhämta sig och gör inte slarvfel. Eftersom robotar saknar processkunskap, erfarenhet, kreativitet och är inkapabla till att fatta beslut, så måste de programmeras för att utföra en uppgift. Ett samarbete mellan människa och robot kompletterar nackdelarna med vardera part. Robotens styrka, uthållighet och noggrannhet kompletterar människans svaghet, trötthet och stora felmarginal. Samarbetet resulterar i ett flexibelt arbete samtidigt som produktiviteten är hög (Sherwani et al., 2020).

I och med programmeringskompetensen som krävs för att programmera traditionella industrirobotar, samt att det är opraktiskt att flytta en robotcell, så fungerar de bra för stora och viktiga uppgifter. Mindre uppgifter som inte sker lika ofta eller i samma volym ignoreras. Det blir dyrare att införskaffa och programmera en dedikerad traditionell industrirobot i jämförelse med att låta en människa utföra uppgiften. Det är för mindre uppgifter som kollaborativa robotar briljerar, då de är lättprogrammerade och smidigt går att flytta runt till olika arbetsplatser eftersom de inte behöver en skyddszon. De kan därmed enkelt byta arbetsuppgift som möjliggör att tidigare ignorerade uppgifter som gjorts för hand kan automatiseras, vilket i sin tur ökar effektiviteten av människans arbete (Sherwani et al., 2020).

Nackdelarna med kollaborativa robotar kommer i samband med säkerhetskraven vid arbete i närheten av människor. Kollaborativa robotar behöver begränsad hastighet och klarar inte av att lyfta samma vikter som traditionella industrirobotar (Arents et al., 2021).

2.2 Därför behövs kollaborativa robotar

Kollaborativa robotar kan utföra krävande och oergonomiska uppgifter med en outtröttlig noggrannhet (Elektroautomatik, u.å.). Det förbättrar både människans arbetsmiljö och fabriken produktivitet (Etteplan, u.å.).

2.2.1 Kollaborativa robotar som hjälpmedel för arbetare

Kollaborativa robotar förbättrar arbetsergonomin på industrianläggningar och det leder till att personalens effektivitet ökas och minskar antalet kvalitetsdefekter i produktionen. Till exempel kan en kollaborativ robot assistera en människa vid repetitiva och oergonomiska slutmonteringsuppgifter, se figur 2. Lika viktigt är att produktionseffektiviteten och produktionskvaliteten förbättras av kollaborativa robotar på produktionsanläggningar. Exempelvis går det att programmera dem att utföra arbetsuppgifter vid rätt tidpunkt eller hämta rätt antal komponenter till arbetsstationer utan några fel under arbetsprocessen. När det kommer till effektivitet klarar kollaborativa robotar många arbetsuppgifter samtidigt och betydligt snabbare jämfört med människor (Etteplan, u.å.).



Figur 2 - En kollaborativ robot utför slutmonteringen (Sandra, 2021).

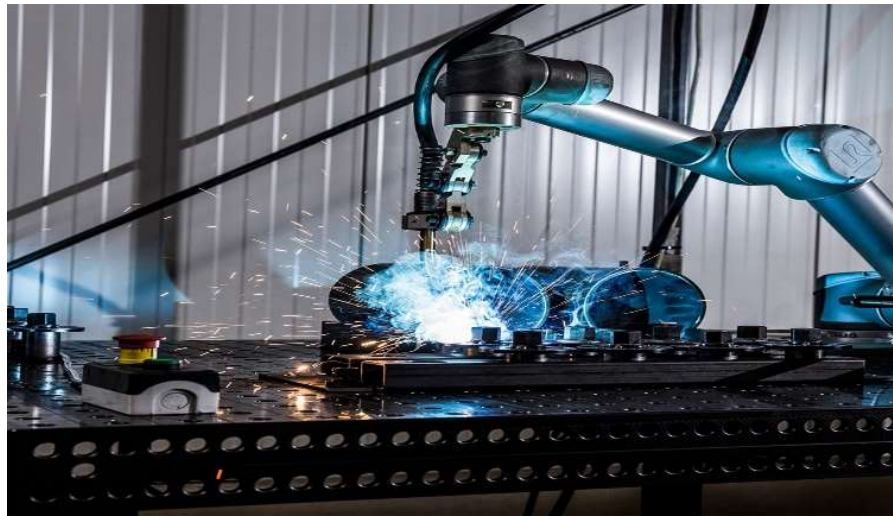
I och med att kollaborativa robotar är flexibla och omprogrammeringsbara, är det möjligt att snabbt kunna förändra produktionen. Flexibiliteten hos kollaborativa robot gör att produktionen blir effektivare och effektiv produktion medför även minskade kostnader för industrin (Svensk verkstad, 2017). Utifrån ett ekonomiskt perspektiv är det lönsamt att investera i kollaborativa robotar, eftersom investeringen återbetalar sig snabbt (Etteplan, u.å.).

2.2.2 Nuvarande arbetsuppgifter

Kollaborativa robotar är särskilt användbara för att utföra repetitiva arbetsuppgifter, hantera små laster eller sammanställningar. Några arbetsuppgifter där en kollaborativ robot kan användas:

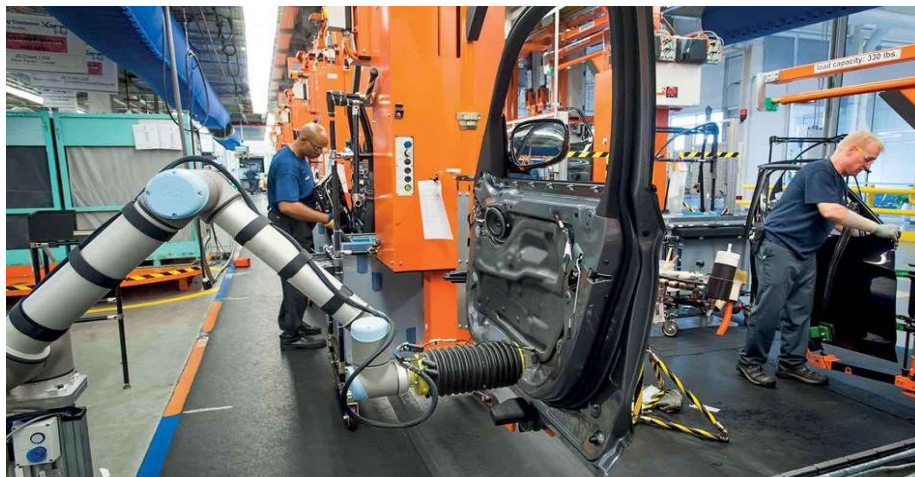
- Matning: en repetitiv arbetsuppgift som kan göras av kollaborativa robotar i samexistens med människor. Kollaborativa robotar matar in föremål i arbetsstationer.
- Plockning och placering: en repetitiv arbetsuppgift som snabbt kan utföras av kollaborativa robotar med hög precision.

- Montering: kollaborativa robotar kan minska monterings tiden och därmed öka produktionshastigheten.
- Ytbehandling: kräver mycket hög noggrannhet och skicklighet. Tack vare kollaborativa robotar och deras inbyggda sensorer kan denna typ av uppgift utföras med stor noggrannhet.
- Svetsning: kan orsaka brännskador eller skärsår, men kollaborativa robotar undviker dessa risker och utför arbetet med hög precision (Sandra, 2021), se figur 3. Kollaborativa svetsningsrobotar används mest för svetsuppgifter som tar längre tid och resultatet blir lika bra som om det görs manuellt (Ericsson, 2022).



Figur 3 - Kollaborativ robot vid svetsning (Migatronic, u.å.).

Det finns också kollaborativa robotar som kan känna om farliga gaser läcker ut på industrianläggningen och robotar som mäter koncentrationen av hälsofarliga dammpartiklar i luften på en arbetsplats (Arbetsliv, 2020). Exempel på stora fabriker som drar stor nytta av kollaborativa robotar är Ford, BMW, Mercedes Benz, Durr, Skoda och VW (KUKA, u.å.). Se figur 4.

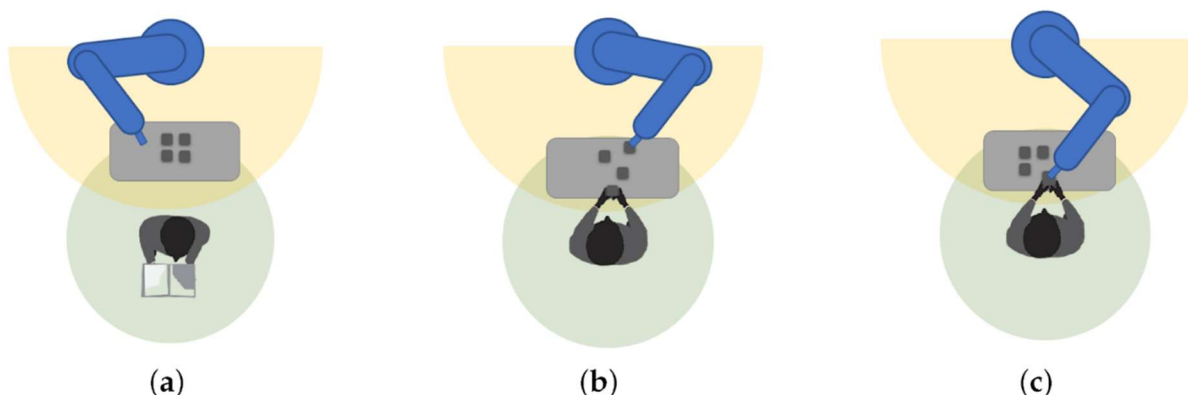


Figur 4 - En kollaborativ robot vid sammanställning av en bildörr (Universalrobots, u.å.).

2.3 Interaktion mellan människa och robot

För ett högpresterande människa-robot samarbete krävs en smidig interaktion mellan parterna, där roboten likt en människa upplever och analyserar omvärlden med sinnen och hjärna för att arbeta effektivt och säkert (Paliga, 2022). Syn- och känselsensorer används redan idag som säkerhetsfunktioner hos roboten, men kommer vara en viktig del i robotens informationsutbyte med människan i framtiden (Cherubini och Navarro-Alarcon, 2021).

Roboten kommer att få sinnliga intryck med hjälp av sensorer som sedan kan bearbetas med hjälp av datorkraft och algoritmer för att få en helhetsbild av situationen roboten befinner sig i. Maskininlärning, som är tänkt att ge datorer förmågan att lära sig saker utöver det den uttryckligen har i sin kod (Brown, 2021), kan komma att ge roboten en grad av intuition. Där kan den till exempel kan lära sig en människas rörelsemönster vilket är viktigt för att undvika farliga kollisioner (Fang et al., 2021).



Figur 5 - Olika grader av människa-robot samarbete: (a) samexistens, (b) samverkan och (c) samarbete (Arents et al., 2021).

Som tidigare nämnts i kapitel 2.1 finns olika grader av människa-robot samarbete där tre uppvisas i figur 5. Idag erbjuder ABB, KUKA och Universal Robots robotar som samexisterar eller samverkar med människor, men inte samarbetar (ABB, u.å.; KUKA AG, u.å.; Universal Robots, u.å.). För att människa-robot samarbete ska vara en möjlighet krävs lämpliga kommunikationstekniker som vi idag har bristande kunskap om (Gustavsson, 2020).

2.3.1 Samarbete mellan maskin och människa

För att människor ska acceptera en mer omfattande automation krävs en tillit till tekniken och medvetenhet om de risker som kommer med den. *“Trust, workload and risk have been identified as the major human factors affecting the use of automation technologies.”* (Michalosa et al., 2015, p. 251).

För ett bra samarbete mellan människor och robotar krävs även ömsesidig kommunikation med en optimerad informationsöverföring för att undvika faror. Eftersom kraven på effektivitet och flexibilitet ökar inom industrin så behöver människans och robotens styrkor nyttjas på bästa sätt, enligt Tabell 1.

Kommunikation kan ske på flera olika sätt. Ett alternativ är att använda en ickeverbal kommunikation där människan kan använda kroppsgester för att styra roboten (García-Esteban et al., 2021). Andra sätt är verbal kommunikation både för att ge instruktioner till roboten och att få information av den. Extended Reality (ER), däribland Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) samt Mixed Reality (MR), har blivit mer etablerat och är ett sätt för människor att kunna arbeta tillsammans med robotar i virtuella miljöer på ett säkrare sätt (Badia et al., 2022).

2.3.2 Dagens kommunikation mellan människa och robot

Idag är kommunikationen mellan människor och robotar begränsad (Michalosa et al., 2015). Det vanligaste exemplet är att operatören talar om för roboten att ett steg i processen är över via en knapptryckning. Det förekommer att robotar är medvetna om människors närvaro med hjälp av en sensor, till exempel en laserscanner. Kommer människan in i robotens arbetszon saktar den ner eller stannar (ABB, 2022). Det förekommer också att robotar varnar när operatören är i dess arbetszon med en lampa som tänds (ABB, u.å.). Kontaktsensorer är vanliga hos dagens kollaborativa robotar, vilket förhindrar skadliga kollisioner. Människor kan med hjälp av AR-glasögon även se var robotens arbetszon är vilket även det medför en säkrare arbetsplats (Michalosa et al., 2015).

En typ av kommunikation som kollaborativa robotar idag har stöd för är under programmeringsfasen där operatören kan guida en robotarm fysiskt genom processen den ska genomföra (så kallad lead-through-programmering), se figur 6, vilket underlättar omprogrammeringen för den ovana robotoperatören (Hultman, 2022).



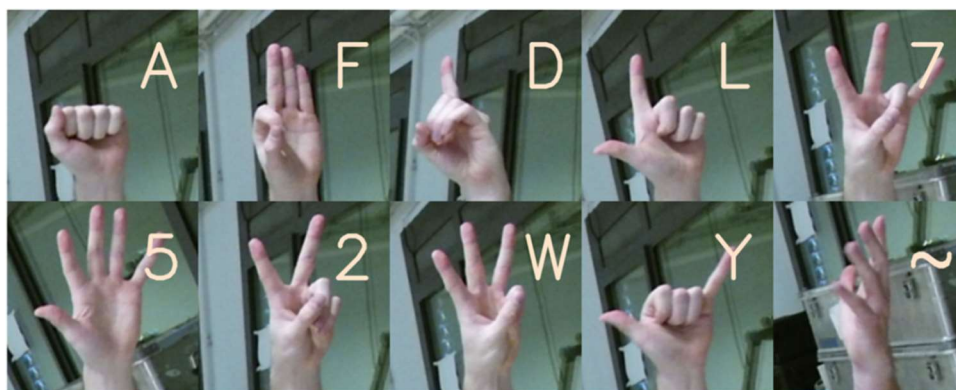
Figur 6 - Operatören använder lead-through-programmering för att bestämma hur roboten ska röra sig under drift (Elektroautomatik, u.å.).

2.3.3 Framtidens kommunikation mellan människa och robot

Gustavsson (2020) lyfter att interaktion mellan människa och robot kräver en ömsesidig kommunikation mellan parterna, där återkoppling går båda vägarna. Det är därför relevant att dela upp kommunikationsteknikerna i: människa-robot och robot-människa. Ett exempel på återkoppling från robot till människa sker via AR-glasögon där roboten ger instruktioner om hur en del ska monteras (Gustavsson, 2020).

Enligt Fang et al (2021) ger en multimodal kommunikationslösning ett robust och flexibelt system för människa-robot kommunikation, vilket innebär att flera kommunikationssätt används samtidigt och simultant. Där olika typer av sensorer samlar in data som analyseras och ger en bättre helhetsbild, likt en människa som använder flera sinnen parallellt. Enligt Cherubini och Navarro-Alarcon (2021) är kombinationen av visuell uppfattningsförmåga och beröring den mest använda kombinationen hos kollaborativa robotar idag, men menar att med billigare och bättre sensorer kan finkänslighet (hudsinne), djupseende och stereohörsel spela en stor roll i framtiden.

Mazhar et al (2019) presenterar teckenspråk som ett lovande alternativ för människa-robot kommunikation. Där en djupseende kamera på roboten läser av människans handgester, se figur 7, i realtid som matchas mot en databas och tolkar dess betydelse. Enligt Cherubini och Navarro-Alarcon (2021) har hörande system, som till exempel kan följa talaren, stor potential, men är idag ett område i behov av mer forskning.



Figur 7 - Exempel på handgester avlästa och tolkade av robot (Mazhar et al., 2019).

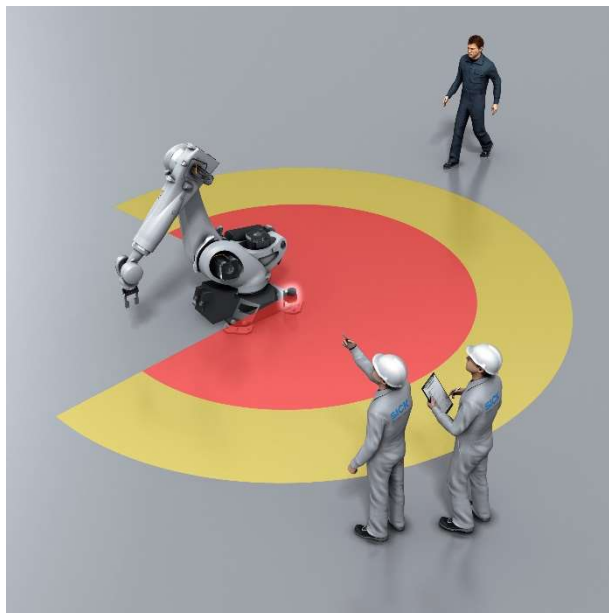
Maskininlärning är en betydande process när data från sensorer ska analyseras och användas enligt Fang et al. (2021), och kommer stärka interaktionen mellan människa och robot. I experiment har till exempel en robotarm skakat på ett antal burkar och med en avancerad algoritm analyserat datan från robotens inbyggda mikrofon för att känna igen och avgöra deras innehåll. Metoden som användes i experimentet lämpade sig bra i industrimiljö då den inte påverkades av bakgrundsbrus. Fang et al. (2021) förklarar att det är möjligt att använda samma metod med kameror och beröringssensorer, för att använda insamlade data från sensorerna på ett smartare sätt och då förstå omvärlden bättre.

2.4 Säkerhet och faror med kollaborativa robotar

Att arbeta tillsammans med robotar ställer höga krav på säkerheten eftersom det finns ett flertal faror som är förknippade med maskiner och industrirobotar. Bland annat kan det röra sig om höga mängder ström, elektromagnetisk strålning, farliga kemikalier och kollisioner med tunga objekt i höga hastigheter. Eftersom robotarna kan vara väldigt stora och tunga är kollisionsrisken den mest uppenbara säkerhetsrisken, som kan vara direkt livshotande eller orsaka allvarliga kläm-, skär-, riv- eller stickskadorna (Lee et al., 2021). Förutom att kollisionerna kan skada människor kan de även råka skada annan materiel (García-Esteban et al., 2021). Bristfällig kommunikation mellan robotar och människor kan vara en grundläggande orsak till att dessa faror uppstår. För att interaktionen ska kunna ske på ett säkert sätt är det därför viktigt att människor är fullt medvetna om robotens aktuella position och pågående aktiviteter (Badia et al., 2022). Detta kräver dels rätt kompetens hos personal, en väl utformad arbetsplats med tillräcklig skyddsutrustning och ett underlättat samarbete mellan robot och människa genom olika kommunikationsmetoder, till exempel verbal kommunikation eller VR.

Ofta när risker med kollaborativa robotar diskuteras tas de mekaniska och tekniska aspekterna upp, mer sällan nämns riskerna angående cyberattacker och de psykosociala aspekterna för människor som arbetar stor del av sin arbetstid med kollaborativa robotar. En orsak kan vara att det är svåröverskådligt och mer diffust än de tekniska lösningarna som ofta ger mer direkta och förutsägbara resultat. Berx et al. (2022) diskuterar om olika åldrar i säkerheten, där fokus på tekniken och de mekaniska aspekterna ingår i första åldern. Den andra är de mänskliga faktorerna, där det fortfarande behöver göras betydligt mer forskning. Säkerhetssystem och dess hantering ingår i tredje åldern. Den fjärde och femte handlar om samtida säkerhetstänkande.

Vad gäller risken för cyberattacker kan det tänkas att systemet blir hackat vilket kan medföra flera potentiella risker förutom den mest uppenbara att information stjäls. Dels kan den som gör intrång ta direkt kontroll över de kollaborativa robotarna och äventyra säkerheten för operatörerna, men en attack kan även medföra långsammare dataprocessering och därmed orsaka potentiella faror i fabriken (Berox et al., 2022). Det måste göras en noggrann planering innan en kollaborativ robot tas i bruk, bland annat måste säkerhet och produktivitet vägas mot varandra. Trots att målet med kollaborativa robotar är att öka produktiviteten finns det exempel där införandet av robotarna inneburit en lägre produktivitet. Det är framför allt när robotarna ofta måste arbeta i lägre hastighet på grund av mänsklig aktivitet i området som produktiviteten minskar. Se figur 8, den kollaborativa roboten kan arbeta i full hastighet när människan befinner sig i utanför fältet, med reducerad hastighet i det gula fältet och stanna helt när människan befinner sig i det röda fältet (Magrini et al., 2020).



Figur 8 - Säkerhetszoner för människa-robotsamarbete med hastighetsövervakningsteknik (SICK USA Blog, 2019)

Det är omtvistat om kollaborativa är för säkra eller om säkerheten måste vara ännu högre. De som argumenterar för att säkerheten är för hög menar att det inte går att ha en helt säker arbetsplats och som det ser ut idag riskeras produktiviteten bli för låg (Berx et al., 2022).

Det behöver också tas i beaktning att kollaborativa robotar är en relativt ny teknik. Det är endast ett decennium sedan de togs i bruk i större skala och det sker fortfarande stor utveckling av kollaborativa robotar. Detta medför att det är många defekter och arbetsmetoder som inte kommit på plats ännu för att kunna garantera en säker arbetsmiljö.

“In safety, the typical learning cycle is based on the fact that unexpected technical and interaction failures with new technologies and processes lead to design updates and an improved operational understanding.”

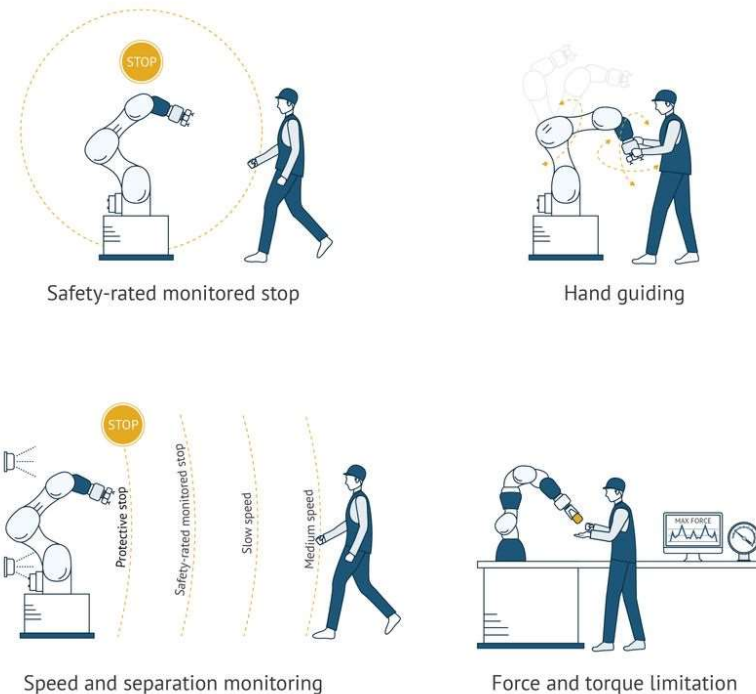
(Berx et al., 2022, p. 7)

2.4.1 Utformning av arbetsplats

För att kunna utforma en säker arbetsplats finns olika ISO-standarder. Säkerhetsstandarden ISO-10 218 och den tekniska specifikationen ISO TS 15 066 identifierar fyra olika former av samarbete med robotsystem, se figur 9. Dessa fyra former av samarbete är som följer (Magrini et al., 2020):

- **Safety-rated monitored stop - SMS.** Roboten stannar när en människa kommer in i robotens arbetsområde, men är fortsatt strömsatt och börjar arbetet igen när människan lämnat säkerhetszonen. Det här är den enklaste formen av samarbete som gör att robot och människa inte kan arbeta i samma område samtidigt.
- **Hand guiding - HG.** I den här formen av samarbete leder människan robotens arm till den önskade positionen manuellt, vilket gör att roboten kan lära sig göra ett visst moment utan att ytterligare utrustning behövs för att programmera den.

- **Speed and separation monitoring - SSM.** Här anpassar roboten sin hastighet baserat på sin omgivning. Roboten gör en avvägning hur snabbt den kan röra sig baserat på hur långt ifrån och med vilken hastighet som omgivande människor rör sig.
- **Power and force limiting - PFL.** Under denna del ingår effekt- och momentbegränsningar för att minimera skador ifall en kollision med en människa skulle uppstå.



Figur 9 - Olika typer av säkerhetsfunktioner hos kollaborativa robotar (Wevolver, 2020).

För att upprätthålla dessa standarder använder roboten olika detekteringsmekanismer och kan upptäcka rörelser för att därefter anpassa sin hastighet och därmed förhindra att en kollision inträffar (García-Esteban et al., 2021). Detta kan genomföras med hjälp av kameror och/eller lasrar samt sensorer av olika slag som mäter bland annat position, tryck och hastighet (Hietanen et al., 2020). Utifrån detta kan olika säkerhetszoner skapas där roboten kan stängas av eller ändra hastighet ifall en människa befinner sig i säkerhetszonen, se figur 8. För att upprätthålla dessa standarder använder roboten olika detekteringsmekanismer och kan upptäcka rörelser för att därefter anpassa sin hastighet och därmed förhindra att en kollision inträffar (García-Esteban et al., 2021). Detta kan genomföras med hjälp av kameror och/eller lasrar samt sensorer av olika slag som mäter bland annat position, tryck och hastighet. (Hietanen et al., 2020). Utifrån detta kan olika säkerhetszoner skapas där roboten kan stängas av eller ändra hastighet ifall en människa befinner sig i säkerhetszonen, se figur 8.

2.5 Framtida arbetsuppgifter

Idag har det redan börjat göras förbättringar av kollaborativa robotar. De flesta kollaborativa robotar har idag sensorer och kameror som utvecklats och effektiviserats till att ha blivit pålitliga nog för att inte riskera hot eller skador på arbetarna och produkterna. Industrial Internet of Things (IIoT) har gjort kollaborativa robotar mer utvecklade och tekniken ser ut att gå framåt inom de kommande åren. Robotarna har med hjälp av IIoT blivit uppkopplade på nätet som leder till visuella bilder på maskinerna och produktionen, värdefulla data och analyser och därför blivit mycket viktiga för testning och provkörning av diverse produktionsflöden. Arbetarna kan i framtiden ägna sin tid åt andra utmaningar och uppgifter inom företagen. I framtiden är ett mål att personer med lite kunskap och erfarenhet ska kunna programmera kollaborativa robotar som förhoppningsvis kan lösas med hjälp av exempelvis enkla appar i mobiltelefonen, som ska kunna användas av operatörerna för att skapa program som styr robotarna. Kollaborativa robotar kan till och med börja programmera in egna rörelser själva som blivit anpassade av robotens analyser och bedömningar tack vare kopplingen till IIoT och en mer utvecklad AI (IPG Photonics, 2020).

Enligt ABI Research som gjort undersökning på marknaden för kollaborativa robotar från 2021 låg det globala värdet på 600 miljoner dollar och enligt ABI:s vision skulle värdet befinna sig på 8 miljarder dollar 2030 vilket innebär en beräknad tillväxt på 32,5 procent per år (Michie, 2021).

Kollaborativa robotar kommer att bli mer omfattande och flexibla i framtiden då den artificiella intelligensen ständigt utvecklas. Till exempel kommer robotarna utföra kognitiva uppgifter ännu noggrannare och när det gäller precision kommer det ske mer exakt. Dessutom kommer kommunikationen mellan olika databaser, nätverk och komponenter tack vare IIoT optimera och effektivisera olika typer av produktionsflöden. I framtiden uppskattar Korneti (2021) att kollaborativa robotar kommer beräkna värden på förhand och förslå förbättringsmöjligheter i produktionsflöden.

2.5.1 Kollaborativa robotars roll i Industri 4.0

Industri 4.0 (IR 4.0) som också kallas den fjärde industriella revolutionen är ett samlingsord för ett antal datadrivna tekniker och begrepp inom automation och tillverkning. Internet of Things (IoT) är ett exempel på en teknik som ingår i IR 4.0 som innebär att både produkterna och produktionen är uppkopplade och kan styras över nätet (Saratchandran, 2022). Flera fördelar med att ha industrimaskiner uppkopplade är att det möjliggör en enkel uppdatering av mjukvara och att maskinen kan meddela när service och underhåll behövs (Hultman, 2022).

Det stora målet inom IR 4.0 är att ha en fullständigt automatiserad produktion där inga arbetare behövs på fabriksgolvet. Idag finns det en del industrier som i stort sett uppnått detta mål. Ett exempel på detta är Philips tillverkning av rakapparater i Nederländerna, där de endast har arbetare i slutet av produktionen i form av specialister (Markoff, 2012).

När kollaborativa robotar används i komplexa IR 4.0-miljöer implementeras de på platser där människor arbetar. Anledningen till detta är att operatörer ser till att de kollaborativa robotarna både tar emot och skickar tillbaka data och information till andra IoT-system och enheter. Kollaborativa robotar har också varit till stor nytta för företag som inte haft möjlighet att införskaffa traditionella industrirobotar. Eftersom kollaborativa robotar är flexibla, billiga och enkla att programmera kan de automatisera processer åt företag som inte har råd att helt övergå till IR 4.0. På grund av dessa egenskaper kan kollaborativa robotar i framtiden gynna företag av olika storlek och se till att de tillhör den senaste utvecklingen av automatiserad industri även om det inte är IR 4.0 (Østergaard, 2017).

3 Resultat och analys

Här kommer den insamlade informationen behandlas och tolkas i förhållande till de grundläggande frågeställningarna.

3.1 Säkerhetsmässiga utmaningar med kollaborativa robotar i tillverkande industri

Det finns flera säkerhetsmässiga utmaningar för kollaborativa robotar, exempelvis lyfts kommunikation mellan robot och människa upp som ett område med stor förbättringspotential då möjligheterna för kommunikation är begränsade. En annan stor utmaning vad gäller kollaborativa robotar inom industrin är att möjliggöra en säker arbetsmiljö som samtidigt bibehåller en hög produktivitet och ekonomisk effektivitet. Eftersom kollaborativa robotar bidrar till god flexibilitet och konkurrenskraftig industri på ett sätt som traditionella industrirobotar inte klarar av är det av stor vikt att de säkerhetsåtgärder som tas i det riskförebyggande arbetet inte sker på bekostnad av produktiviteten. Det blir en balansgång mellan säkerhet och effektivitet, samtidigt som det är omtvistat ifall kollaborativa robotar är för säkra eller behöver bli ännu säkrare, vilket kan läsas om i 2.4.

Det finns ett flertal tillvägagångssätt som idag används för att komma till rätta med de säkerhetsmässiga utmaningarna. Bland annat i utformningen av arbetsplatsen där personal ska ha god kompetens och tillräcklig skyddsutrustning enligt de säkerhetsstandarder som finns, se 2.4.1. Utformningen av arbetsplatsen utvecklas i takt med den tekniska utvecklingen av kollaborativa robotar, som är en förhållandevis ung teknik som endast varit i bruk i ungefär ett decennium i större skala. Den tekniska utvecklingen av kollaborativa robotar har därmed central betydelse för att komma till rätta med alla arbetsmetoder och defekter som är kopplade till dem.

3.2 Applikationer för kollaborativa robotar

I dag används kollaborativa robotar för att utföra repetitiva arbetsuppgifter där traditionella industrirobotar inte är en effektiv lösning. Det är arbetsuppgifter som är repetitiva och oergonomiska för människor, men som inte sker i tillräckligt stor volym för att en traditionell industrirobot skulle vara lösningen. Det är vid de arbetsuppgifter som inte sker lika ofta där kollaborativa robotar excellerar, som tagits upp i 2.1.1, i och med flexibiliteten som roboten medför. De är lättprogrammerade och kan enkelt byta arbetsuppgifter, samt är smidiga att flytta runt till olika delar av arbetsplatsen då de inte behöver en skyddszon, en kontrast till de traditionella industrirobotarna som kräver både hög programmeringskompetens och är opraktiska att flytta runt.

Olika repetitiva arbetsuppgifter en kollaborativ robot är lämplig för kan vara plockning och placering, montering, ytbehandling, svetsning och matning av föremål i arbetsstationer. Dessutom finns det kollaborativa robotar som kan säkerställa arbetsmiljön på

industrianläggningen, exempelvis genom att känna av om farliga gaser läcker ut på industrianläggningen eller om det finns höga halter av hälsofarliga dammpartiklar i luften på en arbetsplats, som det står om i 2.2.2.

Kollaborativa robotar förbättrar arbetsergonomin på industrianläggningar och det medför att personalens effektivitet ökas. Vilket i sin tur leder till att antalet kvalitetsdefekter i produktionen minskas. Eftersom kollaborativa robotar är omprogrammeringsbara, är det möjligt att snabbt ändra produktionen efter behov. I och med att kollaborativa robotar klarar många olika arbetsuppgifter leder det till ökad produktivitet inom industrin.

3.3 Framtidens applikationer för kollaborativa robotar

Vi är nu inne i den fjärde industriella revolutionen, vilket innebär att industrin har börjat digitaliseras och fler maskiner blir uppkopplade och ihopkopplad via internet. Maskiner kan då styras centralt och även samla in en stor mängd data kontinuerligt. Kollaborativa robotar är ett exempel på uppkopplade maskiner och ses som en viktig komponent i IR 4.0, som tagits upp i 2.5.1. Data som samlats in processas och analyseras sedan med hjälp av algoritmer, som är kodade eller "upplärda" med maskininlärning, vilket kan användas i ett effektiviseringsarbete. Tack vare IR 4.0 och digitaliseringen kommer fabriker lättare kunna möta kraven på en mer flexibel produktion med större andel skräddarsydd tillverkning, eftersom maskinerna blir medvetna om vilken produkt de arbetar med samtidigt som just kollaborativa robotar är mycket flexibla och lätt kan byta mellan arbetsuppgifter, som tagits upp i 2.1.

Kollaborativa robotar kan komma att bli en snabb och säker länk mellan människa och maskin på fabriksgolvet, där roboten kan assistera, informera och vägleda den mänskliga operatören på en produktionslinje. Roboten kan till exempel förse människan med komponenter och verktyg, samtidigt som den instruerar människan hur ett visst moment går till. Robotarna kan också samla in data som människan kan använda exempelvis på förbättringsmöjligheter för olika produktionslinjer och produktionssystem, som tagits upp i 2.5.

Samarbetet mellan människa-kollaborativ robot är idag i form av samexistens eller samverkan, där robotens säkerhetsfunktioner gör det möjligt för människan att vistas i samma utrymme som roboten eller att människa-robot arbetar med en produkt växelvis, se 2.1. För att nå en högre grad av samarbete krävs nya tekniker som idag är under utveckling. Det krävs smartare sensorer och att data som samlas in från dem kan processas ögonblickligen, vilket idag inte sker på önskad nivå, för att roboten likt en människa omedelbart kan reagera på omvärlden. Med hjälp av maskininlärning öppnas möjligheten att ge robotar en viss typ av intuition där den kan hitta mönster i arbetet och själv lära sig att till exempel förutspå hur sin mänskliga kollega rör sig eller vilka verktyg roboten förväntas ge. Den kan också på samma sätt effektivisera sig själv för att arbeta snabbare och säkrare, som tagits upp i 2.3.

För att nå visionen om robotmedhjälparen krävs en mångfacetterad kommunikationslösning, där roboten kommer att hämta intryck med hjälp av olika typer av sensorer - till exempel kameror, känselsensorer, trycksensorer och mikrofoner, som motsvarar mänskliga sinnen. Data

från dessa sensorer behövs sedan analyseras omgående med en maskininlärd algoritm som inte bara ger roboten en överblick av situationen, utan också möjligheten att utföra rörelser som den själv har lärt sig, som nämnts i 2.3.2. Dessutom finns planer på att kollaborativa robotar till exempel ska kunna godkänna produkter eller delar som har sammanställts innan det skickas vidare i produktionslinan. Idag saknas tillräckligt goda kunskaper om exakt vilka sensorer som krävs i vissa situationer och ett bra sätt att analysera data tillräckligt snabbt.

Idag växer marknaden för kollaborativa robotar snabbare än någonsin, och omsättningen för segmentet har en ökningstakt på 32% per år. I och med att kollaborativa robotar är mindre, lättare att programmera och billigare jämfört med traditionella industrirobotar har det blivit möjligt för mindre företag att automatisera delar av sin produktion, som tagits upp i 2.5.1.

4 Diskussion och Slutsatser

Syftet med detta arbete var att undersöka användningen av kollaborativa robotar inom den tillverkande industrin och vilka säkerhetsmässiga utmaningar som finns vid implementering, men även undersökt applikationer för kollaborativa robotar i närliggande framtid.

Vi har konstaterat att kollaborativa robotar bidrar till ett stort antal förbättringar inom industrin, såväl ergonomiska som ekonomiska. De ersätter människan i arbetsuppgifter som är repetitiva, monotona och oergonomiska. I dagsläget framstår flexibiliteten vara den mest attraktiva egenskapen hos kollaborativa robotar jämfört med traditionella robotar. Kollaborativa robotar kan arbeta utan skyddszon och är smidiga att flytta runt. De är dessutom lättprogrammerade vilket innebär att de enkelt kan byta arbetsuppgift. Ökad flexibilitet innebär dock begränsningar på den kollaborativa robotens hastighet och effekt för att den ska vara säker när den arbetar i samma utrymme som människor. Traditionella industrirobotar är fortfarande mer effektiva om arbetsuppgiften inte varierar då de är fysiskt avgränsade kan de ha högre hastighet och effekt än kollaborativa robotar, se 2.1.

Kollaborativa robotar är en relativt ung teknik och därmed finns många utmaningar som ännu inte är helt lösta, till exempel är kommunikativa och säkerhetsmässiga delar ännu inte fulländade. Kollaborativa robotar har idag olika typer av sensorer som känner av aktivitet i sitt säkerhetsområde, ifall en människa kommer närmare så drar roboten ned hastigheten och är människan för nära stannar den helt. Därför blir det en balansgång mellan säkerhet och produktivitet, då robotens effekt och hastighet begränsas.

Vi kan konstatera att kollaborativa robotar har både styrkor och svagheter. Som nämnts i 2.1.1 är fördelarna med kollaborativa robotar bland annat dess uthållighet och precision jämfört med människor, och svagheter är bland annat att de inte kan fatta egna beslut, saknar kreativitet och erfarenhet. Det är motiverat för företag inom den tillverkande industrin att använda kollaborativa robotar i sin tillverkning av flera anledningar. Exempelvis för att avlasta sin personal från slitsamma arbetsuppgifter. Införandet av kollaborativa robotar kan även öka konkurrenskraften, resultera i en större flexibilitet i produktionen samt en större ekonomisk effektivitet, vilka är viktiga faktorer för tillväxt inom ett företag.

Då vi samlat information huvudsakligen genom faktainsamling så är rapportens information begränsad till vår egen förmåga att samla in samt bearbeta de texter som använts. Att använda och förlita sig mer på empiriska metoder och intervjuer med experter på området hade gett ett bredare perspektiv på ämnet. En del data är även insamlat från företags hemsidor vilket ger en risk för vinklad information.

Vårt arbete har visat styrkor och svagheter med kollaborativa robotar. När de implementeras på rätt sätt kan lönsamheten ökas, men felaktig användning kan leda till det motsatta. De har idag hög säkerhet men det finns utrymme för utveckling inom detta område för att nå en bättre balans mellan säkerhet och effektivitet. I den närliggande framtiden ser vi ett ökat behov av

uppkopplade maskiner och artificiell intelligens inom den tillverkande industrin, där kollaborativa robotar kan vara en del av lösningen.

5 Referenser

ABB, 2022. ABB's Collaborative Robot -YuMi [Online].

URL <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/irb-14000-yumi> (Hämtad 9.22.22).

ABB, 2015. ABB wins \$52 million robots order to boost manufacturing flexibility at Ford's newest China factory [Online].

URL <https://new.abb.com/news/detail/13892/abb-wins-52-million-robots-order-to-boost-manufacturing-flexibility-at-fords-newest-china-factory> (Hämtad 9.22.22).

ABB, u.å. Så funkar det: Cobot [Online].

URL <https://new.abb.com/se/om-abb/teknik/sa-funkar-det/cobot> (Hämtad 9.9.22a).

ABB, u.å. CRB 1100 [Online].

URL <https://new.abb.com/products/robotics/collaborative-robots/crb-1100> (Hämtad 9.23.22b).

Arents, J., Abolins, V., Judvaitis, J., Vismanis, O., Oraby, A., Ozols, K., 2021. Human–Robot Collaboration Trends and Safety Aspects: A Systematic Review. J. Sens. Actuator Netw. 10, 48. <https://doi.org/10.3390/jsan10030048>

Badia, S.B. i, Silva, P.A., Branco, D., Pinto, A., Carvalho, C., Menezes, P., Almeida, J., Pilacinski, A., 2022. Virtual Reality for Safe Testing and Development in Collaborative Robotics: Challenges and Perspectives. Electronics 11, 1726. <https://doi.org/10.3390/electronics11111726>

Berx, N., Adriaensen, A., Decré, W., Pintelon, L., 2022. Assessing System-Wide Safety Readiness for Successful Human–Robot Collaboration Adoption. Safety 8. <https://doi.org/10.3390/safety8030048>

Brown, S., 2021. Machine learning, explained | MIT Sloan [Online].

URL <https://mitsloan.mit.edu/ideas-made-to-matter/machine-learning-explained> (Hämtad 9.27.22).

Cherubini, A., Navarro-Alarcon, D., 2021. Sensor-Based Control for Collaborative Robots: Fundamentals, Challenges, and Opportunities. Front. Neurorobotics 14.

Ericsson, K., 2022. Kan man svetsa med cobot? [Online].

URL <https://alltinomsvets.se/blogs/sa-funkar-det/kan-man-svetsa-med-cobot> (Hämtad 10.11.22).

- Fang, B., Fang, C., Wen, L., Manoonpong, P. (Eds.), 2021. Integrated Multi-modal and Sensorimotor Coordination for Enhanced Human-Robot Interaction, Frontiers Research Topics. Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/978-2-88966-844-1>
- García-Esteban, J.A., Piardi, L., Leitão, P., Curto, B., Moreno, V., 2021. An Interaction Strategy for Safe Human Co-Working with Industrial Collaborative Robots, in: 2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS). Presented at the 2021 4th IEEE International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems (ICPS), pp. 585–590. <https://doi.org/10.1109/ICPS49255.2021.9468160>
- Gustavsson, P., 2020. Virtual Reality Platform for Design and Evaluation of the Interaction in Human-Robot Collaborative Tasks in Assembly Manufacturing. University of Skövde, Skövde.
- Hietanen, A., Pieters, R., Lanz, M., Latokartano, J., Kämäräinen, J.-K., 2020. AR-based interaction for human-robot collaborative manufacturing. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 63, 101891. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101891>
- IPG Photonics, 2020. Peek into the Future of Collaborative Robots - Robotic Integration Blog. Genes. Syst. URL <https://www.genesis-systems.com/blog/peek-into-the-future-of-collaborative-robots> (Hämtad 9.23.22).
- EA, u.å. Kollaborativa robotar och arbetsmiljöer, för ökad flexibilitet [Online]. URL <https://elektroautomatik.se/tjanster/kollaborativa-robotar-och-arbetsmiljoer/> (Hämtad 9.29.22).
- KUKA, u.å. Människa-robot-samarbete inom produktionen | KUKA AG [Online]. URL <https://www.kuka.com/sv-se/future-production/samarbete-mellan-m%c3%a4nniska-och-robot> (Hämtad 9.23.22).
- Lee, K., Shin, J., Lim, J.-Y., 2021. Critical Hazard Factors in the Risk Assessments of Industrial Robots: Causal Analysis and Case Studies. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2021.07.010>
- Magrini, E., Ferraguti, F., Ronga, A.J., Pini, F., De Luca, A., Leali, F., 2020. Human-robot coexistence and interaction in open industrial cells. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 61, 101846. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101846>
- Markoff, J., 2012. Where's My Robot? [Online]. URL <https://techonomy.com/video/wheres-my-robot/> (Hämtad 9.23.22).
- Mazhar, O., Navarro, B., Ramdani, S., Passama, R., Cherubini, A., 2019. A real-time human-robot interaction framework with robust background invariant hand gesture detection. Robot. Comput.-Integr. Manuf. 60, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.05.008>

- Michalosa, G., Makrisa, S., Tsarouchia, P., Guaschb, T., Kontovrakisa, D., Chryssolourisa, G., 2015. Design Considerations for Safe Human-robot Collaborative Workplaces. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.014>
- Michie, 2021. The Future of Cobots. [Online].
URL <https://www.searchingindustrial.com/media/4174/the-future-of-cobots> (Hämtad 9.23.22).
- Migatronic, u.å. CoWelder, din nya svetsassistent kanske är en robot. [Online].
URL <https://www.migatronic.com/se/produkter-och-loesningar/svetsmaskiner/cowelder/> (Hämtad 9.23.22)
- Østergaard, E.H., 2017. THE ROLE OF COBOTS IN INDUSTRY 4.0. *Univers. Robot.* 14.
Paliga, M., 2022. Human–cobot interaction fluency and cobot operators’ job performance. The mediating role of work engagement: A survey. *Robot. Auton. Syst.* 155, 104191. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2022.104191>
- Pichler, A., Akkaladevi, S.C., Ikeda, M., Hofmann, M., Plasch, M., Wögerer, C., Fritz, G., 2017. Towards Shared Autonomy for Robotic Tasks in Manufacturing. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.139>
- Rega, A., Di Marino, C., Pasquariello, A., Vitolo, F., Patalano, S., Zanella, A., Lanzotti, A., 2021. Collaborative Workplace Design: A Knowledge-Based Approach to Promote Human–Robot Collaboration and Multi-Objective Layout Optimization. *Appl. Sci.* 11, 12147. <https://doi.org/10.3390/app112412147>
- Sandra, 2021. Collaborative robotics: benefits and new trends in the industry. *ATRIA Innov.*
URL <https://www.atriainnovation.com/en/collaborative-robotics-benefits-and-new-trends-in-the-industry/> (Hämtad 9.29.22).
- Saratchandran, V., 2022. Cobots and The Future of Manufacturing: A Quick Glimpse! - Fingent Technology [Online].
URL <https://www.fingent.com/blog/cobots-and-the-future-of-manufacturing-a-quick-glimpse/> (Hämtad 9.23.22).
- Segura, P., Lobato-Calleros, O., Ramírez-Serrano, A., Hernández-Martínez, E.G., 2022. Safety assurance in human-robot collaborative systems: A survey in the manufacturing industry. *Procedia CIRP, Leading manufacturing systems transformation – Proceedings of the 55th CIRP Conference on Manufacturing Systems 2022* 107, 740–745. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2022.05.055>
- Sherwani, F., Asad, M.M., Ibrahim, B.S.K.K., 2020. Collaborative Robots and Industrial Revolution 4.0 (IR 4.0), in: 2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies

(ICETST). Presented at the 2020 International Conference on Emerging Trends in Smart Technologies (ICETST), pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/ICETST49965.2020.9080724>

SICK USA Blog, 2019. Collaborative Robot Safety Made Simple

URL <https://sickusablog.com/collaborative-robot-safety-made-simple/> (Hämtad 10.18.22).

Universal Robots, u.å. Det här är coboten. [Online].

URL <https://www.universal-robots.com/se/produkter/ur20-robot/> (Hämtad 9.23.22).

Wevolver, 2020. Safety features for Cobots [Online].

URL <https://www.wevolver.com/article/designing-collaborative-robots-maximizing-productivity-and-safety> (Hämtad 9.28.22).

Bilaga 1 – Mailintervju med Erik Hultman, lektor vid Inst. för Elektricitetslära på Ångström samt ansvarig för kursen robot- och automatiseringsteknik. (2022-09-26)

1. Alltmer blir uppkopplat till internet och molntjänster ju närmare industri 4.0 vi kommer, hur ser det ut med säkerhet vad gäller risk för hacking av kollaborativa robotar ifall de blir uppkopplade?

Uppkoppling är som ni nämner något som verkligen är hett inom modern industri/automation, inte minst robotik. Syftet kan vara insamling av data, processtyrning, service, fjärrstyrning, uppdateringar etc. Självklart är säkerhetsfrågor högt prioriterade, inte minst med tanke på att stillestånd eller haverier kan bli extremt kostsamma. Det här är egentligen inte en specifik fråga för kollaborativa robotar, utan berör alla typer av industrirobotar och annan automationsutrustning som kopplas upp.

2. Vilka är de stora fördelarna med kollaborativa robotar? Finns det några stora nackdelar?

Som fördelar kan nämnas att en mer öppen produktionsmiljö uppnås (då robotarna inte behöver avskärmas från människor), att de möjliggör samarbete mellan robot och människa (roboten kan tex utföra en repetitiv uppgift i samverkan med en operatör) och att kollaborativa robotar ofta är enklare att handhålla för en ovan operatör (tex genom lead-through-programmering där operatören kan guida robotarmen fysiskt genom processen). Som nackdelar kan nämnas att kollaborativa robotar behöver arbeta långsammare, med lägre hanteringsvikter och ofarliga processer (pga säkerhetsrestriktioner) och att de är dyrare att investera i.

3. Vilka är de säkerhetsmässiga utmaningarna för kollaborativa robotar idag och i framtiden?

Om vi pratar personsäkerhet så handlar det mycket om att hitta lösningar för hög produktivitet kombinerat med kollaborativitet. Som nämnt ovan behöver alla kollaborativa robotar arbeta i lägre hastigheter och med lägre krafter så länge människor finns i dess närhet. Här finns rent fysiska begränsningar som inte går att bygga bort helt (höga hastigheter med stora krafter ger hög impact och därmed skada vid kollision även om roboten stannar snabbt). Att hitta smarta lösningar som ökar produktiviteten för kollaborativa robotar är alltså önskvärt. Förenklad interaktion/programmering är något annat som man också jobbar mycket med. Det senare gäller även traditionella robotar, men eftersom kollaborativa robotar ofta kommer "närmare operatören" så finns ett större behov där.

4. När är vi i IR 4.0 respektive IR 5.0?

Vi är i en spännande tid där utvecklingen inom industriella produktionssystem går mycket snabbt. Den fjärde industriella revolutionen (som handlar om digitalisering, uppkoppling och flexibilitet) pågår för fullt. I många fall har man arbetat med detta länge och kommit långt, medan andra just har börjat sin resa. I mångt och mycket skulle jag säga att det handlar om att ta tillvara på de möjligheter som digitalisering erbjuder, dvs det är lite av en kontinuerlig utveckling utan tydlig slutpunkt. Samtidigt som den tekniska utvecklingen går snabbt förändras också världen omkring oss, inklusive vårt förhållande till tekniken, vilket nu mynnat ut i det som börjat formuleras som den femte industriella revolutionen och överlappar med IR4. I IR5 är tanken att fokus flyttas tillbaka något från tekniken till människan och frågor som berör uthållighet och hållbarhet prioriteras. Många företag har redan börjat arbeta seriöst med dessa frågor och jag skulle därmed säga att IR5 redan inletts, kanske kan man säga att IR4+5 kompletterar varandra.