

Human-Robot Collaboration i Industri 5.0

Et litteraturstudie af nuværende og fremtidige implikationer ved brug af robotteknologi

Speciale i Digital Transformation & Informatik

Ida Skovgaard Stockmarr 66396

Silas Schotte Bendixen 53155

Troels Bach Gregersen 66409

Antal tegn: 148.615

Vejleder: Mika Yasuoka Jensen

Abstract

Through a systematic literature study, this thesis examines the current practice of Human-robot collaboration (HRC) in manufacturing companies and how sustainability principles in Industry 5.0 are contributing to a more human-centric approach. The literature review reveals that the collaboration between cobots and humans in Industry 4.0 and 5.0 plays a crucial role in the future of production companies. Cobots have the potential to revolutionize work methods and production environments, but challenges related to their implementation and use in HRC are identified. The early stage of Industry 5.0 and the lack of standards for developing design matching its development are contributing factors to the low level of Industry 5.0 compatibility in the industry. Literature shows that cobots often end up being used as traditional industrial robots, thus not cooperating with humans to the expected degree. Real-time interaction is necessary to maintain a favourable HRC working environment; however, configuring cobots for dynamic environments presents safety and productivity challenges. By utilizing Schryen's '*Writing Qualitative IS Literature Reviews*', the PRISMA framework, and Grounded Theory, this thesis provides a comprehensive examination of HRC in manufacturing companies and highlights the challenges and opportunities for achieving a more human-centric and sustainable approach in Industry 5.0.

Indholdsfortegnelse

MOTIVATION.....	3
PROBLEMFORMULERING	6
<i>Arbejdsspørgsmål:</i>	6
BEGREBSAFKLARING	7
AFGRÆSNING.....	8
METODE.....	9
1. SØGNING OG VURDERING	10
PRISMA	10
<i>Grounded Theory</i>	10
2. SYNTSE.....	11
3. FORTOLKNING & VEJLEDNING.....	11
4. KONKLUSION.....	12
FASE 1: SØGNING OG VURDERING.....	13
SØGNING	13
PRISMA	15
UDELUKKELSESKRITERIER.....	17
AKTUALITET.....	17
UDVIKLING AF ANALYSEKATEGORIER.....	19
FASE 2: SYNTSE	22
ORGANISATIONER.....	22
<i>Human-robot collaboration</i>	22
<i>Fysisk sikkerhed</i>	27
MILJØPÅVIRKNING	29
SAMFUNDSPÅVIRKNING	32
<i>Social bæredygtighed</i>	32
<i>Jobsikkerhed</i>	34
<i>Kompetencekløft</i>	35
<i>Udbredelse af Industri 4.0 teknologi i produktionsvirksomheder</i>	37
TEORETISKE BEGRÆNSNINGER	40
FASE 3: FORTOLKNING OG VEJLEDNING.....	42
UDFORDRINGER OG PERSPEKTIVER VED COBOTS OG MENNESKERS SAMARBEJDE I INDUSTRI 4.0 OG 5.0	42
KOMPLEKSITETEN VED AT SKABE SIKRE ARBEJDSKONTEKSTER I HRC/HRI	46
OPTIMERING AF REALTIDSBEHANDLING I HRC	49
INDUSTRI 5.0'S PÅVIRKNING AF ARBEJDSKRAFT OG BÆREDYGTIG UDVIKLING	51
METODISK DISKUSSION	53
FASE 4: KONKLUSION.....	56
LITTERATURLISTE.....	59

Motivation

Verden har gennemgået flere industrielle revolutioner, der har ændret måden, vi producerer på og har haft en dybdegående indvirkning på samfundet. Den første industrielle revolution er karakteriseret ved indførelsen af mekaniske produktionssystemer, der blev drevet af vand og damp, Industri 2.0 kendetegnes ved indførelsen af nye energikilder som elektricitet og olie samt udviklingen af samlebåndsproduktion. Den tredje industrielle revolution er kendt som den digitale revolution, med udviklingen af digital teknologi; herunder computere, internettet og mobile enheder. Den nuværende industrielle revolution kaldes Industri 4.0. I *Industry 4.0: Digitalization for productivity and growth*, en briefing udarbejdet for det europæiske parlament i 2015, beskrives Industri 4.0 som værende udbredelsen af en række *information and communication technologies* (ICT), der, hvis implementeret korrekt i produktionsindustrier, vil bidrage til optimering og effektivisering af produktionsindustrier i en hidtil uset grad. Dette gennem blandt andet digitalisering af information, integrering af systemer i langt flere stadier af produktionsprocesser og digital integrering af alle led i produktionskæden - fra leverandører til det færdige produkt.

Teknologier der skal muliggøre Industri 4.0 beskrives ofte som *Cyber-physical systems* (CPS), der kombinerer brugen af sensorer og robotter i arbejdsmiljøet til, at understøtte og samarbejde med mennesker i *Human-robot collaboration* (HRC). Dette med henblik på at optimere arbejdsprocesser og dermed øge produktiviteten. Det inkluderer især simulation som et redskab, der gennem brugen af teknologier som *Augmented reality* (AR) og *Digital twin* (DT) udnytter store mængder data, indsamlet gennem eksempelvis sensorer til, at modellere arbejdsprocesser og designe produkter virtuelt med henblik på optimering. En konkret egenskab ved Industri 4.0 teknologiers implementering i produktionsvirksomheder, vil være muligheden for masse-tilpasning af produktionen. Dette kan forbedre fleksibiliteten af produktionsprocesser markant ved at konfigurere produktionsmidler til, at kunne håndtere små partier af unikke kundespecifikke produkter i samme produktionsproces som store partier af standardprodukter produceres i. Hvis Industri 4.0 implementeres succesfuldt, estimerer briefing, at det vil have en gevinst på 6-8 procent årligt (EU, 2015). Ambitionen om global Industri 4.0-kompatibilitet er, otte år efter udgivelsen af EU-briefingen, stadig undervejs, og store dele af den globale produktionsindustri arbejder fortsat på, at blive en del af den digitale revolution, i håbet om at øge den globale velstand. Siden introduktionen af Industri 4.0 og dens fokus på brug af digitale teknologier til, at gøre op med uddaterede

produktionsformer, er det globale samfund blevet konfronteret med nye komplekse problemer relateret til både klimamæssig og social bæredygtighed. Dette har tvunget regeringer og produktionsvirksomheder til igen, at nytænke måden industrier drives på, hvilket har ledt til en femte industri revolution, Industri 5.0.

Med Industri 5.0 skabes en ambition om at prioritere menneskecentrerede konfigurationer af HRC, for at skabe mere bæredygtige arbejdsmiljøer. Dette fokus er primært rettet mod at forbedre social velvære i arbejdsmiljøet. I *Industry 5.0: 'A transformative vision for Europe'*, en rapport udarbejdet for den europæiske kommission for forskning og innovation, argumenterer en række uafhængige forskere for Industri 4.0 som værende et for effektiviseringscentreret fænomen: “centered around the emergence of cyber-physical objects, and offering a promise of enhanced efficiency through digital connectivity and artificial intelligence” (EU, 2021). Forskerne argumenterer for, at denne beskrivelse af, hvad industri skal understøtte, er for snæver, og at effektivisering for tiden bør ses som et af flere kriterier, der udgør den samlede vision for industrier i fremtiden. Dette set i lyset af, først og fremmest den globale miljømæssige nødsituation, vi befinder os i, men også i forhold til sociale problemer, som negligering af produktionsmedarbejderes velvære og udfordringer forbundet med digital inkompetence. Industri 4.0 adskiller sig ikke fra tidligere industrielle paradigmer, da den accepterer og bidrager til optimering af allerede-eksisterende forretningsmodeller, der har produktivitet og effektivitet som primære formål. Dette er u hensigtsmæssigt, da disse forretningsmodeller, i visse tilfælde, står i nærmest direkte kontrast til og tilmed bidrager til en forværring af de førnævnte udfordringer. Rapporten foreslår derfor Industri 5.0 som en udvidelse af Industri 4.0, der understreger vigtigheden af som minimum at sidestille bæredygtighed i form af både miljømæssige og sociale hensyn med profit, for at skabe et nyt syn på, hvordan fremtidens industrier bør være. En af grundstenene i Industri 5.0 er ifølge rapporten et skift fra det, man kalder et effektiviseringscentrisk til et værdicentrisk paradigme, hvor variable som både miljømæssig og social bæredygtighed, er nødvendige at inddrage i succesfulde forretningsmodeller, i forbindelse med design og implementering af teknologiske løsninger i produktionsvirksomheder. I den forbindelse understreges det, at Industri 5.0 er en systemisk transformation af industrier, og at den derfor ikke kun er fremadrettet, men også skal indtænkes i allerede-eksisterende produktioner og praksisser.

Under samtlige industrielle revolutioner har arbejdsstyrken været bekymret og modsat sig den udvikling, der er sket, og det vi ser i dag, er ingen undtagelse. Den gennemgående bekymring er, at teknologi, som eksempelvis kunstig intelligens (AI), vil udrydde mange af de jobs, der eksisterer i dag indenfor den nærmere fremtid (Chan, 2019). Det, der adskiller Industri 4.0 og 5.0 fra de tidligere industrielle revolutioner, er således at teknologierne er blevet 'intelligente', hvilket fordrer en stillingtagen til en række nye perspektiver, der ikke har været behov for tidligere hen. Med intelligens menes der, at teknologier i den fjerde industrielle revolution er i stand til at processere data i langt større grad og højere tempo, hvilket resulterer i, at de i højere grad kan varetage især manuelle arbejdsopgaver. Disse teknologier giver imidlertid også anledning til nye forbedringer og supplementer til udførelse af arbejde digitalt. Særligt i produktionsvirksomheder giver det anledning til nye arbejdsmæssige konstellationer, hvor teknologier udfører farligt og ikke-ergonomisk arbejde i samarbejde med mennesker. Det inkluderer blandt andet robotteknologi kaldet *Cobots*, som er designet til at indgå i realtids-HRC med menneskelige ansatte, typisk i produktionsvirksomheder. Historisk set har mennesket altid været teknologien overlegen, hvilket har betydet, at mennesker hidtil har været uundværlige i produktionen, men med den øgede implementering af informationsteknologi i Industri 4.0 og 5.0, opfordres der til en gentænkning af arbejdsstyrken, da kravene for menneskelige kompetencer ændrer sig, i takt med udviklingen af ny teknologi. Præcis denne stillingtagen til relationen mellem teknologi, menneske og arbejde, og de problemer, der opstår i kølvandet på Industri 4.0-relaterede teknologier, har givet anledning til Industri 5.0-konceptet, der forsøger at balancere forholdet mellem bæredygtighed og produktivitet. Motiveret af ovenstående, vil dette speciale undersøge, hvordan HRC kan bidrage til at fremme Industri 5.0-agendaen, hvilket leder til følgende problemformulering:

Problemformulering

Hvad er den nuværende praksis for Human-robot collaboration (HRC) i produktionsvirksomheder, og hvordan kan Industri 5.0-bæredygtighedsprincipper bidrage til en mere menneskecentrisk praksis?

Arbejdsspørgsmål:

Hvad viser forskningslitteraturen om den nuværende praksis for HRC?

HRC (Human-robot collaboration) refererer til samarbejdet mellem mennesker og robotter, hvilket er et væsentligt emne inden for Industri 4.0 og 5.0. Vi ønsker at udforske, hvordan HRC aktuelt anvendes i praksis og hvilke faktorer forskningslitteraturen undersøger. Ved dette spørgsmål søger vi en nærmere undersøgelse af forskningens fokusområder vedrørende HRC.

Hvilke potentialer og faldgruber identificeres i forskningslitteraturen i forbindelse med Cobots?

Vi anser det for væsentligt at undersøge de faldgruber og potentialer, der er identificeret i forskningslitteraturen ved implementering og anvendelse af kollaborative robotter. Derfor vil vi gennem vores litteraturgennemgang forsøge at afklare, hvilke faktorer, der skal tages i betragtning i forhold til cobots jævnfør forskningslitteraturen.

Hvordan ses Industri 5.0-bæredygtighedsprincipper i praksis?

Formålet med dette spørgsmål er at få en dybere forståelse af, hvordan teknologiske fremskridt i Industri 4.0 påvirkes af det menneskecentriske Industri 5.0-paradigme og hvordan det påvirker relationen mellem arbejdsprocesser, produktionsmetoder, forretningsmodeller og social- og miljømæssig bæredygtighed i produktionsvirksomheder.

Hvilke implikationer har overgangen fra en teknologidrevet til en værdidrevet forretningsmodel for produktionsvirksomheder?

Hvad betyder det for produktionsvirksomheder, når de skifter fra en teknologidrevet til en værdidrevet forretningsmodel? Overgangen til en værdidrevet tilgang indebærer en forskydning i

fokus fra hovedsageligt at designe teknologi baseret på effektivitetskriterier, til at designe teknologier, der fokuserer på mennesket i produktionen af produkter. Med dette spørgsmål søger vi at afdække, hvilke konsekvenser dette paradigmeskift har for produktionsvirksomheder.

Begrebsafklaring

Følgende afsnit giver en begrebsafklaring af nogle af de centrale begreber indenfor industri og teknologi, der inddrages i specialet. Vi redegør for definitioner af og karakteristika ved følgende begreber: Augmented Reality (AR), Human-robot-collaboration (HRC) og Digital Twin (DT).

Human-robot collaboration & Human-robot interaction

Human-robot collaboration (HRC) og Human-robot interaction (HRI) betegner samarbejdet mellem mennesker og robotter i arbejdsmiljøet. Det spiller en central rolle i produktion, hvor der er behov for at efterleve Industri 5.0s krav om et værdidrevet paradigme. HRC henviser til samarbejdet og koordineringen mellem mennesker og robotter inden for en fælles arbejdsplads eller produktionsmiljø, mens HRI omhandler interaktionsaspekterne ved samarbejdet. Modsat traditionelle produktionsmetoder, der typisk adskiller mennesker og robotter, bryder HRC med denne adskillelse. I HRC arbejder mennesker og robotter tæt sammen, og kombinerer deres respektive styrker og kompetencer (Li et al., 2023).

Cobots

Cobots, også kendt som samarbejdende robotter, er designet til at arbejde tæt sammen med mennesker. Disse robotter er konstrueret til at være både sikre, fleksible og lette at reprogrammere, hvilket gør dem velegnede til opgaver, hvor menneskelig interaktion er afgørende. Cobots repræsenterer en ny æra inden for robotik og produktion, hvor samarbejdet mellem mennesker og robotter er i fokus. I kombination med Industri 5.0 kan cobots kombinere menneskers kreativitet og håndværksmæssige færdigheder med robotternes effektivitet (Adel, 2022).

Augmented reality

Augmented reality (AR) er en teknologi, der integrerer visuel, auditiv eller anden sensorisk information ovenpå den virkelige verden. AR-teknologi anvendes særligt indenfor Industri 4.0 og 5.0 til uddannelse og forbedring af arbejdsstyrken. Inden for produktion kan AR's immersive karakter udnyttes i samspillet mellem mennesker og robotter. AR-teknologien muliggør dermed en dybere forståelse af opgaver og processer, hvilket kan føre til øget produktivitet og kvalitet i arbejdsmiljøet (Li et al., 2023).

Digital twin

Digital twin (DT) refererer til at approksimere en virtuel kopi af en fysisk enhed, gennem brug af fysiske datapunkter. DT kan, i produktionskontekster, bruges til at simulere fysiske fænomener som produkter og produktionsprocesser med henblik på optimering. DT kombinerer dataanalyse og kunstig intelligens, for at optimere driften og forudsige potentielle fejl og problemer i den givne fysiske enhed. DT-teknologien anvendes i stigende grad inden for industriel produktion, transport, bygningsdrift og mange andre områder for at forbedre effektiviteten og reducere omkostningerne (Huang et al., 2021).

Afgræsning

I dette afsnit redegøres for specialets afgræsning, og hvilken betydning det har for litteraturgennemgangen. Specialets primære fokus er samarbejdet mellem mennesker og robotter i praksis, derfor har vi valgt at afgrænse os fra emner relateret til cybersikkerhed, da vi overvejende fokuserer på emner der er relateret til hvordan HRC udføres. Vi ønsker at undersøge det fysiske arbejdsmiljø i forbindelse med HRC. Vi anerkender, at det er afgørende parametre i både Industri 4.0 og 5.0, og teknologier som blandt andet automatisering og maskinlæring, potentielt kan medføre væsentlige implikationer i forhold til cybersikkerhed, dog vælger vi at afgrænse specialet herfra, da vi prioriterer et andet fokus og inddragelse af cybersikkerhed derfor ville skabe en for bred undersøgelse i forhold til specialets omfang.

Metode

I dette afsnit uddybes den metodiske tilgang til at udføre litteraturgennemgangen. Herunder uddybes fremgangsmåden for litteraturgennemgangen samt rationale for de valg, der er truffet i denne forbindelse.

Som overordnet metodisk tilgang til litteraturgennemgangen tager vi udgangspunkt i Guido Schryens rammeværktøj: *Writing Qualitative IS Literature Reviews – Guidelines for Synthesis, Interpretation and Guidance Research*. Dette gøres, da Schryens tilgang har et specifikt fokus på at skabe en metodik til at undersøge informationssystemer. Schryen argumenterer for, at IS-relaterede litteraturgennemgange bør have fokus på - og facilitere teoriudvikling og samtidig give mulighed for anlægning af nye forskningsområder (Schryen, 2015).

Den metodiske tilgang til specialet er primært baseret på gennemførelsen af de fem faser, der præsenteres af Schryen: *1. Søgning & vurdering, 2. Syntese, 3. Fortolkning, 4. Vejledning og 5. Konklusion* (2015). Faserne udgør grundlaget for strukturen af litteraturgennemgangen, og de vil blive udført i kronologisk rækkefølge gennem rapporten, dog med undtagelse af en sammenlægning af fase 3 og fase 4, til én fase kaldet: *Fase 3. fortolkning & vejledning*. Rationalet for denne beslutning vil fremgå i den følgende gennemgang af faserne.

1. Søgning og vurdering

Søgning og vurderingsfasen består i at rationalisere og eksplicitere litteratursøgningsprocessen til litteraturgennemgangen. Formålet er at gøre processen transparent og reproducerbar, samt at argumentere for valg truffet i denne forbindelse. Denne fase indebærer en præsentation af søgestrengen samt rationale for søgningen. Derudover foretages en grundig vurdering af den identificerede litteratur, og vi benytter os i denne forbindelse af *Grounded theory* til at udvikle de analysekategorier, der skal sætte rammerne for den analyserende del af litteraturgennemgangen.

PRISMA

Til at supplere Schryens fase 1: Søgning og vurdering, har vi valgt at inddrage PRISMA (the Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses). PRISMA er et separat rammeværktøj til at udføre en struktureret litteratursøgning, der består af to hovedelementer: 1. en tjekliste med 27 punkter, som en litteraturgennemgang bør tage højde for og 2. et flowdiagram, der bruges som et visuelt redskab til at redegøre for litteratursøgningen (Page et al., 2021). Eftersom tjeklisten kan ses som sidestykke til Schryens fem faser, har vi valgt at udelade den. I stedet fokuserer vi på flowdiagrammet, da det giver en systematisk, transparent og tilgang til identifikation, screening og udvælgelse af relevant litteratur. Ved at anvende PRISMA som et supplement til Schryens metodik, kan vi tydeligt og visuelt redegøre for søgningsprocessen.

Grounded theory

I fase 1 anvendes Grounded theory, som en systematisk induktiv kvalitativ forskningsmetode til at udvikle litteraturgennemgangens analysekategorier. Den benyttes som et redskab til at kategorisere og strukturere litteraturens indsigter så objektivt som muligt. Grounded theory er en metode, der primært anvendes med det formål at udvikle teorier, der er baseret på systematisk indsamlede og analyserede kvalitative data (Urquhart et al., 2009). I praksis giver metoden en struktureret tilgang til at analysere data samt identificere koncepter og sammenhænge. Dette muliggør udarbejdelsen af detaljerede beskrivelser og forklaringer baseret på de observerede data, med henblik på at udvikle nye teoretiske bidrag. (Urquhart et al. 2009) forklarer, at man som en generel regel ikke bør have nogle præformulerede hypoteser forud for undersøgelsen, da forudindtagelser om genstandsfeltet kan resultere i bias i forbindelse med behandlingen af litteraturen. Dette er for at sikre sig, at den opnåede viden er forankret i data.

Ved at fokusere på fænomener relateret til brug af informationssystemer beskrevet i litteraturen, kan vi med Grounded theory afdække mønstre og sammenhænge, der ellers kan være oversete eller uklare. Denne tilgang bidrager til en dybdegående og kontekstuel forståelse af fænomener og giver os mulighed for at generere nyskabende og nuancerede resultater, der er tæt forbundet med observationer gjort i litteraturen.

2. Syntese

Syntesefasen handler om at skabe mening (danne syntese) mellem de udvalgte udgivelser. Dette gøres ved at sætte de enkelte udgivelser i relation til hinanden og derigennem skabe nogle generelle koncepter og kategorier til fortolkning & vejledning i tredje fase. Schryen beskriver dét at syntetisere på følgende måde: “assemble the literature being re-viewed for a given concept into a whole that exceeds the sum of its parts” (Schryen, 2015).

Ydermere, er det i denne fase vigtigt at bestræbe sig på, at fremstille litteraturen deskriptivt, da kategorierne udelukkende skal afspejle den indsamlede litteratur. Schryen foreslår en konceptcentrisk tilgang til at strukturere relevante analysekategorier frem for en forfatter-centrisk tilgang. Dette fordi syntetisering ikke bør bestå i at fremlægge helheden af en udgivelse, men i stedet dét, der er relevant for at underbygge kategorierne og dermed litteraturgennemgangen (Schryen, 2015).

3. Fortolkning & vejledning

Fortolkningsdelen af denne fase består i at fremsætte nye tilgange til at undersøge feltet. Dette gøres på baggrund af koncepterne beskrevet i syntesefasen og består typisk i at identificere huller i den beskrevne forskning eller i at analysere litteraturen med henblik på at identificere nye perspektiver i den eksisterende litteratur. Begge dele kan med fordel gøres.

Vejledningsdelen har til formål at oplyse om potentielle fremtidige tilgange til at undersøge forskningsfeltet. Schryen præsenterer to overordnede kategorier som litteraturgennemgange generelt har en tendens til at strukturere deres vejledning efter: ad hoc opportunistisk forskning og langsigtet teoretisk orienteret forskning. Fælles for begge tilgange er, at de bør oplyses af, hvad der i fortolkningen identificeres som mangler inden for forskningsfeltet. Ikke desto mindre, adskiller kategorierne fra hinanden, i forhold til, hvilket analytisk niveau, de foreslår, at fremtidens forskning skal foretages på. Her kan ad hoc-relateret vejledning siges at være på et eksplorativt analytisk niveau, hvor overordnede forskningsemner foreslås undersøgt. Langsigtet teoretisk forskning

fokuserer i højere grad på videre undersøgelser af konkrete teoretiske og metodiske tilgange, og hvordan disse i fremtidig forskning kan undersøges (Schryen, 2015).

Rationalet for sammenlægningen af fortolkning og vejledning er, at vi i denne litteraturgennemgang udvikler forslag til fremtidig forskning i dialog med vores fortolkning og diskussion af tematikkerne.

4. Konklusion

Konklusionsfasen har til formål at opsummere litteraturgennemgangens fund samt dens bidrag til den eksisterende forskning. Formålet med konklusionsfasen er at producere en kondenseret version af litteraturgennemgangen, som præcist overbringer de vigtigste fund til læseren. Det er dertil vigtigt at ekspliciterer implikationerne af litteraturgennemgangen, da det hjælper til at klargøre præcis, hvad rapporten bidrager med til feltet (Schryen, 2015).

Fase 1: Søgning og vurdering

I dette afsnit præsenteres og forklares de metodiske valg, der er truffet i den indledende fase; *søgning og vurdering*. I denne fase gennemføres en omfattende litteratursøgning, efterfulgt af rationalisering af valg og fravalg af den inkluderede litteratur. Som tidligere nævnt, anvendes PRISMA-flowdiagrammet, som en systematisk metode til at identificere og screene den relevante litteratur, da det fungerer som en transparent redegørelse for de valg, der er foretaget i litteratursøgningen (Page et al., 2021). PRISMA-flowdiagrammet anvendes for at sikre, at vores forskning er baseret på et veldefineret og velinformeret fagligt grundlag, der skaber evidens for at vi har dækket et bredt spektrum af relevant information og dertil opnået et solidt grundlag for vores videre analyse og vurdering af den nuværende praksis for HRC, samt Industri 5.0 paradigmets effekt på dette. Grounded theory anvendes som et redskab til at kategorisere og strukturere litteraturen efterfølgende.

Søgning

Litteratursøgningen har gennemgået flere iterationer, hvilket både har bidraget til en præcisering af søgestrengen og samtidig danner grundlag for fokuset for vores litteraturstudie. Indledningsvis ønskede vi, at anlægge et bredere perspektiv og undersøge de sociale og organisatoriske bæredygtighedsimplikationer ved samtlige teknologier indenfor Industri 4.0 og Industri 5.0. For at opnå dette, inkluderede vi nøgleord som *organizational*, *sustainable*, *social**, *benefit**, *implement** og *cost**, da vi forventede, at de ville generere publikationer, der netop beskæftiger sig med de sociale og organisatoriske bæredygtighedsimplikationer for Industri 4.0 og 5.0. I denne del af processen, havde vi planlagt at benytte en enkelt database, SCOPUS, da vi formodede, at denne database gav adgang til et bredt udvalg af relevante publikationer inden for vores speciale. Derfor anvendte vi følgende søgestreng i SCOPUS-databasen:

```
TITLE-ABS-KEY ( industry 4.0 ) OR ( fourth AND industrial AND revolution ) AND ( organizational ) AND ( sustainable) AND ( social* ) AND (benefit*) AND (implement*) AND (cost*) AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENGI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "BUSI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "SOCI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENER" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "ENVI" ) OR LIMIT-TO ( SUBJAREA , "DECI" ) OR LIMIT-TO (
```

SUBJAREA , "ECON") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MATE") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "PSYC") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "MULT") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "HEAL"))”

Søgestrengen resulterede i 1322 publikationer. Efter at have gennemgået en delmængde af titlerne, konkluderede vi, at emnets omfang var for omfattende, og vi var bekymrede for, at det kunne føre til en overfladisk undersøgelse, der ikke levede op til vores ønskede niveau af fordybning. Derfor besluttede vi at udarbejde en ny søgestreng, der kunne hjælpe os med at finde specifik og relevant litteratur og desuden præcisere omfanget af vores studie. Vi valgte dertil at fokusere på samspillet mellem cobots og mennesker og undersøge, hvordan dette adskiller sig i Industri 4.0 og Industri 5.0. Desuden besluttede vi at inddrage flere databaser, da vi forventede, at dette måtte give et mere divers og nuanceret perspektiv på problemstillingen, da forskellige databaser giver adgang til forskellige forlag. Databaserne, vi har anvendt, er EBSCO, AIS, ProQuest, Web of Science, SCOPUS samt ScienceDirect. Denne præcisering af vores søgning resulterede i følgende søgestreng d. 22. marts 2023:

(Industry 4.0 OR 4IR OR Industry 5.0 OR society 5.0) AND (robot* OR cobot*) AND (human) AND (sustainab*)

På tværs af de forskellige databaser, har vi anvendt variationer af den samme søgestreng (grundet forskelligheder i forventet syntaks på de respektive databaser), hvilket i alt har givet 195 resultater fordelt som visualiseret i Tabel 1: Database resultater.

Database	Antal publikationer
EBSCO	18
Association for Information Systems (AIS)	26
ProQuest	25
Web of Science	60
SCOPUS	30
Science Direct	36
I alt:	195

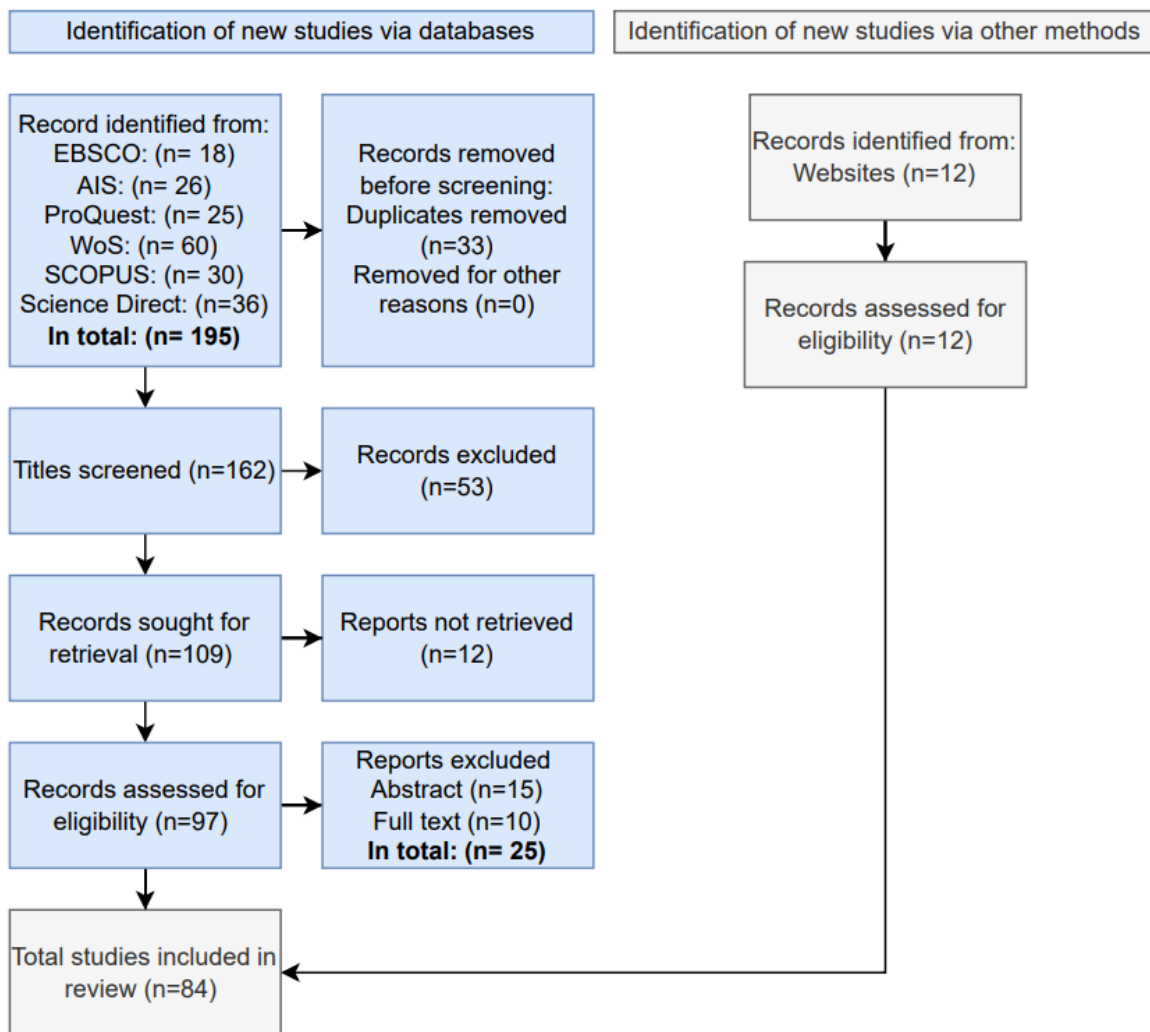
Tabel 1: Database resultater

Ovenstående 195 publikationer gennemgik en yderligere filtreringsproces baseret på PRISMA-modellen (Page et al., 2021). Processen vil blive præsenteret i følgende afsnit.

PRISMA

Vi har gjort brug af PRISMA til yderligere at filtrere ovennævnte 195 publikationer, baseret på deres indhold.

Ud fra de 195 relevante publikationer på tværs af databaserne, blev 33 dubletter fjernet. Ud fra de resterende 162 publikationer blev 53 udelukket på baggrund af titel, da vi vurderede, at de ikke havde faglig relevans. Blandt de resterende 109 publikationer, var der 12, som vi ikke kunne få adgang til, hvilket resulterede i 97 publikationer. Ved gennemlæsning af abstracts med henblik på at vurdere, hvilke publikationer, der var berettiget inden for specialets fokus, ekskluderede vi 15 artikler. Ved gennemlæsning af hele tekster i de resterende publikationer, blev yderligere 10 udelukket. Søgestrengen har på tværs af databaser givet 72 relevante publikationer. Der er yderligere inddraget 12 publikationer, som er fundet gennem andre midler end søgestrengen. Det er blandt andet publikationer, som vi allerede havde kendskab til, og som vi har fundet i referencelisten af relevante publikationer. Det har resulteret i ialt 84 publikationer, der inddrages i litteraturgennemgangen. Nedenfor ses Figur 1: PRISMA, som illustrerer de forskellige trin i processen:



Figur 1: PRISMA

Udelukkelseskriterier

For at fremsætte et rationale for nogle af de fravalg, vi har truffet i udvælgelsen af relevant litteratur, beskrives det i Tabel 2: Udelukkelseskriterier, hvilke generelle udelukkelseskriterier, vi har opstillet i vurderingsfasen, for at konkretisere litteraturstudiets omfang.

Nr.	Udelukkelseskriterie	Fundne eksempler
1.	Force majeure	<ul style="list-style-type: none">• COVID's påvirkning af produktionsvirksomheder• Bestemte krisesituationer
2.	For teknisk	<ul style="list-style-type: none">• Omhandler, hvordan man programmerer løsningerne• Behandler og udvikler matematiske formler til at automatisere
3.	Uden for scope	<ul style="list-style-type: none">• Omhandler anæstesi
4.	Sproglig begrænsning	<ul style="list-style-type: none">• Artikler med andet sprog end engelsk/dansk

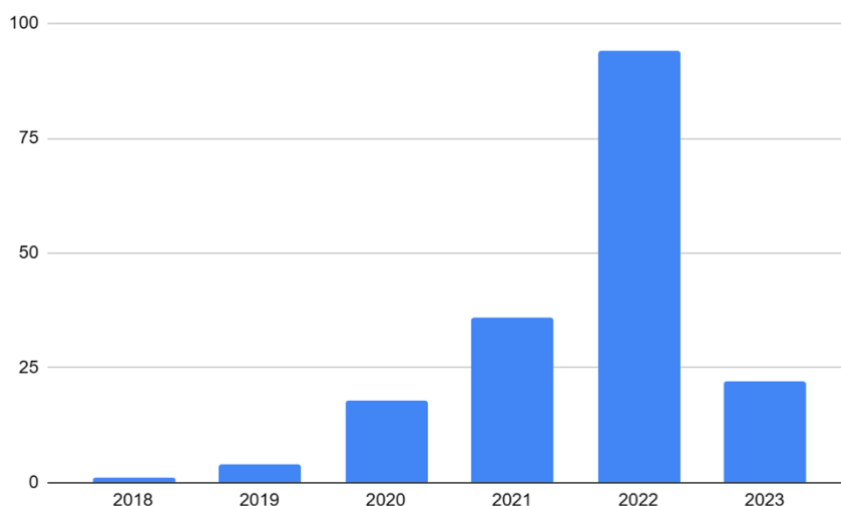
Tabel 2: Udelukkelseskriterier

Tabel 2 præsenterer de kriterier, der blev anvendt til at udelukke litteratur, der ikke havde relevans for specialet. Udelukkelseskriterie 1. er lavet, da den nuværende praksis inden for produktionsvirksomheder, ikke længere er påvirket af eksempelvis COVID-restriktioner, og vi anser ikke denne tid som værende retvisende for industrien i dag. Udelukkelseskriterie nr 2. blev lavet senere i processen, da vi løbende identificerede artikler af en mere matematisk teknisk karakter end vi har kompetencer til at behandle, og derfor vurderede vi, at det ikke var relevant i forhold til specialets vinkel. Det 3. udelukkelseskriterie er lavet for at udelukke publikationer om brug af cobots i andre sektorer i såsom medicinsk behandling, der ikke falder ind under produktionindustri. Slutteligt udelukkes publikationer på andre sprog end dansk eller engelsk.

Aktualitet

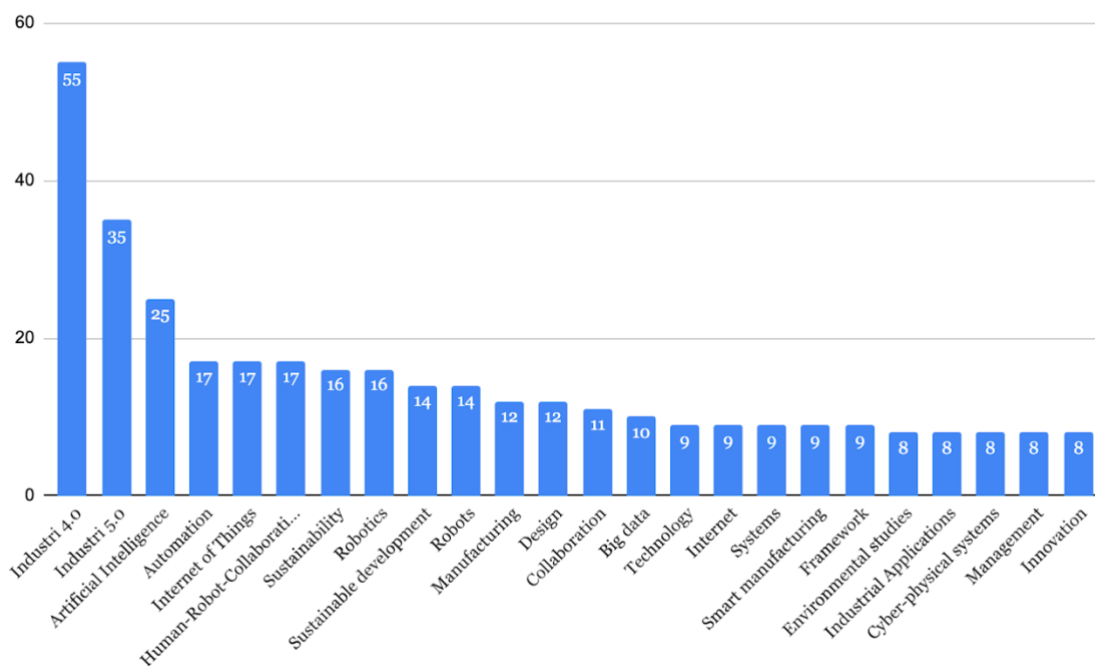
Dette delafsnit undersøger aktualiteten af specialets problemstilling i forhold til eksisterende forskning på området. Figur 2: Antal publikationer relativt til udgivelsesår, illustrerer, hvornår den

medtagede litteratur i litteraturgennemgangen er udgivet. I denne forbindelse mener vi, at det er værd at påpege, at der de sidste tre til fire år har været en stigende interesse i at undersøge Industri 5.0-konceptet. Med introduktionen af Industri 5.0 i 2018 som værdibaseret tilføjelse til Industri 4.0 (Xu et al., 2021), er der på ny kommet opmærksomhed på, hvordan produktionsindustrier bør udvikle sig relativt til samfundsmæssige og globale problemstillinger, hvilket har ledt til en gradvist stigende mængde studier i de seneste år. Vi mener, at en plausibel forklaring på denne tendens, er, at det er et udtryk for, at publikationer, der undersøger genstandsfeltet, generer brugbar viden, der fører til efterspørgslen af mere viden på området, hvilket motiverer os til at bidrage yderligere. Selve vores litteratursøgnings- og filtreringsproces i forbindelse med udarbejdelsen af denne litteraturgennemgang er foregået halvvejs inde i første kvartal af 2023, hvilket kan forklare, hvorfor der ikke er flere udgivelser i 2023 som illustreret i Figur 2.



Figur 2: Antal publikationer relativt til udgivelsesår

Vi har screenet publikationerne for nøgleord knyttet til publikationen for at illustrere, hvilke tematikker forskningslitteraturen primært beskæftiger sig med. Det har resulteret i 24 nøgleord, der ses i Figur 3: Nøgleord i publikationerne, som viser antallet af publikationer tilknyttet de forskellige nøgleord. Det skal pointeres, at hver publikation kan benytte flere nøgleord, diagrammet afspejler således ikke antallet af publikationer.



Figur 3: Nøgleord i publikationerne

Figur 3 viser en overvægt af publikationer med nøgleordet Industri 4.0 efterfulgt af Industri 5.0. De resterende nøgleord kan kategoriseres som værende det, der muliggør Industri 4.0 og 5.0, såsom AI, automatisering, HRC. Nøgleordene har givet os en indledende indsigt i, hvordan litteraturen fordelte sig i forhold til, tematikker relateret til litteraturstudiet.

Udvikling af analysekategorier

Som nævnt i metodeafsnittet, foreslår Schryen (2015) en koncept-centrisk tilgang til udarbejdelsen af litteraturstudiet. Som metode til at udføre den koncept-centriske tilgang, har vi benyttet os af Urquhart et al.'s (2009) udlægning af Grounded theory til forskning indenfor informationssystemer. Måden vi benyttede os af Grounded theory var tredelt. Indledningsvis gennemlæste vi alle publikationerne. Dernæst identificerede vi datasegmenter, i form af tekststykker fra hver publikation, til at indikere, hvilke hovedpointer de enkelte publikationer bidrog med. Disse fungerede som pejlemærker til at sammenligne publikationer, og identificere koncepter på tværs af litteraturen. Heri nedfældede vi, ved hver publikation, overordnede bidrag i form af korte resumeer, begrænsninger ekspliciteret af forfatterne og 1-3 citater, der bidrog til at indkapsle litteraturens

hovedbidrag. Dette illustreres i Bilag 1. Vi har ydermere associeret hver analysekategori med et bogstav, for at indikere relationen mellem citater og analysekategorier i Bilag 1. Bogstav relateret til analysekategori fremgår af Tabel 3: Analysekategorier.

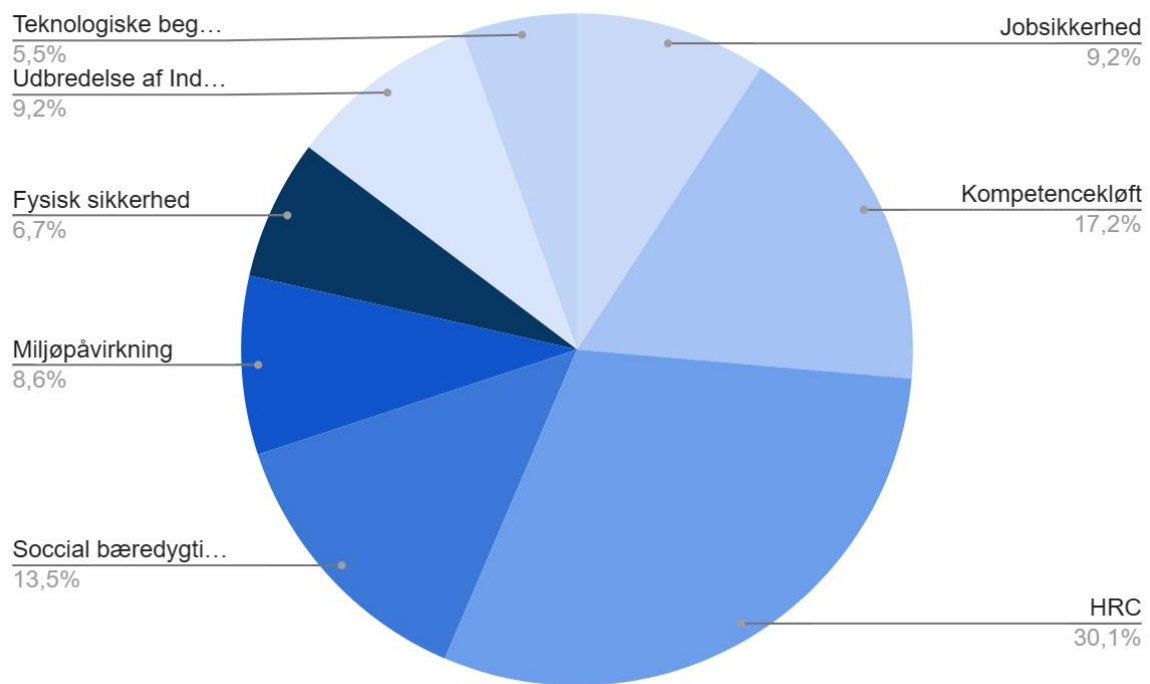
A	Jobsikkerhed
B	Kompetencekløft
C	HRC
F	Social bæredygtighed
G	Miljøpåvirkning
H	Fysisk sikkerhed
I	Udbredelse af Industri 4.0 teknologi i produktionsvirksomheder
J	Teoretiske begrænsninger

Tabel 3: Analysekategorier

Dette dannede ramme for tredje del af tilgangen, bestod i en intern dialog om de enkelte publikationers vigtigste faglige indhold og relationen mellem dem, samt efterfølgende strukturering af, hvordan datasegmenterne bedst kunne organiseres, i forhold til at udlede kategorier fra dem. Det resulterede i ti kategorier: *Human-robot collaboration*, *Fysisk sikkerhed*, *Miljøpåvirkning*, *Social bæredygtighed*, *Jobsikkerhed*, *Kompetencekløft*, *Udbredelse af Industri 4.0 teknologier i produktionsvirksomheder*, *Etiske overvejelser*, *Digital divide* og *Teoretiske begrænsninger*.

Ud af disse ti besluttede at allokere litteraturen i to af kategorierne: *etiske overvejelser* og *digital divide*, til de sidste otte kategorier, da vi vurderede, at temaerne i kategorierne kunne indkapsles bedre i de resterende otte. Flere af publikationerne bliver brugt på tværs af kategorier. Fordelingen af litteraturen, relativt til kategorierne, kan ses i Bilag 2. Bilag 2 afspejler Schryen's (2015) foreslåede koncept-centriske systematisering af litteraturen.

Den procentvise fordeling af publikationer i de respektive konceptkategorier fremgår af Figur 4: Kategorisering af litteratur i koncept-kategorier Disse kategorier danner rammen for fase 2.



Figur 4: Kategorisering af litteratur i koncept-kategorier

Fase 2: Syntese

I følgende afsnit udfoldes syntesen af litteraturen, hvor vores mål er at skabe sammenhæng og forståelse mellem publikationerne. Denne fase udgør rapportens analyseafsnit. Syntesen er, som bekendt, koncept-centrisk og er struktureret ud fra analysekategorier, som er udviklet i fase 1. Disse analysekategorier spænder imidlertid bredt i forhold til hvordan de adresserer HRC, hvorfor vi finder det meningsfuldt at inddele kategorierne yderligere, under fire overskrifter: Organisationer, Miljøpåvirkning, Samfundspåvirkning og Teoretiske begrænsninger.

Organisationer

I det følgende afsnit analyseres, hvordan forskningslitteraturen beskriver virkningen af Industri 4.0 og 5.0 på organisationer. Vi fokuserer først på de organisatoriske implikationer ved samarbejdet mellem mennesker og maskiner, og derefter undersøges betydningen af fysisk sikkerhed i forbindelse med implementeringen af teknologierne i forhold til HRC.

Human-robot collaboration

En stor del af litteraturen vedrørende Industri 4.0 og 5.0 fokuserer på, hvordan robotteknologi bedst muligt kan udnyttes i industri til både at øge produktivitet, sikre menneskeligt velvære og adressere klimaproblematikken. I denne forbindelse danner Human-robot collaboration (HRC) og Human-robot interaction (HRI) ramme for beskrivelser af den kooperative arbejdsstyrke bestående af mennesker og robotter eller cobots. Foruden robotter og cobots tæller fremtrædende teknologier også augmented reality (AR) og digital twin (DT). Følgende afsnit vil fremhæve væsentlige indsigter relateret til at identificere optimums for Human-robot collaboration ifølge litteraturen.

Rosemann et al. (2021) og Gajšek et al. (2020) præsenterer ideen om, at smart produktion, der er et miljø, hvor digitale teknologier som robotteknologi, Internet of Things (IoT), avanceret produktion og dataanalyse muliggør et mere fleksibelt produktionsmiljø. Dette miljø har ført til udviklingen af fabrikker, hvor traditionelle begrænsninger for produktionen ophæves. Gennem omfattende automatisering elimineres de begrænsninger, som menneskelig arbejdskraft har, og deres indvirkning på produktionskvaliteten i vid udstrækning. Desuden forsvinder de langvarige økonomiske begrænsninger forbundet med små batch-størrelser, og det bliver muligt at opnå omkostningseffektiv produktion af enkeltprodukter på grund af tilpasningsdygtige, robotstyrede

processer og maskiner samt innovative produktionsformer som f.eks. 3D-print. Endvidere forsvinder også latency-omkostninger, eksempelvis ved forsinket registrering af maskinproblemer, da indbyggede sensorer giver kontinuerlig og forudsigelig indsigt i produktionsmiljøets status (Rosemann et al., 2021; Gajšek et al.2020).

Li et al. (2023) fremhæver, at en af fordelene ved Industri 5.0 er potentialet for at kunne udnytte AR-baserede præcise prædiktive analyser. Prædiktive analyser refererer til cobots' kapacitet til at indsamle og analysere store mængder data i realtid. Dette overstiger menneskelig kapacitet til dataindsamling og muliggør mere præcise og effektive analyser. Ved hjælp af disse analyser kan der opbygges modeller, der har til formål at træffe mere nøjagtige beslutninger og dermed forbedre arbejdsmiljøet på længere sigt. Med andre ord; ved at udnytte potentialet i præcise prædiktive analyser, kan Industri 5.0 bidrage til at skabe bæredygtige løsninger og forbedre arbejdsmiljømæssige resultater (Li et al., 2023).

Kaasinen et al. (2022) indkapsler distinktionen mellem Industri 4.0 og 5.0 i en menneske-maskine samarbejds kontekst på en brugbar måde. Industri 4.0 udstyrer produktionsarbejdsmiljøer med en slags konfiguration i form af cyber-physical systems. Disse systemer adskiller sig fra tidligere konfigurationer med mennesker som værende aktører til en konfiguration, hvor både mennesker og 'smarte' maskiner, (robotter, cobots, AR, DT) i forskellige meningsfulde konfigurationer er aktører, der skal medtænkes i forståelsen af, hvordan industri i fremtiden skal forbedres. I den udlægning, er der i høj grad fokus på teknologiske fremskridt som værende nøgleelementet, der skal understøtte virksomheders udvikling og innovation fremadrettet.

I denne transition argumenterer Costa Mateus et al. (2018) for nødvendigheden af at dekonstruere manuelle arbejdsprocesser og derigennem forstå og evaluere præcis, hvordan ressourcer skal allokeres i en HRI eller HRC-kontekst. Costa Mateus konstaterer, at denne type overvejelser, indtil nu, i høj grad er foregået på et kvalitativt designmæssigt plan, og argumenterer med brug af *Hierarchical task analysis* for, at kvantificering af ovenstående er nødvendigt for at kunne gentænke præcis, hvad konstellationen for HRC skal være. Dette fokus på kvantitative data ses samtidig, i forøgelsen af brug af sensorer, til at indsamle data om arbejdsmiljø, arbejdsprocesser og efterfølgende processering af sensorisk data, som et gennemgående tema i litteraturen, når smart industri forsøges beskrevet.

Huang et al (2021) præsenterer i deres undersøgelse af brugen af sensorisk data i sammenspil med digital twin i produktionsindustri, at anvendelsen af teknologien, har en positiv effekt på dét, forfatterne omtaler som *Financial, Environmental, Social and Governance* faktorer (FESG-faktorer). Her lægges der især vægt på den positive effekt af digital twin på E, S og G-faktorer. Det skyldes en række kvaliteter ved digital twin som eksempelvis muligheden for at analysere arbejdsmiljøer bestående af robot-robot, robot-menneske og robot-arbejdsmiljø, på en ny holistisk måde i realtid. Dette har en række fordele, der både er kortsigtede og langsigtede. I forhold til E-faktorer og adressering af miljømæssige problemer, kan digital twin bidrage til reducere materialebrug i produktionsprocesser.

Laskurain-Iturbe et al. (2021) peger, i deres undersøgelse af Industri 4.0 teknologiers kompatibilitet med cirkulær økonomi og dermed miljøpåvirkning, på reduktioner i materialebrug og energiforbrug i forbindelse med implementering af andre digitale teknologier som augmented reality og robotter.

I forhold til S-faktorer, identificeres der en fordel i forhold til at træffe kortsigtede beslutninger, for at sikre de ansattes fysiske sikkerhed på et langt mere oplyst grundlag. Digital twin gør det også muligt at optimere ergonomiske forhold for menneskelige ansatte gennem monitorering af en digital repræsentation af, hvordan de interagerer med arbejdsmiljøet.

Sihan et al. (2022) foreslår i denne forbindelse, en specificering i form af '*Human Digital Twin*' (HDT), der særligt fokuserer på at skåne mennesker for slidsomt arbejde, ved at indgå i et virtuelt realtidssamarbejde med en cobot.

Wang et al. (2022) uddyber fordelene ved HDT og identificerer tre primære måder at indgå i sådanne samarbejder: Direkte kontrol, delt kontrol og opsynskontrol. De tre kategorier repræsenterer graden af kontrol, som mennesket har over cobots i en given arbejdssituation og er et produkt af udviklingen inden for brug af Industri 4.0 teknologier til at fremme en mere menneskecentrisk dagsorden.

Gualterei et al. (2022) undersøger den fysiske del af de typer cyber-physical systems som digital twin anvendes i, navnlig hvordan arbejdsopgaver bør allokeres mellem mennesker og cobots. I denne forbindelse bekræfter de behovet for metodikker til at understøtte databaserede og virtuelle løsninger, for at adressere uddaterede manuelle arbejdsstationer, der ikke er hensigtsmæssige for menneskelige ansatte. Som underbygning af dette, udgiver Gualterei et al. (2020) en række menneske-centriske designkriterier, der relaterer sig til henholdsvis fysisk sikkerhed, ergonomi og effektivitet, som skal agere tjekliste for designere af menneske-centriske produktionssystemer.

I forhold til G-faktorer giver digital twin et nyt niveau af transparenthed, da en given virksomhed post-implementering vil have adgang til en digital version af deres arbejdsgange og værdikæder, der både kan bruges til interne forbedringer, men også eksternt til at kommunikere virksomhedens efterlevelse af krav i forhold til eksempelvis arbejdsforhold eller reduktion af kulstofemissioner til samarbejdspartnere eller statslige instanser.

Siegler et al. (2022) fremlægger en lignende indsigt i deres undersøgelsen af bildelsproducenten CMF's efterlevelse af de 17 bæredygtigheds mål udformet af UN, der fokuserer på vigtigheden af at være transparent udadtil som virksomhed. Graden af transparens gennem hele forsyningskæder giver virksomheder mulighed for at efterse andre virksomheders produkter i henhold til eksempelvis kulstofemissioner.

Nayeri et al (2022) tilføjer dertil, at Industri 5.0-inspireret brug af Industri 4.0 teknologi vil bidrage positivt til denne udvikling.

Samtidig understreger Huang et al, dog også nogle af udfordringerne ved brugen af digital twin. Her nævnes blandt andet det intrinsisk svære ved at simulere komplekse interaktioner mellem flere robotter og mennesker, særligt fordi menneskers adfærd er forbundet med en høj grad af uforudsigelighed i disse typer interaktioner.

Di Marino et al. (2022) peger på, at manglende forståelse for problemer som disse, kan resultere i en underudnyttelse af teknologierne.

En anden udfordring i forhold til at realisere potentialet ved digital twin i industrien, er mangel på både digital og fysisk infrastruktur i virksomhederne nødvendig. Her peger Huang et al. på, at der er problemer relateret til mangel på computerkraft til at håndtere realtidsbehandling af de sensoriske data.

Wang et al. understreger i forhold til HDT, at teknologien, på trods af sit potentiale, er i de spæde år af sin udvikling. I den forbindelse argumenterer Longo et al. (2021) og O'Connell et al. (2020) for, at en af begrænsningerne ved teknologier som DT og deres respektive sensorer, der lover øget realtidsunderstøttelse af produktioner, undertiden anvendes trådløs teknologi i samspil med Ethernet og andet kablet teknologi, der er begrænset i form af deres fysiske dimensioner. Derfor peger de på 5G som en teknologi, der giver mulighed for udfasning af kablede teknologier. Undersøgelser af brug af 5G er et nødvendigt næste skridt, i forbindelse med udbredelsen af DT.

Colim et al. (2021) anskuer HRC-fænomenet fra et andet perspektiv ved at bidrage til en holistisk forståelse, gennem en undersøgelse af brugen af 'lean manufacturing' i en produktionsvirksomhed. Lean manufacturing er et koncept, hvis primære formål er at skære alt fra, der ikke tilføjer værdi til produktet. Selvom dette umiddelbart kan lyde som en overvejende bæredygtig tilgang, grundet minimering af ressourcebrug, har tilgangen historisk vist sig hovedsageligt at tage hensyn til at øge konkurrencedygtighed og produktivitet, hvilket har været på bekostning af arbejderes trivsel. Helt konkret har det for medarbejdere resulteret i højere arbejdstempo, lavere tid til at restituere og negligering af ergonomi som en prioritet. Colim et al. peger dog på, at denne historiske ballast i høj grad er et udtryk for fejlslagne forsøg på at indtænke lean i produktionsvirksomheder, og at lean og social bæredygtighed ikke et gensidigt udelukkende. I deres casestudie af, hvorvidt lean manufacturing (øget produktivitet, minimering af ressourcebrug) og socialt bæredygtig HRC (ergonomiske forhold, sikkerhed og psykologiske velvære) er kompatible størrelser, konkluderer de, at sammensmeltningen af lean og social bæredygtig HRC har en positiv effekt på en arbejdsstations produktivitet, samtidig med, at de ansattes velvære forbedres. Colim et al. anerkender dog, at deres studie er udtryk for et snævert forskningsgrundlag.

Comari et al. (2022) bidrager med deres udvikling af en tepakningscobot, der indgår i en HRC-konfiguration, som skaber både produktive og ergonomiske forbedringer, på trods af at cobotten virker dårligere i et autentisk arbejdsmiljø end i et testmiljø. Froschauer et al. (2021) undersøger i deres casestudie af produktion af svejningsværktøj, hvordan man bedst opnår en balance mellem menneske- og robotassisteret arbejde. En af hovedpointerne er, at det er svært at indlejre situationel opmærksomhed i den assisterende robotteknologi, der er en forudsætning for samarbejde i en given kontekst.

Industri 5.0 fremhæver i højere grad end Industri 4.0 vigtigheden af at undersøge arbejdspraksisser socioteknisk. Fokuset på de sociale aspekter bør dog undersøges dybere, da forbedringer i feltet er betinget af at forstå de sociale aspekter, såvel som de teknologiske funktionelle. Panagou et al. (2021) fremlægger, at hvis man negligerer implikationerne af kompleksiteten af menneskelige faktorer i HRC, kan det resultere i pseudoløsninger af problemer relateret til HRC. Her lægges der især vægt på vigtigheden af at forstå begrænsninger på menneskelige træk såsom følelser, trang til social interaktion og udmattethed, som kan påvirke menneskers præsentationer. Medtænkning af ovenstående faktorer vil ifølge Panagou et al. være et nødvendigt supplement til analyser af

robotteknologiers funktionalitet. Sindhwani et al. (2022) understreger også behovet for, at virksomheder skifter fokus fra maskiner til mennesker og miljø.

Indsigter som disse bør ifølge Cimini et al. (2021) indgå i designs af det, de kalder 'work design 4.0', der peger på en mangel på de ansattes interesser i designet af human-robot collaboration, hvilket potentielt kan have sociale og produktive konsekvenser for virksomhederne. Battini et al. (2022) argumenterer for en højere grad af individualisering af arbejdsstyrken, der tager hensyn til personlige styrker og præferencer samt databaserede beskrivelser af individerne. De peger blandt andet på, at dette kan være med til at eliminere ergonomiske problemer og afhjælpe strukturering og planlægning af arbejde, hvilket yderligere kan minimere eksempelvis kedsomhed. Oplysning til- og inddragelse af ansatte vil typisk også have en positiv effekt på deres forhold til og forståelse af de positive aspekter ved HRC og Industri 5.0 paradigmet generelt Chaabi (2022).

Fysisk sikkerhed

I litteraturen bliver der lagt vægt på de udfordringer og fordele, der opstår i det fysiske rum, som mennesker og robotter deler. Cobots kan løfte tunge objekter og udføre opgaver, der er ergonomisk uhensigtsmæssige for mennesker. Ved at fjerne opgaver, der slider på ansatte, kan man nedsætte fysisk overbelastning. Ydermere, kan andre teknologier som AR og DT bidrage til en øget sikkerhed gennem træningsperioder, der introducerer ansatte til arbejdet på forhånd.

Robotteknologiers evne til, at udføre fysisk arbejde i et langt højere tempo end mennesker betyder, at man tidligt i implementering af HRC, bør overveje sikkerhedskomponenter relateret til dette (Berx et al., 2022; Emma-Ikata & Doyle-Kent 2022). Kombinationen af, at robotter kan lave meget hurtige bevægelser og det faktum, at mennesker kan have meget tilfældige fysiske inputs, understreger behovet for, at fysisk sikkerhed bør være i fokus. Emma-Ikata & Doyle-Kent mener eksempelvis, at en sikkerhedskomponent, der skal udvikles yderligere, er kill switches, som er en mekanisme, der gør det muligt at slukke en enhed eller et system hurtigt i tilfælde af en nødsituation eller funktionsfejl. Boschetti et al. (2022) og Calandra et al. (2022) forklarer, at fysiske sikkerhedsbarrierer mellem maskiner og mennesker er nødvendigt, eftersom maskiner potentielt kan skade mennesker. Samtidig er det også en udfordring, da de kan have en disruptiv effekt på det fysiske arbejdsmiljø, og dermed ændre eller besværliggøre arbejdsgange. Pozo et al. (2022) adresserer dette problem ved udviklingen af det, de kalder robothud. Robothud er en tekstil løsning, lavet til at overdække robotter for at mildne eventuelle sammenstød med andre objekter og

mennesker. Huden har også en præventiv dimension, idet den på overfladen er udstyret med tre slags sensorer, der skal give robotten indikation om potentielle sammenstød. Nahavandi (2019) understøtter denne pointe ved at pege på, at robotter ikke har intuition som mennesker, og at det er vigtigt at have denne erkendelse med i designet i HRC-kontekster, hvilket Pozo et al. eksempelvis arbejder mod at løse. Gualtieri et al. (2020b) adresserer mange af de ovenstående bekymringer i udviklingen af en menneskecentrisk tjekliste, der har til formål at hjælpe designere med indtænke sikkerhed i HRC-design i diverse arbejdsmiljøer. Listen fokuserer på, hvordan forskellige arbejdsmiljøer og processer skaber grobund for forskellige sikkerhedsfarer og ergonomiske udfordringer.

I forhold til forebygning af sikkerhedsfarer, peger Arkouli et al. (2021) og Li et al. (2023) på, at sikkerhed kan optimeres præventivt gennem brug af virtuelle replikaer af virkeligheden til at træne de ansattes forståelse af sikkerhedsfarer i HRC. Dette kan blandt andet gøres gennem AR-assisterede virtuelle visualiseringer. Ifølge Srivastava et al. (2022) vil dette hjælpe med ansattes forståelse af arbejdssituationen og deraf øge sikkerheden. Digital twin (DT) fremtræder også som en af de teknologier, der kan være understøttende i forhold til udvikling af sikkerhedskompetencer. Huang et al. (2021) beskriver, hvordan teknologien kan være med til at give brugeren en bedre forståelse af sikkerhed og forbedre ergonomien på arbejdspladsen, før de initierer arbejdet. Huang et al. (2021) beskriver dog i denne forbindelse, at brugen af disse teknologier til træning, kan være forbundet med en række udgifter i form af eksempelvis dyre sensorer og typisk udvidelse af virksomhedens digitale infrastruktur, hvilket kan gøre det mindre attraktivt. Denne type træning er samtidig forbundet med en følelse af sikkerhed hos den enkelte ansatte, hvilket er et emne, der også behandles i litteraturen. Her pointerer Gustavsson et al. (2022) blandt andet, at træning i udførelsen af arbejdet, forud for det reelle arbejde, er forbundet med en følelse af sikkerhed i arbejdssituationen.

Miljøpåvirkning

I dette delafsnit analyseres perspektiverne på bæredygtig produktion inden for både Industri 4.0 og 5.0, som vi har identificeret i litteraturen. Publikationerne undersøger blandt andet regeringers investering i bæredygtige fremstillingspraksisser, fordelene ved præcise prædiktive analyser og udfordringerne ved genfremstilling. Desuden undersøges betydningen af miljøvenlige teknologier og produkter samt udfordringerne med mineindustrien i forhold til miljøpåvirkning.

Gupta et al. (2022) fremhæver, at regeringer i stigende grad investerer ressourcer i at fremme et skift mod et værdicentreret paradigme. Dette ses eksempelvis i Indien, hvor den indiske regering aktivt yder økonomisk støtte til små og mellemstore virksomheder, der vælger at fokusere på bæredygtige fremstillingspraksisser. Hvis miljøbevidsthed er økonomisk gavnligt for virksomheder, vil det have en positiv effekt på miljøet globalt, mener Diaz-Chao et al. (2020).

Turner et al. (2022) peger på, at der allerede er observeret fordele ved en øget opmærksomhed på grønne løsninger. Virksomheder begynder at stille større krav til deres egen og andres miljømæssige belastning, gennem fokus på anvendelse og genanvendelse af råmaterialer samt bæredygtig forarbejdning af materialer. Særligt indenfor mad-, mode- og byggebranchen er denne tendens prominent. Turner et al., forudsiger dertil, at efterspørgslen efter mere bæredygtige råvarer sandsynligvis vil sprede sig til flere industrier i fremtiden.

Calabrese et al. (2022) påpeger i deres undersøgelse af Industri 4.0's effekt på bæredygtighed i virksomheder, at Industri 4.0 primært fokuserer på at forbedre driftseffektivitet og produktivitet, mens bæredygtighedsudfordringer ikke i tilstrækkelig grad bliver adresseret af de nye forretningsmodeller. Studiet viser også, at virksomheder globalt set har en tendens til at prioritere effektivitetsrelaterede anvendelser af Industri 4.0 frem for Industri 5.0 bæredygtighedsrelaterede anvendelser.

Ojstersek et al. (2022) beskriver bæredygtig produktion som en helhedsorienteret proces, hvor produkter fremstilles med fokus på at minimere negativ miljøpåvirkning, reduktion af energi- og naturressourceforbrug samt sikring af de ansattes, lokalsamfundets og forbrugeres sikkerhed. Målet med bæredygtig produktion er ikke kun at producere mere bæredygtige produkter, men også at anskue produkt-cyklussen og optimere levetiden for produktionssystemer, produkter og tjenester. Dette sker ved at gøre fremstillingsprocesser mere bæredygtige, hvilket bidrager til virksomhedens samlede positive indvirkning på både samfundet og miljøet (Ojstersek et al., 2022). Et andet

væsentligt aspekt af produkt cyklussen er ifølge Turner et al. (2022) demonteringsprocessen. Demonteringsprocessen refererer til behandlingen af teknologi i slutningen af dens livscyklus, hvor materialer forsøges genbrugt, når udstyret er udtjent. Denne manuelle adskillelse af produkter er tidskrævende, og Turner et al. peger på at robotter har potentiale til at indgå i disse processer, for at forbedre effektiviteten af genbrug. I denne forbindelse argumenterer Turner et al. for udbredelsen af *Life-cycle assessment* (LCA), et rammeværktøj udviklet til at analysere produkters miljøbelastning, som et redskab til både akademikere og virksomheder. Turner et al., fremhæver, at ved at anvende LCA kan det bidrage til udbredelsen af demontering som fænomen i produktionsvirksomheder.

Jafari et al. (2022) beskriver Industri 5.0 som en tilgang, der fokuserer på miljøet og mennesker, hvor produktionen skifter fra masseproduktion til fremstilling af bæredygtige langtidsholdbare produkter. I en undersøgelse af, hvordan Industri 4.0 teknologier og miljømæssige tiltag kan optimere ydeevnen for produktionsvirksomheder i Malaysia, etablerer Ali et al. (2022) en forbindelse mellem miljømæssige tiltag, økonomiske cyklusser og virksomheders overskud. De konkluderer, at investeringer i bæredygtige tiltag og anvendelse af Industri 4.0 teknologier kan forbedre virksomheders indtjening og samtidig mindske deres miljøpåvirkning (Ali et al., 2022). Dertil understreger både Destouet et al. (2023) og Majerník et al. (2022), at brugen af miljøvenlige teknologier og produkter er afgørende for succes i Industri 5.0.

Roda-Sanchez et al. (2021) betegner genfremstilling som en nøglestrategi inden for bæredygtighed. Genfremstilling kræver op til 85 % mindre energi end fremstilling af et nyt produkt og kan reducere produktionsomkostningerne med op til 60%. Ikke desto mindre er der udfordringer forbundet med genfremstilling, som Roda-Sanchez et al (2021) forklarer.

En af udfordringerne er variationen i antallet af varer og materialer, der returneres til genbrug, samt variationen af deres kvalitet. Disse variationer kan gøre det vanskeligt for virksomheder at forudsige og planlægge, da de ikke har sikkerhed for mængden eller kvaliteten af tilgængelige materialer. For at kunne håndtere variationer i de returnerede varer bør maskiner være konfigurerbare til at håndtere forskellige batch jobs, især når det drejer sig om mindre batch jobs.

Større grad af udnyttelse af genfremstilling kan reducere energiforbruget, men det medfører også nye udfordringer.

Det er forventeligt, at udbredelsen af Industri 5.0 vil føre til efterspørgsel efter mere informationsteknologi, hvilket skaber et forøget forbrug af råmaterialer. Dette er imidlertid

forbundet med en intensivning af blandt andet mineindustrien, som er forbundet med miljøbelastning. Yaqot et al. (2022) påpeger eksempelvis, at elektrisk maskineri kan bestå af op til 70% kobber, hvilket understreger at mineindustrien står overfor potentielle udfordringer i takt med øget efterspørgsel på teknologi.

En af disse udfordringer er, at minedrift foregår i fjerne områder, typisk langt væk fra byområder, hvilket betyder, at de udvundne ressourcer skal transporteres langt.

Derudover er der udfordringer forbundet med rekruttering og fastholdelse erfarne maskinoperatører. Desuden er der fortsat mange ulykker i mineindustrien sammenlignet med andre industrier, på trods af løbende forbedringer. Disse udfordringer kompliceres yderligere af, at meget af arbejdet foregår underjordisk i fjerne lokationer. Desuden er der stigende bekymring angående energiforbrug, effektiv brug af ressourcer, samt stigende energipriser i mineindustrien. Slutteligt nævner Yaqot et al. (2022), at implementering af ny teknologi i mineoperationer er komplekst, eftersom der indgår flere forskellige maskiner, der har hvert sit operativsystem. Når Yaqot et al., går i dybden med lige præcis mineindustrien, er det fordi, de argumenterer for, at det er nødvendigt at afveje fordele og ulemper ved et øget forbrug af råmaterialer, som eksempelvis kobber, til produktion af større mængder informationsteknologi til at understøtte Industri 4.0 og 5.0.

Samfundspåvirkning

Dette afsnit dykker ned i virkningerne af Industri 4.0 og Industri 5.0, der søger at bringe mennesket tilbage i produktionen. Indledningsvis undersøges det det, hvordan Industri 4.0 påvirker den sociale bæredygtighed. Derefter, hvordan jobsikkerhed påvirker villigheden til at adoptere ny teknologi, ifølge litteraturen. Slutteligt undersøges det, hvordan litteraturen belyser paradigmeskiftet i Industri 4.0 og 5.0 og den potentielle udfordring, som en kompetencekløft kan udgøre for den menneskecentrede dagsorden i Industri 5.0. Formålet med det følgende er ydermere at kaste lys over de centrale sociale aspekter i overgangen mellem disse to industrielle faser, samt at identificere potentielle barrierer for en mere menneskecentreret agenda i fremtidens produktionsindustrier.

Social bæredygtighed

I dette delafsnit undersøges social bæredygtighed i Industri 4.0 og 5.0 og den påvirkning, det kan have på samfundet. Først undersøges, hvordan teknologiske fremskridt i Industri 4.0 kan påvirke virksomhedernes evne til at være bæredygtige på forskellige måder afhængigt af faktorer såsom økonomi, politik, teknologi og kultur. Efterfølgende undersøges, hvordan forskningslitteraturen forholder sig til de bekymringer, der kan opstå i forbindelse med introduktionen af nye teknologier. Desuden undersøger vi, hvordan manglende viden og tekniske færdigheder inden for Industri 4.0, kan stå i vejen for at udnytte det fulde potentiale af teknologierne.

Social bæredygtighed beskrives i flere studier som en tredeling, der omfatter både sociale, økonomiske og miljømæssige aspekter (Sindhwani et al., 2022; Jafari et al., 2022; Choi et al., 2021; Gualtieri et al., 2020a). Ifølge Sindhwani et al. (2022) har Industri 4.0 ikke levet op til forventningerne om social bæredygtighed på grund af et enøjet fokus på effektivitet og produktivitet gennem teknologiske fremskridt, der overser menneskelige og miljømæssige hensyn. Choi et al. (2021) påpeger, at menneskelig velfærd er afgørende for at opnå langvarig social bæredygtighed. Evnen til at opnå social bæredygtighed vil undertiden variere fra land til land, da faktorer som økonomi, politik, teknologi og kultur kan påvirke, hvordan teknologierne anvendes (Choi et al., 2021; Slitori et al., 2021).

Santhi & Padmakumar (2023) mener, at hvis teknologierne i Industri 4.0 ikke udnyttes korrekt, kan det have samfundsmæssige konsekvenser og påpeger nødvendigheden i at anerkende disse konsekvenser, ved at tage hensyn til eventuelle videns- og færdighedsmæssige mangler. Ifølge

Roberts et al. (2021) kan manglende viden og kompetencer i Industri 4.0 og 5.0 begrænse potentialet af teknologierne, og i værste fald kan dette have sociale konsekvenser.

Litteraturen om Industri 4.0 og 5.0 fremhæver både potentielt positive effekter, såsom mere effektive arbejdsprocesser og øget produktivitet, men også negative sociale konsekvenser. Bińczycki & Dorocki (2022) argumenterer eksempelvis for, at automatisering kan føre til jobtab og fjernarbejde, hvilket kan føre til fremmedgørelse og depression i samfundet. Derudover påpeger Gustavsson et al. (2022), at introduktionen af ny teknologi på arbejdspladsen, kan have negative effekter på medarbejdernes trivsel. Implementeringen af ny teknologi kan medføre en følelse af kontroltab og usikkerhed blandt ansatte, hvilket kan føre til stress, konflikter og uønsket personaleomsætning. Derfor er opmærksomhed og fortsat fokus på de menneskelige konsekvenser af teknologisk forandring nødvendig for at sikre, at implementeringen af ny teknologi tager hensyn til medarbejdernes trivsel og arbejdspladskultur (Gustavsson et al., 2022). Kowal et al. (2022) foreslår, at dette kan opnås ved at gentænke systemdesignet omkring mennesker, så arbejdspraksissen ændres i takt med teknologiske fremskridt, samtidig med at både ansattes trivsel og produktivitet støttes. Xu et al. (2022) anerkender, at denne problematik eksisterer i både Industri 4.0 og 5.0, og foreslår dertil en løsning i form af en teoretisk ramme, der beskriver menneskelige behov og motivationer i produktionsmiljøet. Rammeværket skal hjælpe med at sikre, at den teknologiske udvikling tager hensyn til de menneskelige faktorer på arbejdspladsen.

Industri 5.0 har til formål at integrere teknologierne fra Industri 4.0, ved at fokusere på samarbejdet mellem robotter og mennesker. Ved at anvende teknologier som cobots og AI, kan teknologi i Industri 5.0 centreret omkring menneskelige behov og kombinere konkurrenceevne og bæredygtighed (Mubarak, 2022). Det er dog afgørende at adressere juridiske, reguleringsmæssige, psykologiske, sociale og etiske spørgsmål for at være klar til Industri 5.0 og samarbejdet mellem mennesker og robotter i HRC (Mubarak, 2022;).

Xu et al., 2022;) påpeger, at der stadig er brug for mere videnskabelig forskning, for at forstå menneskelig adfærd og interaktionen mellem mennesker og cobots. Trentesaux & Caillaud (2020) pointerer blandt andet at der er en idé om at designere af teknologi, ikke skal bekymre sig om etiske komplikationer. Det er væsentligt at undersøge, hvordan teknologier påvirker samarbejdet mellem mennesker og cobots, samt hvordan ansatte reagerer på teknologien på arbejdspladsen, hvilket kan

bidrage til en bedre forståelse af, hvordan teknologien kan anvendes på en måde, der både forbedrer produktiviteten og tager hensyn til ansattes trivsel.

Jobsikkerhed

Dette delafsnit undersøger udfordringerne ved implementering af nye teknologier og automatisering i industrien i forhold til medarbejderes jobsikkerhed. Det fremhæves, at historiske kontekster og tidligere erfaringer med teknologisk udvikling bør inddrages i overvejelserne om automatisering. Desuden kan implementeringen af nye teknologier påvirke organisationen og strukturen på arbejdspladsen, hvorfor der bør tages hensyn til både menneskelig trivsel og balance mellem menneskelig velfærd, samt andre hensyn såsom virksomhedernes fordele.

Sanboochi et al. (2021), Kumar et al. (2021) og Gustavsson et al. (2022) mener, at udviklingen i industrien bør anskues i en historisk kontekst. Sanboochi et al. og Kumar et al. understreger, at organisationer bør forholde sig til, hvordan udviklingen af teknologier førhen har ført til ulighed og ændringer på arbejdspladsen, og understreger dertil uundgåeligheden i at automatisering erstatter ansatte. Gustavsson et al. påpeger, at ansatte historisk set har været skeptiske overfor brug af robotter i industri, hvilket ses i undersøgelser tilbage fra 1980'erne. Selvom det er mere end 30 år siden, mener Gustavsson, at det stadig er relevant i dag, især i forhold til nye teknologier.

Emma-Ikata & Doyle-Kent (2020) fremsætter undertiden et positivt syn på automatisering og påpeger, at det ikke erstatter mennesker, men derimod flytter dem til mere specialiserede roller, der kræver højere færdigheder. Dertil viser en undersøgelse af Bińczycki og Dorocki (2022), at robotters potentiale for at erstatte en stor arbejdsmængde, kan gøre det vanskeligere at allokere arbejdsopgaver til alle medarbejdere, hvis arbejdsopgaver bliver automatiseret. Choi et al. (2020) foreslår derfor, at medarbejdere, der bliver fyret som følge af automatisering, bør kompenseres økonomisk, baseret på det overskud, som virksomheden opnår ved at erstatte mennesker med robotter.

Når nye digitale teknologier bliver introduceret, kan det, som tidligere nævnt, medføre utryghed blandt medarbejderne. Oyegoke og Yusuf (2021) fremhæver, at denne situation kan bidrage til det, de beskriver som techno-pessimisme. Samtidig peger Kowal et al. (2022) på, at indførelsen af nye teknologier kan resultere i en modvilje hos medarbejderne mod at anvende disse teknologier. Dette skyldes forskellige faktorer såsom frygt for at begå fejl, bekymringer om, hvordan teknologierne vil

påvirke deres arbejde, samt frustration over at skulle lære nye processer og arbejdsgange, og ifølge Kowal et al. kan denne tilbageholdenhed føre til stress for medarbejderne og udgøre en barriere for en succesfuld implementering af de nye teknologier. Derfor er det afgørende, at medarbejderne modtager den nødvendige træning og støtte til at anvende de nye teknologier effektivt og tillidsfuldt (Kowal et al., 2022). Binczycki og Dorocki (2022) argumenterer for, at virksomheder bør have fokus på, at deres medarbejdere opbygger tillid til teknologien, for at styrke samarbejdet mellem mennesker og cobots. Ved at opbygge denne tillid mener de, at det kan resultere i øget effektivitet og arbejdsglæde, da cobots kan håndtere monotone arbejdsopgaver, som ikke tilfører nogen værdi for de ansattes arbejdsoplevelse. Choi et al., (2021) forholder sig til, hvilke faktorer, der bør tages i betragtning, når menneskelig trivsel defineres, det omfatter faktorer som blandt andet medarbejdervelfærd og valgfrihed, som er væsentlige for at opnå harmoni mellem medarbejdere og cobots.

Ifølge Taylor et al. (2020) bør der særligt lægges vægt på lavtlønnede job, hvor få færdigheder og lille grad af autonomi er påkrævet ved cobot implementering. Ansatte i sådanne job med begrænset beslutningsfrihed kan i princippet ende med at fungere i standby-tilstand, hvor deres primære opgave er at overvåge robotterne, og derfor vil deres færdigheder sandsynligvis aftage. Taylor et al. argumenterer for, at hvis vi ønsker at forbedre produktiv kreativitet, menneskelig og miljømæssig sikkerhed samt kvaliteten af arbejdslivet, bør arbejdsorganiseringsmodeller skabe en styrket rolle for mennesker som skabere i stedet for "vente-operatører". Hertil mener Gualtieri et al. (2020a), at produktionsvirksomheder bør have mennesker som organisationens kerne og udvikle menneskecentrerede produktionssystemer. Der skal opstilles en ny formel for organisatorisk social velfærd, der inkluderer en vægtet sum af menneskelig velfærd, miljøet og virksomhedernes fordele (Choi et al., 2021).

Kompetencekløft

Kompetencekløften i Industri 4.0 og 5.0 refererer til manglen på specifikke færdigheder hos arbejdsstyrken som følge af introduktionen af ny teknologi og arbejdsmetoder. Litteraturen præsenterer forskellige perspektiver på manifestationen af denne kløft, og kommer med forslag til, hvordan den kan tackles for at opnå en mere kompetent arbejdsstyrke. Adskillige forfattere fremhæver betydningen af menneskelige færdigheder for at opnå en gunstig samarbejdsdynamik mellem mennesker og cobots (Pokorni et al. 2020; Chin, 2021; Lin & Lukodono 2022; Cimini et

al., 2022; Dallel et al., 2023; Balková et al., 2022; Scuotto et al., 2023). Samtidig er der fortsat behov for at udvikle teknologiske færdigheder for at maksimere potentialet af de nye teknologier. Derfor peger flere forskere på et behov for at omskole nuværende medarbejdere for at være bedre stillet i forhold til den digitale transformation (Cimini et al., 2022; Borchardt et al., 2022; Park & Shintaku, 2022; Fukuda, 2020; Scuotto et al., 2023).

For at etablere en effektiv samarbejdsrelation mellem mennesker og cobots og udnytte de muligheder, som cobots kan tilføre arbejdspladsen, er det ifølge Mubarak (2022) nødvendigt, at medarbejdere besidder færdigheder udover de rent tekniske. Det er afgørende at udvikle problemløsningsfærdigheder, hvor medarbejderne engagerer sig i kognitive processer for at løse forretningsproblemer. Derudover er lederevner vigtige for at håndtere de kommunikative, transformationelle, teknologiske og udviklingsmæssige udfordringer, der opstår i forbindelse med samarbejdet mellem mennesker og cobots (Mubarak, 2022), (Pokorni et al. 2020; Chin, 2021; Lin & Lukodono 2022; Cimini et al., 2022; Dallel et al., 2023).

På den anden side hævder Balková et al. (2022), at der på trods af den konstante efterspørgsel efter nye teknologier og ledelsesfærdigheder i Industri 4.0 og 5.0, stadig er en stigende efterspørgsel på innovativ og kreativ adfærd fra virksomhederne. Derfor er det nødvendigt for virksomhederne, at støtte den kreative tænkning blandt medarbejderne for at forblive konkurrencedygtige i en tid, hvor automatisering og AI bliver mere og mere udbredt.

Granata et al. (2023) argumenterer for, at det, at arbejdsopgaver bliver erstattet af robotter, kan have positive indvirkninger på effektiviteten.

På samme måde påpeger Cimini et al. (2022), at den hastige teknologiske udvikling kan skabe en kompetencekløft mellem de eksisterende og de nødvendige kompetencer. For at imødekomme påvirkningerne af ny teknologi på virksomheden både operationelt, strategisk og hvad angår den enkelte medarbejder, foreslår de en planlagt kompetenceudvikling og uddannelse blandt ansatte. Park & Shintaku (2022) anerkender behovet for at investere i uddannelse og opkvalificering af ansatte, og understreger, at hvis de ansatte ikke har de nødvendige færdigheder, vil virksomheder muligvis ikke kunne udnytte teknologiernes fulde potentiale.

Scuotto et al (2022) fremhæver behovet for en ændring af organisationskulturen, der fokuserer på at fremme kompetenceudvikling og omskoling af ledelsen og medarbejdere. For at imødekomme dette foreslår Fukuda (2020), at offentlige og private sektorer samarbejder om, at uddanne arbejdsstyrken til at være mere resiliens i lyset af de teknologiske fremskridt i Industri 4.0 og 5.0. Fukuda

argumenterer desuden for, at teknologiske fremskridt har potentiale til både at øge produktiviteten og skabe samfundsværdi, men at det kræver en arbejdsstyrke med de nødvendige kompetencer til at arbejde med- og drage fordel af disse teknologier.

Borchardt et al. (2022) understreger dog, at det kræver en del overvejelse, da der ikke er tilstrækkelig forskning vedrørende innovative Industri 5.0-inspirerede forretningsmodeller til at applicere i organisationer.

Udbredelse af Industri 4.0 teknologi i produktionsvirksomheder

Følgende afsnit undersøger, hvilke barrierer litteraturen identificerer i forhold til først og fremmest diffusion af Industri 4.0 teknologier i produktionsindustrier, men også udsigterne til Industri 5.0 kompatibilitet.

Fraga-Lamas et al. (2022) fremhæver i deres state-of-the art litteraturgennemgang af *cyber-physical systems*, at det meste af arbejdet, der udføres i produktionsindustrier, der involverer en kombination af mennesker og Industri 4.0 teknologier, ofte kun opfylder op til to ud af de tre overordnede principper inden for Industri 5.0-relaterede principper: Menneske-centrisme, bæredygtighed og resiliens.

Hertil pointerer Siltori et al. (2021), at studier om, hvorvidt virksomheder er Industri 5.0 kompatible, nærmest udelukkende finder sted i industrilande. Under de overordnede Industri 5.0 principper, fremhæver Adel (2022) en række underkategorier, som han argumenterer for, er underprioriterede, hvis målet er Industri 5.0 kompatibilitet. Dette inkluderer i forbindelse med HRI- og HRC relateret arbejde blandt andet mangel på faglært arbejdskraft til at betjene og arbejde sammen med teknologierne. Desuden er overgangen til en mere Industri 5.0-venlig arbejdsplads en lang og dyr proces. På trods af det understreger Adel dog, at dette ikke er en begrænsning affødt af Industri 5.0 principperne, men i højere grad en begrænsning affødt af, hvorvidt virksomheder og ansatte perciperer implementering af disse teknologier som værende nyttige kortsigtet. Adel peger derfor på mangel på teknologiaccept som værende en væsentlig barriere for Industri 5.0 kompatibilitet og tilføjer, at blandt andet fokus på opkvalificering af arbejdskraft til at kunne interagere med, og forstå teknologierne sammenfalder med en større tilbøjelighed til at acceptere teknologierne. Denne type observation gøres også af Liu & Cao (2022), der peger på en korrelation mellem umiddelbar kompatibilitet med det nuværende arbejdsmiljø og villighed til at implementere.

Dette understøttes yderligere af Panagou et al. (2021) og Rosemann et al. (2021), der pointerer, at Industri 4.0-kompatibilitet i mange produktionsindustrier fortsat ikke eksisterer, grundet manglende implementering af Industri 4.0 teknologier. Dette gør det ifølge Alves et al. (2023) svært at undersøge virksomheder gennem en Industri 5.0 linse, da Industri 5.0 afhænger af at Industri 4.0-teknologier er implementeret til en vis grad. Det resulterer i, at Industri 5.0 i høj grad er et fænomen, der eksisterer i kraft af akademiske bidrag og ikke i produktionsindustrierne selv. Denne barriere udbygges af Sihan et al. (2022), der pointerer, at specifikt implementering af cobots, er forbundet med stor kompleksitet i form af integrering i det nuværende arbejdsmiljø, men også i forhold til fremtidig vedligeholdelse og tilpasning. Denne kompleksitet er negativt korreleret med adoption af disse typer teknologier hos små- og mellemstore virksomheder, da optimal udnyttelse af disse teknologier opfattes som værende for krævende.

Porubčinová og Fidlerová (2020) og Leesakul et al. (2022) argumenterer for, at en af årsagerne til manglende adoption af robotteknologier, er mangel på deltagelse fra de ansatte i de dele af designprocessen, der har til formål at tilpasse robotten til arbejdskonteksten. I denne proces vil de ansatte få en større forståelse for robotternes kollaborative og kompetitive evner, og derigennem kunne skabe et mere oplyst grundlag for fordele og begrænsninger ved robotterne, der kan resultere i et bedre samarbejde. Tao et al. (2021) udpensler dette ved at pointere, at der bør være en korrelation mellem forventede evner og faktiske evner for at et samarbejde kan finde sted. Del Giudice et al. (2021) når en lignende konklusion og tilføjer, at det er forbundet med en følelse af selvkontrol for menneskelige medarbejdere at indgå i processen. Saßmannshausen et al. (2021) knytter hertil, at fortrolighed med teknologier hænger sammen med tilhørsforhold og accept af teknologier. Dette underbygges også af Yao et al. (2022), der argumenterer for, at vi er i en situation, hvor mennesker skal vænne sig til at interagere med cobots i samme grad, som de har vænnet sig til at interagere med deres telefoner, da det er nødvendigt at opbygge et samarbejdende partnerskab med dem.

Nahavandi (2019) kvalificerer ovenstående pointe ved at pege på vigtigheden af opkvalificering af arbejdsstyrkers teknologiske kompetencer i produktionsvirksomheder. Hertil understreges, at opbygningen af tillid til- og forståelse for, at teknologier som cobots på sigt kan øge arbejdsvelvære ved at mindske fysiske skader samt øge produktivitet gennem optimering af produktionsprocesser. Arkouli et al. (2021) fremanalyserer lignende gevinster ved implementeringen af blandt andet robotter i deres casestudie, hvor robotter implementeres til at afhjælpe produktionen.

Som supplement til ovenstående fokus på opkvalificering, argumenterer Xu et al. (2022) for vigtigheden af at kultivere individers kompetencer i forhold til de ansattes selvbillede og selvrealisering i forbindelse med udførelsen af deres arbejde sammen med cobots. I den forbindelse præsenteres deres *Industrial Human Needs Pyramid*“, der udlægger forskellige stadier af behov for mennesker, der arbejder i produktionsindustrier. I de nederste to stadier er behovet for sikkerhed og sundhed repræsenteret ved et behov for blandt andet fysiske farer, såvel som forsikring om muligheden for at udføre sit arbejde uden at lide kropslig overlast. De tre øverste stadier fokuserer på blandt andet behovet for tilhørsforhold til sit arbejde, følelser af formål med det arbejde, man udfører, følelser af personlig præstation og personlig identifikation med arbejdet. Xu et al. Fremlægger deres tese som en evolutionel progression, hvor mennesker først skal lære at sameksistere med cobots i arbejde, dernæst samarbejde med dem og på sigt udvikle arbejdspraksis i samarbejde med teknologierne.

Porubčinová & Fidlerová, (2020) anerkender samtidig vigtigheden af menneskelige kompetencer såsom tænkning, orientering og ledelsesfærdigheder som væsentlige for at realisere forretningsideer og øget konkurrencefordel.

Xu et al. argumenterer for, at den effektivitetscentriske fjerde industrielle revolution højst har formået at opfylde de to første stadier af produktionsmedarbejderes behov i Industrial Human Needs Pyramid, og at de tre øverste stadier stadig stort set er uudnyttede. De peger, i den forbindelse på, at opkvalificering af produktionsmedarbejderes kompetencer til at indgå i interaktioner med teknologier, som cobots i udførelsen af deres arbejde, som et middel til på sigt, at løfte disse behov gennem, først sameksistens, så kollaboration og ultimativt coevolution. I denne forbindelse argumenteres der for, at dette ikke blot vil resultere i individets velvære, men i lige så høj grad i produktionsvirksomheders velstand, da de påpeger, at udviklingen af disse kompetencer er sammenhængende med økonomiske gevinster. Dette underbygges, som nævnt tidligere, også af Adel (2022), der identificerer, at nærværet af teknologiske kompetencer i virksomheder, giver andre forudsætninger for at turde udvikle sin virksomhed teknologisk, og dermed også økonomisk på sigt.

Teoretiske begrænsninger

Et tema, der bliver behandlet i en række artikler, er teoretiske begrænsninger i forbindelse med at forstå udvikling, implementering og brug af Industri 4.0 teknologier. Særligt i relation til at forstå og producere en holistisk forståelse af kompleksiteten af de processer og teknologier, der udgør en HRC-kontekst. Følgende afsnit undersøger og fremsætter teoretiske begrænsninger i litteraturen.

Zhu et al. (2022) anerkender og adresserer at det er en udfordring, at fremsætte en holistisk tilgang til at behandle HRC-kontekster. For at adressere det, tilbyder de en metode til dynamisk rekonfigurering af intelligente produktionssystemer (produktionssystemer der udnytter fordelene ved Industri 4.0 teknologier). Disse kan gennem brug af digital twin effektivisere produktionsopgaver for både robotter og operatører af robotter. Afsættet for deres metode er udformet af en række antagelser om det eksisterende arbejdsmiljø, som afgrænser metoden til kun at forholde sig til konfigurationen af et DT-værktøj relateret til én robot, der er opereret af én operatør. Deres casestudie resulterer i en forøgelse af produktiviteten. De pointerer dog selv, at én konfiguration bestående af tre delelementer ikke er repræsentativt for, hvad det vil sige at konfigurere et arbejdsmiljø i sin helhed. Derfor argumenterer de for, at fremtidige undersøgelser bør undersøge muligheden for konfiguration af andre mere komplekse konstellationer, for at kunne adressere en større mængde af intelligente produktionssystemer.

Bi et al. (2021) underbygger denne pointe, og konstaterer, at en bedre forståelse for kompleksiteten af hvad et givent stykke arbejde består i, ikke nødvendigvis er indtænkt i arkitekturen af mange produktionssystemer. Hertil argumenterer de for, at systemerne er designet baseret på en forventning om klare grænser mellem forskellige systemer, hvilket er problematisk, da arbejdspladser som regel er karakteriseret ved flydende grænser, regelmæssige teknologiske interventioner, udskiftninger af teknologi og dynamiske forhold mellem mennesker og teknologi. Liu & Cao (2022) underbygger denne påstand, i deres undersøgelse af, hvad der får robotteknologi til at diffundere ned i små- og mellemstore virksomheder, hvor de fremanalyserer kompatibilitet med det eksisterende arbejdsmiljø som værende stærkt korreleret med implementering af robotteknologi.

Sindhvani et al. (2022) bidrager med et perspektiv, der peger på vigtigheden af at se arbejdspladsen som mere end blot summen af teknologier og mennesker, og argumenterer for vigtigheden af at forstå, hvordan mennesker perciperer det at arbejde sammen med robotteknologi. De argumenterer for, at menneskelige psykologiske faktorer bør inkluderes i højere grad, når et arbejdsmiljø

kompleksitet forsøges analyseret. Det inkluderer blandt andet en stillingtagen til stress og ubehag, som menneskelige medarbejdere kan opleve i arbejdet med robotter, fokus på klar kommunikation mellem menneske og robot og bekymringer i forhold til jobsikkerhed.

Destouet et al. (2023) når en lignende konklusion, der fremhæver manglen på menneske-centristiske studier, dog i forbindelse med design af mere dynamiske produktionscyklusser. Gürdür et al. (2022) foreslår i denne forbindelse 'mutual learning' som en indgangsvinkel til at forbedre disse typer problemer. De beskriver det som værende: "a bidirectional process involving reciprocal exchange, dependence, action or influence within human and machine collaboration, which results in creating new meaning or concept, enriching the existing ones or improving skills and abilities in association with each group of learners" (Gürdür et al, 2022).

Srivastava et al. (2022) behandler også menneske-robot kommunikation og pointerer, hvordan mennesker i deres kommunikation med hinanden, gør brug af uformel kommunikation til at udføre arbejde kollaborativt. Denne type kommunikation er svær at oversætte til en cobot i en HRC-kontekst, og kan derfor give anledning til gnidninger i arbejdet, hvis mennesker har en forventning om at kunne arbejde, som de plejer. Srivastava et al. understreger i den forbindelse, at det både er et problem, der dels kan adresseres ved at kalibrere menneskers forventninger til, hvad robotter kan og ved at opfordre til at producenter af robotteknologi er mere transparente omkring præcis, hvad deres produkter er i stand til.

Fase 3: Fortolkning og vejledning

Baseret på indsigter fra syntesefasen, præsenteres i fortolknings- og vejledningsfasen relationen mellem disse og hvad vi mener bør undersøges i fremtidig forskning. Denne fase fremgår som rapportens diskussionsafsnit. Gennem en diskussion af litteraturen, adresseres de områder, hvor der er identificeret mangler i den eksisterende forskningslitteratur. Denne fase afspejler syntese på tværs af de otte analysekategorier. Derfor følger strukturen, for diskussionen, ikke strukturen for analysen.

Udfordringer og perspektiver ved cobots og menneskers samarbejde i Industri 4.0 og 5.0

I syntesefasen har vi beskrevet, at samarbejdet mellem cobots og mennesker bliver betragtet som en del af fremtidens kompromis til produktionspraksisser, der førhen har været overvejende effektivitetscentreret. Litteraturen peger på en række muligheder, der potentielt kan revolutionere produktionsvirksomheders tilgang og arbejdsmetoder. Ikke desto mindre viser litteraturen en diskrepans mellem de muligheder, der identificeres, og den faktiske implementering af teknologierne. Selvom dette delvist kan tilskrives det faktum, som blev påvist i rapportens fase 1, nemlig at forskningsområdet stadig er forholdsvis nyt, og at brugen af disse teknologier stadig er i en tidlig fase, finder vi det relevant at drøfte de konsekvenser, det medfører.

I litteraturgennemgangen illustrerer blandt andre Berx et al. (2022), Emma-Ikata & Doyle-Kent (2022), Mubarak (2022), Kowal et al. (2022) og Granata et al. (2023), at cobots forventes at ændre den måde, vi arbejder på. En af de primære formål med anvendelse af samarbejdende robotter er, at støtte mennesker i fysisk krævende arbejde, hvilket er med til, at foretage sikre og effektive fysiske interaktioner ved at kombinere maskinstyrker med kognitive menneskelige egenskaber (Gualtieri et al., 2020). Foruden positive effekter i forbindelse med at aflaste ansatte, forventes det også, at cobots vil kunne samarbejde med mennesker, da de er fleksible og i stand til at tilpasse sig ændringer hurtigt. Disse færdigheder kan i sammenspil med andre teknologier medvirke til, at effektivisere og udvide mulighederne for at fremstille produkter mere bæredygtigt.

Ifølge Nourmohammadi et al. (2021), har anvendelsen af cobots i produktion fået øget opmærksomhed, da cobots, i modsætning til traditionelle industrirobotter, der normalt arbejder i

isolerede arbejdsmiljøer, er designet til at arbejde tæt sammen med mennesker i samme arbejdsmiljø ved hjælp af integrerede interaktions-, sensor- og sikkerhedsteknologier. Adel (2022) mener, at denne samarbejdsevne vil være med til at øge effektiviteten af industriel produktion.

Til trods for potentialerne ved cobot-anvendelse påpeger flere forskere, at cobots stadig ofte bliver anvendt som traditionelle industrirobotter, og derfor ikke udnytter teknologiens potentiale for HRC fuldt ud (Adel, 2022; Arkouli et al., 2021; Boschetti et al., 2022).

Di Marino et al. (2022) argumenterer for, at dette både skyldes de mange sikkerhedsregler, der styrer cobot-anvendelse, men også manglen på værktøjer til at designe arbejdspladser der er HRC kompatible. Industri 5.0 lægger op til en grundlæggende omlægning af produktionsprocessen, der kombinerer digitalisering, forudsigelser og fokus på mennesket. Ifølge Arkouli et al. (2021) er det væsentligt at erkende, at en ændring af produktionsmiljøet, og måden processerne udføres, kræver en holistisk tilgang, der adresserer flere aspekter såsom sikkerhed, autonomi og ydeevne fra nye værdibaserede indfaldsvinkler.

Adel fremhæver, at kompleksiteten af akademiske fund kan virke afskrækkende på virksomheder og vanskeliggøre virksomhedernes tilbøjelighed til opgradering af deres produktionslinjer til Industri 5.0.

Yderligere understreger Emma-Ikata & Doyle-Kent (2022), at fordi cobots er underlagt de samme regler som traditionelle robotter, kan det være begrænsende for udnyttelsen af deres fulde potentiale, da reglerne i høj grad i høj grad afspejler tidligere robotbrug.

Selvom disse problematikker anerkendes i forskningslitteraturen, har vi bemærket, at der eksisterer en mangel på reelle casestudier. Di Marino peger på, at denne mangel på praktisk implementering kan skyldes manglende standarder og specifikke designmetoder til at implementere et effektivt samarbejde mellem mennesker og cobots. Hertil konkluderer Jafari et al. (2022), at det kan skyldes, at Industri 5.0 stadig er under både konceptuel og metodologisk udvikling af både praktikere og forskere. Det er undertiden ikke ensbetydende med, at den eksisterende forskning er mangelfuld. Derimod tegner det et billede af, at det er vanskeligt at bedrive casebaseret Industri 5.0-forskning i virksomheder, der ikke er konfigureret til at understøtte det.

Vi mener, det er værd at diskutere, hvad der kan medføre en ændring i arbejdsmetoder og større grad af anvendelse af robotteknologi, og om denne ændring er drevet af teknologi i sig selv eller af paradigmeskiftet, som Industri 5.0 repræsenterer. For at komme nærmere, hvilken retning fremtidig forskning bør tage for at adressere, hvorfor cobots anvendes som traditionelle industrirobotter,

finder vi begrebet disruption, der henviser til ændringer af eksisterende tilstande, brugbart.

Alexander Manu (2021) beskriver disruption som følgende:

”a disruption occurs when human motivation embraces a new technology and allows it to enhance and expand the experience of everyday life. In this definition, the *disruptor* is the technology, while *disruption* is the human being engaged in a new behavior”.

I denne definition refererer disruptor til den faktiske teknologi, mens disruption henviser til adfærdsændringer som følge af teknologiens brug. Anskues Industri 5.0 i sin helhed, kan der argumenteres for, at det er selve konceptet og tilgangen, der er disruptiv. Industri 5.0 repræsenterer en mulighed for at nytænke forretningsmodeller og skabe et produktionsparadigme, der fokuserer på integrationen af teknologier som *internet of things (IoT)*, AI, automatisering og HRC, hvilket skaber nye arbejdsmiljøer, hvor ansatte og teknologi samarbejder tættere end tidligere. Denne tilgang kan betragtes som disruptiv, da den udfordrer den traditionelle opfattelse af produktion, hvor teknologi primært har været betragtet som et værktøj til at effektivisere processer og reducere omkostninger. I forbindelse med Industri 5.0 er der opstået nye parametre for succesfuld implementering. Comari et al. (2022) og Froschauer et al. (2021) rapporterer, i deres publikationer, om overvejende vellykkede interventioner i forbindelse med cobot-implementeringer i testmiljøer. Dog opleves en diskrepans mellem det potentielle og faktiske udbytte, når cobots implementeres i praksis. I testmiljøer giver cobots større udbytte, end de gør i praksis. Dette indikerer, at teknologien er disruptiv, men at det i høj grad er sammenhængende med, hvilken implementeringsstrategi der benyttes. Det afhænger også af, hvilke kriterier, der evalueres på. Hvis de kriterier der evalueres overvejende, er de, der også er lettest at imødekomme, kan det mudre billedet i forhold til forventet og faktisk disruption.

På den anden side kan man argumentere for, at det ikke er Industri 5.0 som helhed, der er disruptiv, men derimod de teknologier, der udgør fundamentet for Industri 5.0. Disse teknologier, såsom cobots, har potentiale til at disrupte og transformere eksisterende forretningsmodeller og produktionsmetoder.

Dertil kan der argumenteres for, at det er teknologierne, der driver Industri 5.0, der er disruptive, mens selve Industri 5.0-konceptet repræsenterer en strategisk tilgang til at udnytte og integrere disse teknologier på en bæredygtig og værdibaseret måde.

Som tidligere nævnt, viser casestudierne fra litteraturgennemgangen dog, at flere testimplementeringer af cobots i virksomheder har været forholdsvis succesfulde, hvilket ikke

stemmer overens med den forventede disruption. Det tyder på, at en disruption kræver mere end implementering af en teknologi eller en bestemt forretningsmodel.

Den indebærer således også ændringer i adfærd, kultur og organisatoriske strukturer, hvilket kan påvirke virksomheders villighed til at implementere disse ændringer. Villigheden til at implementere nye teknologier kan variere afhængigt af virksomhedens størrelse. Mindre virksomheder kan således være mere tilbageholdende med at investere i nye teknologier, på grund af økonomiske begrænsninger eller manglende ressourcer til at håndtere implementeringsprocessen. Omvendt er det plausibelt at større virksomheder med større økonomisk råderum og mere kapacitet til at håndtere implementeringen af nye teknologier, har bedre forudsætninger for at drage fordel af Industri 5.0.

Vi mener derfor, at et relevant næste skridt i forskningen ville være at undersøge, hvordan virksomheder kan opnå den ønskede disruption, der kræves for at kunne udnytte potentialerne ved cobots. For det første er det vigtigt at undersøge, hvad der er roden til, at potentialerne ikke udnyttes. Om det er selve designet af cobots, anvendelserne, organisationens villighed, mangel på kompetencer, eller en kombination, der modarbejder implementeringen af teknologierne i deres tiltænkte funktion, står stadig relativt uvist. For at opnå en vellykket implementering og udnyttelse af de potentielle fordele ved Industri 5.0. er det afgørende at forstå, hvordan teknologi og organisatoriske aspekter interagerer og påvirker hinanden. Det kunne også være interessant at undersøge, hvordan vidensdeling på tværs af virksomheder kan fremme denne agenda. I forhold til det paradigmeskift, der foreslås ved Industri 5.0, er det værd at undersøge virksomheders vilje til at efterleve det, da det kun er en delmængde af litteraturen, der peger på, at det giver økonomisk afkast. Hvis SMV'er skal kunne konkurrere i denne sammenhæng, mener vi, at det er nødvendigt at undersøge, hvilke fordele paradigmeskiftet kan have for mindre virksomheder. Dertil kunne det være givende at analysere case-studier af SMV'er, der har gennemgået en forandring for at få indblik i deres "lessons learned" og undersøge om mere transparens, er forbundet med gensidig gevinst.

Kompleksiteten ved at skabe sikre arbejds kontekster i HRC/HRI

Fysisk sikkerhed er et fremtrædende tema i litteraturen vedrørende både Industri 4.0 og 5.0 i forhold HRC og HRI. I syntesefasen har vi etableret, at menneskers sikkerhed i arbejdet med robotter og cobots er en nødvendig forudsætning for anvendelsen og udbredelsen af disse teknologier. At gøre HRC arbejds kontekster sikre, er imidlertid en kompleks opgave, og der er mange faktorer, der spiller ind. Fra udformningen af sikkerhedsforanstaltninger i robotter, til implementering af sikkerhedsforanstaltninger i arbejdsmiljøet.

I litteraturregennemgangen er vi stødt på flere akademiske bidrag, der har haft fokus på sikkerhed, og som anerkender vigtigheden af sikkerhed som en forudsætning for Industri 5.0 (Arkouli et al., 2021; Li et al., 2023; Pozo et al., 2022; Berx et al., 2022; Emma-Ikata et al., 2022). I denne forbindelse har vi dog bemærket, at evaluering af sikkerhed er et underprioriteret emne i litteraturen, i forbindelse med evaluering af opstillede sikkerhedskriterier for casebaserede HRC-konfigurationer. Comari et al. (2022) fremlægger i deres optimeringsdesign af en cobot, der skal fodre råmaterialer til en anden produktionsmaskine, en meget detaljeret og udtømmende gennemgang af sikkerhedshensyn i forbindelse med deres præsentation af den situation, som cobotten skal indgå i. Artiklen præsenterer dog ikke en evaluering af de opstillede sikkerhedshensyn, men understreger, at hvis der er de rette sikkerhedshensyn, kan det effektivisere processen med op til 50 procent. Nourmohammadi et al. (2022) skitserer vigtigheden af fysisk og ergonomisk sikkerhed i formuleringen af problematikken med at udvikle en samlebåndsarbejds konfiguration, der balancerer arbejdsbyrden mellem menneske og robot på en sikker og produktiv måde. Alligevel adresserer de ikke sikkerhed i artiklens casestudie, og kommenterer heller ikke slutteligt på eventuelle implikationer i forbindelse med sikkerhed.

Colim et al. (2021) evaluerer, modsat de to førnævnte bidrag, faktisk sikkerhed, men udelukkende i relation til medarbejderes følelse af sikkerhed i arbejdet med robotter, i deres casestudie. Resultaterne viser, at medarbejdere udviser en overvejende positiv stemthed overfor at samarbejde med robotterne.

Gustavsson et al. (2022) bidrager, med deres undersøgelse af menneskers følelse af sikkerhed i HRC, til at belyse, at følelsen af sikkerhed ikke nødvendigvis kun er korreleret med erfaring med HRC. Tværtimod er erfaring, ifølge deres studie, i høj grad også korreleret med skepsis og utryghed, da erfaring kan være resultatet af oplevede skader, eller kendskab til potentialet for

skader. De peger i stedet på, at følelsen af kontrol over processen hænger sammen med følelsen af sikkerhed. Det påpeges også, at medarbejdere, der er uerfarne i arbejdet med robotter, føler sig mere sikre i samarbejde med cobots. Gennem undersøgelsen af følt sikkerhed, kommer både Colim et al. og Gustavsson med vigtige bidrag, da individets velbefindende og følelse af sikkerhed, i udførelsen af deres arbejde, må være et imperativ, hvis målet er Industri 5.0 kompatibilitet. I forbindelse med Industri 5.0 agendaen er især Gustavssons fund tankevækkende, da det vidner om, at sikkerhed i forbindelse med implementering af robotteknologi, ikke føles tilstrækkelig for mennesker med roboterfaring. Hvis dette er udtryk for en reel tendens, kan det være udtryk for en sårbarhed ved Industri 5.0 fremadrettet. Disse fund bør imidlertid undersøges dybere, da Gustavsson et al.'s studie inkluderer 30 informanter, hvoraf kun seks af dem havde erfaring med HRC.

Større fokus på følt sikkerhed er imidlertid forskelligt fra påvist eller reel sikkerhed, hvilket er et emne, der, som nævnt tidligere, virker til at være underbelyst i litteraturen. Hertil anser vi det for problematisk, at hovedparten af tests og simulationer af Industri 5.0 arbejdsmiljøer (herunder undersøgelser af sikkerhed) i høj grad tyder på at være et fænomen, der eksisterer inden for akademien og ikke ude i industrierne, som Alves et al. (2023) eksempelvis noterer. I testmiljøer pointerer Huang et al. (2021), at simulering af menneskelig adfærd i en HRC-kontekst er intrinsisk kompleks, hvilket yderligere besværliggør kortlægning af reel sikkerhed, hvilket måske kan forklare den manglende forskning.

I forhold til at påvise sikkerhed i en given kontekst, forsøger Gualtieri et al. (2020b) i deres artikel, at adressere nogle af de ovennævnte problemer i forhold til sikkerhed og evaluering af heraf, ved at introducere en udtømmende liste over sikkerhedstiltag. Listen inkluderer blandt andet tiltag, der peger på en gentænkning af produktionsarbejde, som kan føre til en mere menneske-centrisk produktion. Gualtieri et al. (2020b) fremlægger hertil en række kategorier for sikkerhed, som blandt andet indeholder fokus på fysisk ergonomi, kognitiv ergonomi og fysisk fare i arbejdet med maskiner og robotter. Til disse kategorier er mindst 50 individuelle evalueringspunkter tilknyttet, der skal agere retningslinjer for designere af sikkerheden af produktionsarbejde. Med dette bidrag har Gualtieri et al. lavet en tjekliste for fremtidige designere af en sikker og menneskecentreret industri. Dette er dog også forbundet med en række separate implikationer, der ikke kun omhandler sikkerhed, da Gualtieris bidrag i nogen grad forudsætter udskiftningen af et effektivitetsdrevet produktionsdesign paradigme med et værdidrevet.

Identifikationen af manglende evaluering af sikkerhed, kan skyldes, at det er vanskeligt at evaluere en teknologidrevet produktion fra et menneskecentreret perspektiv, hvilket kan forklare hvorfor forfattere som Comari et al., Nourmohammadi et al. og Colim et al. overvejende evaluerer deres arbejde baseret på teknologiske præstationer, i forbindelse med øget produktivitet eller minimering af produktionscyklusser. En anden forklaring kunne være, at forfatterne godtager producenter af robotteknologis sikkerhedsstandarder som værende tilstrækkelige i deres casestudier af HRC-konfigurationer og dermed underprioriterer evalueringen af sikkerhed på dette grundlag.

Casestudierne viser, at arbejdsmiljø- og processer varierer hos virksomhederne og derfor kan det antages, at standardrobotters sikkerhedsiltag ikke nødvendigvis er tilstrækkelige, relativt til det miljø de forsøges implementeret i. Dette understreger behovet for flere individuelle evalueringer.

Ovenstående diskussion af sikkerhedsproblemet tyder samtidig på et proportionsproblem i forbindelse med, hvor svært det er at skabe viden om henholdsvis reel og følt sikkerhed. Hvor viden om følt sikkerhed kan genereres ved at spørge mennesker om deres subjektive følelse af sikkerhed, er der en større adgangsbarriere til at undersøge reel sikkerhed, da identifikationen af sikkerhedsfare i forbindelse med interaktionen mellem mennesker og robotter er forbundet med stor kompleksitet, især grundet menneskers potentiale for uforudsigelighed, som Huang et al. blandt andet pointerer. Huangs bidrag taler imidlertid også ind i vigtigheden af tværfaglighed i robotdesign, da det ikke kan reduceres til blot teknologisk funktionalitet. Forståelse og udnyttelse af menneskelig kognitionsforskning bør derfor være en integreret del af disse typer design. Vi argumenterer derfor for inddragelsen af Gualtieri et al's bidrag som evalueringsværktøj i fremtidig forskning, for at sikre et forøget fokus på evaluering af sikkerhedsaspekter i casestudier af HRC-konfigurationer.

I litteraturen pointeres det af Liu & Cao (2022), at der er en sammenhæng mellem mængden af teknologikompetencer internt i virksomheder og villigheden til, at implementere robotteknologi i henhold til Industri 5.0 konceptet. Adel (2022) pointerer, at der i mange produktionsvirksomheder ikke eksisterer kompetencer til at varetage vedligehold og samarbejde med robotter, og Liu & Cao argumenterer i deres artikel for, at der er en sammenhæng mellem, hvor umiddelbart implementerbare cobots er i et arbejdsmiljø, og virksomheders villighed til at implementere. Ydermere pointerer de, at kompleksitet i forbindelse med implementering afskrækker små- og mellemstore virksomheder fra at implementere robotteknologi. Man må formode, at disse fund også har store implikationer i forhold til at skabe sikre forhold for HRC, da sikkerhed garanteret er en

bidragende faktor til øget kompleksitet og sandsynligvis også til umiddelbar implementerbarhed, selvom dette naturligvis kan variere.

Hvis Liu & Cao og Adels fund kombineres, kan der argumenteres for, at der skabes grobund for en ond spiral af mangel på organisatorisk initiativ, da ekspansion til at inkludere robotteknologi enten ikke er fordelagtigt på grund af mangel på interne færdigheder, eller grundet for store ændringer i status quo. Denne mangel på incitament hos virksomheder, kan vise sig at være problematisk for udbredelsen af HRC og Industri 5.0 generelt, og det bør undersøges om der er belæg for denne hypotese.

Optimering af realtidsbehandling i HRC

Realtid er et begreb der bliver behandlet i syntesen af Longo et al. (2021) og O'Connell et al. (2021). Det udspringer af Huang et al. (2021) pointe om at computerkraft spiller en vigtig rolle i behandling af data i realtid i produktionsindustrien i forbindelse med HRC. Moderne mobile robotter og cobots er udstyret med sikkerhedssystemer, der skal sørge for, at robotterne navigerer uden om objekter og mennesker, så de ikke er til fare for deres omgivelser. Indtil robotterne har indbyggede sikkerhedssystemer, der er vurderet tilstrækkeligt autonome og pålidelige, vil der være behov for fjernovervågning af robotten gennem tredjeparts realtidsbehandling. Denne overvågning foregår primært over trådløse forbindelser, og disse trådløse forbindelser forventes, ifølge Longo et al., at blive mere stabile gennem 5G. 5G muliggør hurtigere datahastigheder, lavere latenstid og højere netværkskapacitet end tidligere trådløse forbindelser. Teknologier som eksempelvis cobots kan, hvis implementeret korrekt, drage fordel af 5G, da det gør dem i stand til at reagere hurtigere. Hertil forbedrer 5G også intern digital infrastruktur markant, af samme årsag. Realtidsbehandling kræver imidlertid en stabil forbindelse med lav latenstid, noget 5G ikke nødvendigvis kan leve op til. Samtidig foreskriver Industri 5.0 langt større grad af connectedness som værende bærende for kompatibilitet for et effektivt HRC, hvilket er noget som kablede forbindelser som ethernet besværliggør.

Berx et al. (2022) Emma-I Kata et al. (2022) og O'Connell et al. (2020) forklarer at hundredvis af forbindelser mellem robotter i et produktionsmiljø kan skabe et farligt miljø for mennesker. Hurtig kommunikation mellem forskellige enheder er vigtigt i Industri 5.0. Den nye generation af trådløst net kan være en teknologi der direkte går ind og hjælper HRC relationen og potentielt være med til

at skabe mere sikkerhed hos de ansatte, når latenstiden nedsættes. Longo et al. (2021) argumenterer for, at udviklingen og den globale implementering af 5G ikke blot vil have en positiv effekt på fysisk sikkerhed når det kommer til HRC, men også implementeringen af Industri 5.0 som helhed. Årsagen til dette er, at det er en markant opgradering i hastighed og latenstid fra 4G. I forbindelse med produktionsvirksomheder vil det især være systemer, hvor flere robotter samarbejder, der vil få gavn af dette.

O'Connell et al. (2020) pointerer at for at udnytte 5G teknologien fuldt ud, bør virksomheder i fremtiden overveje hvordan de prioriterer udbygningen og implementeringen af disse 5G netværker. For selvom selve teknologien er fleksibel, kan det kræve planlægning at implementere den korrekt på allerede eksisterende hardware, som ikke nødvendigvis understøtter trådløse forbindelser. Da det kan være omkostningsfuldt at omstrukturere hele sin infrastruktur, forklarer O'Connell et al., at virksomheder ideelt set bør overveje kravene for hver enkelt teknologi gennem use cases før virksomheden vurderer, hvorvidt de bør overgå. Udover de økonomiske aspekter, mener O'Connell et al. også, at virksomheder, forud for implementeringen, bør undersøge eventuelle udfordringer ved implementering af 5G, herunder skalerbarhed, rækkevidde og bølgelængde af forbindelsen og ikke mindst cybersikkerhedsrisici relateret til måden data sendes på. I nogle tilfælde kan det være bedre at bibeholde fibernet til stationære installationer i virksomheden.

Selvom dette speciale afgrænser sig fra cybersikkerhed, mener vi, at det er værd at pointere, at virksomheder bør skabe sig en klarere forståelse af de datatyper, der transmitteres, deres følsomhed over for latens, og om der skal tages særlige hensyn til dataen når den bliver behandlet.

Litteraturen viser en bred enighed om at 5G kan være et værktøj, som forbedrer og muliggør Industri 5.0. Som tidligere nævnt, understreges det i litteraturen, at der er behov for en lavere latenstid, vi har dog ikke set publikationer der beskæftiger sig med, hvor nært man skal komme realtid, før det er forsvarligt at bruge HRI i produktionsvirksomheder.

En årsag til dette kan være, at det er vanskeligt at identificere, hvor hurtigt cobots skal kunne reagere, da det højst sandsynligt varierer ud fra en række parametre, som kan variere blandt andet afhængig af industri, type af cobots og hvor tæt de ansatte arbejder med cobots.

I forbindelse med HRI bør det undersøges hvilke latenstider der er acceptable afhængig af konfigurationen som cobots indgår i, og om 5G kan levere tilstrækkelige løsninger til disse.

Industri 5.0's påvirkning af arbejdskraft og bæredygtig udvikling

Industri 5.0 er forbundet med en stor efterspørgsel af informationsteknologi og robotteknologi og dermed en udvidelse af produktionsvirksomheders digitale infrastruktur.

Dette kan lede til optimering af produktionsprocesser og en allokering af ikke-ergonomisk og farligt arbejde fra menneske til robot. Større efterspørgsel på informationsteknologi betyder imidlertid også større efterspørgsel på ressourcer, der undertiden hverken er socialt eller klimamæssigt bæredygtigt at udvinde.

Yaqot et al. (2022) undersøger mineindustrien i relation til ovennævnte dilemma. I den forbindelse konstaterer de, at mineindustrien, ligesom andre industrier, bevæger sig mod en større grad af Industri 4.0 og 5.0 kompatibilitet. De fremhæver, at industrien primært fokuserer på at håndtere fysisk sikkerhed ved at øge automatisering, hvilket kan reducere arbejde forbundet med fare for mennesker. Undertiden er forholdene for minearbejdere stadig forbundet med højere risiko for fare ved udførsel af arbejde samt dårligere helbred som følge af arbejdet, i forhold til andre produktionssektorer. I forhold til miljøpåvirkning pointerer Yaqot et al., at der mangler løsninger til effektivisering af energiforbrug. Stigende efterspørgsel på råmaterialer, har givet anledning til ekspansion af mineoperationer til at understøtte denne efterspørgsel, og dette medvirker til en udfordring. Yaqot et al. forsøger at bygge bro mellem en teknologisk tilbagestående mineindustri og Industri 4.0 ved at foreslå udrulningen af robotteknologi i mineindustrien. Disse robotter har evnen til at sortere råmaterialer på nye og mere bæredygtige måder, hvilket kan resultere i en mere bæredygtig mineindustri. Ifølge Yaqot et al. vil det efterleve ambitionerne om at bidrage til en grønnere økonomi.

Selvom Yaqot et al.'s bidrag adresserer en lille bestanddel af problemet, understreger deres forskning vigtigheden af fremtidige undersøgelser af mineindustriens mangel på udnyttelse af kontemporære informationsteknologier. Det er imidlertid tankevækkende, at Yaqot står for det eneste bidrag, der jævnfør denne litteraturgennemgang, adresserer disse typer problemer i relation til mineindustrien, og at ingen af publikationerne adresserer de potentielle bæredygtige gevinster, det kan have for hele forsyningskæder at indtænke Industri 5.0 principper i mineindustrien.

I forhold til at pointere manglen på bidrag til den grønne omstilling i mineindustrien, jævnfør litteraturen, nævnes også at cirkulationen og genbrugen af materialer, råmaterialer og andre

komponenter i produktionsindustrier, ikke er implementeret i tilstrækkelig grad i forhold til de løsninger, der efterspørges for at løse klimaproblemet.

Turner et al. (2022) adresserer netop dette, ved at pege på det uudnyttede potentiale, der, for produktionsvirksomheder ligger i, at bruge digitale teknologier og cobots inspireret af rammeværktøjer som *Life Cycle Assessment* (LCA), til både at tage hensyn til produktivitet og klimaproblemet, gennem udvidelse af produktionsvirksomheders kapacitet til at genanvende materialer i langt højere grad end tidligere. Turner et al. lægger især vægt på forholdet mellem slutningen af teknologisk livscyklus, og starten på ny teknologisk livscyklus, og pointerer at der er et uudnyttet potentiale i virksomheders fokus på, at demontere udtjent teknologi eller udtjente produkter, for at producere nyt. I denne forbindelse peger Turner et al. på cobots som værende potentielt konfigurerbare til at indgå i demontering af udtjent teknologi og produkter.

Colim et al. (2021) taler, med deres redegørelse for gentænkning, og følgende fremhævelse af, at begrebet lean manufacturing (LM), altid har haft en iboende kapacitet for bæredygtighed i kraft af konceptets fokus på minimering af materialebrug. Det er imidlertid først gennem akademikere som Colim et al. blevet fremhævet som en attribut, post klimakrisens kortlægning, hvilket bidrager som argument for, at produktivitet og miljømæssige hensyn ikke er modstridende. Turner et al. og Colim et al. bidrager med ovenstående til, at belyse, at ekspansion af produktionsvirksomheder ikke nødvendigvis behøver være ensbetydende med produktion af flere produkter, men potentielt også kan være smartere produktion af samme mængde produkter.

Vi peger, inspireret af Turner et al., Colim et al. og Yaqot et al. på, at, at der er et latent potentiale i produktionsvirksomheder til at oprette nye underafdelinger med fokus på, at kombinere produktivitets- og miljømæssige hensyn. Det kan eksempelvis opnås gennem brug af digital twin (DT) til at strukturere data om arbejdsprocesser i et Life cycle assessment (LCA)-inspireret modus til, at analysere produkters potentiale til at bidrage til mere cirkularitet og ressourceminimering. Analyserne vil derefter kunne anvendes til at teste Turner et al.'s hypotese om, at cobots er egnet til at varetage disse opgaver.

Det er vores overbevisning at flere studier, der bruger rammeværktøjer som LCA eller LM, til at pointere potentielle gevinster ved at indtænke bæredygtighed i flere led af produktionscyklussen, vil inspirere virksomheder til at se potentialet i at gentænke dele af deres produktion.

I udarbejdelsen af denne litteraturgennemgang, er vi af flere omgange blevet præsenteret for påstande med ordlyden: 'Informationsteknologi, digitalisering og automatisering vil skabe flere

arbejdspladser end det vil fjerne', som oftest står uden argumentation for, hvorfor det forholder sig sådan. På trods af at det ikke er Turner et al., der pointerer det, tjener deres bidrag imidlertid som argument for påstandens validitet, da aktiveringen af det påståede uudnyttede potentiale i produktionsvirksomheder, sandsynligvis vil resultere i efterspørgsel efter kompetente ansatte, til at varetage opbyggelsen og vedligeholdelsen af potentielle nye divisioner af virksomheder. Denne kobling kan potentielt skabe grobund for fremtidig forskning, der undersøger om en højere grad af stillingtagen til cirkularitet samt fokus på minimering af ressourcebrug i produktionen fører til skabelsen af flere arbejdspladser i produktionen.

Metodisk diskussion

Udarbejdelsen af litteraturgennemgangen har været forbundet med en række begrænsninger og udfordringer, som bør adresseres af hensyn til implikationerne af vores bidrag for fremtidig forskning. Vi er gennem vores metodiske arbejde, herunder specielt brug af Grounded theory som værktøj til, at facilitere udvikling af syntesens overordnede analysekategorier, blevet bevidste om, at systematisk behandling af kvalitative data, i form af akademiske publikationer og deres indhold, er forbundet med en række udfordringer.

Ved at inddrage Grounded theory har vi haft en ambition om at tilgå litteraturen induktivt, for at sikre at publikationernes indhold dannede grundlag for de endelige analysekategorier. At opretholde en induktiv og neutral tilgang til over 80 publikationer har imidlertid vist sig at være udfordrende, i forsøget på at tilsidesætte vores antagelser om publikationerne og deres bidrag til at belyse genstandsfeltet, indtil Søgnings & vurderingsfasen var afsluttet. Ydermere var det svært, da det er forbundet med stor vanskelighed at tilsidesætte dele af vores viden om feltet, i en øvelse der kræver aktivering af vores analyserende kapaciteter. Det er i den forbindelse sandsynligt, at vi har udsat publikationerne for en grad af bias, drevet af favorisering af publikationer, der fanger vores interesse eller appellerer til vores intuitioner om genstandsfeltet, frem for udelukkende at være drevet af den viden der præsenteres.

Vores litteratursøgning springer ud af egen interesse, og ikke viden om feltet, hvorfor vores behandling af litteraturen, set fra Grounded theory's fokus på objektiv forholden til genstandsfeltet, kan siges at være legitim. Vi er imidlertid også bevidst om, at litteraturen afspejler et bredt forskningsfelt, hvilket naturligvis øger kompleksiteten for udførelsen af en litteraturgennemgang. Vi

argumenterer dog for, at diversiteten i publikationerne giver os flere nuancer af applikationer af HRC - et genstandsfelt i en tidlig fase, der spænder bredt, men ikke stikker særligt dybt.

Anvendelsen af Grounded theory til udarbejdelse af en litteraturgennemgang har medført visse udfordringer med at skabe tidlig struktur og retning for specialet, da teorien lægger op til en tilgang, hvor viden udvikles gradvist. Ikke desto mindre har denne tilgang fungeret som en rettesnor for vores akademiske stringens ved at skabe struktur gennem udforskning af litteraturen, hvilket vi mener styrker vores bidrag.

Vi har ikke redegjort for præcist hvilke akademiske bidrag der har givet anledning til de endelige kategorier, og det er tydeligt i specialet, at nogle har været mere dikterende end andre. I den forbindelse er vi blevet bevidste om, at det kan være udfordrende at være fuldkommen transparent omkring sin proces. Eftersom rationalet for kategorierne er baseret på vores egen syntetisering og efterfølgende gruppering af publikationerne, er det nødvendigt at være transparent omkring denne proces. I forhold til dette, har det været udfordrende at beskrive rationalet for, hvordan analysekategorierne er blevet udviklet. Dette fordi processen har været karakteriseret ved en høj grad af vekselvirkning mellem læsning af publikationer og diskussion af dem i plenum, hvorfor rationalene for kategorierne ikke fremgår så eksplicit som de burde. Det komplicerer billedet yderligere, at vi har gennemgået flere iterationer af kategorier, før de endelige kategorier blev valgt. Ovenstående faktorer har ført til kreationen af en slags 'black box' i forbindelse med at beskrive processen om udviklingen af analysekategorierne.

For at adressere denne, har vi med udarbejdelsen af Bilag 1 forsøgt at skabe et vindue til indersiden af denne black box, i form af at præsentere de mest essentielle fund fra de enkelte publikationer, relativt til hvilke kategorier de er blevet associeret med. Dette giver adgang til, hvordan artiklerne er kategoriseret efter udformningen af analysekategorierne. Det kræver derfor en grad af tilbagesporing for at gennemskue hvordan kategorierne er genereret ifølge denne litteraturgennemgang. Vi anerkender derfor, at det ikke er selvsagt at en efterprøvelse af vores metode vil give de samme resultater, da det er sandsynligt at andre vil syntetisere anderledes, baseret på deres forforståelse af genstandsfeltet, læsning af litteraturen og deres interne dynamik. For at adressere, hvordan vi kunne have øget mængden af transparens i vores proces, mener vi det havde været brugbart at benytte et affinitetsdiagram tidligt i processen. Dette ville have gjort det muligt at monitorere vores egen proces og præcisere samt systematisere, hvordan publikationerne har været retningsgivende for udformningen af de enkelte kategorier.

Søgningsfasen af vores litteraturgennemgang og især konsekvenserne af den endelige søgestreng, har imidlertid også bidraget til en række erfaringer, der relaterer sig til brugen af Grounded theory, og ultimativt givet os nogle erfaringer og læring om, hvordan en litteraturgennemgang bedst muligt foretages. Som det fremgår af den endelige søgestreng, afspejler den en relativt bred litteratursøgning, hvilket har ført til en relativt bred vifte af litteratur, der behandler mange fænomener fra mange forskellige vinkler. Diversiteten i de medtagne publikationer har været forbundet med udfordringer i forhold til at skabe en specifik agenda for litteraturgennemgangen. På trods af ovenstående observationer, vil vi dog stadig vedholde, at specialets metodiske tilgang har været metodisk stringent. Et eksempel på dette er vores forsøg på at lægge et tværsnit gennem specialegruppens synspunkter og fortolkninger af publikationerne med henblik på at lave objektive analysekategorier i overensstemmelse med Grounded theory, hvilket er udtryk for akademisk tilgang til genstandsfeltet

Fase 4: Konklusion

Gennem et systematisk litteraturstudie har vi, i dette speciale, undersøgt den nuværende praksis for HRC i produktionsvirksomheder og hvordan bæredygtighedsprincipper i Industri 5.0 kan bidrage til en mere værdibaseret praksis.

Resultaterne af litteraturgennemgangen viser, at samarbejdet mellem cobots og mennesker i Industri 4.0 og 5.0 spiller en afgørende rolle i produktionsvirksomheders fremtid. HRC har potentiale til at revolutionere arbejdsmetoder og produktionsmiljøer. Revolutionen af arbejdsmetoder er ifølge litteraturen imidlertid forbundet med udfordringer. Industri 5.0 er i et tidligt stadie, og industrien er stadig karakteriseret ved lav grad af Industri 5.0 kompatibilitet. Dette skyldes blandt andet manglen på standarder til at udvikle design i tråd med udviklingen. Litteraturen viser, at cobots ofte ender med at blive anvendt som traditionelle industrirobotter og derfor ikke samarbejder med mennesker i den forventede grad. I forhold til at opretholde et gunstigt HRC-arbejds miljø, er det nødvendigt at cobots kan agere i realtid.

HRC er imidlertid også forbundet med en række sikkerhedsudfordringer, da det er svært at konfigurere cobots til at indgå i dynamiske miljøer.

En anden væsentlig udfordring, i forhold til anvendelsen af cobots, er manglende kompetencer hos ansatte og utilstrækkelige implementeringsstrategier hos organisationer. Litteraturen peger imidlertid på, at disse udfordringer er sværere at adressere, da Industri 5.0-kompatibilitet er forbundet med store ændringer i digital og fysisk infrastruktur, der i høj grad ikke har fundet sted endnu.

Litteraturen peger på en forventning om, at cobots er disruptive for produktionsprocesser, da inklusion af cobots medfører nytænkning af arbejdsprocesser, og arbejde skal allokeres anderledes end førhen. For at adressere problemer relateret til korrekt anvendelse af cobots, fremhæver vi begrebet disruption med henblik på at forstå hvori disruptionen ligger. Litteraturen peger på, at cobots ofte bliver anvendt som traditionelle robotter og derfor ikke udnytter det fulde potentiale og således ikke medfører disruption af arbejdsprocesser i den forventende grad. Vi peger i den forbindelse på, at flere undersøgelser bør foretages, med henblik på at undersøge, hvorfor cobots ikke bruges til HRC, og hvorvidt virksomhedernes størrelse er sammenhængende med korrekt implementering af HRC. Vi foreslår, at et næste skridt kunne være at undersøge, hvilke fordele

korrekt anvendelse af cobots kan have for mindre virksomheder. Dertil kunne det være interessant at analysere case-studier af SMV'er, der har implementeret cobots, for at få indblik i praksissen for dette. Negligering af allokering af ressourcer til korrekt implementering af HRC, vurderer vi vil have størst effekt på SMV'er da de typisk har mindst økonomisk råderum. Vi mener, at hvis SMV'er skal være konkurrencedygtige fremadrettet, er det vigtigt at gøre opmærksom på fordelene ved vidensdeling på tværs af virksomheder, da manglende viden om korrekt HRC kan være en forretningsmæssig ulempe fremadrettet.

Sikkerhedsaspekterne ved arbejdet med robotter og cobots i HRC og HRI er komplekse og involverer flere faktorer. Evaluering af fysiske sikkerhedstiltag har vist sig at være underprioriteret i litteraturen. Der er behov for yderligere forskning i sikkerhedsaspekterne ved HRC og HRI. Det er afgørende at udvikle og anvende egnede evalueringsværktøjer og metoder til at vurdere sikkerheden i teknologidrevne produktionsmiljøer. Vi foreslår i denne forbindelse, at fremtidig forskning bruger Gualterei et al's (2020) metodiske tilgang til videre undersøgelse og evaluering af sikkerhed inden for robotimplementering- og anvendelse, da vi formoder at det vil bidrage til at minimere sikkerhedsrisici.

I forbindelse med at adressere realtidsbehandling, kan implementeringen af 5G-teknologi have positive effekter på Industri 5.0's ambition om højere grad af forbundethed mellem individuelle teknologier. 5G's nedbringning af latenstid forbedrer realtidsbehandling, hvilket kan have en stor effekt på moderne mobile robotter og cobots understøttelse af sikre produktionsmiljøer. Der er dog behov for yderligere forskning, for at forstå specifikke latenstidsbehov, i forhold til adressering af krav for HRC og HRI, især i forhold til at opretholde sikre arbejdsforhold for ansatte. Helt konkret mener vi, at der mangler en stillingtagen til, hvad der er acceptable latenstider i forbindelse med brug af cobots i forskellige produktionskontekster.

Vi har i litteraturgennemgangen beskrevet, at Industri 4.0 har et fokus på at optimere produktionsprocesserne ved hjælp af informationsteknologi og robotteknologi. Der er dog udfordringer relateret til klimamæssige problematikker, især på grund af den stigende ressourceefterspørgsel som Industri 5.0 sandsynligvis vil medføre. For at imødekomme dette behov foreskriver Industri 5.0, at integrering af bæredygtige principper som cirkularitet og ressourceeffektivitet i produktionsprocesserne er nødvendigt. Litteraturgennemgangen identificerer

i denne forbindelse, at produktionsvirksomheder sandsynligvis har et uudnyttet potentiale for reduktion af ressourcebrug og genanvendelse i forbindelse med demontering af udtjent teknologi. Hvis dette potentiale aktualiseres, argumenterer vi for, at det ikke blot vil være til gavn for miljøet, men også sandsynligvis vil have en socialt bæredygtig effekt, da det kan resultere i efterspørgsel efter kompetente ansatte, til at varetage dette arbejde. Denne kobling kan potentielt skabe grobund for et nyt forskningsfelt, der undersøger om en højere grad af stillingtagen til cirkularitet samt fokus på minimering af ressourcebrug i produktionen fører til flere arbejdspladser i produktionen. Her foreslår vi at fremtidige undersøgelser gør brug af DT til at analysere data om produktionsprocesser med fokus på brug af tilgange som LCA og LM som en del af den helhedsorienterede forståelse af optimering og cirkularitet med henblik på en mere bæredygtig produktionsproces.

Litteraturliste

Adel, A. (2022). Future of industry 5.0 in society: human-centric solutions, challenges and prospective research areas. *Journal of Cloud Computing*, 11(1). <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00314-5>

Ali, Q., Parveen, S., Yaacob, H., & Zaini, Z. (2022). The management of Industry 4.0 technologies and environmental assets for optimal performance of industrial firms in Malaysia. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(35), 52964–52983. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19666-1>

Alves, J., Lima, T. A., & Gaspar, P. D. (2023). Is Industry 5.0 a Human-Centred Approach? A Systematic Review. *Processes*, 11(1), 193. <https://doi.org/10.3390/pr11010193>

Arkouli, Z., Kokotinis, G., Michalos, G., Dimitropoulos, N., & Makris, S. (2021). AI-enhanced cooperating robots for reconfigurable manufacturing of large parts. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 617–622. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.072>

Balková, M., Lejsková, P., & Ližbetinová, L. (2022). The Values Supporting the Creativity of Employees. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.805153>

Battini, D., Berti, N., Finco, S., Zennaro, I., & Das, A. (2022). Towards industry 5.0: A multi-objective job rotation model for an inclusive workforce. *International Journal of Production Economics*, 250, 108619. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108619>

Berx, N., Adriaensen, A., Decré, W., & Pintelon, L. (2022). Assessing System-Wide Safety Readiness for Successful Human–Robot Collaboration Adoption. *Safety*, 8(3), 48. <https://doi.org/10.3390/safety8030048>

Bi, Z., Zhang, C. Z., Wu, C., & Li, L. (2021). New digital triad (DT-II) concept for lifecycle information integration of sustainable manufacturing systems. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100316. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100316>

Bińczycki, B., & Dorocki, S. (2022). Industry 4.0: A Chance or a Threat for Gen Z? The Perspective of Economics Students. *Sustainability*, 14(14), 8925. <https://doi.org/10.3390/su14148925>

Borchardt, M., Pereira, G. M., Milan, G. S., Scavarda, A. R., Nogueira, E. O., & Poltosi, L. C. (2022). Industry 5.0 Beyond Technology: An Analysis Through the Lens of Business and Operations Management Literature. *Organizacija*, 55(4), 305–321. <https://doi.org/10.2478/orga-2022-0020>

Boschetti, G., Faccio, M., & Granata, I. (2022). Human-Centered Design for Productivity and Safety in Collaborative Robots Cells: A New Methodological Approach. *Electronics*, 12(1), 167. <https://doi.org/10.3390/electronics12010167>

Calabrese, A., Costa, R., Tiburzi, L., & Brem, A. (2023). Merging two revolutions: A human-artificial intelligence method to study how sustainability and Industry 4.0 are intertwined. *Technological Forecasting and Social Change*, 188, 122265. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122265>

Chaabi, M. (2022). Roadmap to Implement Industry 5.0 and the Impact of This Approach on TQM. In *Communications in computer and information science* (pp. 287–293). Springer Science+Business Media. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20490-6_23

Chan, R. (2019, November 1). How Learning From Past Industrial Revolutions Creates An Optimistic View Of Industry 4.0. *Forbes*. <https://www.forbes.com/sites/forbestechcouncil/2019/11/01/how-learning-from-past-industrial-revolutions-creates-an-optimistic-view-of-industry-4-0/?sh=333d5f2f4f14>

Chin, S. T. S. (2021). Influence of Emotional Intelligence on the Workforce for Industry 5.0. *Journal of Human Resources Management Research*, 1–7. <https://doi.org/10.5171/2021.882278>

Choi, T., Kumar, S., Yue, X., & Chan, H. (2021). Disruptive Technologies and Operations Management in the Industry 4.0 Era and Beyond. *Production and Operations Management*, 31(1), 9–31. <https://doi.org/10.1111/poms.13622>

Cimini, C., Lagorio, A., Cavalieri, S., Riedel, O., Pereira, C. E., & Wang, J. T. L. (2022). Human-technology integration in smart manufacturing and logistics: current trends and future research directions. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108261.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108261>

Colim, A., Morgado, R., Carneiro, P., Costa, N., Faria, C., Sousa, N., Rocha, L. A., & Arezes, P. (2021). Lean Manufacturing and Ergonomics Integration: Defining Productivity and Wellbeing Indicators in a Human–Robot Workstation. *Sustainability*, 13(4), 1931.

<https://doi.org/10.3390/su13041931>

Comari, S., Di Leva, R., Carricato, M., Badini, S., Carapia, A., Collepalambo, G., Gentili, A., Mazzotti, C., Staglianò, K., & Rea, D. (2022). Mobile cobots for autonomous raw-material feeding of automatic packaging machines. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 211–224.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.007>

Dallel, M., Havard, V., Dupuis, Y., & Baudry, D. (2023). Digital twin of an industrial workstation: A novel method of an auto-labeled data generator using virtual reality for human action recognition in the context of human–robot collaboration. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 118, 105655. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2022.105655>

Del Giudice, M., Scuotto, V., Orlando, B., & Mustilli, M. (2021). Toward the human – Centered approach. A revised model of individual acceptance of AI. *Human Resource Management Review*, 33(1), 100856. <https://doi.org/10.1016/j.hrmr.2021.100856>

Destouet, C., Tlahig, H., Bettayeb, B., & Mazari, B. (2023). Flexible job shop scheduling problem under Industry 5.0: A survey on human reintegration, environmental consideration and resilience improvement. *Journal of Manufacturing Systems*, 67, 155–173.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.01.004>

Di Marino, C., Rega, A., Vitolo, F., & Patalano, S. (2022). Enhancing Human-Robot Collaboration in the Industry 5.0 Context: Workplace Layout Prototyping. In *Springer eBooks* (pp. 454–465). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15928-2_40

Díaz-Chao, Á., Ficapal-Cusí, P., & Torrent-Sellens, J. (2021). Environmental assets, industry 4.0 technologies and firm performance in Spain: A dynamic capabilities path to reward sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 281, 125264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125264>

Emma-Ikata, D., & Doyle-Kent, M. (2022). Industry 5.0 Readiness – “Optimization of the Relationship between Humans and Robots in Manufacturing Companies in Southeast of Ireland.” *IFAC-PapersOnLine*, 55(39), 419–424. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.12.071>

European Parliament (2015) *Industry 4.0: Digitalisation for productivity and growth | Think Tank | European Parliament*.
https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI%282015%29568337

Fraga-Lamas, P., Barros, D., Lopes, S. M., & Fernández-Caramés, T. M. (2022). Mist and Edge Computing Cyber-Physical Human-Centered Systems for Industry 5.0: A Cost-Effective IoT Thermal Imaging Safety System. *Sensors*, 22(21), 8500. <https://doi.org/10.3390/s22218500>

Froschauer, R., Kurschl, W., Wolfartsberger, J., Pimminger, S., Lindorfer, R., & Blattner, J. (2021). A Human-Centered Assembly Workplace For Industry: Challenges and Lessons Learned. *Procedia Computer Science*, 180, 290–300. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.16>

Fukuda, K. (2020). Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0. *International Journal of Production Economics*, 220, 107460. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.033>

Gajšek, B., Stradovnik, S., & Hace, A. (2020). Sustainable Move towards Flexible, Robotic, Human-Involving Workplace. *Sustainability*, 12(16), 6590. <https://doi.org/10.3390/su12166590>

Granata, I., Faccio, M., & Calzavara, M. (2023). Energy expenditure and makespan multi-objective optimization for cobots systems design. *Procedia Computer Science*, 217, 126–135.

<https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.208>

Gualtieri, L., Palomba, I., Merati, F., Rauch, E., & Vidoni, R. (2020). Design of Human-Centered Collaborative Assembly Workstations for the Improvement of Operators' Physical Ergonomics and Production Efficiency: A Case Study. *Sustainability*, 12(9), 3606.

<https://doi.org/10.3390/su12093606>

Gualtieri, L., Rauch, E., Vidoni, R., & Matt, D. T. (2020). Safety, Ergonomics and Efficiency in Human-Robot Collaborative Assembly: Design Guidelines and Requirements. *Procedia CIRP*, 91, 367–372. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.188>

Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2022). Human-robot activity allocation algorithm for the redesign of manual assembly systems into human-robot collaborative assembly. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 36(2), 308–333.

<https://doi.org/10.1080/0951192x.2022.2083687>

Gupta, S., Prathipati, B., Dangayach, G. S., Rao, P. N., & Jagtap, S. (2022). Development of a Structural Model for the Adoption of Industry 4.0 Enabled Sustainable Operations for Operational Excellence. *Sustainability*, 14(17), 11103. <https://doi.org/10.3390/su141711103>

Gürdür, D., Kaynak, O., & Uysal, M. (2022). Rethinking engineering education at the age of industry 5.0. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100311.

<https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100311>

Gustavsson, Linn; Augustsson, Svante; and Vallo Hult, Helena, "Trigger Points of Fear and Distrust in Human-Robot Interaction: The Case of Cooperative Manufacturing" (2022). Selected Papers of the IRIS, Issue 13 (2022). 3. <https://aisel.aisnet.org/iris2022/3>

Havard, V., Jeanne, B., Lacomblez, M., & Baudry, D. (2019). Digital twin and virtual reality: a co-simulation environment for design and assessment of industrial workstations. *Production and*

Manufacturing Research: An Open Access Journal, 7(1), 472–489.

<https://doi.org/10.1080/21693277.2019.1660283>

Huang, Z., Shen, Y., Li, J., Fey, M., & Brecher, C. (2021). A Survey on AI-Driven Digital Twins in Industry 4.0: Smart Manufacturing and Advanced Robotics. *Sensors*, 21(19), 6340.

<https://doi.org/10.3390/s21196340>

Jafari, N., Azarian, M., & Yu, H. (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics? *Logistics*, 6(2), 26. <https://doi.org/10.3390/logistics6020026>

Kaasinen, E., Anttila, A., Heikkilä, P., Laarni, J., Koskinen, H., & Vääänen, A. (2022). Smooth and Resilient Human–Machine Teamwork as an Industry 5.0 Design Challenge. *Sustainability*, 14(5), 2773. <https://doi.org/10.3390/su14052773>

Kowal, B., Włodarz, D., Brzywczy, E., & Klepka, A. (2022). Analysis of Employees' Competencies in the Context of Industry 4.0. *Energies*, 15(19), 7142.

<https://doi.org/10.3390/en15197142>

Kumar, R., Gupta, P., Singh, S., & Jain, D. (2021). Human Empowerment by Industry 5.0 in Digital Era: Analysis of Enablers. In *Lecture notes in mechanical engineering* (pp. 401–410). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4320-7_36

Laskurain-Iturbe, I., Arana-Landín, G., Landeta-Manzano, B., & Uriarte-Gallastegi, N. (2021). Exploring the influence of industry 4.0 technologies on the circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 321, 128944. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128944>

Leesakul, N., Oostveen, A., Eimontaite, I., Wilson, M. L., & Hyde, R. (2022). Workplace 4.0: Exploring the Implications of Technology Adoption in Digital Manufacturing on a Sustainable Workforce. *Sustainability*, 14(6), 3311. <https://doi.org/10.3390/su14063311>

Li, S., Zheng, P., Liu, S., Wang, Z., Wang, X., Zheng, L., & Wang, L. (2023). Proactive human–robot collaboration: Mutual-cognitive, predictable, and self-organising perspectives. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 81, 102510. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102510>

Li, C., Zheng, P., Yin, Y., Pang, Y. M., & Huo, S. (2023). An AR-assisted Deep Reinforcement Learning-based approach towards mutual-cognitive safe human-robot interaction. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, 80, 102471. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102471>

Lin, C. J., & Lukodono, R. P. (2022). Classification of mental workload in Human-robot collaboration using machine learning based on physiological feedback. *Journal of Manufacturing Systems*, 65, 673–685. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.10.017>

Liu, D., & Cao, J. (2022). Determinants of Collaborative Robots Innovation Adoption in Small and Medium-Sized Enterprises: An Empirical Study in China. *Applied Sciences*, 12(19), 10085. <https://doi.org/10.3390/app121910085>

Longo, F., Padovano, A., Aiello, G., Fusto, C., & Certa, A. (2021). How 5G-based industrial IoT is transforming human-centered smart factories: a Quality of Experience model for Operator 4.0 applications. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.030>

Majerník, M., Daneshjo, N., Malega, P., Drábik, P., & Barilová, B. (2022). Sustainable Development of the Intelligent Industry from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(2), 12–18. <https://doi.org/10.12913/22998624/146420>

Manu, A. (2021). *Dynamic Future-Proofing: Integrating Disruption in Everyday Business*. Emerald Publishing Limited.

Mateus, J. M., Aghezzaf, E., Claeys, D., Limère, V., & Cottyn, J. (2018). Method for transition from manual assembly to Human-Robot collaborative assembly. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 405–410. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.328>

Mubarak, M. A. (2022). Sustainably Developing in a Digital World: harnessing artificial intelligence to meet the imperatives of work-based learning in Industry 5.0. *Development and Learning in Organizations*. <https://doi.org/10.1108/dlo-04-2022-0063>

Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A Human-Centric Solution. *Sustainability*, 11(16), 4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>

Nayeri, S., Sazvar, Z., & Heydari, J. (2022). Towards a responsive supply chain based on the industry 5.0 dimensions: A novel decision-making method. *Expert Systems With Applications*, 213, 119267. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.119267>

Nourmohammadi, A., Fathi, M., & Ng, A. H. C. (2021). Balancing and scheduling assembly lines with human-robot collaboration tasks. *Computers & Operations Research*, 140, 105674. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105674>

O’Connell, E. M., Moore, D. S., & Newe, T. (2020). Challenges Associated with Implementing 5G in Manufacturing. *Telecom*, 1(1), 48–67. <https://doi.org/10.3390/telecom1010005>

Ojstersek, R., Javernik, A., & Buchmeister, B. (2022). Importance of Sustainable Collaborative Workplaces – Simulation Modelling Approach. *International Journal of Simulation Modelling*, 21(4), 627–638. <https://doi.org/10.2507/ijssimm21-4-623>

Oyegoke, E. O. (n.d.). Does technological innovations affect unemployment in Nigeria? CBN Digital Commons. <https://dc.cbn.gov.ng/bullion/vol45/iss4/2/>

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., . . . Moher, D. (2021). *The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews*. *BMJ*, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

Panagou, S., Fruggiero, F., Neumann, W., & Lambiase, A. (2021). The Entropic Complexity of Human Factor in Collaborative Technologies. In *Lecture notes in networks and systems* (pp. 503–510). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-74608-7_62

Park, Y., & Shintaku, J. (2022). Sustainable Human–Machine Collaborations in Digital Transformation Technologies Adoption: A Comparative Case Study of Japan and Germany. *Sustainability*, 14(17), 10583. <https://doi.org/10.3390/su141710583>

Pokorni, B., Zwerina, J., & Hämmerle, M. (2020). Human-centered design approach for manufacturing assistance systems based on Design Sprints. *Procedia CIRP*, 91, 312–318. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.181>

Porubčinová, M., & Fidlerová, H. (2020). Determinants of Industry 4.0 Technology Adaption and Human - Robot Collaboration. *Vedecké Práce Materiálovotechnologickej Fakulty Slovenskej Technickej Univerzity V Bratislave so Sídлом V Trnave*, 28(46), 10–21. <https://doi.org/10.2478/rput-2020-0002>

Pozo, E., Patel, N., & Schrödel, F. (2022). Collaborative Robotic Environment for Educational Training in Industry 5.0 Using an Open Lab Approach. *IFAC-PapersOnLine*, 55(17), 314–319. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.09.298>

Publications Office of the European Union. (2021). *Industry 5.0, a transformative vision for Europe : governing systemic transformations towards a sustainable industry*. &Copy; European Union. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/38a2fa08-728e-11ec-9136-01aa75ed71a1/language-en>

Roberts, B., Gordon, S. M., Struwig, J., Bohler-Muller, N., & Gastrow, M. (2021). Promise or precarity? South African attitudes towards the automation revolution. *Development Southern Africa*, 39(4), 498–515. <https://doi.org/10.1080/0376835x.2021.1978932>

Roda-Sanchez, L., Ramirez, F. J., García, A. J. M., Olivares, T., & Fernández-Caballero, A. (2021). Comparison of RGB-D and IMU-based gesture recognition for human-robot interaction in remanufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 124(9), 3099–3111. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08125-9>

Rosemann, M., Becker, J., & Chasin, F. (2021). City 5.0. *Business & Information Systems Engineering*, 63(1), 71–77. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00674-9>

Saboonchi, H., Blanchette, D. M., & Hayes, K. (2021). Advancements in Radiographic Evaluation Through the Migration into NDE 4.0. *Journal of Nondestructive Evaluation*, 40(1).
<https://doi.org/10.1007/s10921-021-00749-x>

Santhi, A. R., & Padmakumar, M. (2023b). Industry 5.0 or industry 4.0S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (Ijidem)*, 17(2), 947–979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>

Saßmannshausen, T., Burggräf, P., Wagner, J., Hassenzahl, M., Heupel, T., & Steinberg, F. (2021). Trust in artificial intelligence within production management – an exploration of antecedents. *Ergonomics*, 64(10), 1333–1350. <https://doi.org/10.1080/00140139.2021.1909755>

Schryen, G. (2015). *Writing Qualitative IS Literature Reviews—Guidelines for Synthesis, Interpretation, and Guidance of Research*. AIS Electronic Library (AISeL).
<https://aisel.aisnet.org/cais/vol37/iss1/12/>

Scuotto, V., Tzanidis, T., Usai, A., & Quaglia, R. (2023). The digital humanism era triggered by individual creativity. *Journal of Business Research*, 158, 113709.
<https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113709>

Siegler, J. (2022). *Sustainability Across the Supply Chain: A Case Study in the Automotive Industry*. St. John's Scholar. <https://scholar.stjohns.edu/jovsa/vol6/iss2/8/>

Sihan, H., Wang, B., Li, X., Zheng, P., Mourtzis, D., & Wang, L. (2022). Industry 5.0 and Society 5.0—Comparison, complementation and co-evolution. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 424–428. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.010>

Siltori, P. F. S., Anholon, R., Rampasso, I. S., Quelhas, O. L. G., De Santa-Eulalia, L. A., & Filho, W. L. (2021). Industry 4.0 and corporate sustainability: An exploratory analysis of possible impacts

in the Brazilian context. *Technological Forecasting and Social Change*, 167, 120741.

<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.120741>

Sindhvani, R., Afridi, S., Kumar, A., Banaitis, A., Luthra, S., & Singh, P. L. (2022). Can industry 5.0 revolutionize the wave of resilience and social value creation? A multi-criteria framework to analyze enablers. *Technology in Society*, 68, 101887. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2022.101887>

Srivastava, S. K., Goel, P., Anisha, N., & Sindhu, S. (2022). Industry 5.0. *Decision Support Systems for Smart City Applications*, 137–152. <https://doi.org/10.1002/9781119896951.ch8>

Tao, H., Rahman, A., Al-Saffar, A., Zhang, R., Salih, S. Q., Zain, J. M., & Al-Hajri, A. M. (2021). Security robot for the prevention of workplace violence using the Non-linear Adaptive Heuristic Mathematical Model. *Work-a Journal of Prevention Assessment & Rehabilitation*, 68(3), 853–861. <https://doi.org/10.3233/wor-203419>

Taylor, M. P., Boxall, P. C., Chen, J. J., Xu, X., Liew, A., & Adeniji, A. (2020). Operator 4.0 or Maker 1.0? Exploring the implications of Industrie 4.0 for innovation, safety and quality of work in small economies and enterprises. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105486.

<https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.10.047>

Trentesaux, D., & Caillaud, E. (2020). Ethical stakes of Industry 4.0. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 17002–17007-<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1486>

Turner, C., Oyekan, J., Garn, W., Duggan, C., & Abdou, K. (2022). Industry 5.0 and the Circular Economy: Utilizing LCA with Intelligent Products. *Sustainability*, 14(22), 14847.

<https://doi.org/10.3390/su142214847>

Urquhart, C., Lehmann, H., & Myers, M. D. (2009). Putting the ‘theory’ back into grounded theory: guidelines for grounded theory studies in information systems. *Information Systems Journal*, 20(4), 357–381. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2575.2009.00328.x>

Wang, B., Zhou, H., Yang, G., Li, X., & Yang, H. (2022). Human Digital Twin (HDT) Driven Human-Cyber-Physical Systems: Key Technologies and Applications. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 35(1). <https://doi.org/10.1186/s10033-022-00680-w>

Xu, X., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, *61*, 530–535.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>

Xu, X., Zheng, H., Chand, S. S., Xia, W., Liu, Z., Xu, X., Wang, L., Qin, Z., & Bao, J. (2022). Outlook on human-centric manufacturing towards Industry 5.0. *Journal of Manufacturing Systems*, *62*, 612–627.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.02.001>

Yao, X., Ma, N., Zhang, J., Wang, K., Yang, E., & Faccio, M. (2022). Enhancing wisdom manufacturing as industrial metaverse for industry and society 5.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*.

<https://doi.org/10.1007/s10845-022-02027-7>

Yaqot, M., Menezes, B. C., & Franzoi, R. E. (2022). Interplaying of industry 4.0 and circular economy in cyber-physical systems towards the mines of the future. *Computer-Aided Chemical Engineering*, 1609–1614.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95879-0.50269-1>

Zhu, Q., Huang, S., Wang, G., Moghaddam, S. K., Lu, Y., & Yan, Y. (2022). Dynamic reconfiguration optimization of intelligent manufacturing system with human-robot collaboration based on digital twin. *Journal of Manufacturing Systems*, *65*, 330–338.

<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.09.02>