

Øyvind A. Skjæret

Hvordan innføre bærekraft gjennom LEAN

Fra tankesett til teknikk

Bacheloroppgave i Teknologidesign og Ledelse

Veileder: Jo Sterten

Mai 2023

Øyvind A. Skjæret

Hvordan innføre bærekraft gjennom LEAN

Fra tankesett til teknikk

Bacheloroppgave i Teknologidesign og Ledelse
Veileder: Jo Sterten
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Hvordan innføre bærekraft gjennom LEAN

Fra tankesett til teknikk

Øyvind A. Skjæret

Gradering: Åpen

Bachelor i ingeniørfag - bygg
Innlevert: mai
Veileder: Jo Sterten

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for vareproduksjon og byggteknikk

Oppgavens tittel: Hvordan innføre bærekraft gjennom LEAN Fra tankesett til teknikk	Dato: 21.05.23		
	Antall sider: 43		
Masteroppgave:		Bacheloroppgave	x
Navn: Øyvind A. Skjæret			
Veileder: Jo Sterten			

Sammendrag:

Formålet til denne bacheloroppgaven er å bruke metodikken rundt *Lean* til å innføre *bærekraft* på en måte som tradisjonell *Lean* ikke kan. Dette gjøres ved å utvikle en ny metode som kombinerer prinsippene og metodikken til *Lean*, med etablert veiledning rundt bærekraftig utvikling gitt av *FNs bærekraftsmål* og *ISO 14001*. Oppgaven tar også i bruk metode for å lettere innføre kunnskap om bærekraft gjennom *SEKI-modellen* for kunnskapsformidling.

Målet med metoden er å identifisere *miljøsvinn* på en arbeidsplass eller i en prosess, som etter Leans prinsipper ikke skaper noen verdi som, i dette tilfelle, hindrer en bærekraftig utvikling i samfunnet. Ved å klare å identifisere disse typene av svinn så kan det tas i bruk tiltak som reduserer eller eliminerer miljøsvinn fra det aktuelle området, som også er et mål i oppgaven. For måloppnåelse brukes en *PUKK-syklus* som er tilpasset gjennom bruk av teorigrunnlaget, som så blir anvendt på universitetets egen *læringsfabrikk* (som er lager for akademiske formål).

Resultatet viser vanskeligheten av å gjøre tiltak uten tilstrekkelig kunnskap eller data som basis for handling. Det viser også hvor rigid læringsfabrikken er i ønske om å gjøre forbedrende tiltak. Til slutt så viser det hvor relevant *PUKK-syklusen* er i å skape et system for kontinuerlig forbedring og læring, som gjør fremtidige tiltak lettere å innføre.

Stikkord:

Bærekraft
Lean
PDCA
Læringsfabrikk

Øyvind Skjæret

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis is to use the methodology of *Lean* to introduce *sustainability* in a way that traditional *Lean* is not able to. This is done by forming a new method that combines the principles and methodology of *Lean* with established guidance on sustainable development through the United Nations *sustainable development goals* (SDGs) and *ISO 14001*. The thesis also delves into theory on how to apply knowledge of sustainability to an environment through the *SECI* model of knowledge dimensions.

The overall goal of the method is to be able to identify *environmental wastes* in a workplace or process that, by the principle of *Lean* is creating no value which, in this case, hinder the sustainable development of society. By first identifying these types of waste, one is able to take further steps to reduce or remove the environmental waste from the area of concern, which is also a goal of the thesis. In order to accomplish the goals a *PDCA-cycle* is adapted to be used in conjunction with the theory-basis, which is then applied to the university's own *learning factory* (which is built for academic purposes).

The overall results show the difficulty of making decisions without sufficient information or data to base decisions on. It also shows the rigidity of the learning factory's ability to provide or apply correcting measures. It also shows the relative success of using a *PDCA* cycle when applied to the process of learning that will make future decision-making more feasible.

Innholdsfortegnelse

Abstract	iii
Innholdsfortegnelse	iv
Figurliste/tabelliste	vi
1 Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	2
2 Teori	3
2.1 Lean.....	3
2.1.1 Om Lean.....	3
2.1.2 Leans prinsipper (Toyota)	4
2.1.3 Bruk av Lean i oppgaven	6
2.2 Veiledning for bærekraft	8
2.2.1 FNs bærekraftsmål	8
2.2.2 ISO 14001	10
2.3 Støtteteori	13
3.1.1 Internalisering av kunnskap	13
3.1.2 SEKI.....	14
3 Metode/Case.....	17
3.1 Mål og kontekst.....	17
3.1.1 Mål	17
3.1.2 Kontekst	19
3.2 Planlegg.....	21
3.2.1 Oversikt av LF.....	21
3.2.2 Analyse av LF	25
3.3 Utfør	26
3.3.1 Støtte.....	26
3.3.2 Miljøsvinn i LF.....	27
3.4 Kontroller	30
3.4.1 Analyse av data	30
3.5 Korrigjer	34

3.5.1 Prestasjonsevaluering	34
4 Resultater.....	35
4.1 Resultater for utvikling av metode	35
4.2 Måloppnåelse for PUKK.....	36
5 Diskusjon og analyse.....	38
5.1 Analyse av teori og metodebruk.....	38
5.2 Konklusjon	39
Litteraturliste	41

Figurliste/tabelliste

Figur 1 – ‘House’ of the Toyota Production System	5
Figur 2 – FNs 17 bærekraftsmål)	8
Figur 3 – Den triple bunnlinjen	10
Figur 4 – SEKI-modellen	14
Figur 5 – Modell for å forklare ‘Ba’	15
Figur 6 – Oppsett av LF og produksjonsplan	22
Figur 7 – Bilder produktets deler	23
Figur 8 – Fremstilling av produksjonslinjen	25
Figur 9 – Eksempel på oppslag for miljøsvinn	27
Figur 10 – Strømbruk per modul	28
Figur 11 - Oversikt over arbeidsplan og alle stegene	31
Tabell 1 - En utvalgt operasjon i regnearket	31

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Denne oppgaven (og problemformuleringen) ble formet ut ifra omgivelsene og omstendigheter ved studier i NTNU Gjøvik frem til våren 2023. I studiene var det naturlig nok satt oppmerksomhet på kunnskaper som kunne være nyttig i tiden fremover, som kompetanse innenfor teknologi, design, produksjon, markedsføring, ledelse og andre områder. Samtidig som dette skjedde økte miljøbevisstheten i samfunnet ellers, noe som ble reflektert i selve studiene og dets oppbygging. Dette til tross for at miljøengasjementet i mange tilfeller ble bremsert opp under koronapandemien, hvor samfunnet naturligvis hadde fokus på andre ting. At samfunnet er tilbake til det samme sporet som før pandemien (med tanke på bærekraft) taler til at tendensen bare kommer til å fortsette i årene fremover.

Hvis samfunnet faktisk skal få til en positiv endring, derimot, må det mer enn store ord og løfter til. Det må faktisk stilles krav til handling, både i det offentlige og det private, som har en konkret målbar effekt. Det var dette som var grunnlaget for å skrive en oppgave om dette temaet; å ville kombinere samfunnets ønske om å skape en mer bærekraftig verden med metoder som gjør dette mulig. Det er her *Lean* kommer inn i bildet, ettersom det er en metodikk som lenge har vært i utvikling og er fortsatt (om ikke mer) relevant den dag i dag. Lean har vist seg å være, i mange tilfelle, pålitelige når det gjelder å oversette prinsipper og tankesett til konkrete metoder. Dette kan være fordelaktige når det gjelder bærekraft, siden det også her er snakk om prinsipper som trengs å innføres i praksis. I tillegg er det en klar sammenheng mellom Leans metoder (for blant annet å minimere ressursbruk) og bærekraft, ifølge det amerikanske miljødirektoratet (United States Environmental Protection Agency, 2022). Dette betyr ikke at Lean er nok for å skape bærekraft i seg selv ettersom det som oftest er andre hensyn enn bærekraft som står i sentrum når bedriften iverksetter Lean (ibid.). I noen tilfeller kan Lean til og med føre til det motsatte, ettersom hensynet til økonomi overstyrer miljøhensyn, som er nok til å konkludere at Lean ikke automatisk er bærekraftig (Wakeland & Venkat, 2006). Dette er grunnen til at man må se på nye måter å bruke Lean på for å gjøre det mer bærekraftig, selv om metodikken og prinsippene bak allerede er et godt utgangspunkt

1.2 Problemstilling

«Hvordan innføre bærekraft gjennom LEAN – fra tankesett til teknikk»

Problemformuleringen ble utviklet i tiden før og under arbeidet med forprosjektet til oppgaven (Vedlegg – Prosjektplan). Prosjektet beskriver ideutviklingen som skjedde i ledd av å utvikle en aktuell problemstilling med temaene 'Lean' og 'bærekraft'. 'Innføre' ble valgt fordi det hentyder til at bærekraft må innpasses med et eksisterende system i stedet for å være en uavhengig prosess som bare 'iverksettes'. Oppgaven velger å omtale hypotetiske bedrifter som bærekraftig Lean skal innføres i. Dett er på grunn av at mye av teorien baserer seg på nettopp innføring av bærekraft i bedrifter. Søkelyset på bedrifter er viktig når det gjelder å få til en bærekraftig utvikling ettersom det kan være bremsende for utviklingen hvis hensynet til økonomiske goder overstyrer hensynet til miljø og samfunn. Grunnen til at problemformuleringen nevner både 'tankesett' og 'teknikk' er fordi både Lean og bærekraft har en prinsipiell del hvor det handler om å ha en holdning til ting (et tankesett) som trengs å oversettes til konkret metodikk (en eller flere teknikker) som kan brukes til å innføre prinsippene i praksis.

Teorien som brukes er først og fremst Leans prinsipper og metoder. I sammenheng med dette brukes teori om bærekraft som er etablerte veiledning standarder for hva som er bærekraft og hvordan bærekraft skal oppnås. Til slutt brukes også teori om hvordan å innføre kunnskap som støtteteori. Dette er for å skape en ekstra dimensjon i formålet med å innføre bærekraft i praksis.

2 Teori

2.1 Lean

2.1.1 Om Lean

‘Lean’ får sitt navn fra en akademisk artikkel fra slutten av 80-tallet (Krafcik, 1988) hvor et av de forskjellige systemene som ble undersøkt ble kalt et «... *lean production system*» (hvor *lean* kan oversettes til slank/mager/smidig). For å ‘slanke ned’ innførte blant annet japanske produsenter (med Toyota i spissen) nye måter å effektivisere bedriften på. Dette ble hovedsakelig gjort gjennom å minimere det som ikke bidro til verdi i produksjonskjeden, som ble sett på som svinn (*muda*). Hos Toyota ble det identifisert 7 ulike typer *muda* som forstyrret verdistrømmen (Krajewski & Malhotra, 2022, s. 166):

- Overproduksjon (Skaper større lager av varer, som krever ekstra ressurser)
- Ventetid (Venting som demmer opp prosessen gjør verdiskapningen tregere)
- Transport (Skaper ingen verdi i seg selv og er et mellomledd mellom verdiskapere)
- Overprosessering (Prosessering utover det som trengs er bortkastet ressursbruk)
- Inventarproblemer (Produkter som ligger stille og ikke brukes skaper ingen verdi)
- Defekter (Krever ressurser for å fikses, enten det gjelder produkt eller prosess)
- Bevegelser (Bevegelser av både mennesker og maskiner skaper slitasje som krever ressurser)

Artikkelen konkluderte at av bedrifter som hadde en slank (lean) produksjon oppnådde høyere produktivitet enn de som ikke fulgte de samme prinsippene, noe som naturligvis skapte oppmerksomhet blant akademikere og bedrifter. På begynnelsen av 90-tallet ble prinsippene bak et «... *lean production system*» undersøkt nærmere og lagt under uttrykket *Lean*, som beskrevet i boken «The Machine That Changed the World» (Roos, Jones, & Womack, 1990). Ifølge boken finnes det fem grunnprinsipper for hva *Lean* skal utrette (Dyve, 2018):

- Den skal definere hva som er verdi for kunden.
- Den skal identifisere verdistrømmen for hvert produkt og fjerne det som ikke bidrar til verdi.

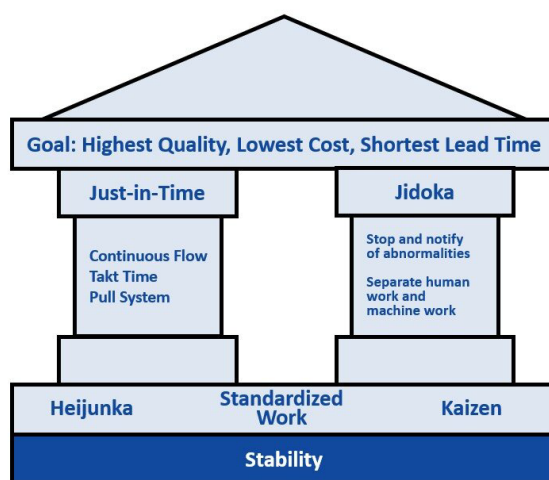
- Den skal skape flyt gjennom verdistrømmen
- Den skal standardisere arbeidet som blir gjort
- Den skal fremme verdistrømmen gjennom kontinuerlig forbedring

Selve prinsippene ble gradvis utformet i Japans industrielle oppbygging etter andre verdenskrig. Det var i disse omstendighetene at det var nødvendig å ha en ‘slank’ produksjonen, som etter hvert utviklet seg til å bli en måte å tenke på (en filosofi). Slik oppsto ideen om at prosessen kun skulle bestå av det som skapte verdi for kunden (og dermed bedriften), gjennom standardisering og effektivisering. Det var denne produksjonsfilosofien som lå til grunn for de forskjellige prinsippene som Lean består av, som over tid ble utviklet til flere konkrete metodikker. Dette gjaldt blant annet *Just-in-time* (JIT), som ofte brukes synonymt med Lean. JIT handler om å produsere det som trengs, når det trengs og hvor det trengs med minimal ledetid og beholdning av råvarer som var et utgangspunkt for det som senere ble omtalt som ‘Lean’. Metodikken hjalp japanske produsenter i å skaffe konkurransefortrinn ovenfor vestlige motparter, som ble mer og mer synlig utover 70- og 80-tallet. Derfor ble mange av prinsippene fra Lean-produksjon analysert, definert og satt på agendaen - og gravis tatt i bruk hos flere ikke-japanske produsenter utover 90-tallet.

2.1.2 Leans prinsipper (Toyota)

Toyota var foregangslederen for Lean gjennom produksjonssystemet, omtalt som ‘TPS’ (*Toyota Production System*). I 2001 formaliserte Toyota prinsippene bak deres produksjonsfilosofi, i et dokument/bedriftshefte gitt til ansatte kalt «*the Toyota way*». Antageligvis skulle heftet gjøre det lettere for de ansatte å følge firmaets retningslinjer og metoder, hvor metodikken bak Lean var noe de selv hadde brukt flere tiår på å utvikle og implementere (ofte på et mer uformelt plan). Dette dokumentet ble analysert, oversatt og oppsummert som 14 forskjellige prinsipper (Liker, 2004, ss. 35-41):

- 1. Baser ledelsesbeslutninger på langsiktig tenkning - selv på bekostning av kortsiktige finansielle mål
- 2. Lag en prosess med kontinuerlig flyt av produkter, varer og tjenester (*Just in Time*)
- 3. Etabler trekk i prosessene og la etterspørsel styre belastningen (Sire, 2022)
- 4. Ha en jevn arbeidsmengde på tvers av organisasjonen (*heijunka - utjevning*)
- 5. Skap en kultur for umiddelbar problemløsing for å sikre kvalitet på forhånd
- 6. Standardiser prosesser og oppgaver for å sikre stadig forbedring og bemyndiggjøring av ansatte
- 7. Bruk visuelle systemer. Alt skal være oversiktlig, synlig og tydelig
- 8. Bruk teknologi og teknikker som er påsatt pålitelige og som de ansatte kjenner
- 9. Utvikle ledere som forstår oppgavene, lever etter bedriftens filosofi og er i stand til å lære andre
- 10. Utvikle dyktige ansatte og grupper som jobber etter bedriftens filosofi
- 11. Respekter eksterne samarbeidspartnere og leverandører ved å støtte og gi utfordringer til disse
- 12. Observer situasjonen for å forstå problemet som skal løses (*genchi genbutsu – gå og se*)
- 13. Gjør sakte beslutninger mens du sikrer samstemmighet og overveielse av alternativene; gjennomfør raskt beslutningen når den er tatt (*nemawashi - undersøk*).
- 14. Bli en læringsorganisasjon gjennom stadig reflektering (*hansei*) og kontinuerlig forbedring (*kaizen*).



Figur 1 – 'House of the Toyota Production System' (ValueFlo, 2020)

Disse prinsippene (og metodikken som fulgte) blir sett på som bakgrunnen for mye av tenkningen rundt Lean. Det er også viktig å påpeke at Lean har blitt utviklet av over lang tid hvor flere aktører (enn Toyota) har bidratt til utviklingen. Mange av metoder kan sies å ha blitt skapt gjennom en gjensidig læringsprosess hvor de ble oversatt og/eller tilpasset (både språklig og kulturelt) der det trengtes. Selve uttrykket 'Lean' er jo en slik språklig og kulturell tilpasning og er en del av et bredt spekter av bidrag til metoder (som til syvende og sist handler om å effektivisere). Det kan være metoder som har blitt utviklet parallelt, metoder som er en videreføring eller metoder som stammer direkte fra Lean. Mange store vestlige bedrifter og tok i bruk noe som ligner JIT, med egne betegnelser. Denne gjensidige læringsprosessen gav utslag i en økende interesse rundt Lean (og lignende metodikk) utover 2000-tallet hvor man ville undersøke om Lean hadde et mer universelt bruksområde enn den som var tilpasset TPS.

2.1.3 Bruk av Lean i oppgaven

For å utvikle en metodikk som skal å innføre bærekraft gjennom Lean så er det viktig å tenke at Lean like mye et læresystem (Ballé, et al., 2019, s. 2) som en gruppe konkrete metoder. Metodene som Lean tar i bruk (PDCA, Kanban, 5S, OEE, VSA osv.) er et resultat av læring og tilpassing (hos blant annet Toyota) mer enn det er en 'gullstandard' som alle bør omfavne. Derfor bør deler av metodikken ikke bare handle om konkrete metoder, men også om å lære muligheter og holdninger som er nyttige for å få gjennomført tiltak. Metodene som er valgt skal underbygge de prinsipielle delene av bærekraftig Lean. Det er derfor oppgaven legger særlig vekt på PDCA (Plan-Do-Check-Act) ettersom det er en av de viktigste metodene for å sikre stadig forbedring (*kaizen*) i en organisasjon. Som en av de mest grunnleggende metodene i Lean brukes den hyppig av blant annet Toyota, spesielt i kombinasjon med 7-stepsprosessen *Hoshin Kanri*. Denne metoden går under det norske uttrykket *PUKK* (Planlegg-Utfør-Kontroller-Korriger), som brukes i oppgaven.

Et annen aktuelt verktøy som kan brukes er en *verdistrømsanalyse* (VSA), som kan bidra til å gjøre en organisasjon både Lean og bærekraftig. I Lean handler det som regel om å optimalisere verdistrømmen (f.eks. i en produksjonsprosess) gjennom å fjerne det som ikke skaper verdi i denne, slik at man står igjen med det som skaper. En VSA handler om å få oversikt over verdistrømmen gjennom f.eks. en visuell fremstilling (se bilde) av nåværende

tilstand som inneholder alle faktorene som spiller inn i verdiskapningen, som *varebeholdning*, *ledetid*, *syklustid*, *takttid* osv. Ved å lage en oversikt av en prosess gjennom en verdistrømsanalyse kan man få identifisert hvor (og i hvilken grad) det skjer svinn i systemet. Basert på dette kan man lage en ny fremstilling som viser den *ønskede tilstanden*, hvor svinn er fjernet og prosessen har blitt *Lean*.

Man kan også se på flere prinsipielle metoder man har funnet for å gjennomføre Lean (Pettersen, 2009, ss. 127-142):

- Lean som en konkret måloppnåelse eller tilstand (Å være Lean)
- Lean som en (kontinuerlig) forbedringsprosess (Å bli Lean)
- Lean som et sett med verktøy eller metoder (Å bruke Lean midler/verktøy)
- Lean som en filosofi/tankemåte (Å tenke Lean)

Det fordelaktige med å ha flere måter å tenke Lean på er at du kan ha flere innfallsvinkler i løsningen av et problem. Hvis du skal forbedre en prosess kan det være nyttig å gjøre denne *Lean* ved å kutte i det som ses på som svinn (Å være Lean). Hvis du trenger en konkret løsning på dette kan du bruke Lean-verktøy, som f.eks. en verdistrømsanalyse (Å bruke Lean midler/verktøy). Det kan også være fordelaktig å tenke på Lean som en filosofi, at den bevisst eller underbevisst former holdningene til de ansatte, slik at beslutningstakerne har en innfallsvinkel når et nytt problem oppstår (Å tenke Lean). I tillegg til at bedriften har en ønske om å fortsette å forbedre seg over tid (Å bli Lean).

Oppgaven tar til rette for at alle disse måtene kan brukes, spesielt når det gjelder å innføre Lean i kombinasjon med bærekraft. For eksempel kan man lage en ny versjon som viser at disse to tematikkene går hånd i hånd:

- Bærekraft som et konkret mål eller tilstand (Å være en bærekraftig bedrift/organisasjon)
- Bærekraft som en forbedringsprosess (Å bli en mer bærekraftig bedrift/organisasjon)

- Bærekraft som et sett med verktøy eller metoder (Å bruke midler/verktøy til å bli bærekraftige)
- Bærekraft som en filosofi/tankemåte (Å tenke bærekraft i alt man gjør)

Her kan å tenke bærekraft bety å kutte avfall (Å være bærekraftig) eller å nå et mål om å senke utslipp innen et visst år (Å bli bærekraftig). Det kan bety å bruke praktiske midler som er utviklet til å hjelpe en bedrift i å bli bærekraftige eller å innføre en bærekraftig holdning slik at både små og store avgjørelser i bidrar til en mer bærekraftig hverdag. Alle disse innfallsvinklene er relevante i forhold til oppgaven og har sammenheng med hverandre og kan være interessante å utforske i henhold til problemstillingen.

2.2 Veiledning for bærekraft

2.2.1 FNs bærekraftsmål



Figur 2 – FNs 17 bærekraftsmål (FN-Sambandet, 2023)

Oppgaven definerer innføring av bærekraft som tiltak, metoder og/eller holdninger som fremmer en bærekraftig utvikling som definert av FNs (Brundtlandkommisjonen) rapport *Vår felles framtid*. Rapporten definerer bærekraftig utvikling som «... utvikling som

imøtekommer dagens behov uten å ødelegge mulighetene for at kommende generasjoner skal kunne dekke sine behov» (Dahl & Brundtland, 1987). De mest aktuelle målene for å oppnå en bærekraftig utvikling er FNs *bærekraftsmål*. FNs bærekraftsmål (eller *Sustainable Development Goals*, SDGs) er en agenda som ble vedtatt av FNs generalforsamling i New York, 25. september 2015 og som erstattet *Tusenårsmålene*, som var den forrige agendaen fra 2000-2015. Denne består av 17 hovedmål som medlemslandene skal ligge an til å nå innen 2030. Ifølge FNs siste rapport (SDSN, 2022) har Norge *store utfordringer* (rød status) på mål 2, 12, 13 og 15. Norge har også *betydelige utfordringer* (oransje status) på mål 6, 8 og 14. Til slutt har Norge *moderate utfordringer* (gul status) på mål 3, 4, 9, 11 og 16. Dette gjør at Norge har oppnådd 6 av de 17 målene (grønn status) som viser at landet har en relativt høy oppnåelse ifølge målingene (nr. 4 av 163 land). Samtidig viser rapporten at målene har en god utvikling; med piler som viser *moderate forbedringer* eller forbedringer som gjør at målet enten *oppnår* eller *opprettholder* grønn status.

Målene/delmålene som kan ha særlig relevans for oppgaven kan for eksempel være (FN-Sambandet, 2023):

Mål 3 (*God helse og livskvalitet*): Å redusere dødsfall som følge av farlige kjemikalier og forurensing (3.9)

Mål 6 (*Rent vann og gode sanitærforhold*): Å få bedre vannkvalitet gjennom å redusere forurensing/avfallsdumping og spillvann (6.3) og bedre utnyttelsen av vann (6.4)

Mål 7 (*Ren energi til alle*): Å spare strøm der det er mulig og øke energieffektiviteten (7.3)

Mål 8 (*Anstendig arbeid og økonomisk vekst*): Nevner blant annet at vi bør «... oppheve koblingen mellom økonomisk vekst og miljøødeleggelser» gjennom en bærekraftig tilnærming (8.4)

Mål 9 (*Industri, innovasjon og infrastruktur*): Handler om å omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig (9.4) ved å effektivisere ressursbruk, bruke miljøvennlig teknologi og innføre miljøvennlige prosesser.

Mål 11 (*Bærekraftige byer og lokalsamfunn*): Å redusere den negative påvirkningen på miljøet med særlig vekt på luftkvalitet og avfallshåndtering (11.6)

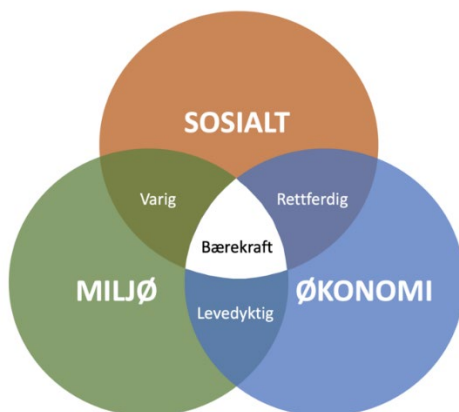
Mål 12 (*Ansvarlig forbruk og produksjon*): Har mange aktuelle temaer som bærekraftig bruk av naturressurser (12.2), redusere svinn (12.3), miljøvennlige redusering/forvaltning av kjemikalier/avfall (12.4), redusere mengden avfall/materialbruk (12.5), stimulere selskaper til å ta i bruk bærekraftige metoder og rapportere dette (12.6) og spre relevant informasjon om bærekraftsutvikling (12.8).

Mål 13 (*Stoppe klimaendringene*): Nevner det å stå imot klimarelaterte farer (13.1) og redusere konsekvensene av klimaendringene (13.3).

Mål 14/15 (*Livet på havet/Livet på land*): Oppfordrer blant annet til å redusere forurensing/forsuring på havet og bevare skogsområder/økosystemer på land.

Mål 17 (*Samarbeid for å nå målene*): Oppfordrer til partnerskap mellom interessenter som kan dele kunnskap, ressurser og andre ting som kan skape bærekraft (17.16)

2.2.2 ISO 14001



Figur 3 – Den triple bunlinjen (YTE, 2023)

En modell for å definere bærekraftsansvar i bedrifter er *den triple bunlinjen* av John Elkington, hvor balansen mellom økonomiske forhold, sosiale forhold og miljø i et langsiktig perspektiv legges til rette for en bærekraftig utvikling (Carson & Skauge, 2019, ss. 134-142).

De internasjonale standardene ISO 14001:2015 (Ledelsessystemer for miljø), ISO 9001:2015 (Ledelsessystemer for kvalitet) og ISO 26000:2010 (Veiledning om samfunnsansvar) kan relateres til den triple bunnlinjen (Aasbø, 2010), også kjent som 3P (*People, Profit, Planet*). ISO 9001 kan sies å ta var på det økonomiske perspektivet (Profit) mens ISO 26000 omhandler det helhetlige ansvaret for miljøet (Planet). ISO 14001 tar for seg samfunnet (People) og bruken av denne kan være en god måte for bedrifter å opparbeide seg *sosial kapital* eller *miljøkapital* (Carson & Skauge, 2019, s. 136), gjennom å vise ansvarlighet for miljø og samfunn. Dette gjør at ISO 14001 er den mest egnede standarden i bruk med problemstillingen, ettersom den har konkrete metoder og krav som kan brukes som rammeverk for å innføre bærekraft i en bedrift.

ISO 14001:2015 (Standard Norge, 2015) beskriver ulike krav som organisasjoner skal, bør eller kan (enten tillatelse eller mulighet) oppnå for å bidra til en bærekraftig utvikling. Den beskriver også ulike miljømessige aspekter som bedrifter bør vurdere for å unngå negative virkninger (som enten omfatter bedriften eller samfunnet ellers). Generelt handler den om å innføre et ledelsessystem som er et «... sett av beslektede eller samvirkende elementer i en organisasjon for å oppnå policy og mål og prosesser for å oppnå disse målene» (Standard Norge, 2015, s. 8). Dette gjør at ISO 14001:2015 har en tilnærmet lik struktur som ISO 9001:2015 (Ledelsessystemer for kvalitet) Metodikken til ISO 14001:2015 omfatter bruk av PDCA/PUKK. Denne kombineres med rammeverket for å tilfredsstille kravene til et *ledelsessystem for miljø* (Environmental Management System på engelsk) i en bedrift eller organisasjon. Måten dette gjøres er å først vurdere «Organisasjonens kontekst» (Del 4) hvor man blant annet skal finne «... interne og eksterne forhold som er relevante» (4.1), «Forstå behovene og forventningene til interessepartene» (4.2) og «Bestemme omfanget» (4.3). Deretter skal lederskapet (Del 5) vurdere sine forpliktelser (5.1), etablere en *miljøpolicy* (5.2) og sikre roller, ansvar og myndighet innen organisasjonen (5.3).

Med den kontekstuelle informasjonen kan man begynne PUKK-syklusen med *Planlegging* (Del 6). Her skal man blant annet «... ta hensyn til risikoer og muligheter» (6.1) enten det er miljøaspekter (6.1.2), samsvarsforpliktelser (6.1.3) eller generelle krav (6.1.1). Deretter skal det lages «Miljømål og planlegging for å oppnå dem» (6.2) hvor man først fastsetter miljømål basert på visse kriterier og tar for seg ressursbruk, tidsbruk, ansvar og arbeidsomfang (osv.) for å oppnå disse.

Utførelsen blir gjort ved å gi *Støtte* (Del 7) hvor man finner hvilken *Ressurser* (7.1) og *Kompetanse* (7.2) som er nødvendig før det skjer en *Bevisstgjøring* (7.3) og (internt og eksternt) *Kommunikasjon* (7.4) som sikrer at dette gjennomføres, før det til slutt dokumenteres (7.5).

Kontrollering skjer under *Drift* (Del 8) hvor man sikrer styring av prosessene man har iverksatt (som del av ledelsessystemet) ved å finne de aktuelle driftskriteriene (I *Planlegging og styring av drift*, 8.1). Disse skal hjelpe til med å etablere, implementere, styre og vedlikeholde prosessene samtidig som de tar hensyn til endringer (og konsekvenser av disse). I tillegg skal man etablere styringen ut ifra et livsløpsperspektiv hvor man tar hensyn til miljøkravene i alle stadiene av produktet eller tjenesten, som f.eks.; utvikling, innkjøp, leverandører, transport og bruk samt håndtering ved slutten av livsløpet. Som siste ledd i driften skal organisasjonen ta hensyn til *Beredskap og Innsats* (8.2) hvor det skal etableres tiltak og respons ved mulige nødsituasjoner.

Korrigeringen skjer ved en *Prestasjonsevaluering* (Del 9) hvor miljøprestasjonene skal overvåkes, måles, analyseres og evalueres (9.1). Først må man finne *hva* som skal overvåkes/måles og *når* dette skal skje, før man finner aktuelle metoder som sikrer *gyldige resultater* som skal analyseres og evalueres (om nødvendig). Deretter finner man kriteriene som miljøprestasjonene måles opp mot og i hvilken grad disse prestasjonene skal kommuniseres internt og eksternt som ledd i *samsvarsforpliktelsene* (som også skal evalueres). I neste ledd skal det skje en *Intern Revisjon* (9.2), gjennom et eller flere program, som skal sikre at både organisasjonens egne krav samt de gitt av ISO 14001 blir møtt og vedlikeholdt. Programmene skal være objektive og upartiske og sikre at resultatene når den aktuelle ledelsen. I siste omgang skal organisasjonens øverste ledelse gjennomgå ledelsessystemet for å sikre at det er «... velegnet, tilstrekkelig og virkningsfullt» (I *Ledelsens gjennomgåelse*, 9.3). Her blir tidligere gjennomgåelser vurdert i samsvar med; endringer, i hvilken grad mål er oppnådd, informasjon om prestasjonene generelt (som avvik og resultater), ressursbruk, henvendelser fra relevante interesseparter og til slutt om muligheten for kontinuerlig forbedring. Dette skal gi ledelsen grunnlag for eventuelle beslutninger om endringer eller strategi som angår ledelsessystemet

2.3 Støtteteori

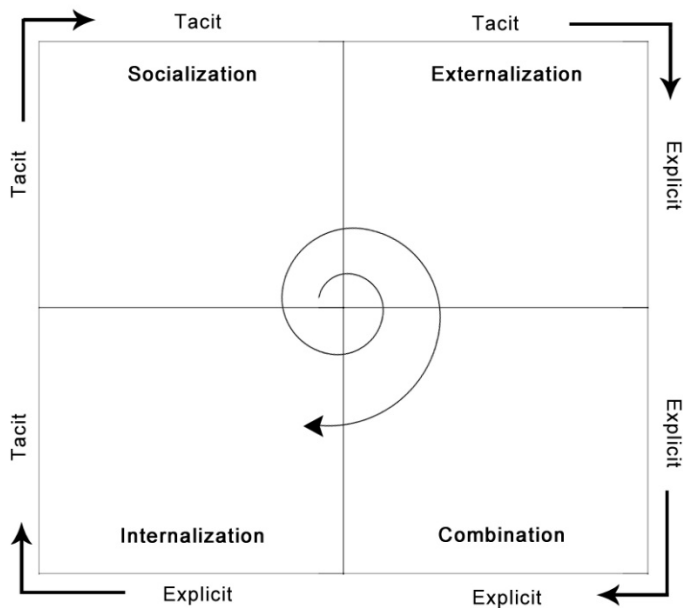
3.1.1 Internalisering av kunnskap

Når en bedrift skal gjennomføre nyttige tiltak blir disse ofte satt i gang i et ovenfra-ned perspektiv, hvor ledelsen tar ansvar for prosedyrene som de ansatte skal gjennomføre. Ved slik vertikal kommunikasjon er det derfor viktig at de ansatte forstår tiltakets formål og gjennomføring, slik at det er motivasjon og evne til å faktisk gjennomføre disse. I bedrifter som dyrker en tradisjonell, hierarkisk struktur med flere autonome ledd og/eller avdelinger skjer det dermed mye vertikal kommunikasjon, hvor fordelene er at det er klarhet mellom rollene og oversikt over hvem som bestemmer hva. Det har også blitt påpekt mye av ulempene med slike systemer, hvor kommunikasjonen ikke har en god nok flyt mellom de vertikale leddene, spesielt når det gjelder nedenfra og oppover i systemet (Jacobsen & Thorsvik, 2013, s. 290).

Foreganslederne til Lean (som Toyota) har tilpasset seg struktur hvor ansatte får trening slik at de blir mer fleksible i arbeidet og samtidig får mer ansvarlig for prosessene i bedriften (Krajewski & Malhotra, 2022, s. 172). Dette gjør at ansatte kan lære i praksis og gjennomføre forbedringer (kaizen) uavhengig av overståttes oversyn. Dette er relevant når det gjelder å innføre bærekraftige tiltak fordi det er fordelaktig at ansatte har eierskap til eget arbeid gjennom myndiggjøring (Krajewski & Malhotra, 2022, ss. 128-129) slik at de tar ansvar for å innføre og forbedre tiltakene som gjør bedriften mer bærekraftig. Risikoen er at tiltakene kan bli sett på som en ekstra belastning, i tillegg til de eksisterende arbeidsoppgavene, i det som kalles *muri* (overbelastning) som kan hindre motivasjon til å gjennomføre tiltakene.

Det er derfor viktig at kunnskapene og holdningene rundt og gjeldene bærekraft *internaliseres*, slik at det blir en del av bedriften/organisasjonen kultur både hos ledelsen og de ansatte. Dette sikrer at tiltak både kan komme fra ledelsen og «nedenfra-opp», slik at alle har en interesse og forståelse av hvorfor bærekraftig skal gjennomføres. I tillegg blir ikke tiltakene hindret som følge at det strider mot ledelsen eller de ansattes interesser; f.eks. ved at tiltakene føles påtvunget fra det øverste hold eller at lederskapet ikke vil gjennomføre tiltak fordi det ikke har noen økonomisk gevinst.

3.1.2 SEKI



Figur 4 – SEKI-modellen (Nonaka, Toyama, & Konno, 2000, s. 12)

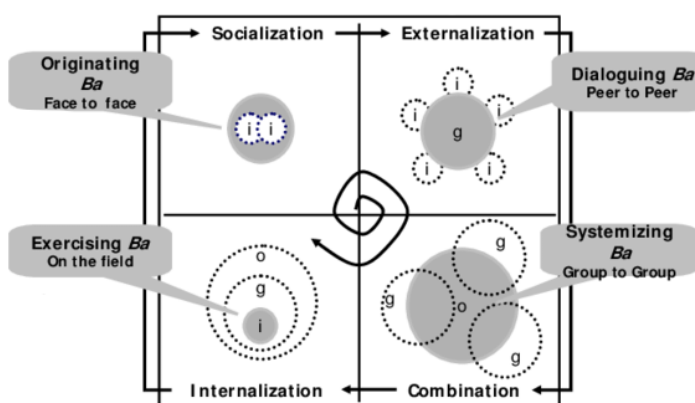
SEKI-modellen (SECI på engelsk) er en modell som forsøker å forklare hvordan kunnskap forvandles innad i en bedrift. Metoden ble utviklet ved undersøkelser av Japanske bedrifter, inkludert Toyota (Nonaka, Toyama, & Konno, 2000, s. 24), og kan bidra til å forklare hvordan kunnskap (som Lean eller bærekraftstiltak) kan internaliseres i en bedrift. Den består av fire steg; (S)osialisering, (E)ksternalisering, (K)ombinering og til slutt (I)nternalisering. I tillegg skiller den med to typer kunnskap; implisitt (tacit) og eksplisitt (explicit).

Kunnskapen som er implisitt (eller taus) er kunnskap som er vanskelig å kodifisere og utveksle med andre som f.eks. sosiale koder, erfaringer osv. Eksplisitt kunnskap, derimot, kan lettere uttrykkes og utveksles som f.eks. et diagram, en manual eller prosedyrer som uttales verbalt mellom ansatte (Nonaka, Toyama, & Konno, 2000, ss. 9-11). Modellen viser viktigheten av å ta til rette den tause kunnskapen så vel som den eksplisitte, ettersom f.eks. de ansattes arbeidskultur (implisitt) kan være like viktig (om ikke viktigere) som de formelle instruksjonene ansatte skal følge i arbeidshverdagen (eksplisitt). Modellen (figur 4) viser hvordan kunnskap forvandles mellom stadiene av implisitt og eksplisitt i en slags «spiral», uten at den nødvendigvis har et fast startpunkt. Den viser f.eks. hvilke stadier kunnskap kan gå igjennom før den er internalisert og blir meddelt som taus kunnskap (igjen) gjennom sosialisering (dog på et høyere nivå). Her er et eksempel på hvordan el slik forvandling kan skje:

«En bedrift vil innføre en bærekraftig prosedyre og lager en bruksanvisning på dette som de deler med alle ansatte. Dette er eksplisitt kunnskap som allerede er *eksternalisert* for de ansatte å kunne følge. De ansatte må dermed ta til seg denne kunnskapen for så å *kombinere* denne med ressursene som bedriften allerede har, enten det er prosedyrer eller teknologi som tar i bruk den nye bærekrafts-kunnskapen. Når dette er gjort må kunnskapen *internaliseres* hos hver enkelt (aktuelle) ansatte som lærer å bruke den kombinerte kunnskapen gjennom praksis («Learning by doing»), hvor denne blir implisitt for individet. Disse erfaringene deles enten direkte eller indirekte (gjennom f.eks. observering) mellom ansatte gjennom *sosialisering*, hvor praksisen bli en del av bedriftens implisitte rutine («Slik gjør vi det her».)»

Selv om prosedyren er blitt tatt i bruk (internalisert) er ikke syklusen sluttet ettersom det er flere nivåer/grader av kunnskapsformidling i alle omgivelser. Dermed forsetter forvandlingen hvor den implisitte rutinen f.eks. blir eksternalisert (på nytt) ved bruk av en bruksanvisning for den nye rutinen, basert på erfaringene som ble gjort. Og slik fortsetter syklusen.

Målet med denne oppgaven (i forhold til SEKI) er å ha kontroll over forvaltningen og forvandlingen av kunnskap innen en hypotetisk bedrift, enten det er eksterne prosedyrer (eksplisitt) eller normer og uskrevne regler (implisitt). Dette gjelder spesielt nye rutiner og prosedyrer, som kan skape intern friksjon, hvor bedriftene gjerne vil at denne blir internalisert så fort som mulig. Dette gjør at kunnskapen rundt innføring av bærekraft må gå igjennom stadiene av SEKI før den blir en del av bedriftens interne metodikk (internalisering).



Figur 5 – Modell for å forklare 'Ba'. o=organisasjon g=gruppe i=individ. (Grundstein, 2012, s. 8)

En måte for å ha kontroll forvaltningen av kunnskap er å ta til rette for de fysiske, digitale eller mentale stedene kunnskapen formidles i det som kalles 'Ba' (Nonaka, Toyama, & Konno, 2000, ss. 14-19), som har like struktur som grunnmodellen i SEKI (figur 5). En måte å bruke 'dialogbasert ba' (Dialoguing Ba) er at en ansatt med nyttig kunnskap, som den om bærekraftstiltak, sprer denne kunnskapen til likemenn. Et eksempel er å ansette eller ansvarliggjøring noen som har en rolle som involverer bærekraft. For å videre forvandle den eksplisitte kunnskapen må denne 'kombineres' med annen eksplisitt kunnskap og dette skjer gjennom ba ved hjelp av 'systematisering' (Systemizing Ba). Systematisering handler om å lage en plattform for (kombinasjon av) eksplisitt kunnskap (Nonaka, Toyama, & Konno, 2000, s. 17) gjennom f.eks. databaser, videresending av e-post osv. Det kan derfor være lurt å innlemme kunnskapen om bærekraft i de digitale og fysiske rutinene slik at kombineringsprosessen kan skje. Etter dette vil det forhåpentligvis skje en internalisering gjennom at ansatte tar i bruk kunnskapen slik at den gjøres til taus kunnskap ved praksis (Exercising Ba). Denne kunnskapen kan dermed spres gjennom sosialisering og en-til-en samtaler (Originating Ba). En-til-en samtaler er viktig i spredning av taus kunnskap ettersom man får en større forståelse av kommunikasjonen som gjøres når man tolker andres reaksjoner og ansiktsuttrykk (Nonaka, Toyama, & Konno, 2000, s. 16)

3 Metode/Case

3.1 Mål og kontekst

3.1.1 Mål

Målet for metoden og tilhørende case er å innføre bærekraft gjennom Lean. For å oppnå dette brukes PUKK (Planlegg-Utfør-Kontroller-Korriger) i kombinasjon med det teoretiske grunnlaget for å skape en metode for å oppnå målet. Det er også tatt i bruk noen elementer fra ISO 14001 som veiledende punkter for deler av syklusen. Selv om oppgavens mål ikke er å innføre et ledelsessystem (som ISO 14001 danner grunnlaget for) så er standarden et godt eksempel på en definert PUKK-syklus som involverer bærekraft. I tillegg blir det lettere å innføre et ledelsessystem i fremtiden hvis man allerede har erfaring med metodikk som involverer bærekraft. PUKK er en prosess som er laget for å kunne repeteres slik at det skjer kontinuerlige forbedringer i henhold til kaizen. Derfor er et av målene også å skaffe erfaringer som man kan ta med videre til neste iterasjon/innføring av P-U-K-K. Dette er også en av målene med det valgte case, i tillegg til å eksemplifisere metodikken som tas i bruk.

Ettersom et av grunnprinsippene i Lean er å identifisere og minimere det som ikke bidrar til verdi (svinn), så er det en logisk slutning at bærekraftig Lean må handle om å minimere det som ikke bidrar til bærekraftsverdi. I denne oppgaven er det derfor brukt en type bærekraft-basert svinn, kalt *miljøsvinn* (Garza-Reyes, Romero, Govindan, Cherrafi, & Ramanathan, 2018, s. 339) (United States Environmental Protection Agency, 2022), som bruker FN's bærekraftsmål som utgangspunkt for definisjon. Hovedmålet blir dermed å identifisere miljøsvinn og finne løsninger som kan bidra til en økt bærekraftig utvikling. For å oppsummere skal PUKK-syklusen oppnå 2 mål:

- Innføre bærekraft gjennom å identifisere og minske miljøsvinn (Hovedmål)
- Bidra til læring som underbygger utførelsen av hovedmål i fremtiden (Sekundærmål)

Siden man først må identifisere miljøsvinn før man vurderer tiltakene så konsentrerer den første PUKK-syklusen seg om å faktisk finne disse før man vurderer neste steg. Dette blir da

oppgavens *miljøpolicy* som følger ISO 14001 (Del 5 – Lederskap (Standard Norge, 2015, s. 14)). Under er eksempler på flere typer miljøsvinn i sammenheng med ett eller flere bærekraftsmål (FN-Sambandet, 2023), samt hvordan man kan jobbe mot målene:

Avfall – Minimere søppel, vrakgods og andre biprodukt

- ✓ Bærekraftsmål 11.6: «... redusere byenes og lokalsamfunnenes negative påvirkning på miljøet (målt per innbygger), med særlig vekt på luftkvalitet og avfallshåndtering i offentlig eller privat regi»
- ✓ Bærekraftsmål 12.4: «... oppnå en mer miljøvennlig forvaltning av kjemikalier og alle former for avfall gjennom hele livssyklusen»
- ✓ Bærekraftsmål 12.5: «... redusere avfallsmengden betydelig gjennom forebygging, reduksjon»

Energi – Minimere bruk av elektrisitet og brennstoff (propan, oksygen osv.)

- ✓ Bærekraftsmål 7.3 – «... få forbedringen av energieffektivitet på verdensbasis til å gå dobbelt så fort»

Vann – Minimere bruk av vann og/eller spillvann

- ✓ Bærekraftsmål 6.3: «... å halvere andelen ubehandlet spillvann»
- ✓ Bærekraftsmål 6.4: «... betydelig bedre utnyttelsen av vann i alle sektorer»

Material og ressursbruk -

Optimalisere ressursbruk og gjenvinne/gjenbruke så mye av materiale som mulig

- ✓ Bærekraftsmål 12.2: «... oppnå bærekraftig forvaltning og effektiv bruk av naturressurser»
- ✓ Bærekraftsmål 12.5: «... redusere avfallsmengden betydelig gjennom ... materialgjenvinning og ombruk
- ✓ Bærekraftsmål 6.3: «... i vesentlig grad øke gjenvinning og trygg ombruk på verdensbasis»

Utslipp og kjemikalier –

Minimere utslipp av drivhusgasser og forurensende/skadelige kjemikalier

- ✓ Bærekraftsmål 6.3: «... sørge for bedre vannkvalitet ved å redusere forurensning, avskaffe avfallsdumping og mest mulig begrense utslipp av farlige kjemikalier og materialer, halvere andelen ubehandlet spillvann og i vesentlig grad øke gjenvinning og trygg ombruk på verdensbasis
- ✓ Bærekraftsmål 11.6: «... redusere byenes og lokalsamfunnenes negative påvirkning på miljøet (målt per innbygger), med særlig vekt på luftkvalitet og avfallshåndtering i offentlig eller privat regi»
- ✓ Bærekraftsmål 12.4: «... betydelig redusere utslipp av kjemikalier og avfall til luft, vann og jord for mest mulig å begrense skadevirkningene for folkehelsen og for miljøet»
- ✓ Bærekraftsmål 13.3: «Styrke enkeltpersoners og institusjoners evne til å motvirke, tilpasse seg og redusere konsekvensene av klimaendringer og deres evne til tidlig varsling, samt styrke kunnskapen og bevisstgjøringen om dette.»

Annet – Andre mål som kan være relevante, men som ikke omhandler spesielle miljøsvinn

- ✓ Bærekraftsmål 9.4: «... oppgradere infrastruktur og omstille næringslivet til å bli mer bærekraftig, med mer effektiv bruk av ressurser og mer utstrakt bruk av rene og miljøvennlige teknologiformer og industriprosesser»
- ✓ Bærekraftsmål 12.6: «... Stimulere selskaper, særlig store og flernasjonale selskaper, til å ta i bruk bærekraftige metoder og integrere informasjon om egen bærekraft i sine rapporteringsrutiner»
- ✓ Bærekraftsmål 17.16: «Styrke det globale partnerskapet for bærekraftig utvikling og understøtte det med partnerskap mellom flere interessenter som kan mobilisere og dele kunnskap, ekspertise, teknologi og finansielle ressurser»

3.1.2 Kontekst

Før PUKK-syklusen blir satt i gang skal det gjøres en vurdering av omgivelsene i forhold til implementeringen. Dette følger metodikken i ISO 14001 (Del 4 - Organisasjonens kontekst)

hvor man vurderer de interne og eksterne forholdene som kan ha relevans og prøver å forstå interessepartene krav og forventninger, før man bestemmer omfanget av tiltak (Standard Norge, 2015, s. 13). Her er det lurt å følge prinsippene til den tredje bunnlinjen slik at interessene til økonomi, miljø og samfunn sammenfaller med hverandre. Et eksempel på dette kan være tider med energikrise (slik som sist vinter i Europa). Her kan det være det lurt å spare strøm fordi det senker kostnadene (økonomi) og øker bærekraft (miljø) samtidig som interesseparter i lokalsamfunnet har en forventning om at lokale bedrifter gjør sin del i at strømforbruket senkes (samfunn).

Siden NTNU er organisasjonen som case forholder seg til blir de interne og eksterne forholdene vurdert ut ifra NTNU Gjøviks omgivelser. Interessepartene er alle som blir direkte eller indirekte påvirket av organisasjonens handlinger. I dette tilfelle er det hovedsakelig ansatte og studenter ved NTNU som tilknyttes oppgaven, men det kan det også være bedrifter som er interessert i kunnskapen som en bacheloroppgave formidler (noe som oppgaven har tatt hensyn til). I arbeidet med prosjektplan (Vedlegg - Prosjektplan) ble det gjort en vurdering av omgivelser og interesseparter gjennom metoden *effektuation*, som tilfredsstillende noen av kravene til kontekst i denne delen.

Omfang blir definert som avgrensning for hvilke deler av organisasjonen (prosess, produkt, prosedyre osv.) hvor det er hensiktsmessig å innføre tiltak for forbedring. I prosjektplanen ble NTNUs egen læringsfabrikk identifisert som en arena hvor det kan være mulig å prøve ut teori i praksis. Omfanget for prosjektet blir med andre ord å finne miljøsvinn ved hjelp av læringsfabrikken som anvendelsesområde. Dette simulerer en avgrensning av en utvalgt produksjonsprosess som en tenkt bedrift ønsker å gjøre mer bærekraftig, etter å ha gjort en vurdering for tiltakets omfang.

Hva er NTNUs læringsfabrikk?

NTNUs læringsfabrikk (Festo Didactic Cyber Physical Learning Factory) fungerer som en simulering av en industriproduksjon etter industri 4.0s prinsipper, dedikert til utdanning og forskning (NTNU, 2023). Den skal blant annet gi økt forståelse for hvordan en produksjon basert på industri 4.0 kan fungere og på hvilken måter dette kan utnyttes. Denne er modulær slik at det er mulig å flytte rundt på komponenter og moduler i ulike sammensetninger, basert

på hva som er hensiktsmessig. Systemet styres av *MES4*; en programvare utviklet av Festo for bruk i deres industri 4.0 plattformer (Festo, 2023), som fungerer som et produksjonsstyringssystem (*MES - Manufacturing Execution System*). Gjennom nettverkets datamaskiner kan MES lage ordrer, endre innstillinger og få oversikt over statistiske data osv. Disse kommuniserer med hver enkelt modul gjennom dens PLC- (Programmable Logic Controller) som er en modul som både kan motta og gi data til MES (som f.eks. ordre inn og statistisk data ut). En PLC kan programmeres for å endre modulens funksjoner og handlingsmønstre som f.eks. hvordan automatiseringen i modulen skal foregå. Siden alle moduler kommuniserer gjennom MES betyr det at modulene kommuniserer uavhengig av hverandre og kan kombineres i ulike sammensetninger. Man kan også styre (med begrensinger) de enkelte modulene (deres PLC) gjennom en HMI (Human Machine Interface) som i dette tilfelle er berøringsskjermer på modulene som enten er integrert på siden eller som egen modul.

3.2 Planlegg

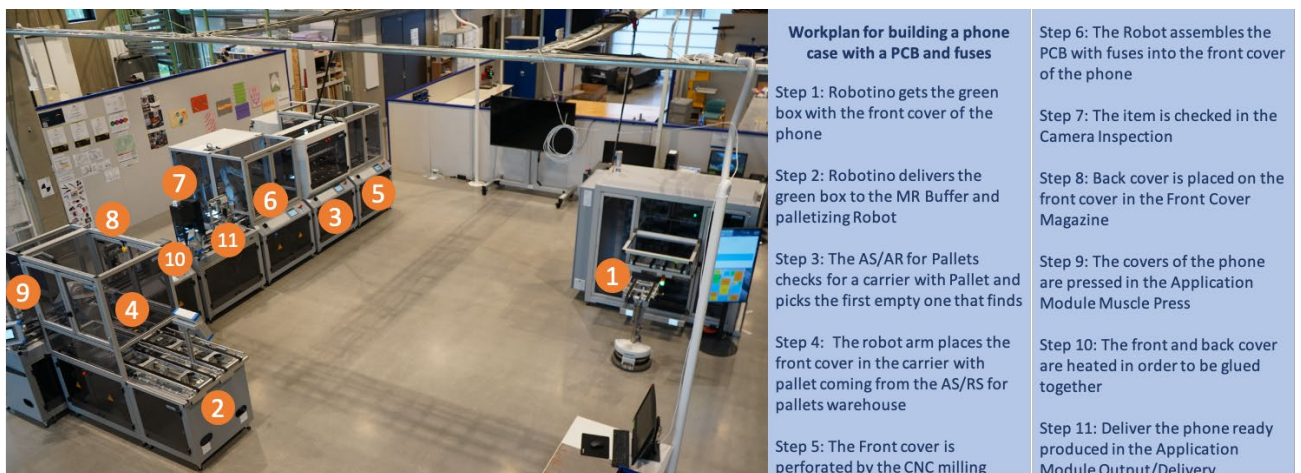
3.2.1 Oversikt av LF

Etter at mål og kontekst er blitt definert begynte planleggingen for å nå *miljømål*. Dette er etter veiledning i ISO 14001 (Del 6 – Planlegging) hvor det handler om å «... ta hensyn til risikoer og muligheter» i planlegging av oppnåelse for *miljømål* (Standard Norge, 2015, ss. 15-16). I dette tilfelle handler miljømål om å identifisere måter for å finne miljøsvinn (i henhold til miljøpolicy), hvor man undersøker risiko og muligheter (og *miljøaspekter*) som ledd i dette. I planleggingsfasen ble det derfor laget en oversikt over læringsfabrikken (LF) og alle dens aspekter slik at det kan lages en analyse av for å finne potensielle muligheter (og trusler). Dette skal legge grunnlaget (plan) for å utføre en grundigere analyse for å identifisere miljøsvinn i henhold til miljømål, som gjøres i neste kapittel (3.3).

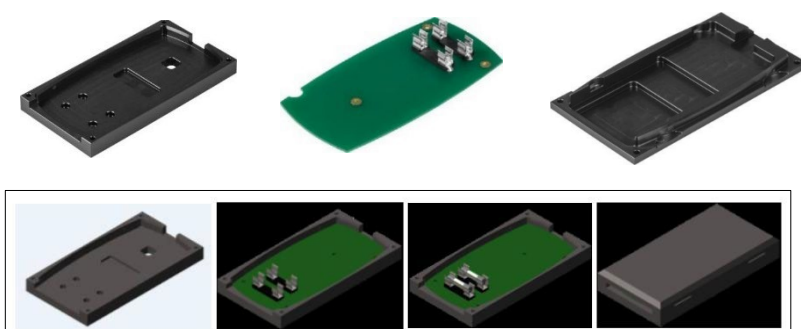
Læringsfabrikken (LF) består av enten av basismoduler (lineær/bypass) eller funksjonsmoduler med spesielle bruksområder (CNC-fres osv.). Disse kan også kombineres med mindre modulere deler som har egne funksjoner og konfigureringsmuligheter.

Basismodulene er utstyrt med transportbånd oppå hvor den ene basismodul (lineær) har to parallelle bånd som går i hver retning mens den andre basismodulen (bypass) delegerer til et

tredje belte fra ett av de parallelle båndene. På hver side av modulene sitter en egen PLC (og annen elektronikk) slik at hvert belte kan f.eks. ha en egenprogrammert funksjonsmodul som produserer uavhengig av det andre. Grunnleggende er at produksjonen automatiseres og beveges med AGV (automated guided vehicle), robot eller med transportbånd. Robotene er utstyrt med egne griperedskaper som bruker et pneumatisk trykkluftsystem for enten å gripe mekanisk eller ved vakuum. Båndene frakter i dette tilfelle en bærer (carrier) som har en RFID-brikke som både leses og skrives til. Dette gjøres av egne RFID-lesere som sitter i enden av hver modul som sporer og koordinerer bærerne igjennom MES. Bæreren gjør en kort stopp på hver modul for å leses/skrives til slik at systemet vet om arbeidsstykket oppå skal bearbeides eller gå videre. På bærer festes en spesialtilpasset pall, laget av et aluminiumstykke på 100 x 160 x 5 (mm), hvor toppen av denne er en utbyttbar holder (tilpasset arbeidsstykke) festet med skruer. AGV er en ladbar robot på hjul kalt *robotino* som beveges (i retning x,y og rotasjon i z) i en fast rute programmert igjennom MES. Den har kollisjonssensorer og er utstyrt med transportbånd på toppen som kan dra boksene til seg til videre frakt. *All informasjon og illustrasjoner er hentet fra festo sine hjemmesider (Festo, 2023) og manualer i LF.*



Figur 6 – Oppsett av LF og produksjonsplan (NTNU, 2023)



Figur 7 – Bilder produktets deler (over f.v.: frontdeksel, kretskort, bakdeksel) og grafikk av sammenstilling (under)

Læringsfabrikkens nåværende oppsett (figur 6) er å simulere en sammenstilling av en mobiltelefon (figur 7). Dette gjør den ved sammenstille et frontdeksel, bakdeksel, kretskort og sikringer ved hjelp av de ulike modulene. Hele produksjonen består av disse stasjonene (montert oppå / på siden av en basismodul eller som er en uavhengig dedikert modul):

Lager (1) – Her blir arbeidsstykker lagret i lagringsbokser (f.eks. eurobokser) med egne fester som er tilpasset deltype (slik at de ligger i en spesifikk retning). Stasjonen har 20 plasser hvor oversikten over disse er programmert inn i MES (plass 20 har en full boks osv.). En lineær robot tar en boks med deler og leverer denne til dokkingmodulen hvor en robotino frakter de videre. Bruker et pull-system som fungerer ved at sensor på en spesifikk robot (på griperedskap) noterer at den ikke får tak i flere deler. Dette indikerer at boksen er tom som sender et signal gjennom MES at robotino må erstatte denne boksen.

Mottak/palleteringsrobot (2/4) – Mottak for boksene på en dokkingstasjon med tilpassede belter. Har en robotarm (6 akser) som beveger arbeidsstykkene (frontdeksel) fra euroboksene til ledig pall (oppå bærer). Avhengig å koble seg på produksjonslinja gjennom en bypass-modul. Ved tom boks blir pull-system aktivert som signaliserer bevegelsesroboten (1 akse) til å flytte boksen til det andre transportbelte for uttak.

Internlager (3) – Lager for arbeidsstykker og/eller ledige paller. En lineær robot (som beveges i aksene xyz + rotasjon) plukker en ledig pall etter programmerte plassinstrukser fra

MES (som i lagermodulen) og setter denne på bærer som ligger på det venstregående transportbåndet. Kan bare gripe fra dette spesifikke båndet.

CNC-fres (5) – Her har produsent laget en integrert modul ved å ta en basismodul (bypass) og satt en modul med CNC-fres og lasterobot på den ene siden. Mulighet for å frese arbeidsstykke etter MES-instruksjoner, men er ikke i bruk i nåværende system ettersom systemet bruker en ferdig frest del rett fra lager (frontdeksel). Her skulle egentlig frontdeksel freses til fra et uferdig emne; et rektangulært stykke plast hvor innskjæring til kretskort, kamerahull og mer freses inn. Lasteroboten (6 akser) tar fra bypassbelte for å unngå flaskehals i produksjonen.

Monteringsmodul (6) – En robotarm tar arbeidsstykker (frontdeksel) fra et tredje belte som plasseres på en inspeksjonsmodul som finner dekselets orientering. Dette gjøres ved hjelp av et kamera som gir bilde av hvordan deksel ligger i forhold til lyscellene på liggeflaten. Dette overføres til MES som genererer koordinater som overføres til robotarm slik at den kan gripe deksel med presis orientering. Deksel overføres så til en egen monteringsstasjon som er tilpasset arbeidsstykket. Her bytter robotarmen griperedskap (fra mekanisk griper til vakuugriper) og tar et kretskort fra euroboksen i modulens dokkingstasjon. Disse plasseres av robot i fordypningen på frontdekslet (som sitter i monteringsstasjonen) før den bytter redskap (til et annet mekanisk ett) og tar sikringer som plasseres i kretskortet. Sikringene er manuelt matet til eget lager igjennom matingshull som sitter bak på modulen.

Kamerainspeksjon (7) – Et kammer hvor arbeidsstykke (kan) belyses før kamera inspiserer basert på kriterier satt av MES. Dette gjøres ved at kamera sender bildet til MES som måler resultat opp mot et fasitbilde som registrerer om kretskort har null, ett eller to sikringer. Man kan også få bildet opp på modulens skjerm (HMI) slik at det kan utføres en manuell inspeksjon.

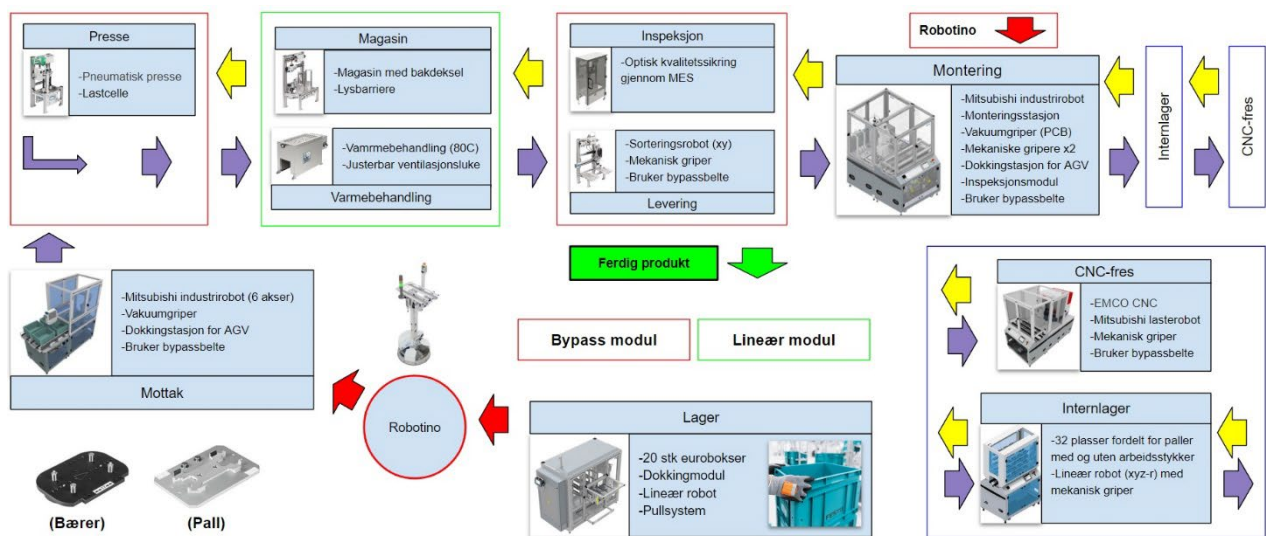
Magasin (8) – Et lager for bakdeksel som slippes oppå frontdeksel, men bare hvis arbeidsstykke bryter en lysbarriere (infrarødt) og ikke har feilkode i RFID. Lysbarriere sitter så høyt at arbeidsstykke må ha frontdeksel og kretskort for å nå opp, som indikerer riktig sammenstilling.

Presse (9) – En pneumatisk presse som skal trykke dekslene sammen basert på et programmert trykk (N). Har en lastcelle som sikrer riktig trykknivå.

Varmekammer (10) – Her kan sammenstillingen av deksler varmebehandles opp til 80 grader celsius. Skal hjelpe med å feste delene sammen med lim, men er ikke i bruk i nåværende system.

Leveringsmodul (11) – En modul hvor en robot tar ferdig produkt fra bypassbeltet og setter det på ett av utgangene hvor det må hentes manuelt.

3.2.2 Analyse av LF



Figur 8 – Fremstilling av produksjonslinjen

De aspektene i LF hvor det kan foreligge muligheter (og trusler) er f.eks. i den nåværende produksjonslinja (figur 8) som er satt opp på en slik måte at den potensielt skaper svinn (selv om det ikke nødvendigvis fører til miljøsvinn). For det første kan man se problemer i flyten på flere steder i produksjonen:

Den midtre modulen (Magasin + Varmebehandler) er en vanlig lineær-modul som gjør at stasjonene behandler arbeidsstykket rett fra hoved-flyten (på gul eller lilla pil). Dette er spesielt kritisk ettersom varmebehandling (antageligvis) har en større syklustid enn postene rundt slik at det er stor sjanse for at det skapes en flaskehals. Det er også et problem at bypass-modul bare har et ekstra belte på en side slik at bare en av de to modulene kan ta arbeidsstykker fra denne. Både i presse, magasin og inspeksjon må bærer stoppe helt opp på det venstregående hoved-båndet (gul) for at modulen skal gjøre sin funksjon.

Et annet problem er at det ferdige produktet leveres manuelt, med ingen mulighet for henting med robotino. Dette gjør at ferdige produkter hopper seg opp i det tredje bypass-beltet i leverings-modulen. Dette er ikke et problem på CNC-fres og monteringsmodulen ettersom bare den ene siden brukes (og kan bruke det tilhørende bypass-båndet). Alt dette blir forverret av rekkefølgen stasjonene er satt opp i. F.eks. må en bærer (med ledig pall) fraktes rett fra internlageret til mottak (palleteringsrobot) som er fem poster ned i linja. Selv om bærer bare stopper kort på hver modul for å at RFID skal leses (og den får ordre om å fortsette) så kan flaskehals hindre bærer i nå fram, som hindrer hele produksjonsprosessen fra første steg. Når (hvis) denne bærer når fram til mottak så må den helt tilbake til CNC-modul i andre enden av linja for, at arbeidsstykket man får fra mottaket skal fresas, som også kan skape problemer på samme måte. Selv om dette hovedsakelig beskriver svinn i henhold til tradisjonell Lean mangel på optimalisering i prosessen føre til miljøsvinn. Dette skjer gjennom at den bruker unødvendig energi til å frakte bærer på faktiske avstandene. I tillegg kan en uoptimalisert prosess gjøre at det skjer feil som kan føre til miljøsvinn i form av bortkastede ressurser, avfall osv. Siden ingen av disse svinnene er åpenbare i prosessen handler neste steg derfor om å finne et teoretisk grunnlag som gjør at en kan lettere finne forekomstene av miljøsvinn.

3.3 Utfør

3.3.1 Støtte

For å hjelpe utføringen av identifisering og minimering av svinn tas i bruk ISO 14001 (Del 7 – Støtte) veiledning som handler om å støtte opp under utførelsen med ressurser, kompetanse, bevisstgjøring og kommunikasjon (Standard Norge, 2015, ss. 17-18). Kort sagt handler det om i dette tilfelle å sikre at bedriften internaliserer den kunnskapen om miljøsvinn som trengs for å finne og eliminere miljøsvinn. Derfor handler denne delen om å skape bevissthet rundt miljøpolicy og sikre at kunnskapen om typene svinn (og eventuelle tiltak som følger) internaliseres som bedriftskunnskap. Dette gjøres ved å se på kunnskapsformidling gjennom SEKI for å se på eventuelle tiltak som kan gjøres for å bidra til dette.

Finn miljøsvinn



Figur 9 – Eksempel på oppslag for miljøsvinn

Et forslag for å innføre eksternalisert kunnskap er å ha plakater eller oppslag med oversikt (og eventuelt beskrivelse) over de forskjellige typene av miljøsvinn slik at det skapes en bevisstgjøring og kunnskapsformidling i form av en synlig, forståelig og formell fremstilling (figur 9). Eventuelt kan man ha typer miljøsvinn sammen med bærekraftsmålene disse er basert på eller annen nyttig informasjon (som nøkkelindikatorer) som bidrar til synlighet slik at man blir påminnet om å jobbe mot disse målene. Å ha denne eksternaliserte kunnskapen foran seg når man arbeider fungerer som et referansepunkt for 'systematisert ba', hvor ansatte får mulighet til å kombinere denne kunnskapen med produksjonskunnskap for å bruke det i arbeidshverdagen. Forhåpentligvis bidrar dette til at praksisen rundt identifisering og minimering av miljøsvinn bli til taus kunnskap hos ansatte gjennom 'learning by doing' slik at syklusen kan fortsette. I case var dette relevant ved undersøkelser av LF hvor det var nyttig å ha en visuell oversikt over produksjonsplanen (figur 8) foran seg slik at det var lettere å se hvor det fantes muligheter for forbedring.

3.3.2 Miljøsvinn i LF

Metoden som ble brukt for å identifisere miljøsvinn er å gå punktvis over de ulike typene svinn og analysere dette opp mot oversikten man har gjort av LF. Dette er et eksempel på ulike typer eksternalisert kunnskap som kombineres for å skape en ny prosedyre som internaliseres gjennom utførelse (etter prøving og læring). I dette tilfelle er oversikt/kunnskap

over miljøsvinn det som kombineres med kunnskap om LF og dets aspekter. Dette simulerer bruk av en ny innført metode som skal kombineres med nåværende omgivelser/metoder for å skape ny internalisert bedriftskunnskap. Et eksempel kan være en ansatt i en bedrift som bruker kunnskap om en spesifikk produksjonsprosess og kombinerer dette med bærekraft gjennom annen eksternalisert kunnskap, som kan være oppslag, leksjoner, dokumenter osv. Den grafiske fremstilling (figur 8) som ble gjort i planleggingsfasen skal sammen med oppslag av de ulike typer miljøsvinn (figur 9) fungerer også som eksternalisert kunnskap som hjelper med måloppnåelse.

Avfall: Læringsfabrikkens avfall er kun det materiale som freses vekk i CNC-modulen, men siden denne ikke er i bruk finnes det ikke data angående dette. Det er også avfall forbundet med defekte deler og/eller produkter, som må kastes eller resirkuleres. Dette diskuteres nærmere under «Material og ressursbruk».

Energi: Alt av bevegelse i LF enten det gjelder det pneumatiske systemet, transportbeltene eller robotene skjer gjennom elektrisitet (unntatt slipping av bakdeksel i magasin ved hjelp av tyngdekraft, som heldigvis er ganske bærekraftig). Det samme gjelder alle stasjonene enten det er varmebehandling, CNC, presse eller inspeksjon. Det ble derfor undersøkt om det kunne måles strøm gjennom MES slik at man kunne få en oversikt over strømforbruk (kWh) per modul (figur 10), per enhet (osv.) for å se etter overforbruk. Dette relateres til analysen i forrige kapittel hvor den nåværende produksjonsplanen kan føre til overforbruk av strøm gjennom lengre transportavstander (som forverres med flaskehals) enn det som er ideelt. Her er det potensielt mye energisvinn og det gjenstår å se om dataene i kontroll-fasen underbygger dette.

Vann: Læringsfabrikken har ingen bruk av vann i produksjonen. Ingen miljøsvinn.



Figur 10 –Eksempel på hypotetisk strømbruk per modul (nede) og akkumulert strømbruk (oppe)

Material og ressursbruk: Materialbruket i produksjon er ukjent for både deksler, kretskort og sikringer ettersom Festo ikke har gitt noen data angående disse. Etter undersøkelse av lignende produkter er sikringer antageligvis laget av glass (tube) og nikkelbelagt messing (kontaktflater). Kretskort er vanligvis laget i fiberglass med noe metall. Siden det er ingen kretser i kortet så er mesteparten fiberglass med en brøkdel av ukjente metaller (for ringer og holdere til sikringer).

Fiberglass er vanskelig å resirkulere så dette kan være et potensielt problem som skaper enda mer miljøsvinn om det må kastes. Siden deksel er laget for å demonstrere en produksjon er den antageligvis laget av en type termoplast som er vanlig i industriell produksjon som for eksempel Polyoxymetylen (POM). Termoplast har den egenskap å kunne smeltes ned slik at materiale kan støpes om igjen, som gjør at valg av termoplast det optimale i forhold til resirkulering.

Bærer er laget i fiberglass og pall i aluminium, men disse brukes kontinuerlig til endt livssyklus så her er det lite potensielt materialsvinn (bare en livssyklusanalyse kan etablere dette). Mesteparten av det potensielle svinn kommer av både defekte enkeltdeler og ferdige produkter som må forkastes. Her er det muligheter for å se på det materielle svinn som skjer når et produkt er feilprodusert og om det kan etableres en resirkuleringsplan for disse. Dette gjøres ved å lese dataene man får fra MES for å få tall over det faktiske svinn (se kontrollert fase).

Utslipp og kjemikalier: Siden pneumatisk trykkluft ikke er forurensende og er en ikke-reagerende gass så er det ingen svinn i form av forurensende utslipp som følge av dette. Det kan allikevel være en risiko forbundet med gass under trykk, men dette er bare en faktor hvis det skal gjøres spesifikke forsøk. Det er et karbonfotavtrykk i produksjonen av de forskjellige modulene og leveranser utenfra, men dette er ikke relevant i forhold utslippene til den lokale produksjonen (som oppgaven handler om)

3.4 Kontroller

3.4.1 Analyse av data

I utførelsesfasen ble det funnet potensiale for miljøsvinn gjennom energibruk og materialbruk. En måte å kontrollere om det faktisk forekommer miljøsvinn er å underbygge dette med statistiske data. Disse kan brukes til å identifisere såkalte *nøkkelindikatorer*, eller *key performance indicators* (kpi), som er målte størrelser som fungerer som pekepinn på en bedrifts ytelse i forhold til måloppnåelse. I Lean brukes kpi'er til å identifisere svinn i en bedrift og i sammenheng med bærekraftig lean kan kpi'er naturligvis defineres som data som indikerer en form for miljøsvinn.

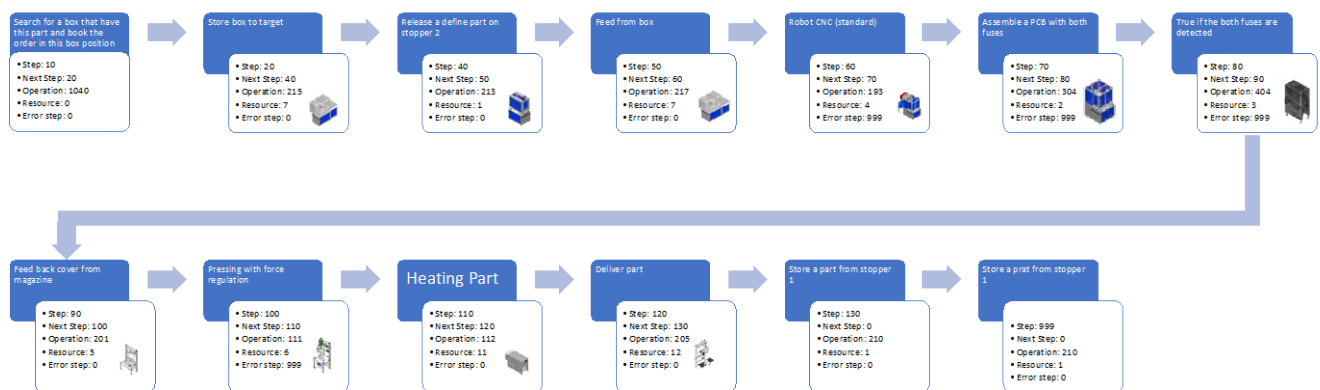
For å finne disse indikatorene så brukes læringsfabrikkens eget datasystem MES4, som har statistikk over hver produksjonssyklus. Den har også data angående OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) som er en måte å måle effektiviteten i en produksjon. Kort sagt handler det om å finne effektivitet ved f.eks. formelen: $(\text{Tilgjengelighet}) * (\text{Ytelse}) * (\text{Kvalitet}) = \text{OEE} (\%)$, hvor 100% betyr at produksjonen er så optimal som mulig med ingen avbrytelser (tilgjengelighet), feil/defekter (kvalitet) eller forsinkelser (ytelse).

Tabell 1: En utvalgt operasjon i regnearket

PNo	WPNo	StepNo	ONo	OPos	Description	OpNo	NextStepNo
9018	9018	70	2293	5	true if the both fuses are detected	404	80
FirstStep	ErrorStepNo	NewPNo	PlannedStart	PlannedEnd			
False	999	0	6/27/2019 8:36:11 AM	6/27/2019 8:36:13 AM			
Start	End	OPNoType	ResourceID	ErrorRetVal			
6/27/2019 9:34:06 AM	6/27/2019 9:34:07 AM	1	3	5050			

Dataene kan enten vises direkte i MES4 programvaren eller eksporteres som regneark. Oppgaven tar i bruk dataene fra et regneark (Vedlegg - DataLF) som viser alle utførte ordre som ble gjort i året 2019-2020 (NTNU, 2023). I dette regnearket viser hver rad en unik operasjon under ordren, hvor kolonnene viser informasjon om den spesifikke operasjonen (Tabell 1).

Steps in the workplan WPNo = 9018: Deliver a finished phone at resource 12



Figur 111 - Oversikt over arbeidsplan og alle stegene (NTNU, 2023)

PNo/WPNo: Produktnummer/arbeidsplannummer for type produkt og arbeidsplan i operasjonen følger. Koden for nåværende produksjonsplan (sammenstille mobiltelefon) av er ‘9018’ for begge.

StepNo: Nummeret som indikerer hvilket steg i prosessen operasjonen følger. Den nåværende prosessen har 13 steg som er nummerert 10-20-40-50-60-70-80-90-100-110-120-130-999, hvor f.eks. steg 10 er å hente frontdeksler fra lager for å starte prosessen osv.

ONo: Ordrenummer som operasjonen er en del av.

OPos: Ordreposisjon som er et nummer på hver enkelt operasjon i ordren. En ordre på 10 operasjoner har f.eks. samme ONo med et OPos-nummer fra 1-10.

Description: Kort beskrivelse av ordre som operasjon er del av.

OpNo: Operasjonsnummer som er unik for hver type operasjon (CNC er f.eks. 193).

NextStepNo: Nummer på neste steg i arbeidsplan.

FirstStep: Sant/Usant om operasjonen er første steg i arbeidsplan.

ErrorStepNo: Nummer til steget som skal følges om det finnes feil. Hvis en operasjon har instruksjoner om dette så skal målte feil overstyre neste steg til et feilsteg. Dette kan f.eks. være steg 999 som er instruksjoner om å sette pall til tilhørende bærer til ledig plass i internlager.

NewPNo: Hvis man gir et produkt et nytt produktnummer.

PlannedStart/End: Dato og tidspunkt for den planlagte starten og slutten av operasjonen

Start/End: Dato og tidspunkt for den faktiske starten og slutten av operasjonen

OpNoType: Operasjonsnummertype. Er alltid '1'.

ResourceID: Nummer på hvilken ressurs/modul som brukes i operasjonen. Hver modul har som regel en spesifikk operasjon (OpNo) forbundet med den.

ErrorRetVal: Verdi som refererer til en spesifikk feil. Med verdier over 5000 så vil operasjonen ta i bruk prosedyre for feilsteg (ErrorStepNo).

Det er også kolonner for bruk av elektrisitet og trykkluft, men disse er ikke i bruk ettersom LF (per i dag) ikke er utstyrt med energimåler-moduler som gir denne dataen til MES. Dette gjør at det ikke finnes noen oversiktlig statistikk over hvor mye strøm hver enkelt modul brukes osv. På en annen side finnes det data angående feil i produksjonen som kan indikere svinn. I dette tilfelle må det brukes ekstra ressurser på å behandle defekte deler og produktet som enten må brukes om igjen eller kastes.

Kpi'en som brukes for å identifisere miljøsvinn blir derfor feilkoden i 'ErrorRetVal' som viser når en operasjon måler en eller flere defekter som systemet må behandle. For eksempel er feilkoden (ErrorRetVal) med verdi '5050' forbundet med kameramodulen og oppstår når kamera skal identifiserer at det er 2 sikringer i kretskortet. Under noen av operasjonene går produkt til feilsteg 30 og 990 etter at det er funnet defekt (0 eller 1 sikring). Dette er ukjente

steg som ikke er en del av nåværende produksjonsplan som kan indikere at det ble gjort forsøk på å behandle de defekte produktene på en eller annen måte. I de fleste av tilfellene går defekte produkter til steg 999. Dette er en indikasjon på at disse defekte produktene får instruksjon om å bli stuert vekk på internlager for senere behandling, hvor det optimale egentlig ville vært å sende disse tilbake til monteringsstasjonen for korrigerende (det er mulig at det ble gjort forsøk på å få til dette). I Lean er dette bevis på svinn gjennom unødvendige defekter og inventarbruk. Det er også bevis for miljøsvinn hvis den eneste mulighet for å behandle defekter er å lagre for senere å måtte kaste disse. Ettersom det ikke finnes noen prosedyre for å bruke delene om igjen i LF og/eller levere disse til en stasjon for manuell behandling så er konklusjonen at lagrene vil ett tidspunkt fylles opp og de defekte delene må kastes. Kasting vil være miljøsvinn ettersom det materialer som blir til unødvendig avfall som i noen tilfeller ikke kan resirkuleres (kretskort). Kun i presse og kamera er det tilfeller av feilkoder med verdi over 5000 slik at disse leveres til internlager.

Det ble alt i alt funnet 27 tilfeller, spredt over 19 forskjellige dager, hvor en defekt del måtte fraktes til internlager. På den verste dagen ble det logget 5 ulike tilfeller som skjedde mellom kl. 09:58 og 11:34. Overalt er dette under ett tilfelle (0,7) av forkasting fordelt på antall dager deg ble registrert feil. Siden dekslene veier ca. 120g (ca. 64g for frontdeksel og 52g for bakdeksel) og kretskort veier ca. 18g så det blir det over disse dagene kastet 3240g med resirkulerbar termoplast (antageligvis) og ca. 486g med (nesten) uresirkulerbar fiberglass. Dette er selvsagt bare dagene hvor det er målt tilfeller av defekter og reflekterer nødvendigvis ikke hvor mye miljøsvinn LF produserer generelt. For å finne dette måtte LF gå kontinuerlig med samme arbeidsplan i dagevis (om ikke månedsvis) og dataene måtte kompiles i henhold til kpi'er for å finne gjennomsnittlig miljøsvinn. Dette viser allikevel at det er mulig å finne tilfeller av miljøsvinn ut av dataene i MES, som tilfredsstiller noen av kravene til kontrollering.

3.5 Korrigjer

3.5.1 Prestasjonsevaluering

Som siste ledd i PUKK skal det gjøres en korrigering basert på kunnskapen man har fått i planlegging-, utføring- og kontrolleringsfasen. Dette er det som i ISO 14001 kalles en *Prestasjonsevaluering* hvor man blant annet evaluerer miljøprestasjonene som ble oppnådd (Standard Norge, 2015, ss. 20-21). Derfor handler dette kapittelet om hva som kunne gjort annerledes i prosessen for å oppnå målene som ble satt for PUKK-syklusen.

I planleggingsfasen ble det laget en oversikt over hele LF for å kunne ha en basis for å kunne finne miljøsvinn. Etter dette fulgte en kort analyse av LF for å kunne finne muligheter. Her kunne de ha blitt lagt en mer konkret plan for hvordan å finne miljøsvinn som skal utføres i neste steg, men på grunn av at det manglet kunnskap om hvordan å gå frem så måtte mesteparten av delen brukes til å få noe kunnskapsgrunnlag i stedet. I analysen ble det belyst muligheter for å finne svinn som er mer i tråd med tradisjonell Lean, enn miljøsvinn. Derfor ble utførelsesfasen handlende om teori rundt SEKI og hvordan identifisere miljøsvinn, heller enn å minimere dette gjennom praktiske metoder, som ønsket. I en optimal utførelsesdel hadde man funnet en metode for å forsøke å minimere svinn gjennom forsøk, men omstendigheter gjorde dette vanskelig.

Korrigeringsfasen handlet om å finne datagrunnlag for å underbygge læringen som ble gjort i utførelsesfasen. Siden det ble teoretisert rundt hvor det kunne forekomme svinn så ble dataene brukt som et slags valideringsverktøy for dette. Neste syklus bør derfor bruke kunnskapen om bruk av data (og MES4) til å underbygge en endring som har blitt gjort, annet enn å bare brukes til identifisering av nåværende tilstand.

Overalt ble ikke måloppnåelsen for å minimere svinn nådd selv om det bidro til kunnskap som gjør dette mer gjennomførbart i neste syklus av PUKK. Måloppnåelsen for å identifisere svinn ble heller ikke nådd ettersom datagrunnlaget var relativt begrenset. I neste omgang bør det være mulig å skaffe mer målrettede data i tillegg til å skaffe OEE-statistikk som kan bidra til både kvalitative og kvantitative data. Basert på læringen som ble gjort så er det grunnlag for å konkludere at oppnåelse av sekundærmålet, om å tilegne nok kunnskap til å kunne forbedre neste syklus, har potensiale om å bli nådd avhengig av hvordan den neste syklusen går (mer om dette i *Resultater*).

4 Resultater

4.1 Resultater for utvikling av metode

Det som ble oppnådd med oppgaven kan oppsummeres som en lang, omfattende læringsprosess som kulminerte i en PUKK-syklus som var spesialtilpasset for formålet. Prosessen begynte med å prøve å forstå hva 'Lean' egentlig innebærer som det ble brukt mye tid på. Dette som gav allikevel resultater i form av forståelse for at de konkrete metodene, som mange forbinder med Lean, er et resultat av læring basert på Lean-tenkning, i stedet for å tro at å bruke verktøyene gjør at man 'tenker' Lean. Dette er en viktig realisering som førte til at det i oppgaven ble lagt mindre vekt på Lean-verktøy og mer vekt på prosessen hvor man lærer og tilpasser seg denne læringen.

Det kan også sies at oppgaven i sin helhet tilpasset seg denne læringen hvor det var mindre søkelys på få et visst resultat og mer fokus på metoder som kan brukes på nytt (med læringen fra den første) i andre scenarier. Dette bidrar til å gjøre metode (og resultat) mer reproduserbar, som kan føre til flere (og bedre) resultater i fremtiden. Dette er en egenskap som bidrar til den kontinuerlige forbedringen som er en av grunnstøttene i Lean, som også naturligvis gjelder bærekraftig Lean.

Når det gjelder bærekraft så ble det valgt to vidt forskjellige grunnlag for veiledning. Dette var fordi FNs bærekraftsmål representerer en overnasjonal målsetning som kan være vanskelig å oversette til mikro-nivå (i en bedrift el.) hvor i ISO 14001 var mer aktuell. Å oversette FNs bærekraftsmål til å kunne brukes i en bedrift ble gjort på en tilfredsstillende måte gjennom å definere miljøsvinn ut av ett eller flere bærekraftsmål. Dette gav spesifikke veiledninger for hvordan innføring kunne gjøres i praksis som gjorde identifiseringen av miljøsvinn lettere. Resultatet for denne metodebruken oppnådde derfor målet om å lettere kunne innføre bærekraftig Lean i faktiske omgivelser.

ISO 14001 representerte en mer håndfast metode som allerede var utviklet for bruk i bedrift og som samtidig tok i bruk en kjent Lean-metodikk gjennom PUKK. Problemet med ISO 14001 var at, som et krav-basert ledelsessystem, det var vanskelig oversette faste krav til veiledningspunkter for bruk i en metode. Til tross for dette var ISO 14001 nyttig som

eksempel på en iterasjon av PUKK med klart definerte steg. Siden PUKK er en metode uten fast metodikk, hvor stegene blir tilpasset hver enkelt bruk, så var det nyttig å ha en veiledning som allerede omhandler innføring av bærekraft. Resultat for denne prosessen var en PUKK-syklus som tok noen av punktene i ISO 14001, som gjorde at syklusen hadde en basis som gjorde den teoretiske gjennomføringen lettere.

4.2 Måloppnåelse for PUKK

Overalt var resultatet for måloppnåelse ikke tilstrekkelig til nok til å konkludere med at disse ble nådd for hovedmålene. Når det gjelder å begrense miljøsvinn så ble ikke dette utført. Noe av bakgrunnen for dette var at datagrunnlaget ikke var tilstrekkelig som basis til å planlegge nye korrigerende tiltak. Dette var fordi datagrunnlaget var et utvalgt av produksjonssykluser hvor konteksten var ukjent (hvorfor feilene oppsto osv.). Dette gjorde at verifiseringen av miljøsvinn bare ble generell i stedet for å være relatert til en viss prosess eller under visse betingelser. Dette gjorde det vanskelig å begrense tiltakene til betingelsene slik at man kunne gjøre tiltak basert på dette. En annen grunn var at LF har stor grad av standardisering hvor modulenes parametere var satt og fastlåst av produsent og eneste mulighet for endring var gjennom programmering av de enkelte PLCene. Dette gjorde undersøkelser og endringer i LF vanskelig.

Selv om hovedmålene ikke ble nådd så er sekundærmålet, som handlet om å ta lærdom av prosessen slik at neste syklus kan forbedres, det målet som vurderes å ha høyest oppnåelse. Grunnlaget for å gi denne konklusjonen er at resultatene som viste at identifisering og redusering av miljøsvinn ikke var mulig, bare ble oppnådd som følge av PUKK-syklusen. Uten denne ville det ikke vært et kunnskapsgrunnlag til å mene hvorvidt miljøsvinn kunne eller ikke kunne bli identifisert. Selv om de faktiske målene for PUKK ikke ble nådd førte det til et resultat hvor metoden for kontinuerlig forbedring gjennom innføringen av bærekraftsmål, ISO 14001, SEKI og andre Lean-prinsipper var gjennomførbar i praksis. Læringen for denne bruken gir grunnlag til å vurdere neste syklus som er planlagt å inneholde blant annet:

-Et forsøk hvor et oscilloskop eller multimeter settes på hovedinntaket for strøm (med klyper utenpå kablene som måler gjennom det elektromagnetiske feltet) for å måle den faktiske strømbruken (utføring/kontrollering).

-En verdistrømsanalyse som analyserer miljøsvinn, hvor man f.eks. erstatter ledetid med strømbruk (figur 10) slik at man får en oversikt over hvor mye strøm de enkelte modulene bruker og hvor det kan være svinn (utføring/kontrollering).

-Et mer omfattende datagrunnlag som inkluderer OEE data. (kontrollering)

-Nye oppslagsverk som viser mer informasjon (nye kpi'er, de faktiske bærekraftsmålene osv.) (støtte)

-En risikoanalyse for planlagte forsøk (risiko og muligheter)

At PUKK som metode faktisk kan tilpasses og brukes i sammenhengen med å innføre bærekraft på denne måten er hovedresultatet som oppgaven kan konkludere med. Dette viser at å innføre bærekraft er omfattende og krever nøye planlegging og metodisk gjennomføring, som denne oppgaven forhåpentligvis bidrar med.

5 Diskusjon og analyse

5.1 Analyse av teori og metodebruk

Lean og bærekraft er begge omfattende temaer hvor det finnes et stort teoretisk grunnlag. Dette gjorde at mye av de innledende arbeidet var å sortere gjennom kilder for å velge ut de mest aktuelle i arbeidet med oppgaven. Det ble undersøkt bruk av forskjellige ISO-standarder ettersom disse representerer en formell standard, med enighet om bruk i alle medlemsland, som kan brukes i akademisk sammenheng. Selv om denne ble vurdert og forsøkt tatt i bruk ble ISO 26000 (Veiledning om samfunnsansvar) ikke tatt i bruk i oppgaven, til tross for at denne gir veiledning som oppgaven kunne (potensielt) tatt i bruk. Dette var fordi standarden ble vurdert til å være for omfattende og generell for å kunne brukes til formålet om å skape en konkret metodikk.

FNs bærekraftsmål var en åpenbar mulighet som ble identifisert tidlig i oppgaven. Problemet her var å 'oversette' disse til en konkret metodikk, men dette ble til slutt oppnådd ved bruk av Leans prinsipper om svinn (ref. Resultater). Ettersom det er enighet i alle FNs 191 medlemsland så er disse gjenkjennelige og høyt godtatte slik at de er det mest egnede grunnlaget for definisjon av en bærekraftig utvikling. Dette gjorde at innføring av disse i praksis ble sett på som høy prioritet. Til slutt ble bruk av SEKI valgt fordi dette var interessant teori som handlet om det menneskelige aspektet i å innføre bærekraftig Lean. Lean er jo ifølge *The Lean Sensei*: «... a system to gain competitiveness by continuously developing people» (Ballé, et al., 2019, s. 4). Det var derfor viktig å ta bruk noe som kunne bidra med dette, selv om SEKI strengt tatt ikke er en del av Lean.

Når det gjelder å ta bruk Leans prinsipper så ble dette hovedsakelig gjort gjennom kontinuerlig forbedring (kaizen) og redusering av svinn (miljøsvinn). Det ble også til en viss grad tatt i bruk prinsippet for *Genchi genbutsu (gemba)* som betyr å være der det skjer slik at man kan lettere forstå hva som foregår. Dette ble gjort ved å observere læringsfabrikken slik at man kunne få en forståelse av prosessen man ville forbedre, utover bare å se på grafiske fremstillinger og manualer. De andre metodene (f.eks. *kanban* og *5S*) og prinsippene (f.eks. *heijunka*) ble utforsket, men virket mer aktuelle i tradisjonelle industrielle produksjoner og

nærmere undersøkelser for relevansen for disse ble ikke gjort. Som nevnt i oppgaven var det ikke viktig å bruke mest mulig av Lean-verktøy, men å ta i bruk Lean for å skape en form for forbedring hvor PUKK var den mest aktuelle metoden for dette. En annen aktuell metode var *Six Sigma*, som har en versjon som kombineres med både Lean og bærekraft kalt *Green Lean Six Sigma* (GLSS), som er en aktuell metodikk som det kunne være fordelaktig å utforske. Dette ble allikevel sett bort i fra ettersom problemstillingen som ble utviklet tidlig i oppgaven hadde satt rammene for å ta i bruk tradisjonell Lean og utviklingen av ett nytt teoretisk grunnlag ville være for omfattende.

Det var også planlagt å ta i bruk en verdistrømsanalyse hvor den kartet over nåværende tilstand var oversikt over alle (målte) typene miljøsvinn, som f.eks. strømbruk (figur 10). Den den fremtidige tilstanden ville vært hvor en eller flere av typene miljøsvinn var redusert. Noen av de undersøkte kildene viste henvisning til *environmental value stream mapping* (E-VSM) som var en verdistrømsanalyse som tok i bruk miljøsvinn (Garza-Reyes, Romero, Govindan, Cherrafi, & Ramanathan, 2018, s. 340). En lignende utviklet verdistrømsanalyse skulle være basis for disse undersøkelsene. På grunn av mangel på data, derimot, ble dette ikke satt i gang og heller lagt til fremtidige teoretiske sykluser av PUKK.

Kildebruken var i hovedsak bøker, nettsteder og artikler fra *ResearchGate*, som er en kjent og pålitelig side for å dele akademiske verker. Nettsteder som ikke virket troverdige ble bare brukt for bilder som allerede er allmennkunnskap.

5.2 Konklusjon

Oppgaven viser hvor avhengig man er av empiriske data for å gjøre beslutninger. Mangel på et datagrunnlag gjorde at hovedmålene som ble satt før PUKK-syklusen ikke ble møtt. Dette var enten på grunn av mangel på muligheter i læringsfabrikken eller mangel på informasjon angående de potensielle mulighetene (for å vite hva man skulle se etter). Allikevel bidro metoden for at man gikk et steg videre i å tilegne seg kunnskap for å faktisk innføre bærekraft gjennom Lean, enten gjennom læring av hvordan metoden kan brukes på et generelt grunnlag eller hvordan man kan bruke metoden i læringsfabrikken i fremtiden. Dette gjør at metoden forhåpentligvis har egenskap av å kunne brukes i flere omstendigheter uten bare LF. På grunn av at dette ble oppgaven mer teoretisk anlagt enn først antatt, ettersom

prioriteringer lå på å fremstille en allmenngyldig teoretisk metode i motsetning til å skaffe empiriske data fra forsøk i spesifikke omgivelser (som i læringsfabrikken), som ikke var gjennomførbart med den daværende informasjonen.

Litteraturliste

Ballé, M., Chartier, N., Coignet, P., Olivencia, S., Powell, D. & Reke, E. (2019). *The Lean Sensei* (1. utg.). Boston: Lean Enterprise Institute.

Carson, S.G. & Skauge, T. (2019). *Etikk for beslutningstakere - Virksomheters bærekraft og samfunnsansvar*. 2. utg. Oslo: Cappelen Damm.

Dahl, O. & Brundtland, G.H. (1987). *Vår felles framtid*. Oxford University Press.

Dyve, A. (2018). *Hva er egentlig Lean – Lean på 1, 2, 3*. Tilgjengelig fra: <https://www.nito.no/medlemsfordel/case/fag-og-karriere/hva-er-lean/> (Hentet: mars 2023).

Festo. (2023). Didactic InfoPortal. Tilgjengelig fra: <https://ip.festo-didactic.com/InfoPortal/EN/index.html> (Hentet: april 2023).

Festo. (2023). Festo.com. Tilgjengelig fra: https://www.festo.com/no/en/e/technical-education/training-concepts/highlights/training-factories/cp-systems-all-round-i4-0-training-factories-id_32122/ (Hentet: mars 2023).

FN-Sambandet. (2023). *FNs bærekraftsmål*. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/om-fn/fns-baerekraftsmaal> (Hentet: mars 2023).

Garza-Reyes, J. A., Romero, J. T., Govindan, K., Cherrafi, A., & Ramanathan, U. (2018). *A PDCA-based approach to Environmental Value Stream Mapping (E-VSM)*. Tilgjengelig fra https://www.researchgate.net/publication/322915813_A_PDCA-based_approach_to_environmental_Value_Stream_Mapping_E-VSM (Hentet: april 2023).

Grundstein, M. (2012). Establishing an Ad Hoc Infrastructure for Innovative Technology Deployment: the Case of Knowledge-Based Systems. Hentet 2023 fra https://www.researchgate.net/publication/46432323_Establishing_an_Ad_Hoc_Infrastructure_for_Innovative_Technology_Deployment_the_Case_of_Knowledge-Based_Systems (Hentet: mars 2023).

Jacobsen, D. I., & Thorsvik, J. (2013). *Hvordan organisasjoner fungerer*. 4. utg. Bergen: Fagbokforlaget.

- Krafcik, J. (1988). *Triumph of the Lean Production System*. Tilgjengelig fra: <https://www.lean.org/downloads/MITSloan.pdf> (Hentet: februar 2023).
- Krajewski, L. J. & Malhotra, M. K. (2022). *Operations Management: Processes and Supply Chains, [GLOBAL EDITION]*. 13. utg. Harlow: Pearson.
- Liker, J.K. (2004). *The Toyota way*. New York: McGraw-Hill. Tilgjengelig fra <https://www.scrummaster.dk/lib/AgileLeanLibrary/People/JefreyLiker/Liker04.pdf> (Hentet: februar 2023).
- Nonaka, I., Toyama, R. & Konno, N. (2000). *SECI, Ba and Leadership: a Unified Model of Dynamic Knowledge Creation*. Tilgjengelig fra: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0024630199001156> (Hentet: mars 2023).
- Carla Susana A Assuad. (2023) Statistikk fra læringsfabrikken. NTNU.
- NTNU. (2023). *Læringsfabrikk 4.0*. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/ivb/l-ringsfabrikk> (Hentet: mars 2023).
- NTNU. (2023). *Learning Factory - Project examples*. Tilgjengelig fra: <https://www.ntnu.no/wiki/display/i40/Learning+Factory+-+Project+examples> (Hentet: april 2023).
- Pettersen, J. (2009). *Defining lean production: some conceptual and practical issues*. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/228649583_Pettersen_J_Defining_lean_production_some_conceptual_and_practical_issues_TQM_Journal_212_127-142 (Hentet: februar 2023).
- Roos, D., Jones, D.T. & Womack, J.P. (1990). *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*. Harper Perennial.
- SDSN. (2022). *Sustainable Development Report 2022*. Tilgjengelig fra: <https://dashboards.sdgindex.org/profiles/norway> (Hentet: mars 2023).

Sire, T. (2022). *Toyota sin mentale modell «The Toyota Way»*. Tilgjengelig fra: <https://flowit.no/events/webinar-toyota-sin-mentale-modell-the-toyota-way/> (Hentet: mars 2023).

Standard Norge. (2015). *NS-EN ISO 14001:2015 Ledelsessystemer for miljø - Spesifikasjon med veiledning*. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/no/Nettbutikk/produktkatalogen/Produktpresentasjon/?ProductID=771074> (Hentet: mars 2023).

United States Environmental Protection Agency. (2022). *Lean & Environment Toolkit: Content & Acknowledgments*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/sustainability/lean-environment-toolkit-content-acknowledgments> (Hentet: februar 2023).

ValueFlo. (2020). *To Understand Lean, You Must Understand More About Toyota*. Tilgjengelig fra: <https://www.valueflo.solutions/news-notes/2020/7/2/to-understand-lean-you-must-understand-the-toyota-production-system> (Hentet: april 2023).

Wakeland, W., & Venkat, K. (2006). *Is Lean Necessarily Green?* Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/251751247_Is_Lean_Necessarily_Green (Hentet: april 2023).

YTE. (2023). *Om doble og triple bunnlinjer*. Tilgjengelig fra: <https://www.ytesammen.no/om-doble-og-triple-bunnlinjer/> (Hentet: april 2023).

Aasbø, L.-M. (2010). *Norsk næringsliv og lanseringen av ISO 26000 Guidance on Social Responsibility*. Masteroppgave. NTNU. Tilgjengelig fra: <https://www.standard.no/fagomrader/miljo-og-barekraft/samfunnsansvar---iso-26000/iso-26000-og-norsk-naringsliv/> (Hentet: mars 2023).

