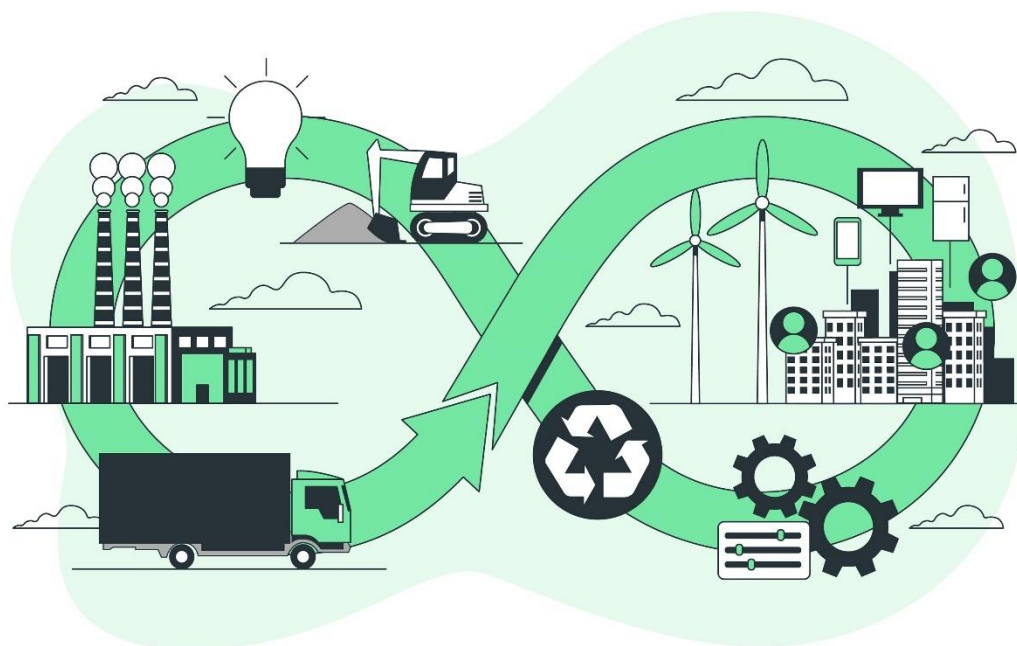




FReINDs

RAMMEVERK FOR DIGITAL SYMBIOSE

Forskningsrapport om digital industriell symbiose
Work package n°2



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



AUTHORS:

Valerij Dermol, International School for Social and Business Studies, Slovenia

Špela Dermol, International School for Social and Business Studies, Slovenia

Thomas Laudal, University of Stavanger, School of Business and Law, Norway

Ali Turkeyilmaz, University of Stavanger, School of Business and Law, Norway

Joanna Bać, Senior Project Manager, Danmar Computers, Poland

Valeria Lavano, EXEOLAB, Potenza, Italy

Diasozousa Anna Gryllaki, EXEOLAB, Potenza, Italy

Natālija Cudečka-Puriņa, BA School of Business and Finance, Riga, Latvia

Dzintra Atstāja, BA School of Business and Finance, Riga, Latvia



Innhold:

INNLEDNING TIL RAPPORTEN.....	6
DEL I: SKRIVEBORDSSTUDIE – TEORETISK RAMMEVERK OG NØKKELBEGREPER	8
1 Om industriell symbiose.....	8
1.1 Nøkkel-karakteristikker av Industriell symbiose.....	8
1.2 Forskjeller fra tradisjonell avfallshåndtering.....	9
1.3 Implementeringsstrategier, utfordringer og hensyn ved industriell symbiose	10
2 Eksempler på industriell symbiose	11
2.1 Gode praksiser og lærdommer	11
2.1.1 Eksempler presentert i vitenskapelig litteratur	11
2.1.2 Eksempler på industriell symbiose (IS) blant små og mellomstore bedrifter (SMB)	12
2.1.3 Eksempler på IS fra ulike EU-finansierte prosjekter	13
2.1.4 Eksempler fra et privat selskaps AI-baserte verdikjedegenerator	15
2.2 Viktige lærdommer og anbefalinger	15
3 Om digital teknologi i industriell symbiose.....	16
3.1 Styrking av industriell symbiose gjennom digitale verktøy.....	16
3.1.1 Verktøy for ressursmatching	16
3.1.2 Nettbaserte plattformer.....	17
3.1.3 Intelligente styringssystemer	17
3.1.4 Ontologi-baserte metoder	17
3.1.5 Digitale plattformer innen Industri 4.0.....	17
3.1.6 Blokkjede-teknologi	17
3.1.7 Digitale tvillinger Twins.....	18
3.2 Digitale innovasjoner som driver industriell symbiose: Praktiske casestudier	18
3.2.1 SymbioSys plattformen	18
3.2.2 FLOW2.....	19
3.2.3 InduSym	19
3.2.4 SHAREBOX.....	19
3.2.5 e-Symbiosis	19
3.2.6 Symbiosis Plattformen (ENEA).....	19
3.2.7 E-Simbioza.....	20
3.2.8 Value Chain Generator (VCG.AI)	20
3.3 Hindringer for implementering	21
3.4 Viktige lærdommer og anbefalinger	22
4 Referanser	25
DEL II: KVANTITATIV ANALYSE – UNDERSØKELSE AV BEDRIFTER I FEM LAND	30
1 Introduksjon	30
2 Mål for analysen	30
3 Metode.....	31
4 Resultater og tolkning	31
4.1 Bevissthet og kjennskap til industriell symbiose (IS).....	31
4.2 Opplevd betydning av bærekraft	32
4.3 Interesse for læring og deltakelse	32
4.4 Ressurser og avfallsmaterialer	33
4.5 Barrierer for deltakelse i IS-initiativer	34
4.6 Kunnskaps- og veiledningsbehov	34



4.7	Juridisk bevissthet og utfordringer.....	35
4.8	Digitale verktøy og deres adopsjon.....	36
4.9	Drivere og determinanter for organisatorisk beredskap for IS	37
5	Diskusjon, begrensninger og videre forskning	38
6	References	39
DEL III: KVALITATIV ANALYSE – TEMATISK INNSIKT FRA INTERVJUENE		41
Introduksjon.....		41
7	Forskningsspørsmål.....	41
8	Metodikk	42
9	Resultater av tematisk analyse	42
9.1	Tema 1: Barrierer og praktiske utfordringer.....	42
9.2	Tema 2: Innovasjon og strategisk tenkning	43
9.3	Tema 3: Engasjement og lokal handling.....	44
9.4	Tema 4: Praktiske erfaringer og case-tilbakemeldinger	45
9.5	Tema 5: Plattformen og økosystemdesign	47
9.6	Tema 6: Full digital integrasjon og automatisering	48
10	Svar på forskningsspørsmål.....	49
10.1	RQ1: Hva er det nåværende nivået av bevissthet og forståelse av digital industriell symbiose (DIS) blant SMB-er og institusjoner?	49
10.2	RQ2: Hvilke fordeler og muligheter forbinder deltakerne med å implementere digitale industrielle symbioseløsninger?	50
10.3	RQ3: Hvilke barrierer eller utfordringer hindrer adopsjon av digital industriell symbiosepraksis i SMB-er?	51
10.4	RQ4: Hvilke typer opplæring eller støtte trenger deltakerne for å engasjere seg effektivt i DIS-løsninger?.....	52
10.5	Spørsmål 5: Hvordan ser deltakerne på digitale plattformers rolle i å legge til rette for sirkulært samarbeid og ressursdeling?.....	53
10.6	RQ6: Hvilke politiske anbefalinger eller systemendringer foreslår deltakerne å fremme DIS på lokalt eller regionalt nivå?	54
11	Diskusjon	55
12	Konklusjoner, begrensninger og fremtidig forskning	57
13	Referanser.....	57
DEL IV: CASESTUDIER – EKSEMPLER PÅ INDUSTRIELL SYMBIOSE I PRAKSIS		58
Fra fiskegarn til mote – Hvordan AquafilSLO implementerer sirkulær økonomi.....		58
14	Fra flasker til stoler – Donars bærekraftige designstrategi	59
15	Fra invasivt ugress til notatbøker – Ljubljanas sirkulære innovasjon	60
16	Transformere avfall til energi: Balticovos sirkulære tilnærming til håndtering av fjørfegjødning i Latvia 61	61
17	Gjør tekstilavfall og resirkulert papir om til miljøvennlige byggematerialer	63
18	Skape verdi fra rester: Agrofirma Tervetes lukkede biogass- og oppdrettssystem	65
19	Å gjøre avfall til vekst: Getliņi EKO's sirkulære modell for drivhusdyrking.....	66
20	Å gjøre avløpsvann til rikdom: Den sirkulære modellen av det toskanske solariumsdistriktet 68	68
21	Gjenoppfinne avfall som ressurs: Symbiose-knutepunktet i Manfredonia.....	69
22	Papir uten avfall: Sirkulære sløyfer i Lucca Paper District	71



23	Forankret i naturen: Hvordan Sylveco dyrker sirkulær økonomi i polsk hudpleie.....	72
24	Transformere avfall til ressurser – Derewendas tilnærming til sirkulær økonomi	74
25	Lukking av sløyfen: Slik er Dobis banebrytende for sirkulær økonomi innen papiremballasje	76
	ENDELIGE KONKLUSJONER.....	79
	Syntese av funn	79
25.1	Bevissthet og forståelse av industriell symbiose (IS) og digital IS (DIS).....	79
25.2	Fordeler og muligheter	79
25.3	Barrierer og utfordringer.....	79
25.4	Digitale plattformer og verktøy	79
25.5	Kapasitetsbygging og opplæringsbehov	80
25.6	Politikk og økosystemstøtte	80
26	Konklusjoner og implikasjoner for praksis	80
26.1	Konklusjoner	80
26.2	Implikasjoner for praksis	80
26.2.1	<i>For små og mellomstore bedrifter og bedrifter.....</i>	<i>80</i>
26.2.2	<i>For plattformutviklere.....</i>	<i>81</i>
26.2.3	<i>For beslutningstakere og offentlige myndigheter</i>	<i>81</i>
26.2.4	<i>For opplæringsleverandører og støtteinstitusjoner</i>	<i>81</i>
27	Blokkeringspunkter og handlingsplan for gjennomføring av digital industriell symbiose (DIS)	81
27.1	Blokkering av poeng	81
27.2	Handlingsplan.....	83



INNLEDNING TIL RAPPORTEN

Denne rapporten gir en omfattende og metodisk variert undersøkelse av status, potensial og utfordringer knyttet til digital industriell symbiose (DIS), med et spesielt fokus på erfaringer og beredskap blant små og mellomstore bedrifter (SMBer) over hele Europa. Ved å trekke på komplementære datakilder – skrivebordsstudier, en internasjonal spørreundersøkelse, semi-strukturerte intervjuer og praktiske casestudier – gir rapporten et rikt, evidensbasert grunnlag for strategiske beslutninger, politiske anbefalinger og fremtidig forskning.

Del I: Skrivebordsstudie – Teoretisk rammeverk og nøkkelbegreper

Skrivebordsstudien sammenstiller aktuell vitenskapelig litteratur, resultater fra EU-finansierte prosjekter og praksis fra den virkelige verden innen industriell symbiose (IS) og digital sirkulær økonomi. Den etablerer det konseptuelle grunnlaget for IS, og beskriver dets særegne trekk, fordeler og integrering med digitale teknologier. Den kartlegger også nye digitale verktøy – som matchmaking-plattformer, AI-baserte planleggningssystemer, blokkjede og digitale tvillinger – og evaluerer deres rolle i å fasilitere ressursdeling og symbiotiske partnerskap. Videre identifiserer denne delen betingelser og barrierer for implementering av IS både i store bedrifter og SMBer, med vekt på styring, politisk støtte og teknologisk innovasjon.

Del II: Kvantitativ analyse – Spørreundersøkelse blant selskaper i fem land

Den andre delen presenterer resultater fra en strukturert spørreundersøkelse gjennomført blant 78 organisasjoner fra Slovenia, Italia, Latvia, Polen og Norge. Den utforsker bedriftenes bevissthet, digital beredskap, ressursbruk og interesse for IS-relatert praksis. Analysen identifiserer nivåer av kjennskap til IS/DIS, opplevde fordeler, barrierer, opplæringsbehov og institusjonelle faktorer som påvirker deltakelse. Statistiske innsikter viser at bevissthet sterkt korrelerer med beredskap, og at digitale kompetanser betydelig påvirker viljen til å delta i IS-initiativer. Nasjonale forskjeller fremhever kontekstens betydning, mens SMB-spesifikke utfordringer (begrenset kapasitet, manglende veiledning) understreker behovet for skreddersydde tiltak.

Del III: Kvalitativ analyse – Tematiske innsikter fra semi-strukturerte intervjuer

Den tredje delen bygger på tematisk analyse av 16 dybdeintervjuer med representanter for SMBer, offentlige institusjoner og eksperter fra Slovenia, Polen, Italia, Latvia og Norge. Dette kvalitative perspektivet beriker de statistiske funnene og gir kontekstuelle innsikter i levde erfaringer, strategiske intensjoner, teknologiske frustrasjoner og lokal eksperimentering. Seks sentrale temaer fremkommer: (1) barrierer og utfordringer, (2) innovasjon og strategisk transformasjon, (3) lokale tiltak og engasjement, (4) brukeropplevelse og verktøydesign, (5) plattformer og økosystemutvikling og (6) digital integrasjon og automatisering. Disse funnene gir kritiske tilbakemeldinger for forbedring av digitale IS-verktøy, styringsmodeller og kapasitetsbygging.

Del IV: Casestudier – Eksempler på industriell symbiose i praksis



Denne delen presenterer praktiske eksempler på industriell symbiose (IS) på tvers av sektorer og regioner. Hver case illustrerer hvordan bedrifter og lokalsamfunn omformer avfall til verdi, implementerer sirkulære økonomiprinsipper, og utnytter innovasjon og samarbeid for bærekraft.

Strukturert etter sammendrag, kontekst, løsning, virkninger, nøkkellærdommer og diskusjonspunkter, illustrerer disse casene praktiske fordeler ved IS – fra reduserte utslipp til kostnadsbesparelser og nye forretningsmodeller. De gir anvendelige innsikter for SMBer, politiske beslutningstakere og innovatører som ønsker å implementere sirkulære strategier.

AVSLUTTENDE DEL: KONKLUSJONER OG IMPLIKASJONER FOR PRAKSIS

Den siste delen av rapporten sammenfatter funnene fra skrivebordsstudien, spørreundersøkelsen, intervjuene og casestudiene for å fremheve nøkkelmønstre, gap og handlingsrettede innsikter. Den bekrefter at selv om bevisstheten om industriell symbiose (IS) og digital IS (DIS) vokser, forblir den ujevn – spesielt blant SMBer. Til tross for lav kjennskap, er det tydelig anerkjennelse av potensielle fordeler, inkludert kostnadsbesparelser, innovasjon og bærekraftgevinster.

Imidlertid fortsetter systemiske barrierer – som manglende regulering, dårlig interoperabilitet mellom plattformer, begrensede digitale ferdigheter og lav datakvalitet – å hemme fremgang. Alle datakilder understreker et presserende behov for målrettet opplæring, kapasitetsbygging og mer støttende politiske rammebetingelser.

Rapporten avslutter med skreddersydde anbefalinger for SMBer, plattformutviklere, beslutningstakere og opplæringsleverandører. Den anbefaler integrering av DIS i strategisk planlegging, forbedring av digitale verktøys brukervennlighet, investering i offentlig digital infrastruktur, og utvikling av praktiske opplæringsmateriell for å bygge bro over digitale og sirkulære kunnskapshull.

I den avsluttende delen gis en liste over såkalte blokkeringspunkter, samt handlingsplaner for å håndtere disse.



DEL I: SKRIVEBORDSSTUDIE – TEORETISK RAMMEVERK OG NØKKELBEGREPER

1 Om industriell symbiose

Industriell symbiose (IS) er en samarbeidsbasert tilnærming der virksomheter utveksler ressurser, som biprodukter, energi og vann, for å forbedre ressurseffektiviteten og redusere miljøpåvirkninger. Til forskjell fra tradisjonell avfallshåndtering, som hovedsakelig fokuserer på deponering, legger IS vekt på gjenbruk og gjenvinning av materialer innen industrielle nettverk, noe som bidrar til en sirkulær økonomi (CE). Denne tilnærmingen reduserer ikke bare mengden avfall som ender på deponier, men skaper også økonomisk verdi av avfallsmaterialer, reduserer klimagassutslipp og senker bruken av jomfruelige materialer. Konseptet IS strekker seg utover avfallshåndtering og omfatter ressursoptimalisering, energieffektivisering og industrielt samarbeid, noe som gjør det til en grunnleggende strategi for å nå bærekraftsmålene i moderne industri. Etter hvert som industrien i økende grad anerkjenner fordelene med IS, vokser også behovet for å forstå dets nøkkelkarakteristikker, anvendelser, utfordringer og rollen digitale teknologier spiller i implementeringen.

1.1 Nøkkel-karakteristikker av Industriell symbiose

Industriell symbiose reduserer avfall ved å muliggjøre fangst, gjenvinning og gjenbruk av ressurser som ellers ville blitt kastet. Denne prosessen reduserer industriavfall og behovet for uttak av nye materialer, og bidrar dermed til et mer bærekraftig produksjonssystem (Biswas & John, 2022; Patricio et al., 2022).

En av de definerende karakteristikkene ved IS er ressursdeling og effektivitet, hvor virksomheter utveksler fysiske ressurser som biprodukter, vann og energi for å optimalisere bruken og minimere avfall (Ulusoy et al., 2024; «Industrial Ecology», 2022). Denne utvekslingen skaper et mer bærekraftig industrielt nettverk ved å sikre at materialer som ellers ville blitt kastet, gjenbrukes og bidrar til miljøvern.

Økonomiske og miljømessige fordeler spiller en avgjørende rolle i IS, ettersom virksomheter som engasjerer seg i symbiotiske utvekslinger betydelig kan redusere kostnader knyttet til energi, transport og logistikk. IS hjelper også bedrifter med å etterleve miljøreguleringer mer effektivt, samtidig som forurensning og industrielt vannforbruk reduseres (Ulusoy et al., 2024; Mirata et al., 2024).

Et annet sentralt aspekt ved IS er integreringen med den sirkulære økonomien, noe som gjør den til en viktig mekanisme i overgangen fra en lineær økonomi til en sirkulær økonomi (CE). IS fremmer bærekraftige produksjons- og forbruksmønstre ved å sikre kontinuerlig gjenbruk av sekundære materialer fremfor avhending, og styrker dermed industriell bærekraft (Nyakudya et al., 2023; Nyakudya et al., 2022).

Videre avhenger IS av samarbeidsnettverk, hvor virksomheter ofte innen geografisk nærhet samarbeider om å håndtere avfall og ressursbruk kollektivt. Dette samarbeidet



gir gjensidige fordeler og forbedrer operasjonell stabilitet, spesielt i regioner med begrenset tilgang på råmaterialer («Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy», 2022; Nyakudya et al., 2022).

IS inkluderer ulike synergier som lar bedrifter optimalisere ressursbruk og minimere avfall gjennom forskjellige typer samarbeid:

- Uorganiske biprodukt-synergier innebærer utveksling av materialer som metallavfall, slagg eller kjemiske biprodukter som kan gjenbrukes av en annen industri i stedet for å kastes.
- Forsyningssynergier fokuserer på deling av ressurser som overskuddsvarme, damp eller vann mellom industrielle partnere, noe som reduserer energiforbruk og forbedrer den totale effektiviteten.
- Forsyningskjede- eller gjensidighetssynergier integrerer virksomheter innenfor et produksjonsnettverk, slik at de kan dele logistikk, transport eller emballasjeressurser for å effektivisere driften og redusere kostnader. Disse synergiene sikrer effektiv gjenbruk av industrielle biprodukter i ulike anvendelser, og fremmer bærekraft og økonomisk vekst samtidig som miljøpåvirkningen reduseres («Industrial Ecology», 2022).
- Substitusjonssynergier innebærer å bruke en virksomhets reststrømmer, som avfall eller biprodukter, som innsatsfaktorer for en annen virksomhets prosesser. For eksempel kan et nærliggende anlegg bruke overskuddsvarme fra en annen bedrift, noe som reduserer energiforbruket og fremmer ressurseffektivitet (Boquera & Marcos, 2023).
- Genesis-synergier: Denne typen refererer til etableringen av nye aktiviteter eller bedrifter spesielt designet for å utnytte reststrømmer fra eksisterende industrier. For eksempel illustrerer etableringen av en ny virksomhet som behandler avfallsmaterialer til verdifulle produkter en genesis-synergi (Boquera & Marcos, 2023).

1.2 Forskjeller fra tradisjonell avfallshåndtering

IS skiller seg betydelig fra tradisjonell avfallshåndtering, som hovedsakelig fokuserer på avhending av avfall fremfor gjenbruk. Fokuset på **gjenbruk og gjenvinning** er en avgjørende forskjell, da tradisjonell avfallshåndtering prioriterer deponering. IS legger vekt på materialgjenvinning og resirkulering innen industrielle nettverk, og reduserer dermed behovet for uttak av nye råmaterialer (Patricio et al., 2022; Kumar, 2022).

En annen viktig forskjell er **proaktiv ressursforvaltning**, hvor industriene i et IS-nettverk aktivt søker muligheter til å utvikle synergier som omdanner avfall til ressurser, istedenfor bare å behandle det som biprodukter som skal kastes (Mirata et al., 2024; Petrova, 2022).

Videre bidrar IS til **økonomisk og sosial verdiskaping**, da det håndterer miljøutfordringer samtidig som det genererer økonomisk verdi ved å redusere produksjonskostnader, stimulere etableringen av grønne arbeidsplasser, og støtte lokalsamfunn gjennom bærekraftige industripraksiser (Petrova, 2022).

IS er også **integret med prinsipper for sirkulær økonomi**, og sikrer dermed at industriene maksimerer bærekraftig ressursbruk og minimerer miljøpåvirkning, i



motsetning til tradisjonell avfallshåndtering som ofte mangler en helhetlig bærekraftstilnærming («Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy», 2022; Nyakudya et al., 2023).

1.3 Implementeringsstrategier, utfordringer og hensyn ved industriell symbiose

For å lykkes med implementeringen av industriell symbiose må både næringsliv og beslutningstakere ta i bruk strukturerte rammeverk, utnytte avanserte digitale verktøy og håndtere bransjespesifikke utfordringer.

Det er utviklet ulike **rammeverk og modeller for å støtte industrien** i etableringen av effektive symbiotiske relasjoner. For eksempel benyttes verdirammeverk for virksomheter til å vurdere de økonomiske og miljømessige fordelene ved initiativer for industriell symbiose (IS), samtidig som de tar høyde for potensielle avveininger. Slike rammeverk hjelper industrien med å balansere kostnadsbesparelser, inntektsgenerering og bærekraftsmål, og sikrer at symbiotiske utvekslinger gir positivt bidrag til langsiktige forretningsstrategier (Mirata et al., 2024; Belykh, 2023).

På den annen side bidrar modeller som beskriver dannelse og **utvikling av symbiotiske kjeder** til overgangen fra tradisjonelle lineære produksjonsmodeller til sammenkoblede nettverk for ressursdeling. Disse modellene legger til rette for identifisering av industrielle klynger som kan ha nytte av IS, og skisserer beste praksis for å fremme samarbeid mellom virksomheter.

Avanserte **digitale verktøy** spiller en avgjørende rolle i å muliggjøre slike symbiotiske utvekslinger ved å optimalisere ressursallokering og redusere avfall. Kunstig intelligens (KI) og maskinlæring brukes til å analysere data om avfallsstrømmer, materialkonsentrasjoner og markedspriser for å identifisere lønnsomme materialutvekslinger – noe som åpner for nye økonomiske og økologiske muligheter (Makropoulos et al., 2024). Digitale plattformer for partnersøk gjør det enklere for industribedrifter å finne egnede samarbeidspartnere for ressursutveksling, reduserer transaksjonskostnader og forbedrer effektiviteten i verdikjeden. I tillegg bidrar blokkjede-teknologi til å sikre transparens og sporbarhet i IS-transaksjoner, og reduserer bekymringer knyttet til datasikkerhet og etterlevelse av regelverk.

Til tross for sitt store potensial innebærer industriell symbiose flere utfordringer ved implementering. En sentral utfordring er **integrasjonen av IS i eksisterende industrielle prosesser**. Mange virksomheter opererer med rigide produksjonssystemer som krever betydelige tilpasninger for å muliggjøre symbiotiske utvekslinger. Dette krever investeringer i fleksibel produksjonsteknologi og prosessomlegginger som legger til rette for effektiv ressursdeling.

En annen stor barriere er **behovet for forbedret samarbeid og tillit** mellom virksomheter. Mange nøler med å dele ressursdata av frykt for konkurranseulempen. Etablering av sikre datadelingssystemer og tredjeparts verifikasjonsmekanismer kan dempe disse bekymringene og fremme større åpenhet i IS-nettverk. I tillegg kan **ulikt regelverk**



mellom regioner gjøre det vanskelig å innføre IS-praksiser, og det er derfor behov for standardiserte politiske virkemidler og incentiver som stimulerer til deltakelse.

Bransjespesifikke anvendelser av industriell symbiose viser hvor allsidig og verdifull tilnærmingen kan være for bærekraft i ulike sektorer. I agro-matindustrien oppstår store mengder organiske biprodukter under matprosessering. Ved å integrere disse i øko-industrielle systemer kan man øke material- og energiutnyttelsen, redusere avfall og samtidig skape nye inntektskilder for jordbruksbedrifter (Hamam et al., 2023). I industriproduksjon muliggjør IS gjenbruk av produksjonsrester, som metallskrap eller plastavfall, som råmaterialer for andre virksomheter, og reduserer dermed behovet for jomfruelige ressurser. Energisektoren nyter også godt av IS gjennom varme- og energigjenvinning, der spillvarme fra én virksomhet brukes til å drive nærliggende anlegg – noe som øker den samlede energieffektiviteten.

Å møte disse utfordringene og samtidig ta i bruk digitale verktøy og skreddersydde rammeverk, er avgjørende for en bred implementering av industriell symbiose. Ved å styrke samarbeid, harmonisere reguleringer og investere i innovative digitale løsninger, kan industrien bevege seg mot mer bærekraftige og ressurseffektive produksjonsmodeller.

2 Eksempler på industriell symbiose

2.1 Gode praksiser og lærdommer

2.1.1 Eksempler presentert i vitenskapelig litteratur

I den vitenskapelige litteraturen finnes det en rekke virkelige eksempler som viser vellykket implementering av industriell symbiose (IS) på tvers av ulike sektorer.

Et av de mest veldokumenterte eksemplene er **Kalundborg i Danmark**, hvor flere industrier deltar i systematisk ressursutveksling. Kalundborg Symbiosis-modellen viser hvordan industriavfall og overskuddsmaterialer kan omgjøres til verdifulle ressurser. For eksempel brukes overskuddsvarme fra et kraftverk til å opprettholde optimal vanntemperatur i et fiskeoppdrettsanlegg, mens en produsent av gipsplater gjenbraker gips fra samme kraftverk. I tillegg blir renset avløpsvann fra et legemiddelfirma gjenbrukt i kjølesystemer, noe som skaper et lukket industrikretsløp som minimerer avfall og forbedrer ressursutnyttelsen (Ulusoy et al., 2024).

Et lignende effektivt system finnes i **Śmílowo Øko-industrielle park i Polen**, spesielt innen landbruks- og matsektoren. Parken spesialiserte seg på å foredle avfall fra kjøttproduksjon til verdifulle biprodukter som kjøtt-beinmel som biodrivstoff og gjødsel. Anlegget reduserer CO₂-utslipp betraktelig gjennom innovative prosesseringsteknikker og produserer samtidig betydelige mengder bioenergi. Anlegget prosesserer årlig omtrent 300 000 tonn kjøttavfall, og produserer 110 000 tonn biodrivstoff samt rundt 460 000 GJ bioenergi. Dette bidrar til bærekraftig avfallshåndtering og øker energi-uavhengigheten ved å redusere avhengigheten av ikke-fornybare kilder (Kowalski et al., 2023).

Den **spanske keramikkindustrien**, som står for 95 % av landets keramikproduksjon, benytter også IS-prinsipper ved å bruke avfallsmaterialer som innsatsfaktorer i produksjonen, i tråd med sirkulærøkonomiske modeller for å forlenge ressursenes livssyklus (Castellet-Viciano et al., 2022). Industrien har med suksess integrert resirkulert glass, keramisk slam og byggeavfall i produksjonen av fliser, noe som reduserer bruken av jomfruelige råmaterialer og senker miljøbelastningen. I tillegg har innovasjoner innen varmegjenvinning og vannresirkulasjon forbedret energieffektiviteten og redusert både utslipp og produksjonskostnader.

Et annet bemerkelsesverdig eksempel finnes i **Russlands olje- og gassindustri**, hvor IS benyttes for å håndtere assosiert petroleums-gass (APG). I stedet for å fikle gassen – som bidrar til miljøskader – prosesserer industrien gassen for å skape økonomisk verdi (Mironova et al., 2023). Teknologier som reinjeksjon av gass og omdanning til flytende drivstoff (GTL) bidrar til å redusere utslipp og øke energieffektiviteten. Den fangede gassen blir enten reinjisert i reservoarar for å øke oljeutvinningen eller konvertert til drivstoff og petrokjemiske produkter. Samarbeid mellom olje- og petrokjemiselskaper muliggjør videre foredling av APG til innsatsvarer for kjemisk industri, noe som reduserer avfall og styrker sektorovergripende samarbeid. Dette er i tråd med prinsippene for sirkulærøkonomi ved å sikre kontinuerlig gjenbruk av biprodukter.

I **Brasil har et landbruksnettverk implementert** IS ved å konvertere avfall til gjødsel, noe som forbedrer avlingsproduktiviteten, reduserer avfallsdeponi og støtter lokale økonomier (Sahu, 2023). Disse eksemplene viser bredden i anvendelsen av IS og dets potensial for å øke bærekraft og økonomisk effektivitet.

2.1.2 *Eksempler på industriell symbiose (IS) blant små og mellomstore bedrifter (SMB)*

Industriell symbiose blant små og mellomstore bedrifter (SMB) er et økende interesseområde, særlig i regioner der ressursoptimalisering og avfallsreduksjon er kritisk. Konseptet innebærer samarbeid mellom ulike industribedrifter for å utnytte hverandres biprodukter, noe som reduserer avfall og øker bærekraften. Flere eksempler fra hele verden viser hvordan SMBer benytter seg av IS for å nå disse målene. Nedenfor presenteres noen fremtredende tilfeller, med vekt på strategier og resultater.

I **Muzaffarnagar i India** deltar et industriklynge av papir- og sukkermøller samt andre produksjons-SMBer i IS ved å utveksle biprodukter. For eksempel brukes avfall fra sukkermøller som råstoff i papirmøller, noe som reduserer avfall og øker ressursutnyttelsen (Chattopadhyay et al., 2016). Sterke sosiale bånd mellom industriaktørene muliggjør disse utvekslingene, og viser betydningen av sosiale nettverk for å fremme IS (Chattopadhyay et al., 2016)

Rusayl Industrial Estate, Oman. SMBer i Rusayl Industrial Estate utforsker muligheter for avfallsutveksling. Fokus er på å utvikle en modell for avfallshåndtering som støtter IS, med mål om å bevare ressurser og redusere forurensning samtidig som økonomiske



fordeler styrkes (Al-Harrasi et al., 2017). Økonomiske analyser brukes for å vurdere levedyktigheten til de symbiotiske forholdene (Al-Harrasi et al., 2017).

Bruk av Material Flow Cost Accounting (MFCA). MFCA-metoden benyttes for å designe IS blant SMBer ved å analysere material-, energi- og kostnadsstrømmer. Denne tilnærmingen hjelper SMBer med å vurdere miljøeffektivitet og planlegge symbiotiske utvekslinger (Astuti et al., 2018). MFCA har vist seg nyttig for å forbedre ytelsen til SMB-klynger, selv om metoden ennå ikke er utbredt. Økt bevissthet, teknologisk utvikling og politisk støtte er viktige faktorer for bredere anvendelse i SMB-sektoren.

Selv om disse eksemplene viser vellykket IS blant SMBer, gjenstår utfordringer – blant annet behovet for robuste regulatoriske rammeverk og økonomiske incentiver for å fremme deltakelse. I tillegg er integrasjon av lokale ressurser og markeder avgjørende for bærekraften til disse symbiotiske systemene (Ristola & Mirata, 2007). Utviklingen av IS-modeller og -plattformer, som vist i disse tilfellene, gir verdifulle innsikter for å overvinne utfordringer og fremme bærekraftig industripraksis.

IS er en grunnleggende komponent i sirkulærøkonomien. Det legger vekt på samarbeid og strategisk ressursbruk for å minimere avfall, optimalisere energieffektivitet og fremme langsiktig bærekraft. Ved å styrke samarbeid på tvers av industrisektorer forvandler IS tradisjonelle produksjons- og avfallssystemer til sammenkoblede, ressurseffektive nettverk.

2.1.3 Eksempler på IS fra ulike EU-finansierte prosjekter

Over hele Europa og utover har en rekke EU-finansierte initiativer demonstrert ISs effektivitet, med betydelige miljømessige og økonomiske gevinster. Disse prosjektene viser hvordan industrien kan gjenbruke biprodukter, dele energiresurser og skape lukkede produksjonssykluser.

Nedenfor fremheves eksempler fra Slovenia, Finland, Italia og Storbritannia, med innsikt i tilnærminger, resultater og overordnede virkninger. Disse casene illustrerer hvordan målrettet politisk støtte, innovativ teknologiintegrasjon og tverrsektorielt samarbeid kan drive vellykket implementering av IS.

Donar, Slovenia: Bærekraftig møbelproduksjon. Donar benytter resirkulert PET og PES-filt for å lage bærekraftige møbler. Dette reduserer årlig bruken av primære råmaterialer med 15 tonn. Samarbeid med gjenvinningsfirmaer sikrer stabil råvaretilgang (European Circular Economy Stakeholder Platform, 2024).

AquafilSLO, Slovenia: Varmegjenvinning. Overskuddsvarme fra syntetisk fiberproduksjon brukes til å varme opp fasiliteter som Atlantis badeland og HELLA Saturnus Slovenija, og reduserer CO₂-utslipp med ca. 3 500 tonn årlig (AquafilSLO, 2024).



Ljubljana, Slovenia: Resirkulering av invasive planter. Den invasive planten parkslirekne omdannes til papirprodukter i samarbeid med Papir- og masseinstituttet (European Circular Economy Stakeholder Platform, 2024).

Kemi-Tornio-klyngen, Finland. Integrerer skog-, gruvedrift- og energisektorene for å omdanne biprodukter til bioenergi og sekundære råmaterialer, verdsatt til €200 millioner årlig (Interreg Europe Policy Learning Platform, 2024).

LABIO Ltd., Finland. Landets største biogassprodusent omdanner bioavfall til biogass og kompost. Overskuddsvarme fra kompostering øker effektiviteten. Samarbeid med offentlige og private aktører er sentralt (Interreg Europe, 2024).

FISS – Finsk system for industriell symbiose. Kobler aktører gjennom workshops og SYNERGie®-databasen. Over 700 selskaper og 2 500 synergieffekter er etablert (Interreg Europe, 2024).

Italia: Termisk sprayavfall i keramikk. I Emilia-Romagna brukes overspray fra zirkonia-coating til keramikkglasur. Kostnadene reduseres med opptil 40 %, og prosjektet viser overførbarhet til andre regioner (Interreg Europe, 2024).

ISL, Storbritannia. Gjennom NISP® og SYNERGie®-plattformen har ISL støttet ressursmatching, spart 42 millioner tonn CO₂ og fremmet netto null-strategier globalt (International Synergies Limited, 2024).

2.1.4 Eksempler fra et privat selskaps AI-baserte verdikjedegenerator

VCG.AI har fremmet sirkulærøkonomi gjennom sin Value Chain Generator®, med praktiske case-studier på hvordan avfall kan bli til verdifulle ressurser.

Matavfall i Nord-Makedonia. VCG.AI og det økonomiske handelskammeret identifiserte reststrømmer som druekvas og tomatavfall. AI-analysen foreslo konvertering til verdifulle produkter som pektin og lykopen, med nytteverdi i kosmetikk og farmasi.

Verdikjeder for bioraffinerier i seks EU-regioner. Ved bruk av verdikjedegeneratoren utviklet partnere bærekraftige verdikjeder for biomassebasert produksjon, med fokus på regionalt samarbeid.

Sirkularitet i Heilbronn, Tyskland. Sammen med WFG Heilbronn identifiserte VCG.AI muligheter for lokale bedrifter til å implementere sirkulærøkonomiske strategier og redusere karbonavtrykket.



2.1.4 Eksempler fra et privat selskaps AI-baserte verdikjedegenerator

VCG.AI-verktøyet har vært avgjørende for å fremme initiativer innen sirkulærøkonomi i ulike regioner og bransjer. Deres casestudier fremhever praktiske anvendelser av deres Value Chain Generator® i omdanning av avfall til verdifulle ressurser og i utvikling av bærekraftige forretningsmodeller (se vcg.ai).

Omdanning av matavfall til sirkulær virksomhet i Nord-Makedonia. I Nord-Makedonia genererer landbruks- og næringsmiddelindustrien store mengder organisk biomasse, hvorav mye forblir lite utnyttet. VCG.AI samarbeidet med Nord-Makedonias økonomiske handelskammer (ECM) for å identifisere sentrale reststrømmer, som druekvas og avfall fra tomatproduksjon. Gjennom sin analyse foreslo VCG.AI økonomisk bærekraftige prosesser for å omdanne disse restene til produkter med høy verdi, som pektin, polyfenoler og lykopen – etterspurt i farmasøytisk og kosmetisk industri. Dette initiativet fremmer bærekraftig praksis og åpner nye inntektskilder for lokale bedrifter.

Utvikling av verdikjeder for bioraffinerier i seks EU-regioner. Ledende organisasjoner fra seks europeiske regioner inngikk partnerskap med VCG.AI for å utvikle verdikjeder for bioraffinerier. Ved hjelp av Value Chain Generator® hadde samarbeidet som mål å identifisere og etablere bærekraftige verdikjeder som omdanner biomasse til verdifulle produkter. Prosjektet understreker betydningen av regionalt samarbeid og rollen digitale verktøy spiller i å akselerere overgangen til en sirkulær bioøkonomi.

Veien mot sirkularitet for regionale selskaper: WFG Heilbronn, Tyskland. I Heilbronn, Tyskland, samarbeidet VCG.AI med det regionale næringsutviklingsbyrået WFG Heilbronn for å veilede lokale selskaper i retning av sirkulærøkonomiske praksiser og karbonnøytralitet. Ved å benytte Value Chain Generator® identifiserte de muligheter for at bedrifter kunne implementere sirkulære strategier, og dermed øke både bærekraft og konkurransekraft i regionen.

2.2 Viktige lærdommer og anbefalinger

Effektiv implementering av IS avhenger av sterke samarbeidsrammer, teknologiintegrasjon og støttende politikk. Partnerskap mellom industri, myndigheter og akademia er avgjørende for ressursoptimalisering og innovasjon. Digitale verktøy som SYNERGie® og skreddersydde workshops gjør ressursmatching skalerbar og tilpasningsdyktig.

Offentlige insentiver og finansiering er avgjørende for å støtte IS-initiativ. Eksempler som LABIO Ltd. og FISS understreker betydningen av offentlig-private partnerskap. Tilpassede tilnærminger viser hvordan IS kan tilpasses ulike sektorer og regioner.

De presenterte beste praksisene viser hvordan IS kan forvandle industrien i retning av sirkulærøkonomi. Ved å redusere avfall, bevare ressurser og fremme samarbeid,

etablerer disse initiativene bærekraftige standarder. Innsiktene gir et veikart for hvordan aktører kan implementere IS-strategier effektivt.

Likevel gjenstår utfordringer – økonomiske, teknologiske, regulatoriske og sosiale. Digitale teknologier kan i stor grad lette ressursutveksling og beslutningsprosesser. Fortsatt politisk støtte, industrielt samarbeid og teknologisk innovasjon vil være avgjørende for å realisere IS sitt fulle potensial globalt.

Oppsummert: Integrasjonen av samarbeid, teknologi og politikk er avgjørende for vellykket implementering av IS. Ved å lære av eksisterende eksempler og håndtere dagens barrierer, kan aktører bevege seg effektivt mot en mer bærekraftig og ressurseffektiv industriell fremtid.

3 Om digital teknologi i industriell symbiose

Digital teknologi forbedrer industriell symbiose ved å lette identifisering og optimalisering av symbiotiske muligheter (Makropoulos et al., 2024), muliggjøre sanntids informasjonsutveksling (Akrivou et al., u.å.), og gi støtte til små og mellomstore bedrifter (SMBer) gjennom plattformer som e-Symbiosis (Cecelja et al., 2015). Teknologien fremmer også utviklingen av digitale økosystemer for industriell symbiose (DISE) for å øke brukeradopsjon (Kosmol & Leyh, 2021), og utnytter informasjons- og kommunikasjonsteknologi (IKT) til å skape mer ressurseffektive produksjonssystemer (Grant et al., 2010).

Selv om digitale teknologier i stor grad styrker industriell symbiose, gjenstår det utfordringer knyttet til datatilgjengelighet og systemintegrasjon. Å overvinne disse barrierene krever kontinuerlig innovasjon og samarbeid mellom industrien, teknologileverandører og beslutningstakere. Det digitale verktøy har stort potensial til å transformere industriell symbiose, men for å realisere dette potensialet må utfordringene håndteres og en kultur for samarbeid og åpenhet for ny teknologi fremmes.

Digital teknologi forbedrer industriell symbiose betydelig ved å legge til rette for ressursutveksling, optimalisere avfallshåndtering og fremme bærekraft på tvers av ulike industrier. Disse fremskrittene kommer tydelig til uttrykk i flere sentrale anvendelser.

3.1 Styrking av industriell symbiose gjennom digitale verktøy

3.1.1 Verktøy for ressursmatching

Avanserte digitale plattformer er utviklet for å **identifisere og kvantifisere symbiotisk potensial mellom industrier**. Disse verktøyene foreslår lønnsomme materialutvekslinger ved å analysere data om avfallsstrømmers volum, materialkomposisjon og markedsverdi. De bruker algoritmer for å vurdere økonomiske og miljømessige fordeler, og avdekker potensielle forbindelser mellom avfallsprodusenter og



ressurskonsumenter. For eksempel har Makropoulos et al. (2024) utviklet et avansert digitalt verktøy som identifiserer og kvantifiserer symbiotiske muligheter mellom industrier med flytende avfallsstrømmer, med fokus på de mest lønnsomme forbindelsene på tvers av bransjer.

3.1.2 Nettbaserte plattformer

Digitale plattformer tilrettelegger for industriell symbiose ved å **koble sammen industrier på tvers av regioner**. Disse plattformene benytter intelligente systemer for å foreslå synergier og forbedre beslutningsprosesser. De adresserer også utfordringer som datatilgjengelighet og motvilje mot å bruke gjenbrukte materialer. Silva et al. (2022) fremhever slike platfformers rolle i å fremme bærekraft og økonomisk effektivitet.

SymbioSyS-verktøyet, utviklet av Álvarez og Ruiz-Puente (2017), benytter IKT-baserte nettverktøy for å fremme ressursbærekraft og nettverksbygging mellom bedrifter. Det støtter påvisning av synergier og gjennomfører gjennomførbarhetsstudier, noe som styrker visualisering og kartlegging av muligheter for industriell symbiose.

3.1.3 Intelligente styringssystemer

Plattformer som benytter eksisterende kunnskapsmodeller for industriell symbiose og analyserer potensielle nettverk, er avgjørende for å **oppdage nye synergier og optimalisere materialutveksling**. Chatzidimitriou et al. (2021) beskriver intelligente styringsplattformer som støtter identifisering og implementering av symbiotiske forbindelser.

3.1.4 Ontologi-baserte metoder

e-Symbiosis-prosjektet benytter ontologi-teknikk for å modellere flyt i industriell symbiose og utvikle matching-tjenester. Denne tilnærmingen kombinerer ekspertkunnskap med deltakernes data for å skape **systematiske løsninger for symbiosenettverk**, særlig med fordel for små og mellomstore bedrifter. Cecelja et al. (2015) viser hvordan denne metoden forbedrer identifiseringen og implementeringen av symbiotiske muligheter.

3.1.5 Digitale plattformer innen Industri 4.0

Industri 4.0-plattformer fremmer miljømessig bærekraft gjennom industriell symbiose ved å **muliggjøre verdiskaping og ressursoptimalisering** i tråd med bærekraftige forretningsmodeller. Aquilani et al. (2020) viser hvordan slike plattformer gjør det mulig for industrier å samarbeide mer effektivt og øke ressursutnyttelsen..

3.1.6 Blokkjede-teknologi

Blokkjede-teknologi utforskes som en muliggjørende teknologi innen Industri 4.0 for å spre praksis innen industriell symbiose. Litteraturen beskriver en foreløpig tilnærming i to trinn og fremhever blokkjedens potensial til å **legge til rette for sikre og transparente transaksjoner i symbiosenettverk**.

3.1.7 Digitale tvillinger Twins

En digital tvilling er en virtuell representasjon av et fysisk objekt, system eller prosess som kontinuerlig oppdateres med sanntidsdata for å speile sin virkelige motpart. Denne dynamiske modellen gjør det mulig å simulere, analysere og kontrollere ytelse og identifisere potensielle problemer før de oppstår.

Å utnytte digitale tvillinger støtter industrielle symbiosenettverk ved å gi et rammeverk for analyse av brukerperspektiver før utvikling av digitale tvilling-baserte forsyningskjedesamarbeid. Denne tilnærmingen fremmer design av digitale tvillinger med brukerperspektivet i fokus, noe som styrker samarbeid og effektivitet i industrielle symbiosenettverk.

Konkrete anvendelser:

- Industri: I produksjonslinjer overvåker digitale tvillinger utstyrshelse, forutsier feil og optimaliserer drift, noe som reduserer nedetid og vedlikeholdskostnader.
- Byplanlegging: Byer utvikler digitale tvillinger av urbane områder for å simulere trafikkflyt, energiforbruk og infrastrukturutvikling – til hjelp i effektiv ressursstyring.
- Detaljhandel: For eksempel bruker Walmart digitale tvillinger for å optimalisere butikkoppsett og forbedre kundeopplevelser gjennom simulering før fysiske endringer.
- Helsevesen: Digitale tvillinger av medisinsk utstyr eller menneskelige organer kan bidra til personlig behandlingsplanlegging, prediktiv diagnostikk og bedre pasientresultater.

3.2 Digitale innovasjoner som driver industriell symbiose: Praktiske casestudier

Digitale løsninger fremmer industriell symbiose (IS) ved å koble sammen bedrifter, optimalisere utveksling av avfall og forbedre beslutningstaking gjennom dataanalyse (Álvarez & Ruiz-Puente, 2017; Silva et al., 2022). De legger også til rette for utveksling av ressurser – som materialer, energi og informasjon – mellom industrier for å fremme bærekraft og økonomisk effektivitet. Disse verktøyene forbedrer åpenhet, effektivitet og sporbarhet i industrielle økosystemer. Nedenfor følger en oversikt over flere sentrale plattformer:

3.2.1 SymbioSyS plattformen

Utviklet av Universitetet i Cantabria. SymbioSyS hjelper bedrifter med å identifisere synergier for industriell symbiose. Verktøyet muliggjør identifisering og visualisering av potensielle samarbeid basert på avfallsutveksling og deling av ressurser. Plattformen støtter datainnsamling, ressurskartlegging og identifisering av synergier for å fremme bærekraftig praksis i den sirkulære økonomien. Tilgjengelig på: <https://symbiosys.unican.es/>



3.2.2 FLOW2

FLOW2 er en nettbasert plattform som gjør det mulig for bedrifter å samarbeide ved å utveksle reststrømmer og materialer. Ved å dele underutnyttede ressurser kan bedrifter skaffe seg materialer til lavere kostnader uten å bruke nye råvarer, og dermed fremme industriell symbiose og bidra til en sirkulær økonomi. Tilgjengelig på: <https://www.floow2.com/en.html>

3.2.3 InduSym

InduSym supports area management by facilitating circular energy, water, and materials connections between regional companies. By collecting data on residual streams in industrial areas, InduSym identifies opportunities for collaboration and advises and supports area-oriented projects to advance the circular economy. The platform is available at <https://www.indusym.nl/>.

3.2.4 SHAREBOX

SHAREBOX er en digital plattform utviklet for neste generasjons industriell symbiose. Den tilbyr et sikkert miljø for bedrifter som ønsker å dele ressurser – inkludert materialer, energi og tjenester. Plattformen gir sanntidsinformasjon og verktøy for beslutningsstøtte som muliggjør fleksibel styring og optimalisering av ressursdeling i industrien. Tilgjengelig på: <https://sharebox-project.eu/> (se også aspire2050.eu)

3.2.5 e-Symbiosis

e-Symbiosis er en nettbasert plattform som gjør det mulig for brukere å delta i industrielle symbioseaktiviteter for å forbedre ressursutnyttelse og bærekraft. Den fremmer utveksling av underutnyttede ressurser mellom selskaper, og bidrar til realiseringen av en sirkulær økonomi. Plattformen er tilgjengelig via [e-Symbiosis-plattformen](#) (se også researchgate.net). Den utnytter teknologi for å støtte industriell symbiose blant små og mellomstore bedrifter (SMB) ved å bruke ontologi-baserte modeller for å representere symbiotiske strømmer. Dette systematiserer utviklingen av matchings-tjenester, slik at SMB-er kan oppdage og implementere innovative symbiotiske løsninger (Cecelja et al., 2015). Plattformen er validert med virkelige data, noe som viser dens potensial for å styrke nettverk for industriell symbiose (Cecelja et al., 2015).

3.2.6 Symbiosis Plattformen (ENEA)

Dette er den første plattformen for industriell symbiose i Italia. Den kobler sammen over 80 små og mellomstore bedrifter (SMB-er), og muliggjør nærmere 690 potensielle ressursutvekslinger. Plattformen hjelper SMB-er med å identifisere muligheter for å erstatte ressurser med avfallsprodukter og dele tjenester for avfallshåndtering (Cutaia et al., 2015). Initiativet understreker betydningen av regulatoriske rammeverk og interessentdeltakelse for en vellykket implementering av industriell symbiose (Cutaia et al., 2015).

Utviklet av ENEA – Det italienske nasjonale byrået for nye teknologier, energi og bærekraftig økonomisk utvikling – har Symbiosis Plattform som mål å koble tilbud og etterspørsel etter ressurser, og å legge til rette for overføringer mellom bedrifter. Den



inneholder en ekspertstruktur for å identifisere potensielle løsninger innen industriell symbiose, et omfattende informasjonssystem som beskriver tilgjengelige ressurser, og et nettverk som knytter sammen ulike aktører. Plattformens mål er å forbedre verdiskaping fra avfall, lette territoriell håndtering av industriavfall og fremme industrielle symbioseløsninger. Plattformen er tilgjengelig på: <http://www.industrialsymbiosis.it/piattaforma> (se også interregeurope.eu).

3.2.7 E-Simbioza

E-Simbioza er et initiativ som har som mål å lede overgangen til en sirkulær økonomi gjennom industriell symbiose i Slovenia. Det gir innsikt i graden av forståelse og implementering av industriell symbiose i regionen, og fremmer utveksling av underutnyttede ressurser mellom bedrifter for å styrke bærekraften. Plattformen er tilgjengelig på: <http://esimbioza.fis.unm.si/> (se også researchgate.net).

3.2.8 Value Chain Generator (VCG.AI)

Anteja ECG er et internasjonalt konsultentselskap med hovedkontor i Ljubljana, Slovenia, og kontorer i Nairobi (Kenya), Stuttgart (Tyskland) og Boston (USA). Selskapet ble etablert i 2005 og spesialiserte seg på bærekraftig utvikling, med fokus på utforming og implementering av innovasjonsstrategier og sirkulære forretningsmodeller, optimalisering av verdikjeder og maksimering av ressursutnyttelse.

Anteja har utviklet flere digitale løsninger for å fremme bærekraft og åpenhet i verdikjeder.

Plattformen Value Chain Generator (VCG.AI) bruker kunstig intelligens og maskinlæring for å koble sammen bedrifter på tvers av sektorer og land til sirkulære og robuste verdikjeder.

Et annet verktøy, phy2app, er et digitalt åpenhets- og sporbarhetsverktøy som hjelper østafrikanske landbruksbedrifter med å etablere direkte handelsforbindelser med regionale og globale kjøpere.

I tillegg finnes INATrace, et åpen kildekode-sporingssystem basert på blokkjede-teknologi som fremmer tillit og sikkerhet mellom handelspartnere og øker effektiviteten i leverandørkjeder.

De digitale verktøyene er tilgjengelige på: <https://anteja-ecg.com/>.

Følgende tabell kategoriserer ulike initiativer for industriell symbiose basert på de digitale verktøyene og teknologiene de benytter seg av:

Initiative	Matchmaking-verktøy	Online plattformer	Intelligente styringssystemer	Ontologi ingeniørfag	Industri 4.0 digitale plattformer	Block-chain-teknologi	Digitale tvillinger
SymbioSys Platform	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
FLOW2	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
InduSym	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗

SHAREBOX	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
e-Symbiosis	✓	✓	✓	✓	✗	✗	✗
Symbiosis Platform (ENEA)	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗
E-Simbioza	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗
Value Chain Generator (VCG.AI)	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗

3.3 Hindringer for implementering

Selv om plattformene beskrevet i forrige avsnitt har spilt en betydelig rolle i industriell symbiose, har noen av dem avsluttet sin virksomhet på grunn av styringsutfordringer, finansielle begrensninger og begrenset bruk blant aktører.

Viktige utfordringer ved implementering av digitale IS-verktøy inkluderer styrings- og politikkutfordringer, samarbeidsproblemer grunnet manglende tillit, økonomisk og markedsmessig usikkerhet som påvirker lønnsomheten i IS, tekniske og logistiske barrierer knyttet til integrering av digitale løsninger i eksisterende prosesser, samt sosiale og miljømessige bekymringer, inkludert regulatorisk etterlevelse og samfunnsmessig aksept (Michelini & Mattelin-Pierrard, 2023).

Styrings- og politikkutfordringer utgjør en betydelig barriere for digital industriell symbiose, ettersom inkonsekvente reguleringer og manglende tydelig støtte fra myndighetene skaper usikkerhet for bedrifter som ønsker å ta i bruk IS-praksiser. Mange industrier sliter med å navigere komplekse miljøforskrifter som varierer mellom regioner, noe som gjør det vanskelig å etablere standardiserte tilnærminger til ressursutveksling og gjenbruk av avfall.

Samarbeidsutfordringer, særlig knyttet til mangel på tillit mellom industrielle partnere, hemmer også implementeringen av IS. Mange virksomheter er tilbakeholdne med å dele konfidensiell informasjon om sine avfallsstrømmer og biprodukter, i frykt for å miste konkurransefortrinn. Etablering av transparente kommunikasjonskanaler og sikre rammeverk for datadeling kan bidra til å redusere disse bekymringene og styrke samarbeid mellom aktører.

Økonomisk og markedsmessig usikkerhet spiller en kritisk rolle i IS-implementering, ettersom industrien ofte nøler med å investere i nye digitale verktøy uten tydelige økonomiske insentiver eller dokumentert lønnsomhet. Svingninger i priser på råvarer og avfallshåndteringstjenester kan påvirke IS-utvekslingers levedyktighet, noe som understreker behovet for robuste forretningsmodeller med langsiktige gevinster.

Tekniske og logistiske barrierer er også betydelige, ettersom integrering av digitale løsninger i eksisterende industrielle prosesser ofte krever omfattende oppgraderinger av infrastruktur. Mange virksomheter, spesielt små og mellomstore bedrifter (SMB), mangler den tekniske ekspertisen eller de økonomiske ressursene som kreves for å implementere avanserte digitale verktøy for match-making og overvåking. Å møte disse utfordringene gjennom målrettede støtteprogrammer og opplæringstiltak kan akselerere digital IS-adopsjon.

Sosiale og miljømessige hensyn må også tas i betraktning, inkludert etterlevelse av forskrifter og samfunnsmessig aksept. Enkelte lokalsamfunn kan motsette seg IS-initiativer på grunn av opplevde miljøfarer, som økt forurensning eller gjenbrukspraksiser som kan påvirke folkehelsen. Å styrke interessentengasjement og sikre transparente beslutningsprosesser kan bidra til å bygge offentlig tillit og fremme bredere aksept for industriell symbiose.

Avslutningsvis representerer industriell symbiose en lovende vei mot bærekraftig industriell utvikling gjennom integrering av prinsipper fra sirkulær økonomi. Likevel forutsetter vellykket implementering at man overvinner økonomiske, teknologiske, regulatoriske og sosiale barrierer. Bruken av digitale teknologier kan i betydelig grad forbedre IS ved å legge til rette for ressursutveksling og beslutningsstøtte. Vedvarende politisk støtte, industrielt samarbeid og teknologisk innovasjon vil være avgjørende for å realisere det fulle potensialet til IS på globalt nivå.

3.4 Viktige lærdommer og anbefalinger

Integrering av digitale teknologier i industriell symbiose (IS) har vist betydelig potensial for å forbedre ressursutnyttelse og bærekraft på tvers av ulike industrier. Avanserte digitale plattformer, som match-making-verktøy, analyserer data om avfallsstrømmer og materialkomposisjoner for å identifisere lønnsomme utvekslinger mellom industrier. For eksempel har verktøy utviklet av Makropoulos et al. (2024) fokus på flytende avfallsstrømmer og identifiserer lønnsomme forbindelser mellom ulike bransjer.

Nettbaserte plattformer fremmer ytterligere IS ved å koble industrier på tvers av regioner, og bruker intelligente systemer til å anbefale synergier og håndtere utfordringer som datatilgjengelighet og skepsis til gjenbrukte materialer. SymbioSys-verktøyet, presentert av Álvarez og Ruiz-Puente (2017), er et eksempel på dette, og fremmer ressursbærekraft og nettverksbygging mellom bedrifter gjennom IKT-baserte systemer.

Intelligente styringssystemer bygger på eksisterende IS-kunnskap for å modellere og analysere potensielle nettverk, noe som er avgjørende for å avdekke nye synergier og optimalisere materialutveksling. Chatzidimitriou et al. (2021) omtaler plattformer som støtter identifikasjon og implementering av symbiotiske relasjoner. I e-Symbiosis-prosjektet brukes ontologi-teknikk for å modellere IS-strømmer og utvikle matchingsløsninger, ved å kombinere ekspertkunnskap med deltakerdata – særlig nyttig for små og mellomstore bedrifter (Cecelja et al., 2015).

Industri 4.0-plattformer støtter miljømessig bærekraft gjennom IS ved å fremme verdiskaping og ressursoptimalisering i tråd med bærekraftige forretningsmodeller. Aquilani et al. (2020) undersøker hvordan slike plattformer muliggjør effektivt samarbeid og økt ressursutnyttelse. Blockchain-teknologi utforskes også som en muliggjørende teknologi for å spre IS-praksiser gjennom sikre og transparente transaksjoner i IS-nettverk.



I tillegg gir digitale tvillinger – virtuelle representasjoner av fysiske systemer oppdatert med sanntidsdata – innsikt i ytelse og potensielle problemer før de oppstår. Å bruke digitale tvillinger støtter IS-nettverk ved å tilby et rammeverk for brukeranalyse før utvikling av samarbeidsbaserte digitale tvillingløsninger i forsyningskjeder, og styrker dermed effektivitet og samarbeid.

Praktiske anvendelser av disse digitale innovasjonene er tydelige i ulike sektorer. I produksjon overvåker digitale tvillinger utstyrshelse, forutsier feil og optimaliserer drift, noe som reduserer nedetid og vedlikeholdskostnader. Byplanlegging bruker digitale tvillinger til å simulere trafikkflyt, energibruk og infrastrukturutvikling for effektiv ressursforvaltning. Detaljhandelsaktører som Walmart benytter digitale tvillinger til å optimalisere butikkoppsett og forbedre kundeopplevelsen gjennom simuleringer før fysiske endringer gjøres. I helsevesenet brukes digitale tvillinger av medisinsk utstyr eller til og med menneskelige organer for å planlegge personlig behandling, utføre prediktiv diagnostikk og forbedre pasientresultater.

Til tross for disse fremskrittene, hindrer flere utfordringer utbredt bruk av digitale IS-verktøy. Styrings- og politikkutfordringer, inkludert inkonsekvente reguleringer og manglende klarhet i offentlig støtte, skaper usikkerhet for virksomheter som vurderer IS-praksiser (Micheline & Mattelin-Pierrard, 2023). Samarbeidsutfordringer oppstår grunnet mangel på tillit mellom industrielle partnere, ettersom virksomheter nøler med å dele konfidensiell informasjon om avfallsstrømmer og biprodukter.

Økonomisk og markedsmessig usikkerhet spiller også en kritisk rolle, da virksomheter kan nøle med å investere i nye digitale verktøy uten klare økonomiske incentiver eller dokumentert lønnsomhet. Tekniske og logistiske barrierer er betydelige, ettersom integrasjon av digitale løsninger ofte krever omfattende oppgraderinger. Mange SMB-er mangler den tekniske kompetansen eller økonomiske kapasiteten som trengs.

Sosiale og miljømessige bekymringer må også vurderes, inkludert regulatorisk etterlevelse og samfunnsmessig aksept. Enkelte lokalsamfunn kan motsette seg IS-initiativer på grunn av oppfatninger om miljøfare, som økt forurensning eller helsekonsekvenser av gjenbrukspraksiser.

For å overvinne disse utfordringene er det avgjørende å etablere standardiserte reguleringer, tilby økonomiske incentiver og utvikle solid digital infrastruktur. Å styrke interessentengasjement og sikre transparens i beslutningsprosesser kan bidra til å bygge offentlig tillit og fremme bredere aksept for IS-initiativer. Vedvarende politisk støtte, industrielt samarbeid og teknologisk innovasjon vil være avgjørende for å realisere det fulle potensialet av industriell symbiose på globalt nivå.

Integrating digital technologies into industrial symbiosis (IS) has demonstrated significant potential in enhancing resource efficiency and sustainability across various industries. Advanced digital platforms, such as matchmaking tools, analyse data on waste streams and material compositions to identify profitable exchanges between industries. For example, tools Makropoulos et al. (2024) developed a focus on liquid waste streams, pinpointing lucrative inter-industry connections. Online platforms further facilitate IS by connecting industries across regions, utilising intelligent systems to recommend synergies and address challenges like data availability and reluctance



to use repurposed materials. The SymbioSyS tool, as presented by Álvarez and Ruiz-Puente (2017), exemplifies this by promoting resource sustainability and networking among companies through ICT-web systems.

Intelligent management systems leverage existing IS knowledge to model and analyse potential networks, which is crucial for discovering new synergies and optimising material exchanges. Chatzidimitriou et al. (2021) discuss platforms that support the identification and implementation of symbiotic relationships. As employed by the e-Symbiosis project, ontology engineering models IS flows and develops matching services, combining expert knowledge with participant data to create systematic solutions, particularly benefiting small and medium enterprises (Cecelja et al., 2015).

Industry 4.0 digital platforms support environmental sustainability through IS by facilitating value co-creation and resource optimisation, aligning with sustainable business models. Aquilani et al. (2020) explore how these platforms enable effective collaboration, enhancing resource efficiency. Blockchain technology is also being explored as an enabling technology of Industry 4.0 to disseminate IS practices, offering secure and transparent transactions within IS networks. Additionally, digital twins—virtual representations of physical systems updated with real-time data—provide insights into performance and potential issues before they occur. Leveraging digital twins supports IS networks by offering a framework for user perspective analysis before developing digital twin-based supply chain collaborations, thereby enhancing efficiency and collaboration.

Practical applications of these digital innovations are evident in various sectors. In manufacturing, digital twins monitor equipment health, predict failures, and optimise operations, reducing downtime and maintenance costs. Urban planning utilises digital twins to simulate traffic flow, energy consumption, and infrastructure development, aiding in efficient resource management. Retailers like Walmart employ digital twins to optimise store layouts and enhance customer experiences by simulating different configurations before implementing physical changes. In healthcare, digital twins of medical devices or even human organs assist in personalised treatment planning, predictive diagnostics, and improved patient outcomes.

Despite these advancements, several challenges hinder the widespread adoption of digital IS tools. Governance and policy issues, including inconsistent regulations and a lack of clear governmental support, create uncertainty for businesses considering IS practices (Michelini & Mattelin-Pierrard, 2023). Collaboration challenges arise from a lack of trust among industrial partners, as businesses may be reluctant to share proprietary data about waste streams and byproducts, fearing potential risks to their competitive advantage. Economic and market uncertainties also play a critical role, as industries may hesitate to invest in new digital tools without clear financial incentives or proven profitability. Technical and logistical barriers are significant, as integrating digital solutions into existing industrial processes often requires substantial infrastructure upgrades. Many businesses, particularly SMEs, lack the technical expertise or financial resources to implement advanced digital matchmaking and monitoring tools effectively. Social and environmental concerns must also be considered, including regulatory compliance and societal acceptance. Some communities may resist IS



initiatives due to perceived environmental risks, such as increased pollution or waste repurposing practices that could affect public health.

To overcome these challenges, it is essential to establish standardised regulations, provide financial incentives, and develop robust digital infrastructure. Strengthening stakeholder engagement and ensuring transparent decision-making processes can help build public trust and promote wider acceptance of IS initiatives. Continued policy support, industrial cooperation, and technological innovation will be critical in realising the full potential of IS on a global scale.

4 Referanser

A comprehensive review of industrial symbiosis. (2019).
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>

A Review of Industrial Symbiosis in Influencing Green Manufacturing. (2022).
<https://doi.org/10.1109/icmimt55556.2022.9845273>

Akrivou, C., Łekawska-Andrinopoulou, L., Manousiadis, C., Tsimiklis, G., Oikonomopoulou, V., Papadaki, S., Krokida, M., & Amditis, A. (n.d.). Industrial symbiosis marketplace concept for waste valorisation pathways. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202234911005>

Albu, A. (2017). *Industrial Symbiosis: An Innovative Tool for Promoting Green Growth* (pp. 1–29). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45081-0_1

Al-Harrasi, A., Abu Qasida, A., Al-Qassabi, H., & Shamsuzzoha, A. (2017). *Study of the Possibility to Industrial Symbiosis within Selected Omani SMEs.* 2017. <https://journals.library.ryerson.ca/index.php/ictea/article/view/57>

Álvarez, R., & Ruiz-Puente, C. (2017). Development of the Tool SymbioSyS to Support the Transition Towards a Circular Economy Based on Industrial Symbiosis Strategies. *Waste and Biomass Valorization*, 8(5), 1521–1530. <https://doi.org/10.1007/S12649-016-9748-1>

AquafilSLO. (2024). *Example of a Good Practice in Slovenia.*

Aquilani, B., Piccarozzi, M., Silvestri, C., & Gatti, C. (2020). *Achieving Environmental Sustainability Through Industry 4.0 Tools: The Case of the “Symbiosis” Digital Platform* (pp. 513–539). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-1419-1.CH003>

Astuti, R. S. D., & Astuti, A. D. (2018). *Preliminary Design of Industrial Symbiosis of Smes Using Material Flow Cost Accounting (MFCA) Method.* 31, 04008. <https://doi.org/10.1051/E3SCONF/20183104008>

Barile, S., Bassano, C., D'Amore, R., Piciocchi, P., Saviano, M., & Vito, P. (2021). Insights of Digital Transformation Processes in Industrial Symbiosis from the Viable Systems Approach (vSa). *Sustainability*, 13(17), 9696. <https://doi.org/10.3390/SU13179696>



- Bauchat Grant, G., Seager, T. P., Massard, G., & Nies, L. (2010). Information and Communication Technology for Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 14(5), 740–753. <https://doi.org/10.1111/J.1530-9290.2010.00273.X>
- Boquera, P., & Marcos, Á. (2023). *Industrial Symbiosis Guideline*. AIDIMME. Retrieved from <https://iproduce-project.eu/industrial-symbiosis-guideline/>
- Castellet-Viciano, L., Hernández-Chover, V., Bellver-Domingo, Á., & Hernández-Sancho, F. (2022). Industrial Symbiosis: A Mechanism to Guarantee the Implementation of Circular Economy Practices. *Sustainability*, 14(23), 15872. <https://doi.org/10.3390/su142315872>
- Cecelja, F., Raafat, T., Trokanas, N., Innes, S., Smith, M., Yang, A., Zorgios, Y., Korkofygas, A., & Kokossis, A. C. (2015). e-Symbiosis: technology-enabled support for industrial symbiosis targeting SMEs and innovation. <https://epubs.surrey.ac.uk/804145/>
- Chatterjee, A., Brehm, C., & Layton, A. (2021). Evaluating benefits of ecologically-inspired nested architectures for industrial symbiosis. *Resources Conservation and Recycling*, 167, 105423. <https://doi.org/10.1016/J.RESCONREC.2021.105423>
- Chattopadhyay, S., Kumar, N., Fine, C. H., & Olivetti, E. (2016). *Industrial Symbiosis Among Small and Medium Scale Enterprises: Case of Muzaffarnagar, India* (pp. 173–177). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48768-7_25
- Chatzidimitriou, T., Gentimis, T., Michalopoulos, C., Kokossis, A. C., & Dalamagas, T. (2021). *Intelligent Management Platform for Material Exchange Optimization and Industrial Symbiosis* (Vol. 50, pp. 761–766). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88506-5.50119-4>
- Cui, H., & Liu, C. (2017). *Applying industrial symbiosis to chemical industry: A literature review*. 1864, 020090. <https://doi.org/10.1063/1.4992907>
- Cutaia, L., Luciano, A., Barberio, G., Sbaffoni, S., Mancuso, E., Scagliarino, C., & La Monica, M. (2015). The experience of the first industrial symbiosis platform in Italy. *Environmental Engineering and Management Journal*, 14(7), 1521–1533. <https://doi.org/10.30638/EEMJ.2015.164>
- Dolgova, O., & Nikitaeva, A. (2023). Industrial Symbiosis as a Way to Solve Environmental Problems in Regions (on the Example of the Russian Black Sea Area). *BIO Web of Conferences*, 63, 03007. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20236303007>
- Duan, Y. (2005). Symbiosis Model: the Strategic Choice of SMEs. *Journal of Yunnan University of Finance and Economics*.
- European Circular Economy Stakeholder Platform. (2024). *CEstakeholderEU - European Circular Economy Stakeholder Platform*.
- Evans, S., Benedetti, M., & Holgado Granados, M. (2017). *Library of Industrial Symbiosis case studies and linked exchanges*. <https://doi.org/10.17863/CAM.12608>



Ferreira, I., Godina, R., & Carvalho, H. (2020). Waste Valorization through Additive Manufacturing in an Industrial Symbiosis Setting. *Sustainability*, 13(1), 234. <https://doi.org/10.3390/SU13010234>

Golev, A. (2012). *Application of Industrial Ecology Principles for Enhanced Resource Efficiency in Heavy Industrial Areas*. <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:306125>

Haq, H. M. K. U., Välisuo, P., & Niemi, S. (2021). Modelling Sustainable Industrial Symbiosis. *Energies*, 14(4), 1172. <https://doi.org/10.3390/EN14041172>

Hariyani, D., Hariyani, P., Mishra, S., & Sharma, M. K. (2024). Leveraging digital technologies for advancing circular economy practices and enhancing life cycle analysis: A systematic literature review. *Waste Management Bulletin*. <https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.06.007>

Industrial Ecology. (2022). 167–190. <https://doi.org/10.1002/9781119721079.ch6>

Industrial Symbiosis: Novel Supply Networks for the Circular Economy (pp. 29–48). (2022). Emerald Publishing Limited eBooks. <https://doi.org/10.1108/978-1-83982-544-620221002>

International Synergies Limited. (2024). *International Synergies Limited (ISL)*.

Interreg Europe Policy Learning Platform. (2024). *Interreg Europe Policy Learning Platform*.

Isenmann, R. (2009). *Bringing together Environmental Informatics and Industrial Ecology – The role of ICT in industrial symbiosis projects*. 213–216. <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/26314>

Isenmann, R., & Chernykh, K. (2009). *The role of ICT in industrial symbiosis projects – Environmental ICT applications for eco-industrial development*. 223–234. <https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/26316>

Islam, K., Rahman, Md. F., & Islam, K. N. (2016). Industrial Symbiosis: A Review on Uncovering Approaches, Opportunities, Barriers and Policies. *Social Science Research Network*. https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2767107

Kosmol, L., & Leyh, C. (2021). *A Conceptual Design for Digital Industrial Symbiosis Ecosystems* (pp. 362–374). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82405-1_35

Kosmol, L., & Otto, L. (2020). Implementation Barriers of Industrial Symbiosis: A Systematic Review. *Hawaii International Conference on System Sciences*, 1–9. <https://doi.org/10.24251/HICSS.2020.741>

Kowalski, Z., Kulczycka, J., Makara, A., Mondello, G., & Salomone, R. (2023). Industrial Symbiosis for Sustainable Management of Meat Waste: The Case of Śmitowo Eco-Industrial Park, Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 5162. <https://doi.org/10.3390/ijerph20065162>



Kumar, U. (2022). *Industrial Symbiosis: An Exploration of the Potential of Sustainable Waste Management in the UAE*. <https://doi.org/10.18502/aqf.0189>

Makropoulos, C., Kritikos, N.-A., & Pantazis, C. (2024). Matchmaking for industrial symbiosis: a digital tool for the identification, quantification and optimisation of symbiotic potential in industrial ecosystems. *Frontiers in Chemical Engineering*, 6. <https://doi.org/10.3389/fceng.2024.1363888>

Michelini, L., & Mattelin-Pierrard, C. (2023). *Exploring Industrial Symbiosis: an analysis of current critical issues to identify technologies and digital opportunities*. <https://doi.org/10.26481/mup.2302.14>

Mirata, M., Lindfors, A., & Kambanou, M. L. (2024). A business value framework for industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.13545>

Mironova, D. Yu., Baranov, I. V., Kapustin, D. S., Kozhukhov, Y. V., & Svinkin, I. A. (2023). Application of industrial symbiosis concept to oil and gas sector on example of associated petroleum gas processing. *Oil and Gas Business*, 21(3), 220–231. <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2023-3-220-231>

Models of industrial symbiosis formation. (2023). *Upravlenie*, 11(1), 51–63. <https://doi.org/10.26425/2309-3633-2023-11-1-51-63>

Neves, A., Godina, R., Azevedo, S. G., & Matias, J. C. O. (2018). *Environmental, Economic, and Social Impact of Industrial Symbiosis: Methods and Indicators Review* (pp. 157–165). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14973-4_15

Nikitaeva, A. (2023). Digital Technologies and Circular Value Chains for Sustainable Development. *Lecture Notes in Information Systems and Organisation*, 169–179. https://doi.org/10.1007/978-3-031-30351-7_14

Nyakudya, P., Madushele, N., & Madyira, D. M. (2022). A Review of Industrial Symbiosis in Influencing Green Manufacturing. 80–84. <https://doi.org/10.1109/ICMIMT55556.2022.9845273>

Nyakudya, P., Madushele, N., & Madyira, D. M. (2023). *Industrial Symbiosis: A Panacea to Industrial Waste Management Challenges in Harare*. 238–243. <https://doi.org/10.1109/icmimt59138.2023.10201222>

Patricio, J., Kalmykova, Y., Rosado, L., Cohen, J., Westin, A., & Gil, J. (2022). Method for identifying industrial symbiosis opportunities. *Resources Conservation and Recycling*, 185, 106437. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106437>

Perillo, G. (2024). Digital and Circular Economy Models. *Journal of Civil Engineering and Environmental Sciences*, 10(2), 061–062. <https://doi.org/10.17352/2455-488x.000085>

Petrova, V. (2022). *Industrial symbiosis in raw material sector as an overarching solution in circular economy*, 3(3), 61–65. <https://doi.org/10.58903/c16182120>



Rahman, Md. F., Islam, K., & Islam, K. N. (2016). *Industrial Symbiosis: A Review on Uncovering Approaches, Opportunities, Barriers and Policies*. 2(1), 011–019.
<https://doi.org/10.17352/2455-488X.000009>

Ristola, P., & Mirata, M. (2007). Industrial symbiosis for more sustainable, localised industrial systems. *Progress in Industrial Ecology, An International Journal*, 4, 184–205.
<https://doi.org/10.1504/PIE.2007.015186>

Sahu, R. K. (2023). Industrial Symbiosis: Expanding Waste Reuse in a Brazilian Network of Agricultural Companies. *Sustainability and Climate Change*, 16(1), 36–47.
<https://doi.org/10.1089/scc.2022.0099>

Silva, M., Carvalho, T., Gehrke Castagna, A., do Rocio Strauhs, F., & Piekarski, C. M. (2022). The role of online platforms to enable the process of industrial symbiosis: An analysis of tools available in the market. *Cleaner Production Letters*, 3, 100021.
<https://doi.org/10.1016/j.clpl.2022.100021>

The concept of industrial symbiosis: experience of application in various countries and prospects for implementation in Russia on the example of the Pskov region. (2022). *Naučnyj Žurnal NIU ITMO*. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2022-16-2-129-141>

Ulusoy, K., Doğan-Sağlamtimur, N., Çiner, F., Sternik, A., & Sekula, P. (2024). Industrial Symbiosis Practices: A Case Study of Türkiye and Denmark. *Environmental Research & Technology*. <https://doi.org/10.35208/ert.1271679>

Vladimirova, D., & Miller, K. (2020). *Enablers and barriers for industrial symbiosis : Lessons learnt from twenty-five case studies* (pp. 305–314). Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780429346347-33>

Weenen, H. (1999). *Design for sustainable development : practical examples of SMEs*. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Office for Official Publications of European Communities.
<https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA40777083>

DEL II: KVANTITATIV ANALYSE – UNDERSØKELSE AV BEDRIFTER I FEM LAND

1 Introduksjon

Industriell symbiose (IS) er bredt anerkjent som en sentral strategi i overgangen til en sirkulær økonomi. Den innebærer samarbeid mellom organisasjoner for utveksling av ressurser, energi, informasjon og logistikk, med mål om å redusere avfall, forbedre ressursutnyttelse og skape gjensidige økonomiske og miljømessige gevinster (Chertow, 2007; Paquin & Howard-Grenville, 2013). Ved å etablere nettverk av sammenkoblede virksomheter som gjenbruker hverandres biprodukter og uutnyttede ressurser, bidrar IS til å flytte produksjon bort fra lineære modeller og over mot mer bærekraftige og regenerative systemer.

I de senere år har integreringen av digitale teknologier – som nettbaserte plattformer, kunstig intelligens (AI), tingenes internett (IoT) og blokkjede – fremstått som kraftige muliggjørere av IS. Disse teknologiene støtter identifisering av potensielle symbiotiske partnere, sanntidssporing av materialstrømmer, økt datatransparens og automatisering av kontrakts- og etterlevelsprosesser (Yazan et al., 2021; Makropoulos et al., 2024). For eksempel kan digitale plattformer matche virksomheter med komplementære avfalls- og ressursprofiler, mens blokkjede kan sikre sporbarhet og tillit i utvekslingene – spesielt i komplekse verdikjeder.

Denne rapporten presenterer resultatene fra en kvantitativ undersøkelse blant bedrifter i fem europeiske land (Italia, Latvia, Norge, Polen og Slovenia), med mål om å kartlegge deres bevissthet, beredskap og interesse for IS og digitale verktøy som støtter implementeringen av slike løsninger. Analysen er kontekstualisert gjennom teoretiske perspektiver fra Digital Industrial Symbiosis: Literature Review (2025), som sammenfatter nyere fremskritt innen forskning på IS, digital transformasjon og bærekraftige overgangsprosesser. Rapporten bygger på en økende mengde litteratur som fremhever behovet for tverrsektorielt samarbeid, digital innovasjon og støttende politiske rammer for å realisere det fulle potensialet til IS i Europa og globalt (Bocken et al., 2022; Patricio et al., 2022; Michelini & Mattelin-Pierrard, 2023).

2 Mål for analysen

Hovedmålene med analysen var å vurdere bedriftenes bevissthet og beredskap for industriell symbiose (IS), deres interesse for digitale verktøy, samt å identifisere opplevde gevinster, utfordringer og barrierer. Rapporten vurderer videre hvordan digitale ferdigheter, praktisk erfaring, institusjonelle faktorer og intensiteten i samarbeid påvirker bedriftenes atferd knyttet til IS.

3 Metode

Denne kvalitative undersøkelsen er basert på et spørreskjema utviklet innenfor rammene av prosjektet. Dataene ble samlet inn digitalt ved bruk av det nettbaserte verktøyet 1KA i perioden 17. desember 2024 til 19. mars 2025. Analysen bygger på et strukturert spørreskjema distribuert til bedrifter i Italia, Latvia, Norge, Polen og Slovenia. Skjemaet inneholdt spørsmål om bedriftskarakteristika, bevissthet og beredskap for industriell symbiose (IS), bruk av digitale verktøy, praktiske erfaringer, samarbeidspraksis og barrierer for implementering. Dataene ble analysert ved hjelp av beskrivende statistikk, Spearman-korrelasjon, Kruskal-Wallis-test og kji-kvadrattest.

Utvalget består av 78 gyldige svar og representerer et bredt spekter av industrisektorer. Tradisjonelle næringer er godt representert, med 19 % av respondentene fra industriproduksjon, 21 % fra jordbruks- og næringsmiddelindustrien, og 22 % fra teknologisektoren. Det er verdt å merke seg at 38 % valgte kategorien "Annet", noe som indikerer en bred blanding av sektorer, inkludert forretningsrådgivning, offentlig administrasjon, finansielle tjenester, forskning og utvikling, bioteknologi, avfallshåndtering, bygg og utdanning. Dette tyder på at industriell symbiose ikke bare involverer kjerneproduserende sektorer, men også et bredt spekter av støttende og kunnskapsbaserte næringer.

Med hensyn til organisasjonsstørrelse består utvalget hovedsakelig av mindre virksomheter. Mikrobedrifter (1–9 ansatte) utgjør den største gruppen med 44 % av respondentene, etterfulgt av små bedrifter (10–49 ansatte) med 28 %. Mellomstore organisasjoner (50–249 ansatte) representerer 18 %, mens store organisasjoner (250+ ansatte) er minst representert med 10 %. Dette indikerer at utvalget i stor grad er orientert mot mikro- og småbedrifter.

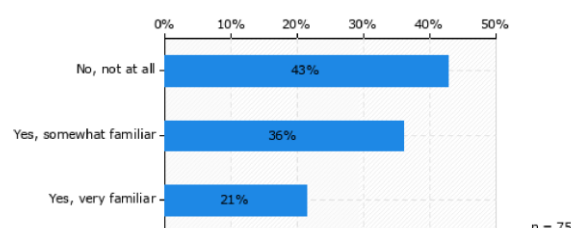
Når det gjelder organisasjonenes geografiske tilhørighet, inkluderer utvalget virksomheter fra fem hovedland, hvorav flertallet er basert i Slovenia (29 %, inkludert ett "annet"-svar oppført som Østerrike, men refererende til en slovensk organisasjon). Deretter følger Italia (22 %), Latvia (21 %) og Polen (21 %), mens Norge utgjør 8 % av utvalget. Samlet sett er organisasjonene jevnt fordelt mellom disse landene, med en svak overvekt av virksomheter basert i Slovenia.

4 Resultater og tolkning

4.1 Bevissthet og kjennskap til industriell symbiose (IS)

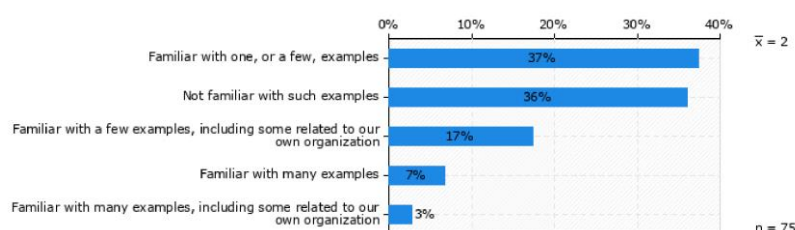
43 % av respondentene rapporterte at de ikke hadde noen bevissthet om begrepet industriell symbiose (IS), mens 36 % var noe kjent og bare 21 % rapporterte å være veldig kjent. I gjennomsnitt scoret bevisstheten 1,8 av 3 (SD = 0,8), noe som indikerer begrenset kjennskap på tvers av utvalget.

Figure 1: Knowledge about the concept of industrial symbiosis



På spørsmål om digital industriell symbiose – der IKT brukes til å identifisere muligheter for ressursdeling, var bare 20 % av respondentene kjent med eksempler knyttet til deres egen organisasjon, mens 36 % rapporterte ingen kjennskap til noen eksempler i det hele tatt. Gjennomsnittlig skår var 2,0 av 5 (SD = 1,0), noe som tyder på at digital industriell symbiose fortsatt er et relativt nytt eller ukjent konsept for mange.

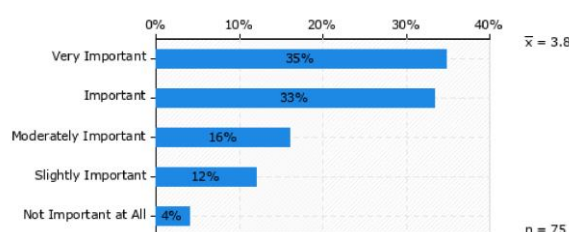
Figur 2: Kjennskap til eksempler på digital industriell symbiose



4.2 Opplevd betydning av bærekraft

Bærekraft og ressurseffektivitet blir sett på som avgjørende for konkurranseevne og lønnsomhet av de fleste undersøkte organisasjoner. Til sammen vurderte 68 % disse faktorene som "viktige" eller "svært viktige", med en gjennomsnittlig vurdering på 3,8 av 5 (SD = 1,2). Dette gjenspeiler sterk generell støtte til bærekraftig forretningspraksis.

Figure 3: Importance of sustainability and resource efficiency

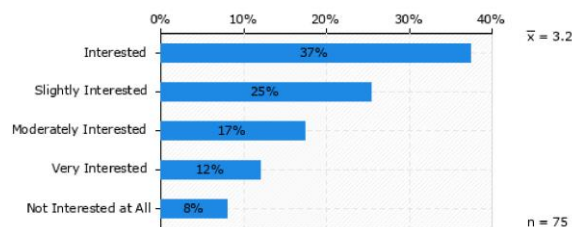


4.3 Interesse for læring og deltakelse

Til tross for varierende grad av kjennskap, er det stor interesse for å lære mer om industriell symbiose. Nesten halvparten av respondentene (49 %) sa at de var

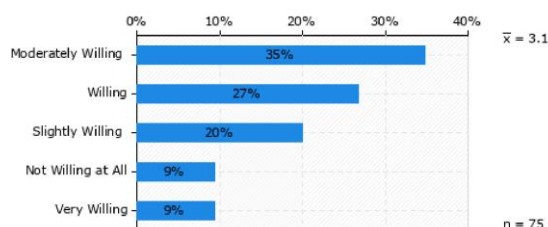
interessert eller veldig interessert i hvordan deling av ressurser kunne være til nytte for virksomheten deres (gjennomsnitt 3,2/5).

Figur 4: Interesse for å lære mer om deling av ressurser



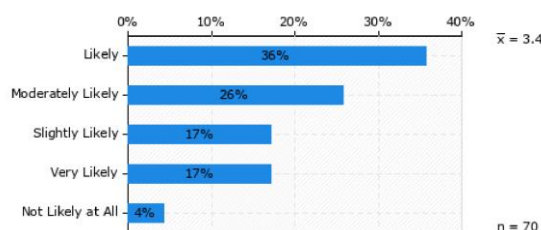
Tilsvarende uttrykte 62 % moderat til høy vilje til å delta i digitale IS-initiativer, med en gjennomsnittlig skår på 3,1 (SD = 1,1).

Figur 5: Vilje til å delta i tiltak for digital industriell symbiose



På spørsmål om sannsynligheten for å vurdere ressursdeling hvis det vil redusere kostnader eller skape verdier, svarte 53 % positivt (sannsynlig eller svært sannsynlig), med et gjennomsnitt på 3,4 av 5 (SD = 1,1).

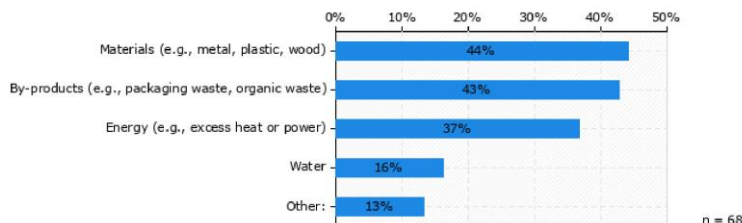
Figur 6: Sannsynlighet for å vurdere ressursdeling eller gjenbruk



4.4 Ressurser og avfallsmaterialer

De vanligste typene avfall eller restressurser organisasjoner håndterer inkluderer materialer som metall, plast eller tre (44 %), biprodukter som emballasje eller organisk avfall (43 %) og energi (37 %). Færre organisasjoner rapporterte vann (16 %) eller andre ressurser (13 %) som betydelig avfallsproduksjon.

Figur 7: Ressurser eller materialer som produseres for tiden



4.5 Barrierer for deltakelse i IS-initiativer

De viktigste barrierene som ble identifisert var:

Begrenset tid eller personell (61 %)

Mangel på økonomiske ressurser (57 %)

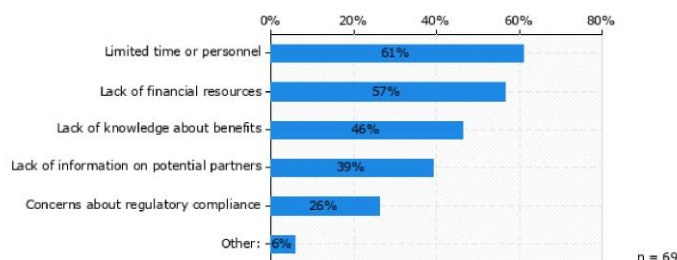
Manglende kunnskap om fordeler (46 %)

Mangel på informasjon om potensielle partnere (39 %)

Bekymringer om overholdelse av regelverk (26 %)

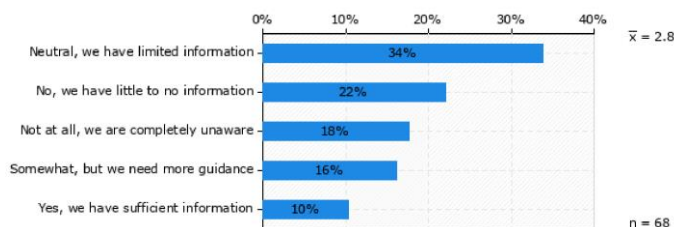
Dette indikerer at både ressursbegrensninger og informasjonshull spiller en betydelig rolle for å forhindre engasjement.

Figure 8: Obstacles for participating in IS and CE initiatives



4.6 Kunnskaps- og veiledningsbehov

Figur 9: Nok informasjon til å ta beslutninger om bærekraftig praksis

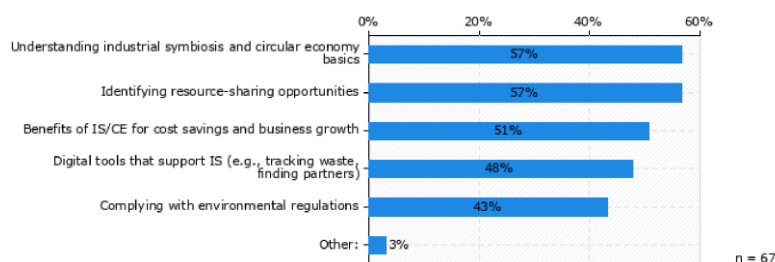


Bare 10 % av respondentene følte at de hadde tilstrekkelig informasjon til å ta beslutninger om IS eller sirkulær økonomi (CE), mens 74 % indikerte at de hadde begrenset eller ingen informasjon (gjennomsnitt 2.8/5).

Opplæringsinteressen var stor på følgende områder:

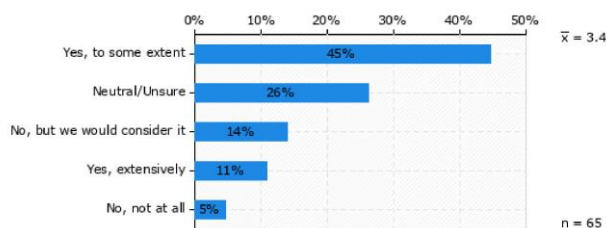
Grunnleggende om IS/CE (57 %)
Identifisere delingsmuligheter (57 %)
Kostnadsbesparelser og vekstfordeler (51 %)
Overholdelse av miljøforskrifter (43 %)
Digitale verktøy for IS (48%)

Figur 10: Fordeler med opplæring eller veiledning om IS eller CE



På spørsmål om klare og forenklede retningslinjer for bærekraft og ressursdeling vil øke organisasjonens sannsynlighet for deltakelse, svarte flertallet av respondentene (56 %) positivt. Nærmere bestemt indikerte 45 % at det var mer sannsynlig at de ville delta «til en viss grad», mens 11 % sa «ja, mye». Ytterligere 26 % var nøytrale eller usikre, og 18 % uttrykte en viss grad av nøling, med bare 5 % som sa rett ut at klare retningslinjer ikke ville påvirke deres deltakelse. Disse resultatene antyder at tilgjengelig og praktisk veiledning kan spille en nøkkelrolle for å oppmuntre til bredere engasjement.

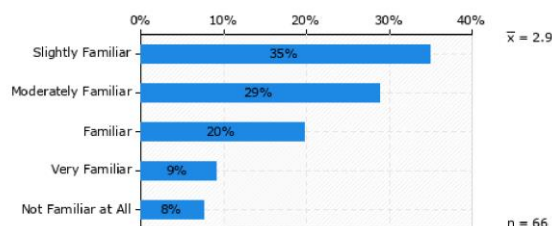
Figure 11: Likelihood to participate in IS initiatives in case of simplified guidelines on sustainability and resource sharing



4.7 Juridisk bevissthet og utfordringer

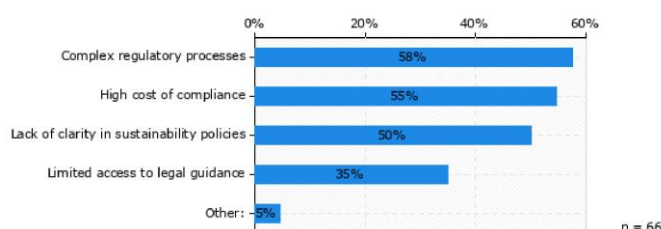
Kjennskap til juridiske krav til bærekraft var moderat (gjennomsnitt 2,9/5). Bare 29 % vurderte seg selv som kjent eller veldig kjent.

Figur 12: Kjennskap til juridiske krav til avfallsreduksjon, ressursdeling eller bærekraft



Vanlige utfordringer inkluderte:
 Komplekse regulatoriske prosesser (58 %)
 Høye samsvarskostnader (55 %)
 Mangel på klarhet i bærekraftspolitik (50 %)
 Begrenset tilgang til juridisk veiledning (35 %)

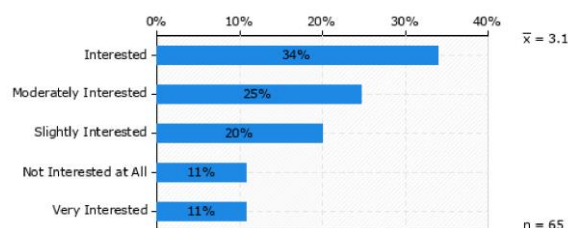
Figur 13: Utfordringer med å ta i bruk bærekraftig praksis



4.8 Digitale verktøy og deres adopsjon

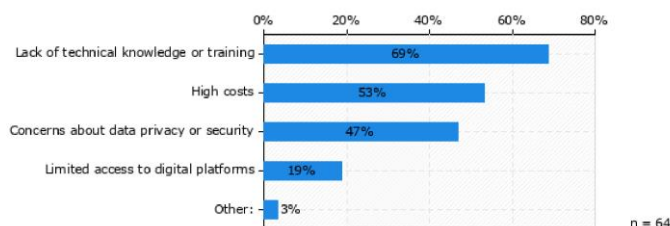
Interessen for digitale verktøy for avfallshåndtering og -reduksjon var moderat (gjennomsnitt 3,1/5), med 45 % som indikerte at de var interessert eller veldig interessert.

Figur 14: Interesse for digitale verktøy



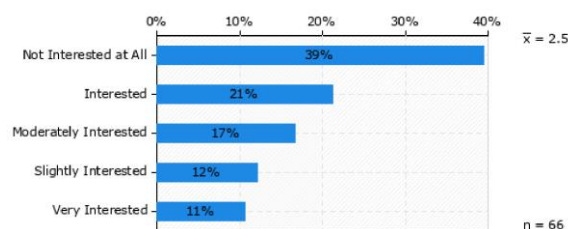
Adopsjon hindres imidlertid av:
 Mangel på teknisk kunnskap eller opplæring (69 %)
 Høye kostnader (53 %)
 Bekymringer om personvern (47 %)
 Begrenset tilgang til plattformer (19 %)
 Opplærings- og informasjonsbehov

Figur 15: Utfordringer med å ta i bruk digitale verktøy



Respondentene uttrykte klar interesse for å motta opplæring eller veiledning om industriell symbiose og sirkulær økonomi. Men på direkte spørsmål om interesse for opplæring i digital IS og markedspotensial, var svarene mer delte: 39 % var ikke interessert i det hele tatt, mens 32 % viste moderat til høy interesse (gjennomsnitt 2,5/5).

Figur 16: Interesse for å få mer informasjon eller opplæring om digital industriell symbiose og dens markedspotensial



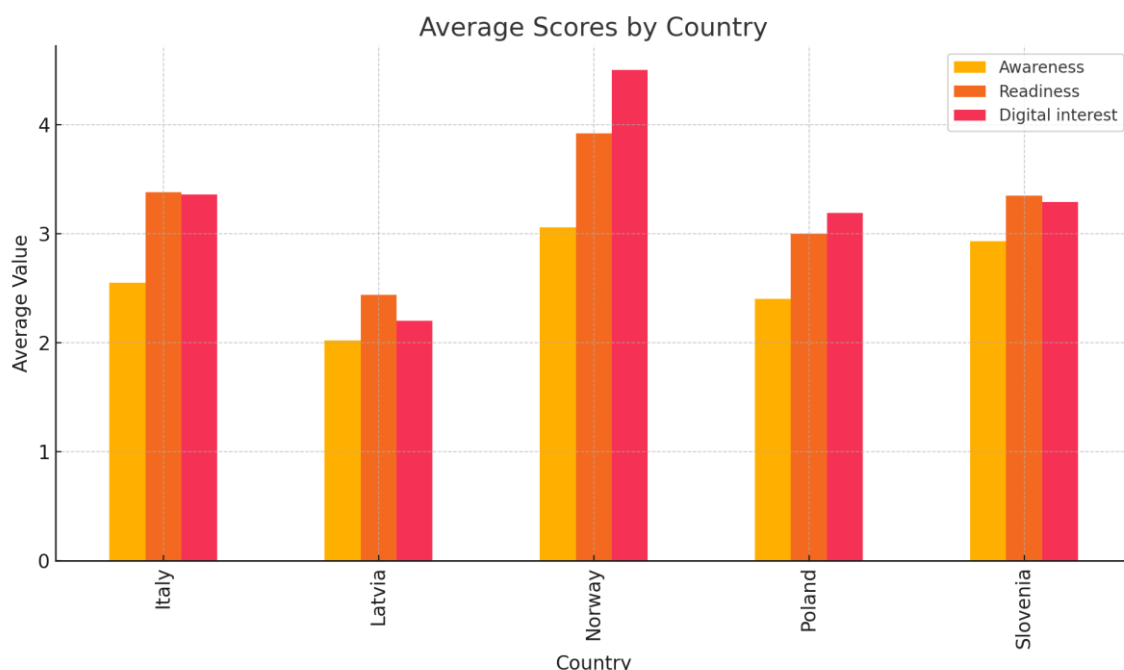
4.9 Drivere og determinanter for organisatorisk beredskap for IS

Analysen avslørte en sterk positiv sammenheng mellom bevissthet og beredskap til å engasjere seg i IS ($r = 0,546$, $p < 0,001$), noe som tyder på at informerte selskaper er mer tilbøyelige til å samarbeide. Kruskal-Wallis-test indikerte signifikante forskjeller i bevissthet mellom land ($H = 14,72$, $p = 0,0053$). Forskjeller i beredskap var marginalt signifikante ($\chi^2 = 15,31$, $p = 0,053$). Norge scoret høyest på bevissthet (3,06), beredskap (3,92) og digital interesse (4,50), mens Latvia scoret lavest.

Interessen for digitale verktøy (Q24) var ikke signifikant relatert til selskapsstørrelse ($p = 0,24$) eller sektor ($p = 0,83$), men det ble observert signifikante forskjeller mellom landene ($H = 18,45$, $p = 0,001$). Bedrifter som allerede bruker IS-praksis (Q12) eller samarbeider med andre (Q13) viste høyere beredskap (f.eks. $r = 0,23$ for materialutveksling).

Digital kompetanse (Q16) og bruk av IT-verktøy (Q17) var også positivt relatert til beredskap (korrelasjoner opp til $r = 0,34$), noe som indikerer at digital kompetanse er avgjørende for implementering av IS. Interessant nok var barrierer som høye kostnader (Q25a), mangel på teknisk kunnskap (Q25b) og datasikkerhetsproblemer (Q25d) ikke negativt korrelert med beredskap. Faktisk viste de positive sammenhenger, noe som tyder på at mer erfarne selskaper er mer bevisste på slike utfordringer. Regnskapsført nytte (Q22) hadde sterkest korrelasjon med beredskap ($r = 0,37$).

Figur 17: Sammenligning mellom FReINDs partnerland



Figur 17 viser gjennomsnittlig poengsum for bevissthet, beredskap og interesse for digitale verktøy etter land.

5 Diskusjon, begrensninger og videre forskning

Funnene i denne studien bekrefter flere teoretiske påstander om industriell symbiose (IS). Det sterke positive forholdet mellom bevissthet og beredskap til å engasjere seg i IS ($r = 0,546$, $p < 0,001$) stemmer overens med tidligere forskning som understreker den kritiske rollen kunnskap og kjennskap spiller for å redusere usikkerhet og fremme interorganisatorisk samarbeid (Ulusoy et al., 2024; Patricio et al., 2022). Informerte selskaper fremstår som betydelig mer åpne for samarbeid og ressursdelingspraksis, noe som understreker viktigheten av bevisstgjøringstiltak og målrettet oppsøkende virksomhet.

Den betydelige sammenhengen mellom digital kompetanse og beredskap forsterker påstander om at digitalisering, og spesielt Industri 4.0-teknologier, fungerer som nøkkeltilretteleggere for IS (Makropoulos et al., 2024). Spesielt var bruken av digitale verktøy (f.eks. plattformer for partnernatching og ressurssporing) og digitale ferdigheter (f.eks. bevissthet om juridisk og bærekraftspraksis) positivt assosiert med selskapers beredskap til å delta i IS, noe som tyder på at digital modenhet er en nødvendig forutsetning for å operasjonalisere IS-strategier.

Forskjeller på tvers av land i bevissthet, beredskap og digital interesse fremhever ytterligere viktigheten av nasjonal og institusjonell kontekst. For eksempel skåret norske organisasjoner høyest på alle tre indikatorene, mens latviske organisasjoner skåret lavest. Disse funnene er i samsvar med forskning som legger vekt på innflytelsen av institusjonelle støttestrukturer, nasjonal politikk og kulturell beredskap i utformingen av IS-adopsjon (Michelini & Mattelin-Pierrard, 2023). Det kan derfor være behov for



skreddersydde nasjonale eller regionale intervensjoner for å fremme IS i land der bevissthet og beredskap henger etter.

Interessant nok var oppfattede barrierer som høye kostnader, mangel på teknisk kunnskap og personvern hensyn – ofte sitert som avskrekkende – ikke negativt assosiert med beredskap. Tvert imot viste disse barrierene svake, men positive sammenhenger med beredskap, noe som tyder på at organisasjoner med mer erfaring med IS eller digital bærekraftspraksis er mer bevisste på kompleksiteten som er involvert. Dette innebærer at høyere nivåer av engasjement kommer med økt anerkjennelse av virkelige utfordringer, og slik bevissthet reduserer ikke nødvendigvis viljen til å delta.

Den sterkeste sammenhengen med beredskap ble funnet i anerkjennelsen av konkrete fordeler ved IS og sirkulær økonomi ($r = 0,37$). Dette funnet forsterker ideen om at når organisasjoner ser en klar forretningssak – gjennom kostnadsbesparelser, effektivitetsgevinster eller konkurransefortrinn – er det mer sannsynlig at de forplikter seg til IS-initiativer.

Selv om disse resultatene gir verdifull innsikt, har studien også flere begrensninger. For det første er utvalgsstørrelsen ($N=78$) relativt beskjeden, og antallet respondenter per land fanger kanskje ikke tilstrekkelig opp variasjonen på nasjonalt nivå. For det andre introduserer avhengigheten av selvrapporterte data muligheten for skjevhet, inkludert overrapportering av bærekraftspraksis eller beredskap. For det tredje begrenser studiens tverrsnittsnatur muligheten til å trekke kausale slutninger om forholdet mellom bevissthet, beredskap og digitalt engasjement.

For å adressere disse begrensningene kan fremtidig forskning ta i bruk langsgående design som sporer endringer i IS-engasjement over tid og undersøke årsaksveier. Å utvide det geografiske omfanget til å inkludere et mer mangfoldig sett med land vil også øke generaliserbarheten til funnene. I tillegg kan integrering av kvalitative metoder – som intervjuer eller casestudier – avdekke dypere innsikt i organisatoriske motivasjoner, kontekstuelle barrierer og beste praksis for implementering av IS i ulike omgivelser.

Til slutt er det et klart behov for ytterligere evaluering av digitale verktøy som brukes for å støtte IS. Komparative studier av ulike plattformer og IKT-løsninger kan bidra til å finne ut hva som fungerer best i ulike sektorer eller organisatoriske kontekster. Videre bør fremtidig forskning utforske rollen til politiske insentiver, regulatoriske rammeverk og støttetjenester for å akselerere IS-opptak og integrering av sirkulære forretningsmodeller.

6 References

Bocken, N. M. P., Ritala, P., Albareda, L., & Verburg, R. (2022). Business model innovation for the circular economy: Growing opportunities for IS through digitalisation. *Journal of Cleaner Production*, 367, 132901. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132901>

Chertow, M. R. (2007). "Uncovering" industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11–30. <https://doi.org/10.1162/jiec.2007.1150>



Makropoulos, C., Cecelja, F., & Yang, A. (2024). Digital transformation of industrial symbiosis: Tools and implementation pathways. *Journal of Industrial Ecology*. <https://doi.org/10.1111/jiec.13567> (DOI placeholder if not yet available)

Michelini, G., & Mattelin-Pierrard, M. (2023). Institutional support for industrial symbiosis in Europe. *Sustainability*, 15(6), 2152. <https://doi.org/10.3390/su15062152>

Paquin, R. L., & Howard-Grenville, J. (2013). Blind dates and arranged marriages: Longitudinal processes of network orchestration. *Organization Studies*, 34(11), 1623–1653. <https://doi.org/10.1177/0170840613495330>

Patricio, J., Ferreira, M. S., & Costa, I. (2022). The benefits and barriers of industrial symbiosis: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 368, 132725. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132725>

Ulusoy, A., Demirel, E., & Ciftci, M. (2024). Drivers of circular economy and IS adoption among SMEs. *Resources, Conservation & Recycling*, 198, 106123. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106123>

Yazan, D. M., Romano, V. A., & Albino, V. (2021). The role of digital technologies in supporting industrial symbiosis: A systematic review. *Resources, Conservation & Recycling*, 164, 105190. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105190>

DEL III: KVALITATIV ANALYSE – TEMATISK INNSIKT FRA INTERVJUENE

Introduksjon

Denne delen av rapporten presenterer en grundig tematisk analyse av 16 semistrukturerte intervjuer utført med SMB-er, offentlige institusjoner og sektoreksperter involvert i digital industriell symbiose (DIS) og sirkulær økonomipraksis. Intervjuene ble gjennomført mellom oktober 2023 og februar 2025 som en del av Erasmus+-prosjektaktiviteter som utforsket potensialet for skalering av DIS over hele Europa.

Intervjuobjektene representerer et mangfoldig tverrsnitt av interessenter fra Slovenia, Polen, Italia og Norge, og dekker både tidlige brukere og avanserte aktører på feltet. Det norske intervjuutvalget inkluderer spesielt organisasjoner fra bygg- og byutviklingssektoren, noe som gjenspeiler et sterkt nasjonalt fokus på gjenbruksinnovasjon og digital omstilling i det bygde miljøet. I mellomtiden fanger svar fra sentral- og søreuropeiske land opp en rekke perspektiver fra små og mellomstore bedrifter, bærekraftskonsulenter, plattformutviklere og ledere av sirkulære initiativer.

Ved å trekke på disse kvalitative dataene, støttet av teoretisk innsikt fra skrivebordsforskningen utført av FReIND-prosjektet (februar 2025); Rapporten utforsker muligheter, barrierer og kapasitetsbyggingsbehov knyttet til implementering av DIS i virkelige sammenhenger. Spesiell oppmerksomhet gis til integrering av digitale verktøy som plattformer, sporingssystemer og AI i sirkulære samarbeidsprosesser – med særlig fokus på konstruksjon, gjenbrukslogistikk og interorganisatorisk koordinering.

Målet er å gi praktiske og policy-relevante funn som kan støtte den bredere bruken av industrielle symbioseprinsipper i tråd med digital innovasjon, miljømessig bærekraft og systemisk transformasjon. Gjennom sitt flerlandsomfang og tverrsektoriell innsikt bidrar denne rapporten til en dypere forståelse av hvordan DIS vokser frem i praksis – og hva som kreves for å støtte den effektive, inkluderende og skalerbare implementeringen.

7 Forskningsspørsmål

RQ1. Hva er det nåværende nivået av bevissthet og forståelse av digital industriell symbiose (DIS) blant SMB-er og institusjoner?

RQ2. Hvilke fordeler og muligheter forbinder deltakerne med å implementere digitale industrielle symbioseløsninger?

RQ3. Hvilke barrierer eller utfordringer hindrer adopsjon av digital industriell symbiosepraksis i små og mellomstore bedrifter?

RQ4. Hvilke typer opplæring eller støtte trenger deltakerne for å engasjere seg effektivt i DIS-løsninger?

RQ5. Hvordan ser deltakerne på digitale plattformers rolle i å legge til rette for sirkulært samarbeid og ressursdeling?

RQ6. Hvilke politiske anbefalinger eller systemendringer foreslår deltakerne å fremme DIS på lokalt eller regionalt nivå?

8 Metodikk

Analysen ble utført på kvalitative svar fra 10 SMB- og institusjonsrepresentanter over hele Europa – 1 intervju fra Slovenia, 2 intervjuer fra Italia, 4 intervjuer fra Polen og 3 intervjuer fra Latvia, supplert med seks ekspertintervjuer fra norsk byggesektor. En blandet tilnærming ble brukt, som kombinerte manuell koding og automatisert emnemodellering (TF-IDF + NMF)¹ for å utlede temaer og dominerende koder. Sitater ble hentet ut og oversatt til engelsk. Funnene er kontekstualisert med nyere teoretisk litteratur om industriell symbiose og digitale teknologier (Desk Research Report, februar 2025).

9 Resultater av tematisk analyse

Seks overordnede temaer ble utledet fra dataene. Hvert tema er beskrevet nedenfor, inkludert de beste engelske nøkkelordene (kodene) og utvalgte intervjuutdrag.

9.1 Tema 1: Barrierer og praktiske utfordringer

Dette temaet innkapsler de strukturelle, tekniske og organisatoriske barrierene som begrenser adopsjon og skalering av digital industriell symbiose (DIS) på tvers av sektorer. En tilbakevendende bekymring blant intervjuobjektene er fraværet **av sarong-regelverk** som vil pålegge eller stimulere til gjenbruk av materialer, spesielt i byggesektoren. Uten juridiske forpliktelser ser mange bedrifter liten grunn til å investere i sirkulære løsninger eller datadelingsplattformer.

I tillegg bemerket deltakerne ofte **fragmenteringen av eksisterende infrastrukturer** – både fysiske og digitale. Mange gjenbrukssystemer er fortsatt lokalisert, mangler tilkobling eller fungerer manuelt, noe som hemmer deres integrering i bredere DIS-økosystemer. Mangelen på **interoperabilitet mellom verktøy** (f.eks. gjenbruksplattformer og programvare for bygningsplanlegging som BIM) fører til ineffektivitet og duplisert innsats.

Datakvalitet og sporbarhet fremstår også som kritiske bekymringer. Noen aktører rapporterte at tilgjengelige materialbeholdninger er ufullstendige, dårlig klassifisert eller raskt utdatert, noe som gjør gjenbruksplanlegging upålitelig. Dette påvirker

¹ TF-IDF + NMF er en metode som brukes til automatisk å identifisere viktige temaer i tekstdata, for eksempel intervjuutskrifter. TF-IDF finner ord som er hyppige i et bestemt intervju, men sjeldne på tvers av andre – og fremhever unike og meningsfulle begreper. NMF (Non-negative Matrix Factorization) grupperer deretter disse ordene i temaer eller emner basert på hvor ofte de vises sammen. Sammen bidrar denne metoden til å avsløre mønstre i det folk snakker om – støtte og berike manuell koding i kvalitativ forskning.



direkte tillit og beslutningsprosesser for selskaper som forsøker å engasjere seg i digital symbiose.

Kostnadsrelaterte barrierer er spesielt utfordrende for små og mellomstore bedrifter, som ofte mangler økonomisk fleksibilitet til å investere i uprøvde eller komplekse løsninger. Forhåndskostnaden for digitale verktøy, kombinert med usikkerhet om avkastning på investeringen, motvirker eksperimentering.

Logistisk kompleksitet er et annet hovedtema, spesielt innen bygg og produksjon. Transport, lagring og koordinering av gjenbruk av materialer krever nye arbeidsflyter og ofte nye partnerskap, som er vanskelige å implementere uten systemisk støtte.

Tema 1 gjenspeiler hvordan **sammenkoblede tekniske, økonomiske og institusjonelle begrensninger** fungerer som hemmere av digital industriell symbiose. Å adressere disse barrierene krever en flerlags respons som involverer politisk reform, teknologisk standardisering, kapasitetsbygging og delte digitale infrastrukturer.

Toppnøkkelord (koder):

barrierer, ombruk, manglende regulering, kartlegging, datakvalitet, kostnader, integrasjon, logistikk, planlegging, pålitelighet

Illustrerende sitater:

«Gjenbruksmandatet eksisterer ikke ennå. Uten det er mange aktører uvillige til å delta.» — Asplan Viak (Norge)

"Datakvaliteten i eksisterende plattformer er svært inkonsekvent, noe som påvirker planleggingen." — Resirqel (Norge)

"Vi ville gjenbrukt mer materiale hvis det var standarder og stabile systemer på plass." — Respondent i undersøkelsen (SMB)

«Logistikk er en stor barriere. Å koordinere gjenbruk på tvers av flere steder er tidkrevende uten riktig digital støtte.» — Sirkulær Ressursentral (Norge)

9.2 Tema 2: Innovasjon og strategisk tenkning

Dette temaet fremhever det **fremtidsrettede, kreative og transformasjonspotensialet** til digital industriell symbiose (DIS). Mange deltakere ser DIS ikke bare som en teknisk løsning, men som en **strategisk muliggjører** for langsiktige bærekraftsmål, sirkulære forretningsmodeller og organisatorisk transformasjon. Intervjuobjektene understreket verdien av å **tenke nytt om ressursstrømmer**, ikke bare optimalisere dem – og pekte på muligheter for å **skape helt nye tjenester, produkter eller samarbeidsmodeller** basert på avfallsstrømmer og delte data.

Sentralt i denne visjonen er bruken av **digitale simuleringsverktøy** og **prediktiv analyse**, som gjør det mulig for bedrifter å forutsi ressursbehov, modellere miljøpåvirkninger og planlegge gjenbruksscenarier mer effektivt. Disse teknologiene bidrar til å gå fra reaktiv til **proaktiv beslutningstaking**, og støtter mer motstandsdyktige og adaptive operasjoner.



Deltakerne koblet også DIS til **samarbeidende innovasjon**, der digital deling av informasjon mellom bedrifter, byer og institusjoner kan låse opp tidligere skjulte synergier. I denne sammenhengen er kreativitet ikke begrenset til produktdesign, men strekker seg til **tenkning på systemnivå**, der selskaper utvikler løsninger på felles problemer – for eksempel overskuddshåndtering, plassoptimalisering eller logistikkkoordinering.

Flere intervjuobjekter diskuterte hvordan DIS stemmer overens med deres **langsiktige transformasjonsstrategier**, spesielt i overgangen til netto null, klimanøytrale eller lavkarbon forretningsmodeller. Vektleggingen av **verdiskaping fra rester** gjenspeiler et skifte fra samsvarsbasert tenkning til mulighetsdrevet innovasjon.

Til syvende og sist posisjonerer dette temaet DIS som en **katalysator for strategisk reorientering**, slik at organisasjoner kan bygge inn sirkulær tenkning i kjerneplanleggings- og innovasjonsprosesser – spesielt når digitale verktøy gjøres tilgjengelige, interoperable og responsive på brukernes behov.

Toppnøkkelord (koder):

innovasjon, ideer, potensial, simulering, samarbeid, kreativitet, verdiskaping, nytenkning, transformasjon, langsiktig

Illustrerende sitater:

«Digitale verktøy tillater simulering og prediksjon. Dette sparer tid og støtter bedre beslutninger.» – Slovensk SMB

«Vi utforsker måter å tenke nytt om hvordan vi bruker rester til å skape nye tjenester.» – Sirkulær SMB (undersøkelse)

«Vi ser på DIS som en strategisk mulighet – ikke bare for etterlevelse, men for innovasjon og konkurransekraft.» — FutureBuilt (Norge)

«Det handler ikke bare om å gjenbruke det som er til overs. Det handler om å se avfall som en ressurs for innovasjon.» – Respondent i undersøkelsen (Polen)

"Vi bruker planleggingsdata og digitale tvillinger for å teste gjenbruksscenarioer og forbedre effektiviteten før byggingen i det hele tatt starter." — Asplan Viak (Norge)

9.3 Tema 3: Engasjement og lokal handling

Dette temaet fremhever organisasjoners **aktive engasjement i å anvende prinsipper for digital industriell symbiose (DIS) gjennom initiativer i den virkelige verden**, spesielt på lokalt og regionalt nivå. I motsetning til temaer fokusert på strategisk visjon eller fremtidig potensial, legger dette temaet vekt på hva deltakerne allerede gjør – inkludert **pilotprosjekter, sirkulære anskaffelser, partnerskap og verktøyadopsjon**.

Mange intervjuobjekter rapporterer å være en del av **gjenbruksfokusede eksperimenter eller samarbeidspiloter**, ofte støttet av offentlige institusjoner, regionale utviklingsprogrammer eller EU-prosjekter. Denne innsatsen viser at selv småskala handlinger – som digitalisering av lagerbeholdning, kartlegging av materialflyter eller



integrering av gjenbruksplattformer i byplanlegging – kan tjene som kraftige læringsmiljøer og tillitsbyggere.

Deltakerne knytter ofte sitt **engasjement i DIS til bærekrafts- og klimamål**, og bemerker at å engasjere seg i gjenbruk er en del av bredere organisatoriske oppdrag rundt miljøansvar. Flere saker viser hvordan **lokal handling ofte er inngangspunktet** til mer komplekse digitale systemer. For eksempel kan en bygge-SMB som begynner med å gjenbruke restmaterialer på stedet, til slutt ta i bruk inventarprogramvare, bli med på en sirkulær markeds plass eller delta i samarbeidende gjenbruksnettverk.

Dette temaet avslører også at **lokale myndigheter, forskningsinstitusjoner og frivillige organisasjoner spiller en katalytisk rolle** i å fremme DIS ved å legge til rette for pilotfinansiering, matchmaking-arrangementer og tilgang til verktøy. Slike mellomledd gir ofte den muliggjørende konteksten for eksperimentering, spesielt der kommersiell levedyktighet ennå ikke er bevist.

Videre understreker temaet at **engasjement er drevet av mer enn etterlevelse** – det er en økende følelse av etisk ansvar og innovasjonstankegang som motiverer til handling. Likevel understreker deltakerne at skalering av denne lokale innsatsen krever stabil støtte, langsiktig politikktilpasning og digital kapasitetsbygging skreddersydd for grasrotvirksomheten.

Toppnøkkelord (koder):

gjenbruk, medvirkning, piloter, lokalt, prosjekter, bærekraft, handling, støtte, adopsjon, innsats

Illustrerende sitater:

- Vi er allerede involvert i en pilot med gjenbrukte materialer. Det er en del av bærekraftsmålene våre.» – SMB i bygg og anlegg (undersøkelse)
- "Vi har utviklet et gjenbrukslager og ønsker nå å digitalisere det for bedre koordinering."
— Sirkulær Ressurssentral (Norge)
- «DIS er ikke bare en idé for oss. Vi samarbeider med byen for å gjenbruke tømmer og integrere det i bygningsmassen vår.» — Sirkulær innovasjonslab (Norge)
- «Vi startet i det små, men å være en del av et lokalt gjenbruksprosjekt hjalp oss å forstå verdien av data og sporing.» – Respondent i undersøkelsen (Italia)
- Samarbeid med offentlige aktører er avgjørende. De gir infrastrukturen og koordineringen som trengs for at denne innsatsen skal skaleres.» — NHO Association (Norge)

9.4 Tema 4: Praktiske erfaringer og case-tilbakemeldinger

Dette temaet fanger det praktiske, brukersentrerte perspektivet til organisasjoner som har engasjert seg direkte i verktøy og praksis for digital industriell symbiose (DIS). Deltakerne reflekterer over hva som fungerer, hva som ikke fungerer, og hva som trengs for å forbedre adopsjonen i den virkelige verden. I stedet for å diskutere strategier på høyt nivå, kommer denne innsikten fra faktisk erfaring med bruk av digitale plattformer, sporingssystemer og arbeidsflyter for gjenbruk av materiale.



Et sentralt spørsmål som tas opp på tvers av intervjuer er **brukervennlighet**. Mange verktøy blir sett på som teknisk komplekse, og krever avanserte digitale ferdigheter eller tidligere erfaring med datasystemer. Dette skaper barrierer for små eller mindre teknologikyndige organisasjoner, spesielt små og mellomstore bedrifter, som kanskje ikke har dedikert IT-personell eller opplæringsressurser. Som et resultat **etterlyser mange respondenter enklere, mer intuitive plattformer**, med klare grensesnitt og arbeidsflyter skreddersydd for ikke-eksperter.

Opplæring og onboarding fremstår som viktige komponenter for effektiv DIS-implementering. Deltakerne uttrykker et sterkt behov for **visuelle, trinnvise instruksjoner**, samt tilgang til **case-basert læring**, der reelle eksempler viser hvordan lignende organisasjoner har tatt i bruk verktøy, løst logistiske problemer eller opprettet gjenbruksarbeidsflyter. Noen respondenter understreker også viktigheten av **sektorspesifikk opplæring**, spesielt for konstruksjon, der materialer, forskrifter og tidslinjer varierer mye.

Kostnader er fortsatt en konsekvent bekymring – ikke bare de **økonomiske kostnadene ved å implementere digitale verktøy**, men også de **skjulte kostnadene** knyttet til tid, endringsledelse, opplæring av ansatte og systemintegrasjon. Noen intervjuobjekter uttrykte skuffelse over pilotverktøy som var for rigide, dårlig dokumentert eller ikke ga målbare fordeler.

Dette temaet inkluderer også tilbakemelding om **arbeidsflytintegrasjon** – behovet for at DIS-verktøy passer problemfritt inn i eksisterende planlegging og drift. Frittstående apper eller plattformer som ikke kobles til innkjøpssystemer, logistikkplanlegging eller materialbeholdninger, oppfattes ofte som mer en byrde enn en løsning.

Samlet sett understreker temaet viktigheten av **å designe DIS-verktøy fra brukerens synspunkt**, og sikre at de gir reell verdi i daglig praksis – ikke bare i teorien. Stemmene i dette temaet minner oss om at **vellykket digital transformasjon handler like mye om mennesker og prosesser som om teknologi**.

Toppnøkkelord (koder):

brukervennlighet, verktøy, opplæring, kostnader, trinn-for-trinn, læring, reelle eksempler, arbeidsflyt, brukeropplevelse, barrierer

Illustrerende sitater:

«Vi trenger grunnleggende opplæringsmateriell. Trinn-for-trinn, ideelt visuelt.» – SMB (undersøkelse)

«Verktøyets brukervennlighet må forbedres. Akkurat nå krever det for mye teknisk kunnskap.» — Norsk respondent

"Vi prøvde et gjenbruksdashbord, men det koblet ikke til innkjøpssystemet vårt, så vi droppet det." — Byggefirma (undersøkelse)

"Kostnader handler ikke bare om lisenser – det er tiden for å lære opp folkene våre og tilpasse seg vår interne arbeidsflyt." – Gjenbrukskoordinator (Norge)

«Det mest nyttige var å se hva en annen SMB gjorde. Praktiske eksempler utgjør hele forskjellen.» — Italiensk SMB-responent

9.5 Tema 5: Plattformen og økosystemdesign

Dette temaet fokuserer på den **sentrale rollen til digitale plattformer som muliggjørere av industriell symbiose**, og understreker viktigheten av systemnivåtenkning, integrasjon og tilgjengelighet. Deltakerne beskrev konsekvent plattformer som **ryggraden i sirkulært samarbeid**, som muliggjør synlighet, koordinering og sporing av gjenbrukbare materialer på tvers av ulike aktører og steder.

En viktig innsikt er at plattformer verdsettes ikke bare for **å koble tilbud og etterspørsel** (matchmaking), men også for å støtte **tillit og åpenhet** i gjenbrukstransaksjoner. Intervjuobjektene understreket at plattformer må inkludere funksjoner for **materialdokumentasjon, opprinnelsestyporbarhet og kvalitetskontroll**, spesielt i sektorer som bygg og anlegg der samsvar og sikkerhet er avgjørende.

Respondentene tar til orde for plattformer som går utover grunnleggende databaser – de som integrerer AI-støttede anbefalinger, dashboard for beslutningstaking og livssyklusanalyseverktøy. Dette gjenspeiler et skifte fra passive depoter til interaktive, intelligente økosystemer som er i stand til å legge til rette for samarbeid og optimalisering i sanntid.

Interoperabilitet dukket opp som et kritisk behov. Mange deltakere bemerket at plattformer må kunne **kobles til andre systemer**, spesielt planleggings- og bygningsinformasjonssystemer (f.eks. BIM), anskaffelsesverktøy og offentlige dataregistre. Uten slik integrasjon risikerer selv godt utformede plattformer å bli underutnyttet eller dupliserende.

En annen tilbakevendende idé er oppfordringen til **offentlige eller halvoffentlige plattformmodeller**, støttet av myndigheter, industriklynger eller konsortier. Disse plattformene blir sett på som viktig infrastruktur for den sirkulære økonomien – omtrent som veier eller energinett – og bør styres på måter som sikrer **åpen tilgang, datastandardisering og langsiktig vedlikehold**.

Deltakerne understreket også viktigheten av å designe økosystemer, ikke bare verktøy. Dette inkluderer å adressere det **juridiske, økonomiske og operasjonelle miljøet** som omgir plattformen – og sikre at insentiver, forskrifter og brukerstøttestrukturer er i tråd med plattformens mål.

Samlet sett understreker dette temaet ideen om at **plattformer er mer enn tekniske løsninger** – de er **institusjonelle og relasjonelle infrastrukturer** som kan muliggjøre eller hemme suksessen til digital industriell symbiose.

Toppnøkkelord (koder):

plattform, økosystem, sporing, matchmaking, integrasjon, samarbeid, overvåking, åpenhet, gjenbrukssystemer, tilgang

Illustrerende sitater:

«Plattformen bør være offentlige og knyttet til planleggingssystemer som BIM.» —
FutureBuilt (Norge)



"Vi bruker plattformer med sporingsverktøy og AI for å optimalisere gjenbrukslogistikk."
— Sirken (Norge)

«Økosystemet betyr noe. En plattform er bare et verktøy med mindre hele systemet støtter den.» — NHO Association (Norge)

«Vi trenger ett inngangspunkt, ikke fem forskjellige gjenbruksplattformer som ikke snakker med hverandre.» – Respondent i undersøkelsen (Polen)

«Tilgang til pålitelige gjenbruksdata er avgjørende. Uten tillit til dataene vil ingen bruke plattformen.» – Digital plattformutvikler (undersøkelse)

9.6 Tema 6: Full digital integrasjon og automatisering

Dette temaet representerer den **mest teknologisk avanserte visjonen** om digital industriell symbiose (DIS) uttrykt av deltakerne. Det sentrerer rundt **bruken av banebrytende digitale teknologier** – som kunstig intelligens (AI), sensorer, digitale tvillinger og sanntidsdashbord – for å **automatisere og optimalisere materialstrømmer, logistikk og gjenbruksprosesser** i stor skala.

Respondenter som engasjerer seg i dette temaet beskriver DIS ikke som en manuell eller semi-digital prosess, men som et **fullt integrert, datadrevet system**. I dette systemet kan materialer spores kontinuerlig fra dekonstruksjon til gjenanvendelse, beslutninger støttes av intelligente algoritmer, og **menneskelig innspill er fokusert på strategisk tilsyn i stedet for operasjonelle detaljer**.

Flere organisasjoner utvikler eller piloterer allerede **AI-støttede plattformer** som kan matche tilbud og etterspørsel, forutsi gjenbrukspotensial, foreslå rutingslogistikk og flagge muligheter for sirkulær intervensjon. Disse verktøyene får ros for å øke **effektiviteten, responsen og beslutningskvaliteten**, spesielt i miljøer med høyt volum eller fartsfylte miljøer som konstruksjon eller produksjon.

Sensorer og IoT-teknologier er også i ferd med å bli en del av DIS-økosystemet. Noen deltakere nevnte innsats for å utstyre materialer eller komponenter med **QR-koder eller RFID-brikker**, slik at de kan identifiseres, logges og spores automatisk gjennom demontering, transport og gjenbruk. Når den er koblet til skysystemer eller dashbord, gir denne infrastrukturen mulighet for **sanntidsovervåking av beholdning, tilgjengelighet og flyter**.

De mest visjonære eksemplene refererer til bruken av **digitale tvillinger** – virtuelle kopier av bygninger eller materialer som oppdateres dynamisk. Disse systemene tillater simulering av gjenbruksscenarier, integrasjon med planleggingsdata og effektprognoser, og flytter dermed DIS inn i området for **prediktiv, scenariobasert beslutningstaking**.

Skalerbarhet er et tilbakevendende tema. Deltakerne bemerker at uten automatisering og digital integrasjon forblir DIS arbeidskrevende og vanskelig å skalere. Ambisjonen er å gå fra fragmenterte piloter til **automatiserte, systemiske gjenbruksinfrastrukturer** som er integrert i regionale eller nasjonale sirkulære strategier.

Dette temaet dukker imidlertid også opp bekymringer rundt **datastyring, standardisering og teknisk tilgang**. Selv om teknologien eksisterer, mangler mange



organisasjoner fortsatt kapasitet eller budsjett til å implementere disse verktøyene. Dermed blir full digital integrasjon sett på som et mål å jobbe mot – et som krever felles investeringer, politisk tilpasning og åpne standarder.

Toppnøkkelord (koder):

automatisering, AI, sensorer, digital tvilling, dashboards, sanntid, skalerbarhet, datadeling, optimalisering, integrasjon

Illustrerende sitater:

«Vi utvikler et dashbord for å koble sammen lager og logistikk digitalt.» — Sirkulær Ressursentral (Norge)

«AI-verktøy hjelper oss med å identifisere muligheter for gjenbruk som vi ellers ville gått glipp av.» — Sirken (Norge)

"I fremtiden håper vi å koble sensorer til plattformen vår slik at vi kan spore materialflyt i sanntid." – Utvikler av gjenbruksplattform (undersøkelse)

"Digitale tvillinger lar oss teste gjenbruksscenarioer før noe bygges - det endrer alt." — Asplan Viak (Norge)

«Automatisering er den eneste måten å skalere gjenbruk på uten store økninger i bemanning eller tid.» — Ekspert på sirkulær konstruksjon (Norge)

10 Svar på forskningsspørsmål

10.1 RQ1: Hva er det nåværende nivået av bevissthet og forståelse av digital industriell symbiose (DIS) blant SMB-er og institusjoner?

Analysen avslører at bevisstheten og forståelsen av digital industriell symbiose (DIS) vokser, men forblir ujevn og fragmentert på tvers av organisasjonstyper og regioner. Blant de 16 intervjuede enhetene fremsto et klart skille mellom institusjoner som aktivt piloterer DIS-verktøy og de som fortsatt ikke er kjent med konseptet.

Flere deltakere – spesielt de fra store konsulentfirmaer og spesialiserte gjenbruksplattformer – **viser en dyp forståelse av DIS-konseptet og dets praktiske implementering**. For eksempel bemerket en representant fra Asplan Viak (Norge): "Vi bruker plattformer og simuleringer for å administrere gjenbruk i bygg og anlegg – men mange små og mellomstore bedrifter ser ikke hvordan digitale verktøy kan hjelpe dem." Dette fremhever et digitalt skille ikke bare i verktøybruk, men også i konseptuell forståelse av hva DIS innebærer.

På den andre enden av spekteret uttrykte flere små og mellomstore bedrifter at selv om de driver med gjenbruk eller sirkulær praksis, er de **ikke kjent med begrepet IS eller dets digitale komponenter (DIS)**. Som en respondent fra Polen forklarte: "Jeg kjente ikke begrepet, men vi prøver allerede å gjenbruke rester med andre selskaper - vi kaller det bare ikke det." Dette tyder på at relevante aktiviteter skjer, men ofte utenfor DIS-vokabularet eller uten digital koordinering.

En annen SMB fra Slovenia gjenspeilte denne **delforståelsen**, og sa: "Ideen er veldig nyttig, men vår forståelse er fortsatt begrenset - spesielt den digitale siden." Denne kommentaren illustrerer et bredere mønster: DIS oppfattes ofte som et abstrakt eller



teknisk konsept, og mange mindre organisasjoner mangler eksponering eller kapasitet til å utforske dets strategiske fordeler.

Videre **formes bevissthet av opplevd relevans og institusjonelt press**. En SMB bemerket: «Vi har akkurat begynt å utforske sirkularitet. DIS høres interessant ut, men vi trenger mer konkret veiledning.» På samme måte understreket en representant fra NHO-foreningen (Norge) at «Hvis regjeringen krevde det, ville flere ta hensyn. Akkurat nå er det fortsatt frivillig, og mange ser ikke at det haster.»

På tvers av intervjuene **er det en klar åpenhet og interesse for ideen om digital symbiose**, spesielt blant de som allerede jobber med bærekraftsmål eller offentlige anskaffelsesprosjekter. Overgangen fra grunnleggende bevissthet til informert engasjement er imidlertid fortsatt på et tidlig stadium for mange. Barrierer inkluderer konseptuell tvetydighet, mangel på eksponering for funksjonelle verktøy og en begrenset forståelse av rollen til dataintegrasjon og plattformer for å legge til rette for materialutveksling.

10.2 RQ2: Hvilke fordeler og muligheter forbinder deltakerne med å implementere digitale industrielle symbioseløsninger?

På tvers av intervjuene identifiserte deltakerne et bredt spekter av konkrete og strategiske fordeler knyttet til implementering av digital industriell symbiose (DIS). Disse fordelene spenner over kostnadseffektivitet, bærekraft, driftsoptimalisering og innovasjon. Selv om vektleggingen varierer etter organisasjonstype og nivå av digital modenhet, er den generelle tonen optimistisk om den langsiktige verdien av å ta i bruk DIS-løsninger.

En av de hyppigst nevnte fordelene er **kostnadsreduksjon** – både gjennom avfallsminimering og mer effektiv ressursutnyttelse. Som en representant fra en polsk SMB forklarte: «Vi sparer penger ved å gjenbruke restmaterialer fra tidligere prosjekter. Med bedre planleggingsverktøy kan vi gå enda lenger.» På samme måte fremhever respondentene hvordan materialsporings- og prognoseverktøy kan redusere overbestilling og avfall i anskaffelses- og byggefaser.

Flere intervjuobjekter understreket viktigheten av **åpenhet og forutsigbarhet** i DIS-prosesser. For eksempel beskrev en interessent fra Sirken (Norge) hvordan "AI-verktøy hjelper oss med å identifisere muligheter for gjenbruk som vi ellers ville gått glipp av." Evnen til å kartlegge materialer digitalt og forutsi gjenbrukspotensial støtter datainformert beslutningstaking, noe som ikke bare forbedrer effektiviteten, men også bygger tillit mellom interessenter i delte verdikjeder.

Logistikkoptimalisering er et annet viktig mulighetsområde. En deltaker bemerket: "Digital planlegging lar oss tilpasse gjenbrukslogistikk til produksjonsplaner, noe som sparer både tid og utslipp." Dette stemmer overens med det bredere synet på at DIS-verktøy kan muliggjøre slankere, mer bærekraftig drift, spesielt når de kombineres med geolokalisering og sanntidsdatafeeder.

Fra et strategisk perspektiv assosierer deltakerne DIS med **nye forretningsmodeller og tjenesteinnovasjon**. En respondent fra en sirkulær SMB uttalte: "Vi utforsker måter å

tenke nytt om hvordan vi bruker rester for å skape nye tjenester." Andre ser potensial i digitale markedsplasser, gjenbruksnettverk og sirkulær designrådgivning, der verdier skapes ikke ved å selge materialer, men ved å orkestrere og optimalisere flyter.

Videre er DIS knyttet til simuleringsfunksjoner som støtter **proaktiv planlegging og scenariotesting**. Som en slovensk SMB sa det: "Digitale verktøy tillater simulering og prediksjon. Dette sparer tid og støtter bedre beslutninger." Disse verktøyene er spesielt verdifulle i komplekse byggeprosjekter, der sirkulære alternativer må veies opp mot budsjett og tidsbegrensninger.

Intervjuene gjenspeiler også en økende **tilpasning mellom DIS og organisatoriske transformasjonsmål**. For noen er DIS mer enn et verktøy – det er en del av identiteten deres. "Vi ser på DIS som en strategisk mulighet – ikke bare for etterlevelse, men for innovasjon og konkurransekraft," forklarte en representant fra FutureBuilt (Norge).

Oppsummert assosierer deltakerne DIS med en unik konvergens av miljømessig, økonomisk og teknologisk verdi. Det gjør det mulig for organisasjoner å oppfylle bærekraftsmål, redusere kostnader, låse opp kreative gjenbruksmuligheter og styrke samarbeid på tvers av sektorer. Selv om noen fordeler allerede blir realisert, ser mange enda større potensial etter hvert som verktøy modnes og økosystemer utvikler seg.

10.3 RQ3: Hvilke barrierer eller utfordringer hindrer adopsjon av digital industriell symbiosepraksis i SMB-er?

Selv om digital industriell symbiose (DIS) er betydelig lovende, er bruken fortsatt begrenset – spesielt blant små og mellomstore bedrifter (SMB). Intervjuer avslørte en rekke sammenhengende utfordringer, som spenner over regulatoriske hull, økonomiske begrensninger, teknisk kompleksitet og systemisk fragmentering.

En av de mest konsekvent siterte hindringene er mangelen **på regulering eller juridiske mandater for gjenbruk og digital koordinering**. Uten håndhevbare retningslinjer eller sirkulære anskaffelsesregler, er mange små og mellomstore bedrifter fortsatt motvillige til å investere i gjenbruksorienterte verktøy eller arbeidsflyter. Som en respondent fra Asplan Viak (Norge) bemerket: «Gjenbruksmandatet eksisterer ikke ennå. Uten det er mange skuespillere uvillige til å delta.» Denne følelsen gjenspeiler en bredere bekymring for at frivillig adopsjon mangler momentum i fravær av politiske drivere.

Økonomiske begrensninger representerer en annen stor barriere – både når det gjelder forhåndskostnader og opplevd avkastning på investeringen. En norsk SMB forklarte: «Vi ønsker å prøve nye digitale løsninger, men det er vanskelig å rettferdiggjøre kostnadene når besparelser ikke er garantert.» For mange mindre selskaper er risikoen for å ta i bruk ukjente og komplekse teknologier uten tydelig økonomisk avkastning for høy.

Kompleksiteten **og brukervennligheten til dagens verktøy** dukket også opp som en tilbakevendende bekymring. Flere deltakere delte at tilgjengelige plattformer ikke er brukervennlige og krever teknisk ekspertise som SMB-er ofte mangler. Som en respondent i undersøkelsen sa det: "Verktøyets brukervennlighet må forbedres.



Akkurat nå krever det for mye teknisk kunnskap.» Fraværet av forenklet onboarding, intuitiv design og SMB-vennlig dokumentasjon motvirker bredere bruk.

En annen kritisk barriere er **mangelen på standardiserte dataformater og klassifiseringssystemer**, noe som gjør det vanskelig å dele, sammenligne eller matche gjenbruksmuligheter på tvers av plattformer. En deltaker fra Resirgel (Norge) uttalte: "Datakvaliteten i eksisterende plattformer er svært inkonsekvent, noe som påvirker planleggingen." Denne mangelen på tillit til digitale inventarer – enten det er på grunn av utdaterte oppføringer, manglende materialspesifikasjoner eller formatfeil – begrenser effektiviteten til DIS-verktøy.

I tillegg er mange gjenbruksarbeidsflyter fortsatt manuelle og siloerte, noe som fører til **høye koordineringskostnader**. En gjenbrukskoordinator fra Norge delte: «Logistikk er en stor barriere. Å koordinere gjenbruk på tvers av flere steder er tidkrevende uten riktig digital støtte.» Disse operasjonelle friksjonene gjør det vanskelig å skalere gjenbruksinnsatsen, spesielt når materialer må transporteres, lagres eller modifiseres før de påføres på nytt.

Til slutt fremhevet flere respondenter **fragmentering på tvers av systemer og aktører**, og bemerket at frakoblede verktøy og konkurrerende gjenbruksinitiativer ofte forvirrer snarere enn støtter brukere. Som en polsk respondent sa det: "Vi trenger ett inngangspunkt, ikke fem forskjellige gjenbruksplattformer som ikke snakker med hverandre."

Avslutningsvis, mens interessen for DIS vokser, fortsetter systemiske barrierer å hindre utbredt adopsjon – spesielt blant små og mellomstore bedrifter. Å overvinne disse utfordringene vil kreve en blanding av politisk tilpasning, økonomiske incentiver, plattformstandardisering og brukersentrert verktøyutvikling, alt forankret i de spesifikke behovene og begrensningene til mindre aktører.

10.4 RQ4: Hvilke typer opplæring eller støtte trenger deltakerne for å engasjere seg effektivt i DIS-løsninger?

Et av de tydeligste og mest konsistente funnene fra intervjuene er at effektiv opplæring og støtte er en viktig forutsetning for å engasjere små og mellomstore bedrifter og institusjoner i digital industriell symbiose (DIS). Deltakere over hele linja uttrykte et sterkt ønske om praktisk, tilgjengelig og kontekstspesifikk opplæring, skreddersydd for deres eksisterende kapasiteter og daglige arbeidsflyter.

En regelmessig forespørsel er for **grunnleggende, visuelle og trinnvise opplæringsressurser**. Disse vil hjelpe brukere – spesielt de i mindre organisasjoner – å forstå ikke bare hvordan de skal bruke digitale verktøy, men hvorfor de er viktige. Som en SMB-respondent bemerket: «Vi trenger grunnleggende opplæringsmateriell. Trinn-for-trinn, ideelt visuelt.» Denne preferansen gjenspeiler det faktum at mange brukere som bruker DIS ikke er IT-fagfolk, men teknisk personale eller ledere med begrenset digital kompetanse.

Utover brukervennlighet søker deltakerne også **opplæring som fokuserer på forretningssaker og eksempler fra den virkelige verden**, ikke bare tekniske manualer.



Flere respondenter sa at de ville være mer villige til å ta i bruk digitale løsninger hvis de kunne se hvordan andre har gjort det vellykket. En deltaker fra Italia understreket: «Det mest nyttige var å se hva en annen SMB gjorde. Praktiske eksempler utgjør hele forskjellen.» Dette peker på viktigheten av kollegalæring, case-baserte demonstrasjoner og historiefortelling i opplæringsformater.

Et annet viktig tema er **behovet for sektorspesifikk veiledning**, spesielt innen bygg og anlegg og produksjon, der materialtyper, forskrifter og arbeidsflyter varierer. En respondent fra Norge delte: "Opplæring bør tilpasses vår bransje. Akkurat nå er det for generisk og gjenspeiler ikke hvordan ting fungerer på bakken." Dette fremhever viktigheten av å kontekstualisere DIS-utdanning i reelle driftsmiljøer.

Deltakerne etterlyser også **opplæring i det bredere systemet, ikke bare verktøygrensesnitt**. Dette inkluderer å lære å tolke data, koble gjenbruksplanlegging med bygningsinformasjonsmodellering (BIM), navigere i juridiske og regulatoriske rammeverk og koordinere med flere aktører i et symbiosenettverk. Som en deltaker i undersøkelsen sa det: «Vi må forstå hele systemet – ikke bare verktøyet, men også reglene, partnerne og prosessene.»

Til slutt la intervjuobjektene vekt på rollen til **offentlige institusjoner, bransjeforeninger og forskningsorganisasjoner som muliggjørere for kunnskapsoverføring**. Kontinuerlig støtte – gjennom hjelpetelefoner, informasjonshuber, verktøysett eller regionale workshops – blir sett på som avgjørende for å bygge kapasitet, spesielt på områder der digital eller sirkulær ekspertise fortsatt dukker opp.

Oppsummert ber ikke deltakerne om flere verktøy – de ber om bedre måter å forstå og bruke disse verktøyene på meningsfulle, håndterbare måter. Effektiv DIS-opplæring må være enkel, men strategisk, tilgjengelig, men likevel ambisiøs, og alltid forankret i realitetene til brukere og sektorer i frontlinjen av sirkulær transformasjon.

10.5 Spørsmål 5: Hvordan ser deltakerne på digitale plattformers rolle i å legge til rette for sirkulært samarbeid og ressursdeling?

Deltakere på tvers av alle sektorer og land understreket konsekvent at digitale plattformer er sentrale for å muliggjøre effektiv digital industriell symbiose (DIS). Langt fra å bli sett på som valgfrie verktøy, beskrives plattformer som grunnlaget for synlighet, koordinering og samarbeid i sirkulære systemer.

Respondentene fremhevet flere kjernefunksjoner til digitale plattformer: **gjenbrukssporing, materialmatchmaking og effektovervåking**. Disse evnene blir sett på som avgjørende for å gjøre sirkulære ambisjoner til operasjonell virkelighet. Som en representant fra Sirken (Norge) forklarte: "Vi bruker plattformer med sporingsverktøy og AI for å optimalisere gjenbrukslogistikk." Ved å automatisere identifiseringen av tilgjengelige materialer og matche dem med potensielle brukere, reduserer slike plattformer transaksjonskostnadene og muliggjør raskere og smartere beslutningstaking.

Deltakerne understreket også at plattformer ikke må operere isolert. Det er et sterkt **behov for integrasjon med eksisterende planleggings- og styringssystemer**, spesielt

innen bygg og anlegg. For eksempel uttalte en respondent fra FutureBuilt (Norge): "Plattformer bør være offentlige og knyttet til planleggingssystemer som BIM." Denne integrasjonen blir sett på som avgjørende for å bygge inn gjenbrukstenkning i kjernearbeidsflyter som prosjektdesign, innkjøp og tillatelser.

En tilbakevendende bekymring blant deltakerne var **fragmenteringen av nåværende gjenbruksplattformer**. Mange bemerket at det økende antallet verktøy – ofte utviklet for spesifikke prosjekter eller regioner – fører til forvirring og ineffektivitet. En polsk SMB delte: «Vi trenger ett inngangspunkt, ikke fem forskjellige gjenbruksplattformer som ikke snakker med hverandre.» Dette understreker behovet for interoperabilitet og koordinering mellom systemer, ideelt styrt av felles standarder eller offentlig styring.

Tillit og åpenhet dukket også opp som sentrale temaer. Deltakerne understreket at for at plattformer skal fungere som økosystemer, må de tilby pålitelige data, tydelig dokumentasjon og åpen tilgang. En utvikler bemerket: "Tilgang til pålitelige gjenbruksdata er avgjørende. Uten tillit til dataene vil ingen bruke plattformen.» Andre antydte at offentlige eller halvoffentlige plattformer, støttet av myndigheter eller bransjeallianser, har større sannsynlighet for å få gjennomslag på tvers av brukergrupper.

En annen viktig innsikt er at **plattformer skal støtte økosystembygging, ikke bare transaksjoner**. En respondent fra NHO Association (Norge) kommenterte: "Økosystemet betyr noe. En plattform er bare et verktøy med mindre hele systemet støtter det.» Dette gjenspeiler synet på at plattformer må være innebygd i juridiske rammer, insentivstrukturer, brukernettsverk og institusjonelle støttesystemer for å levere reell sirkulær effekt.

Avslutningsvis ser deltakerne plattformer ikke bare som muliggjørere for digital gjenbruk, men også som strukturelle infrastrukturer for industrielt samarbeid. For å lykkes må plattformer være integrerte, interoperable, pålitelige og designet med brukerbehov og økosystemdynamikk i tankene.

10.6 RQ6: Hvilke politiske anbefalinger eller systemendringer foreslår deltakerne å fremme DIS på lokalt eller regionalt nivå?

Deltakerne ga et bredt spekter av konkrete, handlingsrettede politiske anbefalinger som tar sikte på å fjerne strukturelle barrierer og akselerere opptaket av digital industriell symbiose (DIS). Forslagene deres spenner over regulatoriske mandater, økonomiske insentiver, digital infrastruktur og styringsreformer, og gjenspeiler en dyp bevissthet om at systemendring er nødvendig for å muliggjøre DIS utover isolerte pilotprosjekter.

En sentral anbefaling er **innføring av lovpålagte krav til gjenbruk eller kvoter**, spesielt i sektorer som bygg og anlegg der gjenbrukspotensialet er høyt, men underutnyttet. Flere deltakere understreket at **frivillige tilnærminger ikke er tilstrekkelige**. Som et intervjuobjekt fra Asplan Viak (Norge) bemerket: «Gjenbruksmandatet eksisterer ikke ennå. Uten det er mange skuespillere uvillige til å delta.» Å etablere minimumsprosenter for gjenbruk i byggeforskrifter eller offentlige anbud ble sett på som en kraftig spak for å drive adopsjon.



Deltakerne ba også om **utvikling av nasjonale eller regionale logistikksystemer** som kan støtte den operasjonelle siden av DIS. Disse vil inkludere delt transport, lagring og omvendt koordinering av forsyningskjeden, spesielt for store eller bedervelige materialer. En representant fra Sirkulær Ressurssentral foreslo: «Vi trenger nasjonale systemer som kan koordinere logistikk og sikre at materialer ikke går til spille bare fordi ingen kan hente dem.» Disse systemene vil bidra til å bygge bro mellom materialtilgjengelighet og gjenbruk.

Et annet høyt prioritert område er **standardisering av digital gjenbruksdokumentasjon**, inkludert **taksonomier for materialer, metadatakrav og integrasjonsprotokoller for plattformer**. Mangelen på konsekvent klassifisering ble sett på som en stor barriere for skalering av DIS. Som en plattformutvikler forklarte: "Vi kan ikke skalere gjenbruk hvis hver aktør bruker et annet navn eller format for det samme materialet." Deltakerne oppfordret beslutningstakere til å etablere åpne datastandarder, skapt i samarbeid med industri og kommuner.

Økonomiske insentiver var en annen tilbakevendende anbefaling. Respondentene ba om tilskudd, subsidier og skattelettelser for å støtte sirkulære forretningsmodeller og digitale investeringer. Disse insentivene vil redusere den opprinnelige risikoen for SMB-er og oppmuntre til bredere deltakelse. En SMB-respondent uttalte: "Hvis vi hadde midler til verktøyadopsjon og opplæring, ville vi gått videre mye raskere."

Skattepolitikk fremsto som et overraskende, men kritisk tema. Flere respondenter påpekte at dagens skatterammer straffer gjenbruk – for eksempel ved å beskatte gjenbrukte materialer som om de var nye eller ved å bruke full merverdiavgift på sekundære komponenter. Som et intervjuobjekt forklarte: "Vi trenger skattereform for å gjøre gjenbruk økonomisk levedyktig - det kan ikke koste mer å gjenbruke enn å kjøpe nytt."

Til slutt la deltakerne vekt på rollen til **offentlige anskaffelser og offentlig ledelse**. Påbud om sirkulære og digitale krav i offentlige prosjekter vil sende et sterkt markedssignal. En representant fra NHO Association (Norge) bemerket: "Offentlige klienter bør gå foran med et godt eksempel. Hvis kommunene krever gjenbruk og DIS, vil resten av markedet følge etter."

Oppsummert etterlyste deltakerne en flerlags politisk tilnærming for å støtte DIS – som kombinerer regulatorisk klarhet, økonomiske insentiver, investeringer i digital infrastruktur og strategisk anskaffelsesreform. Disse systemendringene vil ikke bare redusere dagens barrierer, men også skape stabile markedsforhold for sirkulær innovasjon.

11 Diskusjon

Funnene fra denne tematiske analysen gir sterk empirisk støtte for og utvidelse av de teoretiske begrepene som er skissert i Desk Research Report (februar 2025). De understreker at overgangen fra lineære til sirkulære produksjonsmodeller ikke bare er en teknologisk utfordring, men grunnleggende en sosio-organisatorisk transformasjon. Digital industriell symbiose (DIS) fremstår som en nøkkeltilrettelegger i dette skiftet – og



tilbyr verktøy, plattformer og koordineringsmekanismer som gjør sirkulært samarbeid målbart, håndterbart og skalerbart.

Et gjennomgående tema på tvers av intervjuene er at DIS-plattformer fungerer som «grenseobjekten», som beskrevet i litteraturen, og bygger bro mellom ulike aktører som kommuner, SMB-er, bransjenettverk og digitale tjenesteleverandører. Disse plattformene formidler tillit, åpenhet og operasjonell tilpasning, slik at interessenter kan visualisere ressursstrømmer, koordinere gjenbruksinnsats og overvåke miljømessige og økonomiske konsekvenser. Intervjuer bekrefter imidlertid også at slike plattformer ikke kan lykkes isolert – de er avhengige av delte taksonomier, juridisk klarhet og institusjonell støtte, som et ekko av Baas og Boons' (2004) oppfatning om at vellykket industriell symbiose handler like mye om sosiale normer og styringsstrukturer som det handler om fysiske utvekslinger.

En annen innsikt som forsterkes av dataene er den trinnvise karakteren av DIS-modenhet, som foreslått i Desk Research Report. Noen aktører er fortsatt i tidlige eksperimentelle stadier – og engasjerer seg i uformell ad hoc-gjenbrukspraksis uten digital koordinering – mens andre går inn i en plattformmediert økosystemfase, der sanntidssporing, AI-matchmaking og BIM-integrasjon definerer driften deres. Denne trinnvise utviklingen antyder at DIS-implementeringsveier må være fleksible, tilpasningsdyktige og responsive for sektorielle og regionale kontekster.

Viktigere er at intervjuene avdekker vedvarende gap mellom potensial og praksis. Til tross for økende entusiasme mangler mange små og mellomstore bedrifter fortsatt digitale ferdigheter, økonomiske ressurser eller regulatoriske insentiver for å engasjere seg fullt ut i DIS. Dette gjenspeiler en todelt asymmetri: en mellom det teknologiske potensialet til DIS og faktisk institusjonell kapasitet, og en annen mellom tidlige brukere og sektorer eller regioner som henger etter. Disse hullene er ikke bare tekniske, men strukturelt innebygd i dagens politikk, økonomi og opplæringssystemer.

Et av de mest slående funnene er fraværet av konsistente verdsettelsesmekanismer for gjenbrukte materialer, en utfordring som også understrekes i Desk Research Report. Uten klare standarder for hvordan gjenbrukte materialer prises, vurderes og sertifiseres – spesielt i forhold til nye materialer – er de økonomiske argumentene for gjenbruk fortsatt skjøre. Dette motvirker investeringer og gjør sirkulær praksis sårbar for svingninger i markedsforholdene.

Videre utvider empirien ideen om plattformer som infrastruktur, et punkt som kort diskuteres i den teoretiske litteraturen. Deltakerne foreslår at DIS-plattformer ikke bør sees på og styres som private verktøy, men som offentlige eller halvoffentlige digitale infrastrukturer, i likhet med veier, energinett eller miljøovervåkingssystemer. Denne rekonsptualiseringen vil ha store implikasjoner for plattformdesign, finansieringsmodeller, tilgangsregler og styringsrammer.

Til slutt introduserer intervjuene en nyansert forståelse av agens og motivasjon i DIS-adopsjon. Mens noen organisasjoner er drevet av samsvar eller økonomisk logikk, er andre motivert av etiske, miljømessige eller omdømmemessige hensyn. Dette bekrefter at DIS-engasjement er multimotivert og kulturelt forankret, noe som krever kommunikasjonsstrategier som snakker om mer enn bare økonomisk verdi.



I sum illustrerer denne diskusjonen at selv om digital industriell symbiose har et enormt transformativt potensial, avhenger det å innse at potensialet avhenger av integrerte strategier på tvers av tekniske, regulatoriske, institusjonelle og kulturelle dimensjoner. Innsikten her gir et sterkt empirisk grunnlag for å forme slike strategier.

12 Konklusjoner, begrensninger og fremtidig forskning

Digital industriell symbiose gir betydelige fordeler når det gjelder effektivitet, innovasjon og miljøytelse. Imidlertid er adopsjonen fortsatt ujevn. Systemiske barrierer som regulatorisk usikkerhet, begrenset interoperabilitet og digital kompetanse må adresseres. For å realisere DIS-potensialet fullt ut, kreves det koordinert innsats mellom offentlige myndigheter, private firmaer og teknologileverandører.

Denne studien er basert på et ikke-tilfeldig utvalg på 16 intervjuer og fanger kanskje ikke fullt ut opp alle regionale eller sektorielle variasjoner. Språkmangfold og manuell koding kan også introdusere tolkningskjevheter. Til tross for disse begrensningene gir funnene et sterkt empirisk grunnlag for fremtidig handling.

Fremtidig forskning bør fokusere på å teste DIS-plattformer i virkelige pilotmiljøer, evaluere økonomiske konsekvenser av gjenbruksmandater og utforske menneskesenterte designtilnærminger for digitale verktøy. I tillegg er det nødvendig med longitudinelle studier for å vurdere langsiktige endringer i industrielle samarbeidsmønstre muliggjort av DIS.

13 Referanser

Baas, L. W., & Boons, F. A. (2004). The introduction and diffusion of industrial symbiosis: an explorative study. *Ecological Economics*, 49(1), 1–13.

Chertow, M. R. (2007). Uncovering industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 11(1), 11–30.

Paquin, R. L., & Howard-Grenville, J. (2012). The evolution of facilitated industrial symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, 16(1), 83–93.

Digital Industrial Symbiosis: Literature Review. (2025). Desk Research Report. Prepared for Erasmus+ Project (Version: 16.2.2025).



DEL IV: CASESTUDIER – EKSEMPLER PÅ INDUSTRIELL SYMBIOSE I PRAKSIS

Fra fiskegarn til mote – Hvordan AquafilSLO implementerer sirkulær økonomi

Sammendrag:

AquafilSLO, en del av Aquafil Group, spesialiserer seg på innsamling og forbehandling av nylonavfall, som regenereres til høykvalitets ECONYL-garn®. Gjennom innovativ teknologi og strategiske globale partnerskap har selskapet skapt en modell for sirkulær økonomi som forvandler avfall til verdifulle produkter.

Kontekst og utfordring:

Nylonavfall, inkludert fiskegarn og tepper, bidrar betydelig til global forurensning. AquafilSLO hadde som mål å redusere denne påvirkningen ved å gjøre avfall til en ressurs, og lukke sløyfen i syntetisk fiberindustri.

Løsning – AquafilSLOs tilnærming:

Innsamling av avfall:

AquafilSLOs anlegg i Ajdovščina, Slovenia, samler inn nylonavfall fra hele verden.

Kilder inkluderer:

Forlatte fiskegarn fra frivillige organisasjoner og kystsamfunn (f.eks. sunne hav),

Teppeavfall fra produsenter (f.eks.

Industrielle rester fra produksjonsprosesser.

Forbehandling:

Avfall blir mekanisk renset og sortert i Slovenia for å forberede det for kjemisk regenerering.

Regenerering:

Avfall sendes til Aquafil-anlegg i Italia hvor det omdannes til ECONYL® – 100 % regenerert nylon som brukes i mote, sportsklær og interiør.



Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Opptil 90 % reduksjon i CO ₂ -utslipp sammenlignet med ny nylon
Økonomisk	Verdiskaping fra avfall, globale merkevarepartnerskap
Sosial	Samarbeid med lokalsamfunn og frivillige organisasjoner

Viktige læringspunkter:

Teknologisk innovasjon og samarbeid er nøkkelen til sirkulære systemer.
Avfall blir et verdifullt innspill når det tilnærmes strategisk.
Sirkulære forretningsmodeller kan drive både bærekraft og lønnsomhet.

Diskusjonsspørsmål:

Hva er de kritiske suksessfaktorene til AquafilSLOs modell?
Hvordan fremmer eksternt samarbeid bærekraft?
Kan denne modellen replikeres i andre bransjer?

Ressurser:

AquafilSLO: <https://www.aquafil.com/locations/aquafil-slo-ajdovscina/>

Sunt hav: <https://www.healthyseas.org/>

SYMBI Interreg-prosjekt: [https://projects2014-](https://projects2014-2020.interreg-europe.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1583136065.pdf)

[2020.interreg-europe.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1583136065.pdf](https://projects2014-2020.interreg-europe.eu/fileadmin/user_upload/tx_tevprojects/library/file_1583136065.pdf)

14 Fra flasker til stoler – Donars bærekraftige designstrategi

Sammendrag:

Den slovenske møbelprodusenten Donar forvandler resirkulert PET- og polyesterfilt til prisbelønte møbler. Ved å samarbeide med resirkuleringsselskaper integrerer Donar industriell symbiose i sin produksjonsmodell og omdirigerer over 15 tonn råvarer årlig.

Kontekst og utfordring:

Møbelindustrien er sterkt avhengig av jomfruelige ressurser som tre og plast. Donar så en mulighet til å redesigne forsyningskjeden ved å bruke lokalt tilgjengelige resirkulerte materialer og fokusere på sirkulær produktdesign.

Løsning – Donars sirkulære praksis:

Materiell bruk:

Bruker resirkulerte PET-flasker og PES-filt som primære råvarer.

Reduserer behovet for jomfruelige materialer med 15 tonn per år.

Produkt innovasjon:



Bemerkelsesverdige produkter inkluderer:

NicoLess – en minimalistisk limfri stol.

ChatLoop – en konferansestol laget utelukkende av resirkulerbare materialer.

Industriell symbiose:

Samarbeider med lokale gjenvinningsfirmaer for å sikre jevn materialforsyning.

Styrker lokale sirkulære verdikjeder.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Redusert råvarebruk og gjenbruk av plastavfall
Økonomisk	Kostnadsbesparelser og unik markedsposisjonering
Sosial	Bevisstgjøring gjennom design og lokalt samarbeid

Viktige læringspunkter:

Industriell symbiose skaper økonomiske og miljømessige verdier.

Design for sirkularitet går utover materialer – det inkluderer produktets livssyklus.

Bærekraft kan integreres med estetikk og innovasjon.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan bidrar industriell symbiose til produksjonsstabilitet?

Kan denne tilnærmingen tilpasses andre sektorer?

Hvilken rolle spiller design for å fremme sirkulær økonomi?

Ressurser:

Donere: <https://www.donar.si>

NicoLess: <https://donar.si/nicoless/>

ChatLoop: <https://donar.si/chatloop/>

15 Fra invasivt ugress til notatbøker – Ljubljanas sirkulære innovasjon

Sammendrag:

Byen Ljubljana gjenbraker japansk knotweed, en invasiv plante, til papirprodukter gjennom et innovativt partnerskap med lokale institusjoner. Dette initiativet adresserer miljøutfordringer samtidig som det produserer bærekraftige alternativer til tradisjonelt papir.

Kontekst og utfordring:

Japansk knotweed er en av Europas mest aggressive invasive planter, og skader infrastruktur og biologisk mangfold. Ljubljana hadde som mål å håndtere dette avfallet samtidig som det fremmer bærekraftig materialbruk.

Løsning – sirkulær behandling av knotweed:

Innhøsting og bearbeiding:



Knotweed høstes under byvedlikeholdsoperasjoner.
Planten tørkes, strimles og klargjøres for masseproduksjon.

Partnerskap:

Pulp and Paper Institute utviklet en metode for å gjøre knotweedfibre til brukbar papirmasse.

Samarbeid med lokale produsenter resulterer i ferdige produkter.

Produkter:

Resirkulert papir brukes til notatbøker, invitasjoner, reklamemateriell osv.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Kontroll av invasive arter og gjenbruk av biomasse
Økonomisk	Nye produktlinjer og støtte til lokale grønne bedrifter
Sosial	Offentlig utdanning og kommunal innovasjon

Viktige læringspunkter:

Lokale utfordringer kan inspirere til sirkulære innovasjoner.

Offentlige institusjoner kan lede bærekraftig endring gjennom partnerskap.

Naturlige avfallsstrømmer kan omdannes til produkter av høy verdi.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan denne modellen brukes på andre biologiske avfallsstrømmer?

Hva er byenes rolle i å fremme sirkulær økonomi?

Kan invasive arter bli verdifulle ressurser?

Ressurser:

Europeisk interessentplattform for sirkulær økonomi (2024)

Institutt for tremasse og papir: <https://www.icp-lj.si>

Byen Ljubljana: <https://www.ljubljana.si>

16 Transformere avfall til energi: Balticovos sirkulære tilnærming til håndtering av fjørfegjødsel i Latvia

Sammendrag:

Balticovo, Latvias ledende eggprodusent og en av de største i Nord-Europa, har implementert innovativ sirkulær økonomipraksis ved å konvertere fjørfegjødsel til fornybar energi. Gjennom avansert teknologi og strategisk samarbeid har selskapet utviklet en modell for intern industriell symbiose som reduserer miljøpåvirkningen, øker driftseffektiviteten og støtter nasjonal energiavhengighet. Denne casestudien utforsker Balticovos sirkulære strategi, utfordringer som står overfor, løsninger utviklet og oppnådde resultater.

Kontekst og utfordring:



Med over 3 millioner verpehøner og produksjon av omtrent 700 millioner egg årlig, genererer Balticovo over 70 000 tonn fjørfegjødsel hvert år. Håndtering av slikt avfall bød på store utfordringer:

Avfallshåndtering: Håndtering og avhending av store mengder gjødsel på en miljømessig forsvarlig måte.

Miljøpåvirkning: Redusere klimagassutslipp og utvasking av næringsstoffer knyttet til ubehandlet gjødsel.

Energieterspørsel: Søker renere, fornybare alternativer til fossilt brensel for å møte operasjonelle energibehov.

Disse utfordringene fikk Balticovo til å satse på en sirkulær løsning som ville konvertere avfall til verdi.

Løsning – Balticovos tilnærming:

Biogass og biometanproduksjon:

Balticovo etablerte en banebrytende prosess for å omdanne fjørfegjødsel til biogass og deretter raffinere den til biometan. Systemet innebærer:

Eggenergianlegg: Hvor rå gjødsel fermenteres for å generere biogass.

Bovo Gas Facility (Iecava): Der biogassen oppgraderes til biometan – et fornybart alternativ til naturgass.

Teknologisk innovasjon:

Gjødsel fra verpehøner har et høyt kalsiuminnhold, noe som typisk hindrer biogassproduksjonen. Balticovo, i samarbeid med eksperter, overvant denne begrensningen ved å designe et skreddersydd gjæringssystem som var i stand til å håndtere fjørfegjødsel effektivt.

Industriell symbiose:

Gjødselen, som tidligere var et biprodukt, driver nå fornybar energiproduksjon, og skaper et lukket sløyfesystem mellom Balticovos gårder og biogassanlegget.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Betydelig reduksjon i CO ₂ - og metanutslipp. Redusert miljørisiko fra avrenning av næringsstoffer. Erstatning av fossilt brensel med fornybar energi.
Energiuavhengighet	Bidrar til Latvias mål for fornybar energi. Gjør det mulig for Balticovo å bruke egengenerert, grønn energi i driften.
Operasjonell effektivitet	Reduserte kostnader for avfallshåndtering. Lavere energikostnader på lang sikt.
Omdømme og marked	Posisjonerte Balticovo som en bærekraftsleder i landbruksmatsektoren. Styrket merkevareimage hos miljøbevisste forbrukere.

Viktige læringspunkter:

Avfall kan bli en ressurs – Balticovos modell viser at selv utfordrende avfallsstrømmer kan være verdifulle innsatsfaktorer i en sirkulær økonomi.



Innovasjon overvinner barrierer – Tekniske utfordringer, som gjødselsammensetning, kan løses gjennom målrettet FoU og partnerskap.

Industriell symbiose driver effektivitet – Å tilpasse produksjonsresultater (avfall) til fornybare energisystemer skaper økonomisk og miljømessig synergi.

Bærekraft forbedrer markedsposisjonen – Sirkulær praksis reduserer ikke bare miljøavtrykket, men øker også merkevareverdien.

Diskusjonsspørsmål:

Hva er de potensielle risikoene og fordelene ved å stole på gjødselbasert biogass for storskala operasjoner?

Hvordan kan denne modellen tilpasses mindre gårder eller andre typer landbruksavfall?

Hvilken rolle spiller myndigheter og subsidier for å gjøre slike systemer levedyktige?

Hvordan kan industriell symbiose utvide seg utover energi til å inkludere vann, varme eller næringsgjenvinning?

Ressurser:

Balticovo nettsted: <https://balticovo.lv/lv>

Balticovos biometanprosjekt (mediedekning):
<https://balticovo.lv/lv/jaunumi/balticovo-atklaj-latvija-pirmo-biometana-uzpildes-staciju>

EUs bioøkonomirapport (for kontekst): <https://ec.europa.eu>

17 Gjør tekstilavfall og resirkulert papir om til miljøvennlige byggematerialer

Sammendrag:

Balticfloc, en latvisk produsent, forvandler resirkulert papir og tekstilavfall til høytytende termiske og akustiske isolasjonsmaterialer. Balticfloc tilbyr miljøvennlige alternativer for bygg- og bilsektoren ved å gjenbruke sekundære råvarer som ellers ville blitt kastet. Denne casestudien utforsker selskapets tilnærming til sirkulær økonomi, dets innovasjoner innen materialbehandling, utfordringene som står overfor og de resulterende økonomiske og miljømessige konsekvensene.

Kontekst og utfordring:

Den globale byggebransjen bidrar betydelig til ressursforbruk og avfall. Tradisjonelle isolasjonsmaterialer er ofte avhengige av energikrevende prosesser og jomfruelige materialer. Balticfloc hadde som mål å:

Reduser avhengigheten av ikke-fornybare ressurser.

Unngå at tekstil- og papiravfall havner på søppelfyllinger.

Tilby kostnadseffektive og bærekraftige isolasjonsløsninger.

Overhold økende etterspørsel etter miljøsertifiserte materialer på tvers av EU-markeder.



Løsning – Balticflocs tilnærming:

Bruk av resirkulert materiale:

Balticfloc henter sine råvarer fra tekstil- og papiravfallsstrømmer. Celluloseisolasjon produseres fra avisen, mens tekstilpaneler bruker gjenbrukte fibre.

Miljøvennlig produksjon:

Produksjonen unngår kjemiske tilsetningsstoffer og bruker mekaniske lavenergiprosesser for å omdanne råvarer til sikre isolasjons- og fiberprodukter av høy kvalitet.

Produkt applikasjoner:

Balticflocs produkter brukes i bærekraftig konstruksjon for termisk og akustisk isolasjon, samt i lydisolering og geotekstilprosjekter for biler.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Betydelig reduksjon i deponiavfall ved gjenbruk av papir og tekstiler. Lavere karbonavtrykk sammenlignet med konvensjonelle isolasjonsmaterialer.
Innovasjon	Demonstrert teknisk gjennomførbarhet for å gjøre sekundære råvarer til høytytelses konstruksjonsinnsats.
Markedets rekkevidde	Leverer miljøsertifiserte produkter på tvers av det baltiske og europeiske byggemarkedet.
Ressurseffektivitet	Produksjonsprosess med lukket sløyfe ved bruk av ikke-jomfruelige, biologisk nedbrytbare innganger.
Merkevare og samsvar	Forbedret grønn legitimasjon og tilpasning til EUs mål for sirkulær økonomi.

Viktige læringspunkter:

Avfall som en ressurs – Balticfloc beviser at materialer etter forbruk kan levere ytelse av industriell kvalitet.

Grønne materialer møter markedets etterspørsel – Miljøbevisste byggefirmaer søker aktivt isolasjonsløsninger med lav påvirkning.

Enkel, skalerbar produksjon – Lavteknologiske prosesser med lavt energiinnhold kan støtte sirkulære innovasjoner av høy verdi.

Tilpasning til EUs retningslinjer – Overholdelse av EUs grønne standarder styrker markedsmulighetene og tilgangen til finansiering.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan beslutningstakere støtte bedrifter som konverterer tekstilavfall til byggevarer?

Hva er begrensningene for cellulose- og tekstilisolasjon sammenlignet med mineralull eller skumalternativer?

Hvordan kan mindre bedrifter komme inn på markedet for sirkulære byggeprodukter?

På hvilke måter kan arkitekter og byggherrer oppmuntres til å velge resirkulerte materialløsninger?



Ressurser:

Balticfloc nettsted: <https://www.balticfloc.lv/>

Informasjon om celluloseisolasjon: <https://www.balticfloc.lv/produkts/celulozes-siltumizolacija/>

18 Skape verdi fra rester: Agrofirma Tērvetes lukkede biogass- og oppdrettssystem

Sammendrag:

Agrofirma Tērvete, et av Latvias mest diversifiserte landbruksselskaper, demonstrerer vellykket industriell symbiose ved å integrere husdyrhold, avlingsdyrking og biogassenergiproduksjon. Ved å lukke nærings- og energisløyfer forvandler selskapet gjødsel og landbruksrester til fornybar energi og organisk gjødsel, og fremmer en sirkulær modell som gagnar både miljøet og driftseffektiviteten. Denne casestudien utforsker Agrofirma Tērvetes symbiotiske systemer, deres implementering og deres bredere innvirkninger.

Kontekst og utfordring:

Agrofirma Tērvete opererer i flere sektorer, inkludert melkeproduksjon, avlingsproduksjon og drikkevareproduksjon. Den omfattende landbruksaktiviteten genererer betydelige mengder gjødsel og biomasserester, noe som utgjør både logistiske og miljømessige utfordringer:

Avfallsutnyttelse: Finne bærekraftige metoder for å håndtere og verdsette gjødsel og avlingsrester.

Fornybare energibehov: Redusere avhengigheten av fossilt brensel og forbedre energiselforsyningen.

Resirkulering av næringsstoffer: Forbedre jordens fruktbarhet uten syntetisk gjødsel.-

Miljøsamsvar: Tilpasse driften til EUs grønne forskrifter og klimamål.

Løsning – Agrofirma Tērvetes tilnærming:

Produksjon av biogass:

Agrofirma Tērvete samler gjødsel og biomasse fra meierivirksomheten og åkrene sine for å mate inn i et biogassanlegg. Denne anaerobe fordøyelsesprosessen produserer biogass for elektrisitet og varme.

Energiintegrasjon:

Energien som genereres fra biogass brukes til å drive gårdens drift og fjernvarmesystemer, noe som reduserer avhengigheten av fossile energikilder.

Bruk av biorest:

Biproduktet av biogassprosessen – biorest – påføres tilbake på åkrene som organisk gjødsel, lukker næringsløyfen og forbedrer jordhelsen.

Systemisk sirkularitet:



Denne industrielle symbiosemodellen reduserer ikke bare utslipp og innsatskostnader, men øker også ressurseffektiviteten og lokal bærekraft.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Lavere klimagassutslipp gjennom biogassutnyttelse. Betydelig reduksjon i bruken av syntetisk gjødsel. Forbedret jordstruktur og biologisk mangfold.
Energisikkerhet	Selvforsyning med elektrisitet og termisk energi til gårdsdrift. Bidrar til lokal fjernvarme.
Operasjonell effektivitet	Reduserte kostnader for innsats og avfallshåndtering. Økt produktivitet gjennom ressursbruk i lukket sløyfe.
Overholdelse av regelverk	Oppfyller EUs miljøstandarder og drar nytte av incentiver for fornybar energi.
Samfunnsengasjement	Støtter lokale energisystemer og fungerer som en modell for bærekraftig bygdeutvikling.

Viktige læringspunkter:

Sirkulært landbruk øker motstandskraften – Integrerte biogasssystemer kan stabilisere gårdsøkonomien og redusere miljøbelastningen.

Næringssløyer forbedrer jordsmonnet og reduserer kjemikalier – Organisk biorest erstatter syntetisk gjødsel og lukker materialsykluser.

Symbiotiske systemer er skalerbare – Tervete-modellen kan tilpasses gårder av forskjellige størrelser med passende investeringer.

Energi-ressurs-synergi driver innovasjon – Å koble sammen energi-, avfalls- og matsystemer gir bærekraftige resultater med stor innvirkning.

Diskusjonsspørsmål:

Hvilke barrierer finnes for at flere gårder skal ta i bruk biogassbaserte sirkulære systemer?

Hvordan kan offentlig politikk og finansiering akselerere landbruksindustrielle symbiosemodeller?

Hvilken rolle spiller lokalsamfunn i å støtte delte ressurssystemer?

Hvordan kan landbruksbedrifter bedre kommunisere fordelene med sirkulær drift til interessenter?

Ressurser:

Agrofirma Tervete nettsted: <https://tervete.lv/>

Symbioseprofil (Synergy): <https://sinergia.lv/esosa-simbioze/agrofirma-tervete/>

19 Å gjøre avfall til vekst: Getliņi EKO's sirkulære modell for drivhusdyrking

Sammendrag:



Getliņi EKO, det største kommunale deponiet for fast avfall i Baltikum, har blitt et flaggskipseksempel på intern industriell symbiose ved å bruke deponigass til å drive moderne drivhusdrift. Denne innovative sirkulære økonomimodellen reduserer miljøpåvirkningen knyttet til avfallshåndtering og støtter grønnsaksdyrking året rundt ved hjelp av fornybar energi.

Kontekst og utfordring:

Som et voksende deponi som håndterer tusenvis av tonn kommunalt avfall årlig, sto Getliņi EKO overfor den doble utfordringen med å redusere klimagassutslipp og generere verdi fra avfallsbiprodukter. Sentrale utfordringer inkluderte:

Deponiutslipp: Håndtering av metanutslipp, en potent klimagass som frigjøres under nedbrytning av avfall.

Energigjenvinning: Konvertering av deponigass til en levedyktig fornybar energikilde.

Matbærekraft: Adressere Latvias etterspørsel etter lokalt dyrkede helårsprodukter samtidig som energiforbruket minimeres.

Løsning – Getliņi EKO's tilnærming:

Deponigassinnsamling og energiproduksjon:

Getliņi EKO fanger metanrik gass fra deponiet og bruker den i kraftvarmeeenheter for å produsere varme og elektrisitet. Denne energien blir deretter omdirigert til å drive avanserte drivhus ved siden av deponiet.

Energieffektivt drivhusoppdrett:

Drivhusene dyrker tomater og agurker hele året, muliggjort av kontrollerte miljøer drevet av energien som gjenvinnes fra deponigass. Dette representerer et lukket sløyfesystem der avfallsnedbrytning støtter matproduksjonen.

Sirkulær integrasjon:

Getliņis modell kobler avfallshåndtering, energiproduksjon og landbruk til ett synergistisk system – og demonstrerer praktiske sirkulærøkonomiske prinsipper i stor skala.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Betydelig reduksjon av metanutslipp gjennom fangst og gjenbruk. Utnyttelse av fornybar energi reduserer avhengigheten av fossilt brensel.
Energigjenvinning	Kontinuerlig energiproduksjon fra deponigass muliggjør selvforsynt oppvarming og elektrisitet til drivhus.
Matsikkerhet	Lokal, bærekraftig grønnsaksproduksjon reduserer avhengigheten av import. Høsting året rundt støtter regional matforsyning.
Operativ synergi	Integrering av avfallshåndtering og landbruk øker effektiviteten og bærekraften.



**Offentlig
oppfatning**

Getlini er anerkjent som ledende innen sirkulær praksis, og styrker sin offentlige og institusjonelle troverdighet.

Viktige læringspunkter:

Avfall-til-energi er en levedyktig landbruksinnsats – Fornybar energi fra deponigass kan drive intensiv landbruksdrift.

Integrerte systemer maksimerer verdien – Å kombinere avfallshåndtering, energi og matsystemer viser høyt sirkularitetspotensial.

Grønn innovasjon styrker merkevaren – Implementering av synlig, bærekraftig praksis forbedrer offentlig og politisk støtte.

Sirkulær økonomi reduserer utslipp og kostnader – Effektiv ressursbruk gagner både miljøet og driftsbudsjettene.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan andre deponier gjenskape Getlinis avfalls-til-drivhus-modell?

Hva er begrensningene for deponigass som fornybar energikilde?

Hvordan bidrar lokal matproduksjon til nasjonale bærekraftsmål?

Kan lignende energiintegrasjonsmodeller brukes på urbant landbruk eller vertikalt landbruk?

Ressurser:

Getlini EKO nettsted: <https://www.getlini.lv/>

Informasjon om drivhus: <https://www.getlini.lv/par-mums/siltumnicas/>

20Å gjøre avløpsvann til rikdom: Den sirkulære modellen av det toskanske solariumsdistriktet

Sammendrag:

I Santa Croce sull'Arno (Toscana) samarbeider over 250 garverier i et regionalt sirkulært økonomisystem som forvandler avløpsvann og solingsavfall til verdifulle ressurser. Gjennom delt renseinfrastruktur, digital overvåking og valorisering av slam demonstrerer distriktet en høytytende modell for industriell symbiose.

Kontekst og utfordring:

Det toskanske skinn-distriktet sto overfor høyt miljøpress på grunn av intensiv vann- og kjemikaliebruk. Tradisjonelle deponeringsmetoder var ikke bærekraftige, og EUs regelverk krevde sirkulær overgang.

Løsning – Symbiose-tilnærmingen:

Gjenbruk av vann:

Aquarno-konsortiet behandler avløpsvann og gjenbruker 95 % av det i garveprosesser.

Vurdering av slam:

Slam fra behandling omdannes til gjødsel og materialer for konstruksjon.



Digital overvåking:

SCADA-systemer overvåker strømminger, miljøparametere og kvalitet i sanntid.

Blockchain-pilot:

Digital sporbarhet av bærekraftig skinn gjennom blokkjedepiloter administrert av Leather Tech Pole.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Massive vannbesparelser; avfallsreduksjon og redusert forurensning.
Økonomisk	Delt infrastruktur senker driftskostnadene for små og mellomstore bedrifter.
Innovasjon	Nye biomaterialer og digitale systemer utviklet i Polo Tecnologico Conciario.
Omdømme	Anerkjennelse som en europeisk modell for forsyningskjeder for grønt skinn.

Viktige læringspunkter:

Kollektiv infrastruktur reduserer den enkeltes miljøbelastning.

Digitale systemer sikrer samsvar og optimaliserer ressursbruken.

Bærekraftig skinn øker verdien i globale markeder.

Politiske insentiver legger til rette for sirkulære overganger i tradisjonelle næringer.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan eldre bransjer gå over til sirkularitet uten å miste konkurranseevne?

Hvilken rolle spiller konsortier og innovasjonsknutepunkter i industriell symbiose?

Hvordan skalere blokkjedesporbarhet på tvers av fragmenterte sektorer som mote?

Ressurser:

ENEA – Atlas over industriell symbiose: <https://www.enea.it/it>

Aquarno-konsortiet: <https://www.aquarno.it/>

Senter for solingsteknologi: <https://www.polotecnologico.it/>

21 Gjenoppfinne avfall som ressurs: Symbiose-knutepunktet i Manfredonia

Sammendrag:

I Manfredonia (Puglia) transformerer et fremvoksende økosystem for industriell symbiose den lokale økonomien gjennom en sirkulær bruk av vann, energi og organiske rester. Initiativet involverer agroindustrielle firmaer, et bioraffineri og lokale verktøy som utveksler biprodukter og verktøy for å optimalisere ressursbruken, kutte



utslipp og fremme innovasjon. Denne casestudien utforsker hvordan tverrsektorielt samarbeid førte til etableringen av en sirkulær klynge som revitaliserer et tradisjonelt skjørt industriområde.

Kontekst og utfordring:

Manfredonia er hjemsted for et blandet industriområde som historisk sett er påvirket av miljømessige og økonomiske skjørheter. De viktigste utfordringene inkluderer: Høyt ressursforbruk (vann, gass, elektrisitet) i landbruksmat og kjemisk industri. Kostbar avfallshåndtering og mangel på resirkuleringsinfrastruktur. Frakobling mellom interessenter begrenser kunnskapsutveksling og samarbeid. Behov for å tilpasse seg regionale planer for sirkulær økonomi og EUs grønne giv.

Løsning – Symbiose-tilnærmingen:

Gjenvinning av spillvarme og vann:

Et tidligere petrokjemisk anlegg i ENI blir omgjort til å huse et bioraffineri og et matforedlingsanlegg. Spillvarme og rensset vann fra raffineringsprosessen gjenbrukes i tilstøtende landbruksmatfabrikker, for eksempel de som behandler pasta og tomater.

Utteksling av organiske biprodukter:

Tomatskall, hveteskall og annen biomasse fra matproduksjon sendes til bioraffineriet for å generere bioetanol og biogass. Bioest fra denne prosessen blir omgjort til biogjødsel for lokale gårder.

Felles energisystem:

Installasjon av solceller og smarte målere knytter ulike selskaper sammen i et felles lokalt energisamfunn (LEC). Prediktive verktøy drevet av kunstig intelligens hjelper deg med å overvåke etterspørselstopper og automatisere lastbalansering.

Digital koordinering:

Et symbiose digitalt dashboard kartlegger ressurser og foreslår nye synergier i sanntid. Blockchain brukes for sporbarhet av ressursstrømmer.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	CO ₂ -utslippene reduseres med 25 %; mindre bruk av deponier; Lukkede næringssykluser
Økonomisk	18 % energikostnadsbesparelser; Nye sirkulære virksomheter dukket opp
Sosial	Opprettelse av 25 nye grønne jobber; ungdomsopplæring om IS og grønn kompetanse



Overholdelse av regelverk	Full tilpasning til Italias strategi for sirkulær økonomi (2022)
Teknologisk	Testing av blokkjedeaktivert ressursmatching og AI i sirkulære flyter

Viktige læringspunkter:

Lokalt samarbeid låser opp skjult verdi – Å bygge tillit mellom bedrifter er det første skrittet mot å utveksle ressurser.

Digitale plattformer forbedrer synligheten – Kartleggingsverktøy muliggjør sanntidsidentifisering av potensielle symbiotiske koblinger.

Politisk støtte er avgjørende – Regionale insentiver og EU-midler la til rette for infrastrukturinvesteringer.

Fleksibilitet er nøkkelen til skalerbarhet – Modellen tilpasses for bruk i andre områder av Apulia og Campania.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan digitale verktøy akselerere industriell symbiose i rurale eller perifere regioner?

Hvilke styringsmodeller støtter best sektorovergripende industriklynger?

Hvordan replikere Manfredonia-modellen i regioner med lav industriell tetthet?

Ressurser:

ENEA – Atlas over industriell symbiose: <https://www.enea.it/it>

BIONET-prosjektet – Nasjonal teknologiklynge for grønn kjemi

Puglia-regionen – Plan for sirkulær økonomi 2022

22 Papir uten avfall: Sirkulære sløyfer i Lucca Paper District

Sammendrag:

Lucca-papirdistriktet, et av Europas største, implementerte en industriell symbiosestrategi mellom tremassefabrikker, resirkuleringsanlegg og energiselskaper. Ved å utveksle varme, avfall og sekundære materialer har distriktet blitt en sirkulær målestokk for papirindustrien.

Kontekst og utfordring:

Papirproduksjon genererer store mengder slam og energibehov. I Lucca fikk tradisjonelle avhendings- og energikostnader bedrifter til å utvikle felles systemer for sirkularitet.

Løsning – Symbiose-tilnærmingen:

Gjenvinning av slam:

Over 90 % av papirslammet blir bearbeidet til fast gjenvunnet brensel (CSS) eller kompost.



Deling av energi:

Varme og kraft produsert fra avfallsforbrenning deles mellom papirfabrikkene.

Digital koordinering:

Lucense utviklet et ressurskartleggingssystem og digital overvåkingsplattform.

Sirkulær trening:

Cartesio Network trener ansatte og gründere i symbiosestrategier.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Stor reduksjon av deponier og lavere karbonavtrykk.
Økonomisk	Reduserte energikostnader og valorisering av biprodukter.
Sosial	Kompetanseheving av arbeidsstyrken og nye jobber innen miljøtjenester.
Replikerbarhet	Modell brukt på andre papirdistrikter i Italia og Europa.

Viktige læringspunkter:

Sektoromfattende samarbeid maksimerer materialeffektiviteten.

Digital overvåking styrker industriell motstandskraft.

Nettverk for kunnskapsdeling forsterker innovasjon.

Sirkularitet tiltrekker seg nye investeringer og forbedrer omdømmet.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan tradisjonell produksjon dra nytte av industriell symbiose?

Hva er barrierene for energideling mellom selskaper?

Hvordan integrere sirkulær praksis i verdikjedestyring?

Ressurser:

Descartes-nettverket: <https://www.retecartesio.it/>

Lugo: <https://www.lucense.it/>

Toscana-regionen – sirkulær økonomi: <https://www.regione.toscana.it/>

23 Forankret i naturen: Hvordan Sylveco dyrker sirkulær økonomi i polsk hudpleie

Sammendrag:

Sylveco, et polsk naturkosmetikkmerke, har integrert sirkulære økonomiprinsipper i sin forretningsmodell – fra innkjøp til emballasje til forbrukeropplæring. Denne saken utforsker hvordan Sylveco minimerte sløsing, styrket lokale økonomier og bygde kundetillit, og gir et kraftig eksempel på hvordan sirkularitet kan være en kjernevekststrategi i et konkurranseutsatt marked.



Kontekst og utfordring:

Sylveco ble grunnlagt i 2006 og gikk inn i et marked som i økende grad er opptatt av miljøspørsmål, ingrediensåpenhet og etisk innkjøp. Utfordringen? Å konkurrere med globale kosmetikkjigantene samtidig som vi er tro mot økologiske verdier – og uten at det går på bekostning av kvalitet, rimelighet eller vekst. På den tiden var mange "naturlige" merker grønnvasking. Sylveco så en mulighet: Vær virkelig bærekraftig. Ikke bare i produkt, men i prosess.

De sto overfor viktige spørsmål:

Hvordan skaffe ingredienser på en bærekraftig måte i Polen?

Hvordan minimere plastbruk samtidig som den forblir hyllestabil og trygg?

Hvordan skalere uten å bli ekstraherende?

Løsning – Sylvecos tilnærming:

Sylveco tok en sirkulær økonomitilnærming, med fokus på lokalitet, lang levetid og sløyfelukking:

Innkjøp:

Ingredienser som bjørkebark, ringblomst og kamille er lokalt dyrket, noe som reduserer transportutslipp.

Partnerskap med polske bønder skapte sporbare forsyningskjeder med lav innvirkning.

Produksjon:

Vanneffektiv produksjon og produksjonslinjer med lite avfall.

Bruk av biologisk nedbrytbare eller gjenbrukbare materialer når det er mulig.

Emballasje:

Fokuser på resirkulerbare materialer og forenklet merking for å oppmuntre til riktig sortering.

Skift mot glass og biologisk nedbrytbare rør i førsteklasses linjer.

Samarbeid med nullavfallsbutikker for påfyll og retur av pakker.

Forbrukerengasjement:

Gjennomsiktig merking og ingrediensopplæring.

Fellesskapsverksteder om DIY naturlig hudpleie og bærekraftig livsstil.

Lojalitetsprogrammer som belønner miljøvennlige handlinger.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Drastisk reduksjon i emballasjeavfall per produktenhet.



	Lavere karbonavtrykk takket være lokale innkjøp og korte forsyningskjeder.
Markedssuksess	Utvidet til flere undermerker (f.eks. Biolaven, Vianek, Aloesove) samtidig som kjerneverdiene opprettholdes. Lojal miljøbevisst kundebase. Tilstedeværelse på over 1000 utsalgssteder i Polen og over hele Europa.
Sosial	Jobbskaping i landlige områder gjennom partnerskap med småskalabønder. Aktiv rolle i å øke miljøbevisstheten i Polen.

Viktige læringspunkter:

Sirkulær økonomi er ikke bare for avfallshåndtering – det kan være en vekstmotor.

Lokale innkjøp skaper både miljømessige og sosiale verdier.

Åpenhet bygger dyp merkevarelojalitet.

Økodesign må være brukervennlig i skala.

Små selskaper kan lede store endringer.

Diskusjonsspørsmål :

Hva var avveiningene Sylveco sto overfor mellom bærekraft og skalerbarhet?

Hvordan kan emballasjeinnovasjon ytterligere støtte en sirkulær økonomi innen kosmetikk?

Hvilke andre kundeinsentiver kan oppmuntre til sirkulær atferd?

Hvordan kan Sylvecos modell utvikle seg med strengere EU-reguleringer eller global ekspansjon?

Ressurser:

Sylveco offisielle nettsted - <https://sylveco.pl/o-firmie/>

Intervju med Sylvecos markedsdirektør – <https://wirtualnekosmetyki.pl/-wywiady/sylveco:-wymagania-i-oczekiwania-konsumentow-kreuja-trendy,-na-ktore-rynek-reaguje---teraz-najwazniejsze-sa-kwestie-ekologii>

Intervjuer med Sylveco – <https://www.trustedcosmetics.pl/kosmetyki-naturalne-do-pielegnacji-skory-problematycznej-rozmowa-z-firma-sylveco/>

24 Transformere avfall til ressurser – Derewendas tilnærming til sirkulær økonomi

Sammendrag:

Derewenda, et polsk selskap som spesialiserer seg på behandling av elektrisk og elektronisk avfall, har integrert sirkulære økonomiprinsipper i sin forretningsmodell. Ved å bruke avansert resirkuleringsteknologi maksimerer selskapet ressursgjenvinning, minimerer miljøpåvirkningen og bidrar til bærekraftig utvikling. Denne casestudien



utforsker Derewendas strategier, utfordringer, løsninger og de resulterende påvirkningene på miljøet og samfunnet.

Kontekst og utfordring:

Derewenda fokuserte opprinnelig på profesjonelle avfallshåndteringstjenester. I 2003 utvidet selskapet tilbudet til å omfatte omfattende avfallshåndteringsløsninger, spesielt innen resirkulering og avhending av elektrisk og elektronisk utstyr. Med den raske utviklingen av teknologi og økt forbruk av elektroniske enheter, sto Polen overfor en økende utfordring med å håndtere elektronisk avfall. Feil avhending av e-avfall utgjorde betydelige miljørisikoer, inkludert jord- og vannforurensning og tap av verdifulle materialer.

Derewenda anerkjente behovet for et effektivt system for å håndtere e-avfall på en ansvarlig måte, med sikte på å:

Implementer teknologier for å maksimere materialgjenvinning fra e-avfall.

Tilpass driften til nasjonale og EUs miljøforskrifter.

Lær bedrifter og enkeltpersoner om viktigheten av riktig e-avfallshåndtering.

Løsning – Derewendas tilnærming:

Avanserte resirkuleringsteknologier:

Selskapet investerte i toppmoderne prosesseringsanlegg utstyrt med moderne teknologi for effektivt å håndtere ulike typer e-avfall. Disse anleggene muliggjør separasjon og gjenvinning av verdifulle materialer som metaller, plast og glass, som kan gjeninnføres i produksjonssyklusen, noe som reduserer behovet for jomfruelige ressurser.

Omfattende avfallshåndteringstjenester:

Derewenda tilbyr et komplett spekter av tjenester, inkludert innsamling, transport, behandling og avhending av e-avfall. Denne helhetlige tilnærmingen sikrer at avfall håndteres ansvarlig i alle ledd, noe som minimerer miljøpåvirkningen.

Samarbeid med produsenter og samlere:

Selskapet samarbeider med utstyrsprodusenter og avfallsinnsamlere for å legge til rette for riktig håndtering av e-avfall. Ved å samarbeide sikrer de overholdelse av juridiske forpliktelser knyttet til innsamling og resirkulering av avfall, og effektiviserer prosessen for alle interessenter. □

Overholdelse og rapportering av regelverk

Derewenda bistår klienter med å oppfylle sine rapporteringsforpliktelser i henhold til miljølover. Dette inkluderer å utarbeide detaljerte rapporter om mengden utstyr som introduseres på markedet, innsamlet e-avfall og oppnådde resirkulerings- og gjenvinningsrater, noe som sikrer åpenhet og ansvarlighet.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
--------	-------------



Miljøbelastning	Effektive resirkuleringsprosesser har ført til betydelig gjenvinning av materialer, noe som reduserer etterspørselen etter jomfruelige ressurser. Riktig håndtering av e-avfall har minimert utslipp av farlige stoffer til miljøet, og beskyttet jord- og vannkvaliteten.
Operativ suksess	Derewenda har diversifisert sine tjenester for å imøtekomme et bredt spekter av kunder, inkludert bedrifter og individuelle forbrukere. Ved å bistå kunder med regulatorisk rapportering har selskapet styrket sitt rykte som en pålitelig partner i miljøsektoren.

Viktige læringspunkter:

Utdanningsinitiativer har økt offentlig bevissthet om viktigheten av riktig deponering og resirkulering av e-avfall.

Selskapets vekst har bidratt til sysselsettingsmuligheter i avfallshåndterings- og gjenvinningssektoren.

Avanserte prosesseringsteknologier er avgjørende for å maksimere materialgjenvinning og minimere avfall.

Å tilby ende-til-ende-løsninger forenkler riktig håndtering av e-avfall i alle ledd.

Samarbeid med produsenter og samlere effektiviserer prosesser og sikrer overholdelse av regelverket.

Å hjelpe kunder med compliance fremmer sterke relasjoner og øker selskapets troverdighet.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan Derewenda ytterligere forbedre resirkuleringsteknologiene sine for å øke materialgjenvinningsgraden?

Hvilke strategier kan implementeres for å oppmuntre flere bedrifter og enkeltpersoner til å bruke Derewendas e-avfallshåndteringstjenester?

Hvordan kan selskapet utvide sine utdanningsinitiativer for å fremme større offentlig bevissthet om e-avfallsproblemer?

Hvilke tilleggstjenester kan Derewenda tilby for å styrke sin posisjon i den sirkulære økonomien?

Ressurser:

Nettsted <https://derewenda.pl/>

25 Lukking av sløyfen: Slik er Dobis banebrytende for sirkulær økonomi innen papiremballasje

Sammendrag:

Dobis er en polsk produsent som spesialiserte seg på papirposer og matemballasje, og har integrert sirkulærøkonomiske prinsipper i sin virksomhet. Gjennom strategiske



samarbeid og en forpliktelse til bærekraft. Dobis har redusert materialforbruket, innlemmet resirkulerte fibre og forbedret produksjonseffektiviteten. Denne casestudien undersøker tilnærmingen til Dobis tilnærming til sirkularitet, utfordringene som står overfor, løsninger implementert og de resulterende virkningene.

Kontekst og utfordring:

Selskapet ble etablert med en visjon om å bli Europas ledende produsent av papirbasert matemballasje, Dobis opererer i en bransje som i økende grad granskes for sitt miljøavtrykk. Den økende etterspørselen etter bærekraftige emballaseløsninger ga både en mulighet og en utfordring:

Materialeffektivitet: Redusere vekten på emballasjen uten at det går på bekostning av styrke og kvalitet.

Bærekraftig innkjøp: Inkorporering av resirkulerte materialer samtidig som produktsikkerhet og ytelse sikres.

Produksjonsoptimalisering: Forbedre produksjonsprosesser for å minimere avfall og ressursforbruk.

For å møte disse utfordringene måtte man komme opp med innovative løsninger som var i tråd med prinsippene for sirkulær økonomi.

Løsning – Dobis' tilnærming:

Samarbeidende innovasjon:

I samarbeid med Mondi, en global leder innen bærekraftig emballasje, optimaliserte Dobis papirkvalitetene sine for å redusere gramvekt samtidig som styrke og utskriftskvalitet opprettholdes. Dette førte til utviklingen av lettere papirhandleposer som inneholdt resirkulerte fibre.

Inkorporering av resirkulerte materialer (ved hjelp av Mondis Eco/Vantage-serie):

Eco/Vantage Light Fashion: 100 % resirkulerte fibre, ideell for mote- og gaveposer.

Eco/Vantage Kraft Pro: 20 % resirkulert innhold med godkjenning for mattrygghet, egnet for hurtigmat og dagligvareapplikasjoner.

Eco/Vantage Kraft Classic: 50 % resirkulert innhold, balanserer styrke og trykkbarhet for mat- og moteemballasje.

Prosessoptimalisering (bruk av lettere papir og vannbasert blekk):

Redusert materialforbruk: Lavere papirvekt reduserte bruken av råvarer.

Forbedret utskriftskvalitet: Klarere resultater med mindre blekk.

Minimert limbruk: Optimalisert papirkvalitet førte til redusert limforbruk under posemontering.

Resultater og virkninger:

Aspekt	Innvirkning
Miljømessig	Betydelig reduksjon i papir- og blekkbruk bidro til bevaring av naturressurser. Ved å inkorporere resirkulerte fibre og optimalisere produksjonsprosessene ble avfallet minimert.



	Effektiv produksjon og redusert materialtransport reduserte klimagassutslippene.
Markedssuksess	Inkludering av ulike miljøvennlige emballaseløsninger, som oppfyller de skiftende kravene til mote-, hurtigmat- og detaljhandelssektoren. Posisjonert som en leder innen bærekraftig emballasje, og styrker relasjoner med miljøbevisste kunder.
Operasjonell effektivitet	Redusert material- og blekkforbruk førte til lavere produksjonskostnader. Strømlinjeformede prosesser resulterte i høyere, men likevel miljøvennlig, produksjonseffektivitet.

Viktige læringspunkter:

Strategiske partnerskap forsterker effekten – Samarbeid med bransjeledere kan drive innovasjon og akselerere innføringen av bærekraftig praksis.

Integrering av resirkulerte materialer er gjennomførbart og fordelaktig – Å inkludere resirkulert innhold uten at det går på bekostning av produktkvaliteten er oppnåelig og forbedrer miljømessig bærekraft.

Prosessoptimalisering gir flere fordeler – Forbedring av produksjonsprosesser kan føre til miljøfordeler, kostnadsbesparelser og forbedret produktytelse.

Sirkulær økonomipraksis forbedrer konkurranseevnen – Bærekraftige innovasjoner kan differensiere et selskap i markedet og tiltrekke seg miljøbevisste kunder.

Diskusjonsspørsmål:

Hvordan kan selskaper i emballasjeindustrien redusere sitt miljøavtrykk ytterligere utover materialvalg?

Hvilken rolle spiller forbrukernes preferanser for å drive selskaper mot bærekraftige emballaseløsninger?

Hvordan kan små og mellomstore bedrifter (SMB) utnytte partnerskap for å implementere sirkulær økonomi effektivt?

Hvilke utfordringer kan oppstå når man integrerer resirkulerte materialer i eksisterende produksjonslinjer, og hvordan kan de løses?

Ressurser:

Dobis nettsted: <https://dobis.com.pl/en/>

– Article on Dobis and Mondi collaboration:
<https://www.pressreleasefinder.com/Mondi /MNDPR314/pl/>

ENDELIGE KONKLUSJONER

Syntese av funn

25.1 Bevissthet og forståelse av industriell symbiose (IS) og digital IS (DIS)

Skrivebordsforskning viser at IS er et godt teoretisert konsept med praktiske fordeler på tvers av sektorer, spesielt når det integreres med digitale verktøy som AI, IoT og blockchain.

Undersøkelseresultatene viser begrenset bevissthet: 43 % av respondentene var ikke kjent med IS, og bare 21 % var veldig kjent. For DIS hadde bare 20 % sett relevante eksempler.

Intervjuobjektene bekreftet ujevn forståelse, og spesielt små og mellomstore bedrifter manglet kjennskap. Likevel engasjerer mange seg ubevisst i symbiotiske praksiser uten å navngi dem som sådan.

25.2 Fordeler og muligheter

Kvantitative data peker på sterke opplevde fordeler: kostnadsbesparelser, ressurseffektivitet, konkurransefortrinn og forbedret miljøoverholdelse.

Intervjudata støtter dette: deltakerne verdsetter DIS for strategisk transformasjon, innovasjon og scenariosimulering via digitale tvillinger og gjenbruksplanleggingsverktøy.

Skrivebordsforskning gir bevis fra EU-prosjekter (f.eks. Kalundborg, Donar, AquafilSLO) som viser økonomiske, miljømessige og systemiske fordeler ved IS.

25.3 Barrierer og utfordringer

På tvers av alle datakilder oppstår konsekvente barrierer:

- Mangel på regulering eller incentiver for gjenbruk
- Kostnads- og ressursbegrensninger (spesielt for små og mellomstore bedrifter)
- Fragmenterte plattformer og dårlig interoperabilitet
- Lav datakvalitet og tillit
- Begrenset digital og juridisk kompetanse osv.

Disse gjenspeiler både **tekniske** og **institusjonelle** hull, og hindrer ofte overgangen fra pilotinitiativer til systemisk implementering. Mer om blokkeringspunktene finner du i avsnitt 27 i dette kapittelet.

25.4 Digitale plattformer og verktøy

Skrivebordsforskning legger vekt på rollen til matchmaking-verktøy, blokkjede og sanntidsdashbord i skalering av IS.

Intervjuobjektene la vekt på brukervennlighetsproblemer, integrasjonsproblemer og behovet for sektorspesifikke plattformer.

Undersøkelseresdata støtter dette: interessen for digitale verktøy eksisterer (45 %), men adopsjonen er lav på grunn av mangel på ferdigheter (69 %) og kostnader (53 %).



25.5 Kapasitetsbygging og opplæringsbehov

Alle data peker på presserende opplæringsbehov:

- Grunnleggende om IS/CE
- Bruk og integrasjon av verktøy
- Miljømessig og juridisk samsvar
- Bruksbasert læring

Undersøkelse: 57 % interessert i grunnleggende IS/CE og kostnadsbesparende fordeler;
Intervjuobjekter etterlyser visuelle, trinnvise ressurser og lokalisert støtte.

25.6 Politikk og økosystemstøtte

Deltakerne ønsker **sterkere politiske rammer**, insentiver og offentlige investeringer i plattformer.

Det er en oppfordring til **interoperable, allmenne plattformer**, med økosystemomfattende tilpasning av aktører (myndigheter, SMB-er, academia, mellommenn).

26 Konklusjoner og implikasjoner for praksis

26.1 Konklusjoner

Digital industriell symbiose (DIS) er i ferd med å dukke opp, men fragmentert.

Bevissthet og engasjement varierer etter sektor, land og størrelse på organisasjonen. Mange små og mellomstore bedrifter deltar uformelt, og mangler terminologi, verktøy og strategisk retning.

DIS er ikke bare en teknisk løsning, men en strategisk mulighet. Den støtter kostnadseffektivitet, sirkulær innovasjon og organisatorisk transformasjon – når den er innebygd i langsiktig planlegging og støttes av intelligente digitale verktøy.

Implementering hindres av systemiske, tekniske og kulturelle barrierer. Mangel på interoperabilitet, begrensede ferdigheter, utilstrekkelige insentiver og komplekse forskrifter hindrer skalering. Det digitale skillet er et kritisk rettferdighetsspørsmål for små og mellomstore bedrifter.

Digitale plattformer må utvikle seg fra pilotverktøy til offentlig infrastruktur. Suksess avhenger av delte datastandarder, klareringsmekanismer og styringsmodeller som støtter åpenhet, sporbarhet og samarbeid.

Opplæring og veiledning er viktig. Praktisk, tilgjengelig og kontekstspesifikk støtte (spesielt for små og mellomstore bedrifter) er nøkkelen til å gå fra bevissthet til handling.

26.2 Implikasjoner for praksis

26.2.1 For små og mellomstore bedrifter og bedrifter

Bygg inn DIS i strategisk planlegging, ikke bare samsvar.

Start i det små: kartlegg interne ressursstrømmer, engasjer deg i lokale gjenbruksinitiativer og bygg digital kjennskap.

Samarbeid med offentlige og akademiske partnere for å redusere læringskostnadene.



26.2.2 For plattformutviklere

Prioriter **brukervennlighet, integrering** og **interoperabilitet**.

Tilby innføringsstøtte, opplæringsmoduler og saksbiblioteker som er skreddersydd for arbeidsflyter for små og mellomstore bedrifter.

Integrer AI-, sporings- og planleggingsfunksjoner for å støtte beslutninger i sanntid.

26.2.3 For beslutningstakere og offentlige myndigheter

Skape **regulatoriske insentiver** for gjenbruk (f.eks. mandater i offentlige anskaffelser, skattelettelser for symbiotiske utvekslinger).

Invester i **plattformer av allmenn interesse** og delt infrastruktur for DIS.

Fremme **bevisstgjørings- og kapasitetsbyggingskampanjer** gjennom handelskamre, regionale utviklingsbyråer og yrkesinstitusjoner.

26.2.4 For opplæringsleverandører og støtteinstitusjoner

Utvikle **modulære opplæringsprogrammer** om IS/CE, digitale verktøy, juridiske rammeverk og kostnad-nytte-analyse.

Bruk eksempler fra den virkelige verden og lokale suksesshistorier for å bygge relevans.

Målrett både **teknisk personale og beslutningstakere** i SMB-er og offentlige institusjoner.

27 Blokkeringspunkter og handlingsplan for gjennomføring av digital industriell symbiose (DIS)

27.1 Blokkering av poeng

Som en del av de endelige forskningsfunnene skisserer denne delen de viktigste blokkeringspunktene som hindrer utbredt implementering av industriell symbiose (IS) og digital industriell symbiose (DIS) på tvers av organisasjoner, spesielt små og mellomstore bedrifter (SMB). Basert på de kvalitative intervjudataene og de kvantitative undersøkelsessvarene samlet inn fra fem europeiske land, ble totalt 24 unike blokkeringspunkter identifisert. For hver av disse barrierene er det utarbeidet en tilsvarende handlingsplan, sammen med en indikasjon på den eller de ansvarlige aktørene for å gjennomføre de foreslåtte tiltakene.

Blokkeringspunktene kan deles inn i seks grupper:

Regulatoriske og politiske barrierer

Mangel på juridiske mandater for gjenbruk eller symbiose – Ingen håndhevelse betyr at få tar grep frivillig. (Kvalitativ)

Komplekse og uklare regulatoriske prosedyrer – Vanskelig å navigere i compliance. (Kvantitativ)

Høye samsvarskostnader – Juridiske prosesser er økonomisk tyngende. (Kvantitativ)

Mangel på skatteinsentiver / ugunstig beskatning – Gjenbrukte materialer beskattes som nye, noe som motvirker gjenbruk. (Kvalitativ)

Lav bevissthet om juridiske krav – Bare 29 % av respondentene i undersøkelsen forsto relevante retningslinjer. (Kvantitativ)



Økonomiske og finansielle barrierer

Høye startkostnader for digitale verktøy/plattformer – spesielt for små og mellomstore bedrifter. (Begge deler)

Usikker avkastning på investeringen (ROI) – Vanskelig å rettferdiggjøre investeringer uten klare resultater. (Kvalitativ)

Begrenset offentlig finansiering eller subsidier – Få støttemekanismer for å kompensere for risiko. (Kvalitativ)

Gjenbruk av materialer ofte mindre konkurransedyktige enn nye – På grunn av verddivurdering og tilgjengelighetsproblemer. (Kvalitativ)

Bevissthet og kunnskapshull

Lav bevissthet om IS/DIS-konseppter – 43 % av respondentene i undersøkelsen hadde ingen kunnskap om IS. (Begge deler)

Ukjent med digitale IS-verktøy eller brukstilfeller – Bare 20 % kjente eksempler fra konteksten. (Kvantitativ)

Mangel på klare, forenklede retningslinjer – om hvordan man implementerer IS/DIS. (Kvantitativ)

Forvirring på grunn av konseptuell tvetydighet – SMB-er anerkjenner ofte ikke gjenbruksinnsatsen deres som IS/DIS. (Kvalitativ)

Digitale og tekniske barrierer

Mangel på digitale ferdigheter eller IT-ansatte – 69 % av respondentene manglet teknisk kunnskap. (Kvantitativ)

Lav brukervennlighet av eksisterende verktøy – Ofte for komplekst eller ikke skreddersydd for små og mellomstore bedrifter. (Kvalitativ)

Dårlig interoperabilitet – Verktøy og plattformer integreres ikke med planlegging (f.eks. BIM), innkjøp osv.

Bekymringer om personvern og cybersikkerhet – Identifisert av 47 % av respondentene. (Kvantitativ)

Fragmentering av verktøy/plattformer – For mange frakoblede løsninger forårsaker forvirring. (Kvalitativ)

Dårlig eller upålitelig materialdatakvalitet – Utdaterte, uklassifiserte eller manglende data. (Kvalitativ)

Organisatoriske og operasjonelle barrierer

Mangel på tid og personell – Den mest siterte undersøkelsesbarrieren (61 %). (Kvantitativ)

Manuelle, fragmenterte ombruksprosesser – Høy koordineringsbyrde på tvers av aktører. (Kvalitativ)

Inkompatibilitet med eksisterende arbeidsflyter – Verktøy som ikke passer til innkjøps- eller planleggingssykluser, blir forlatt. (Kvalitativ)

Kortsiktig tankesett i organisasjoner – Mangel på strategisk forpliktelse til langsiktige sirkulære modeller. (Kvalitativ)

Samarbeid og økosystembarrierer

Mangel på kunnskap om potensielle partnere – 39 % av respondentene i undersøkelsen oppga dette som en barriere. (Kvantitativ)

27.2 Handlingsplan

No.	Blocking Point	Recommended Action	Responsible Party
1	Lack of legal mandates for reuse or symbiosis	Advocate for policy reform introducing reuse quotas and mandatory reporting.	Policy Makers / Environmental Ministries
2	Complex and unclear regulatory procedures	Develop simplified, sector-specific regulatory guides and flowcharts.	Regulatory Agencies / Sectoral Ministries
3	High compliance costs	Introduce financial subsidies or fee waivers for SMEs implementing IS.	Government Finance Departments / SMEs Support Funds
4	Lack of tax incentives / unfavorable taxation	Lobby for tax reforms that reduce VAT on reused materials.	Tax Authorities / Circular Economy Policy Units
5	Low awareness of legal requirements	Create awareness campaigns and legal literacy training targeting SMEs.	Chambers of Commerce / Legal Education Bodies
6	High initial costs of digital tools/platforms	Offer grant schemes or public co-funding for tool adoption.	EU/National Grant Agencies / Innovation Ministries
7	Uncertain return on investment (ROI)	Develop and share ROI case studies and simulation tools.	Chambers of Commerce / Industry Associations
8	Limited public funding or subsidies	Increase availability of targeted public funding streams for IS projects.	Regional Development Agencies / EU Structural Funds
9	Reuse materials often less competitive than new ones	Establish certification and quality assurance standards for reused materials.	Standards Bodies / Certification Authorities
10	Low awareness of IS/DIS concepts	Launch regional and sectoral awareness-raising campaigns.	Business Support Organizations / Sustainability NGOs
11	Unfamiliarity with digital IS tools or use cases	Develop and disseminate practical toolkits and video walkthroughs.	Technology Providers / Circular Economy Platforms
12	Lack of clear, simplified guidelines	Create easy-to-follow implementation guides tailored to SMEs.	SME Support Organizations / Circular Hubs
13	Confusion due to conceptual ambiguity	Use consistent terminology and real-world examples in all materials.	Education Providers / Project Dissemination Teams
14	Lack of digital skills or IT staff	Provide basic digital skills training and digital literacy bootcamps.	Vocational Training Institutes / Digital Skills Providers
15	Low usability of existing tools	Involve SMEs in co-design of user-friendly IS platforms.	Tech Developers / UX Designers
16	Poor interoperability	Set standards for platform integration and encourage API development.	ICT Standardization Bodies / Platform Developers
17	Data privacy and cybersecurity concerns	Provide GDPR-compliant frameworks and data protection toolkits.	Data Protection Officers / IT Security Consultants
18	Fragmentation of tools/platforms	Support national or EU-wide federated reuse platform initiatives.	European Commission / National Digital Authorities



19	Poor or unreliable material data quality	Introduce standard templates for material logging and verification.	Platform Developers / Industry Consortia
20	Lack of time and personnel	Promote time efficient IS workflows and co-develop shared services.	Productivity Consultants / SME Networks
21	Manual, fragmented reuse processes	Digitize and automate reuse workflows via mobile-friendly apps.	Software Developers / Process Engineers
22	Incompatibility with existing workflows	Ensure new tools integrate with ERP/procurement systems.	Enterprise Software Vendors / Tool Developers
23	Short-term mindset in organizations	Offer strategic foresight workshops and long-term visioning tools.	Strategic Consultants / Leadership Coaches
24	Lack of knowledge about potential partners	Create matchmaking platforms and local symbiosis hubs.	Cluster Organizations / Innovation Intermediaries

Suksessen til DIS-implementering avhenger ikke bare av teknologiske løsninger, men av en omfattende forståelse av de strukturelle, operasjonelle og kognitive barrierene som organisasjoner står overfor. Handlingsplanen i dette vedlegget presenterer målrettede, gjennomførbare anbefalinger som er i tråd med de faktiske behovene og begrensningene som er identifisert under feltarbeidet. Involvering av flere interessenter – alt fra beslutningstakere og lærere til teknologileverandører og støttenettverk for små og mellomstore bedrifter – er avgjørende for å overvinne disse barrierene og muliggjøre en inkluderende overgang til en sirkulær økonomi gjennom digital industriell symbiose.



Co-funded by
the European Union



FREINDs

Project number:

2024-1-NO01-KA220-HED-000246621

Finansiert av Den Europeiske Union. Synspunktene og meningene som uttrykkes, tilhører imidlertid utelukkende forfatter(en) og gjenspeiler ikke nødvendigvis Den Europeiske Unions eller Det Europeiske gjennomføringsorganet for utdanning og kultur (EACEA) sine syn. Verken Den Europeiske Union eller EACEA kan holdes ansvarlige for disse.