



Kunnskap for en bedre verden

FAKULTET FOR INFORMASJONSTEKNOLOGI OG
ELEKTRONIKK

TDT4860 - DIGITALE TVILLINGER

Digital Tvilling i Havn

Forfattere:

Even Åge Smedshaug
Hans Kristian Olsen Granli
Marianne Greger Madsen
Sigmund Pedersen

Mai, 2022

Sammendrag

Norge har til alle tider vært en kystnasjon, og med en kystlinje på over hundre tusen kilometer er sjøfart en stor industri her til lands. Som ledd i den konstante moderniseringsprosessen i industrien og på bakgrunn av teknologisk utvikling er det nå mulig å bruke framskritt innen prosessorkraft og datainnsamling for å fasilitere innføringen av autonome roboter i havn.

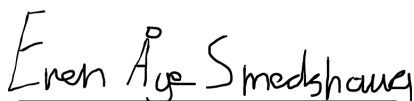
Vårt prosjekt omhandler kvantifiseringen av effekten detaljerte kart av havnen i en sentralisert digital tvilling har for å utvikle autonomien i havnen, og hvilke konkrete fordeler dette har for havnedriften fra et logistisk perspektiv. Et ferdig oppmålt kart over en havn vil redusere inngangskostnadene til aktører innen autonomi ved å kraftig forenkle posisjonsestimering, samt gi et mer detaljert kart de autonome agentene kan forholde seg til og passe på at alle agentene har samme oversikt over området. Videre vil implementasjonen av autonome systemer i havn føre til mer effektiv logistikk ved færre flyttinger av ressurser, redusert forekomst av tapte containere og paller, samt fått mye mer oversikt over vareflyt, ressursbruk og maskinplassering.

Forord

Ekspert i team (EiT) er et obligatorisk emne for masterstudenter ved NTNU, og omhandler hvordan man jobber i et team. Faget tar for seg hvordan det er å jobbe i tverrfaglige team med tilfeldige medstudenter på tvers av alle masterlinjer. EiT har ikke en bestemt emnekode, men er satt sammen av mange 'landsbyer' som alle har vært sitt tema, og hver sin emnekode. I hver landsby er det så flere tverrfaglige team som jobber sammen for å produsere et faglig og samfunnsrelevant prosjekt. Alle landsbyer skal gjøre noe praktisk som samsvarer med landsbytemaet, men graden dette utføres på varierer fra landsby til landsby. Hvordan opplegget i landsbyen gjennomføres er opp til landsbyhøvdingen, det vil si at noen landsbyer blir gjennomført helt fysisk, en hybrid løsning mellom fysisk og digitalt eller helt digital.

Vår landsby har emnekode TDT4860 og omhandler Digital Tvilling. Landsbyen vår er heldigital, derfor har vi studenter fra alle campuser hos NTNU, fra Gjøvik, Trondheim og Ålesund. Landsbyen består av totalt seks grupper med opptil seks medlemmer i hver. Vår gruppe består av fire studenter fra campusene Gjøvik og Trondheim.

Vi vil gjerne takke vår landsbyhøvding Filip for god gjennomføring av dette emnet. Vi vil spesielt takke Kartverket for meget godt samarbeid gjennom hele perioden, spesielt rundt hjelpen med problemstilling og oppfølging. Takk til Red Rock som lot seg bli intervjuet.



Even Åge Smedshaug



Hans Kristian Olsen Granli



Marianne Greger Madsen



Sigmund Pedersen

4. mai 2022

Innhold

Figurer	iv
1 Introduksjon	1
1.1 Ekspertter i team	1
1.2 Gruppekompetanse	1
1.3 Digital Tvilling	1
1.4 Kartverket	1
1.5 Red Rock	2
2 Problemstilling	2
3 Teori	3
3.1 Begrepsliste	3
3.2 Digital Tvilling	3
3.3 Logistikk	5
3.4 Industry 4.0	7
3.5 LiDAR	8
3.6 Autonomi	10
4 Metode	12
4.1 Vår utvalgte metode	12
4.2 Utførelse av intervju	12
5 Resultat	13
5.1 Intervju med Red Rock	13
5.2 Praktisk Del	14
6 Diskusjon	18
6.1 Autonomi i havn	18
6.2 Logistikkperspektiver ved en digital tvilling i havn	19
6.3 Samfunnsnytte	20
6.4 Validering av resultat	20
7 Konklusjon	21
7.1 Videre arbeid	21
Bibliography	22

8 Vedlegg	24
8.1 Intervju med Redrock	24

Figurer

1	En visualisering av en konteinerhavn. Kilde: macrovector / Freepik	5
2	Forskjellige moduler i TOS-en som Solvo leverer, samt hvordan disse snakker med hverandre. Kilde: Solvo	7
3	Driverne av Industry 4.0. Kilde: Aethon	8
4	Digital-scan av Kristiansand havn gjennomført av Terratech	9
5	Et enkelt eksempel på en robot fra Waypoint Robotics Kilde: Waypoint Robotics .	10
6	Waymo, tidligere Google self driving car project, utvikler autonome roboter i form av selvkjørende biler. Kilde:Waymo	11
7	Figur som viser tiltenkt kommunikasjon i en autonom havn med digital tvilling. . .	14
8	Figur som viser hvordan autonome agenter kan melde fra om sin posisjon til en digital tvilling.	15
9	Figur som viser hva vi mener et autonomt kjøretøy bør kunne støtte som en del av digital tvilling.	16
10	Figur som viser hva vi mener en autonom stasjonær kran bør støtte som en del av digital tvilling.	17
11	Figur som viser hvordan digital tvilling kan påvirke en autonom truck i havnen. . .	17

1 Introduksjon

1.1 Ekspertter i team

Ekspertter i team er et fag alle masterstudentene på NTNU skal gjennomføre [1]. I faget skal man samarbeide i tverrfaglige team for å skrive to innleveringsoppgaver, en prosjektrapport og en prosessrapport. Prosjektrapporten består av en teoretisk og en praktisk del, og prosessrapporten skal handle om hvordan vi studentene synes samarbeidet innad i gruppen har fungert. Ettersom alle på gruppen kommer fra ulike studieretninger vil dette gi grunnlag for en oppgave basert på ulike kompetanse. Tverrfaglig teamarbeid gir også en god mulighet til å lære om andre studieområder som man før ikke har vært borti. Prosjektrapporten skal ha samfunnsrelevans, og kan skrives i samarbeid med en bedrift. Et tverrfaglig teamarbeid kombinert med fasilitering fra læringsassistenter og landsbyleder vil gi godt faggrunnlag og kompetanse for samarbeid, samt læring og erfaring som vil være essensielt å ta med videre inn i arbeidslivet [2].

Vår spesifikke landsby er heldigital, og vi i gruppen tar faget fra ulike campuser. Temaet til landsbyen vår er digitale tvillinger.

1.2 Gruppekompetanse

- Hans Kristian Granli
Har bachelor i ingeniørfag fra studieprogrammet Dataingenør. Går på masterprogrammet datateknologi. Har erfaring med prosjektarbeid fra bacheloroppgaven og flere semesteroppgaver.
- Marianne Greger Madsen
Har bachelor i logistikk, og går nå master i industriell innovasjon og digital sikkerhet. Har erfaring fra tidligere samarbeid i tverrfaglige team både fra arbeidslivet og fra skoleoppgaver.
- Sigmund Pedersen
Har bachelor i ingeniørfag fra studieprogrammet Logistikingeniør. Går nå en master i global produksjonsledelse med spesialisering innenfor produksjon. Har erfaring fra å jobbe i team fra bacheloroppgaven og andre skoleoppgaver, samt erfaring med å jobbe med en digital tvilling i arbeidslivet.
- Even Åge Smedshaug
Går master i kybernetikk og robotikk på fjerde året. Hovedfokus på datasyn, dyp læring, sensorteknikk og autonome systemer. Har erfaring i prosjektjobbing fra sommerjobb og skoleoppgaver.

1.3 Digital Tvilling

Digital tvilling er et konsept med flerfoldige definisjoner. NTNU har en enkel definisjon på begrepet: *"En digital tvilling (DT) er en digital etterligning av et fysisk objekt eller person."*[3].

Den teknologiske utviklingen de siste tiårene er hovedpådriveren for at digitale tvillinger har blitt både gjennomførbart og potensielt lønnsomt. Felles for de fleste beskrivelser av digitale tvillinger er fagfelt som sensorteknikk, big data og fysisk modellering blir nevnt. Noen definisjoner legger til grunne to-veis kommunikasjonsflyt mellom det fysiske objektet og dets digitale tvilling, mens andre stiller færre krav til interaksjon. Vi skal gå dypere inn på temaet i 3.2.

1.4 Kartverket

Denne rapporten er produsert i samarbeid med Kartverket. Statens Kartverk, eller Kartverket i kortform, er en statlig etat hvis oppgave er å samle inn, systematisere, forvalte og viderefremme offentlig geografisk informasjon[4]. Dette innebærer blant annet å produsere og forvalte digitale

land- og sjøkart, tinglysning, eiendomsinformasjon og satellittbaserte posisjonstjenester. Kartverket er med på et samarbeidsprosjekt ved navn *Norsk digital havneinfrastruktur*, sammen med ni havner hvor Oslo havn er prosjekteier. Dette prosjektet går ut på å ”utvikle en felles digital infrastruktur for alle norske havner”. En slik havnedatastandard vil gjøre det mulig å utvikle felles digitale løsninger for alle havner i Norge. Prosjektet vil bruke digital tvilling som grunnlag i operasjonelle verktøy og fremtidige autonome havneoperasjoner” [5]. Målet er å ende opp med åpen, standardisert data i en nasjonal tjeneste som vil være tilgjengelig for både det private og det offentlige som kan drive innovasjon både i statlige brukere av havnesystemer og i industrien. Det er allerede gjort modelleringsarbeid rundt objekttyper som befinner seg i havn, som kan brukes i digitale løsninger som for eksempel digital tvilling.

1.5 Red Rock

Gjennom samarbeidet med Kartverket ble vi satt i kontakt med Red Rock for å få mer informasjon om digitalisering av havn. Red Rock er et selskap som jobber med digitale løsninger og digitalisering av infrastruktur. De leverer blant annet hardware og software til havindustrien. Marinavdelingen deres er markedsledende på digitalisering av havn [6]. Blant annet har Red Rock et pågående prosjekt med ASKO hvor selvkjørende lastebiler, levert av Red Rock, skal laste og losse en autonom ferje som skal gå over Oslofjorden. Red Rock har altså lyst til å være med på å forme den digitale fremtiden og streber etter kontinuerlig forbedring i den teknologiske verden [7].

2 Problemstilling

Denne rapporten er et mulighetsstudie produsert for Kartverket med tema ”Digital tvilling i Havn”.

Norge har verdens nest lengste kystlinje på over 100 000 kilometer. Den har vært svært viktig i forbindelse med import og eksport av varer gjennom hele Norges historie. For å satse på denne komparative fordelene har flere private og statlige aktører satt igang prosjekter for å effektivisere havnelogistikken gjennom autonomi, datainnsamling og Industry 4.0. Derfor er denne problemstillingen relevant å ta opp i dag. Vi fokuserer på en mindre del av tematikken:

Hvordan kan en bruke et LiDAR-kart (punktsky) over havnene i en digital tvilling for autonome kjøretøy/kraner, hva trenger de av støtdata og hvilke logistikk-fordeler kan dette gi?

For å konkretisere problemstillingen har vi valgt følgende innfallsvinkler:

- Hvordan kan lidardata brukes til dynamisk oppdatering av digital tvilling i havn?
- Hva trenger autonome trucker, lastebiler og kraner for å utføre operasjoner i havnen og hva er forskjellen i nødvendig data disse imellom?
- Hvordan kan digital tvilling effektivisere logistikkoperasjoner i havn?

Denne rapporten løser ikke et bestemt nåværende problem i norske havner idag, den ser heller på mulighetene teknologiske fremskritt gir til norsk havnedrift i fremtiden. Først gis leseren en innføring i temaene autonomi, logistikk, LiDAR, digital tvilling og Industry 4.0 for at leseren skal ha god kjennskap til hva problemstillingen vår går ut på. Så presenteres informasjonen som har kommet frem ved å intervju Red Rock. Deretter skisseres og diskuteres hvordan en digital tvilling av en havn kan forbedre driften for aktører og hjelpe utviklingen av autonome havner, til slutt følger en oppsummering og en konklusjon.

3 Teori

Den teknologiske utviklingen har muliggjort store endringer i industrien og vil stadig forbedre nåtidens løsninger. Økningen i prosessorkraft og datainnsamling har muliggjort massiv forbedring innen autonome roboter, samt muliggjort kommersiell implementering av digital tvilling. Dette er en del av Industry 4.0. Denne seksjonen vil gi introduksjon til disse temaene, samt en innføring i logistikk og LiDAR.

3.1 Begrepsliste

Her kommer en liste med begreper og ordforklaringer som vil bli brukt videre i rapporten:

- **Akselerometer:** En sensor som måler akselerasjonen den gjennomgår og retningen på denne. Brukes blant annet i posisjonsestimering.
- **Enkoder:** En sensor som konverterer rotasjon i en akse til digitale signaler.
- **Odometri:** Bruk av data fra sensorer til å estimere posisjon over tid.
- **GPS/GNSS:** Global Positioning System/ Global Navigation Satellite Systems. GNSS er en fellesbetegnelse for satelittbaserte navigasjonssystemer, GPS er et av flere eksempler på dette.
- **Black Box:** Et begrep som omhandler et system hvis intern funksjonalitet er uviktig eller ukjent og brukeren er bare opptatt av data inn og data ut. Bildegjenkjenningssystemer som benytter seg av nevralt nett blir ofte sett på som Black Box-systemer.
- **SLAM:** Simultaneous Location and Mapping. Beregningsoppgaven som oppstår når en autonom agent skal både kartlegge et område og estimere sin posisjon i området.
- **Lastbærer:** Lastbærer er et hjelpemiddel til lagring og frakt av varer, for eksempel en eske eller en konteiner[8].

3.2 Digital Tvilling

3.2.1 Definisjon

På tross av mye forskning og mange vitenskapelige artikler på området digital tvilling, finnes det forskjellige definisjoner på begrepet, og mangel på konkret bruksområde. Dette har ført til at mange bedrifter ikke har oppfattet hvilke fordeler en digital tvilling kan gi. Den definisjonen vi skal forholde oss til i oppgaven kommer fra Michael Grieves [9].

Konseptet digital tvilling ble først omtalt av Michael Grieves i 2002. Han hadde en modell med tre krav som måtte oppfylles for at noe skulle kunne bli omtalt som en digital tvilling. Disse tre kravene innebar at man måtte både fylle et fysisk sted med et fysisk objekt, et virtuelt sted med et virtuelt objekt og datastrømmer som går begge veier. Det er derfor kun en digital tvilling dersom datastrømmene både går fra det virtuelle objektet til det fysiske objektet, og fra det fysiske objektet til det virtuelle objektet. Denne datastrømmen legger til rette for at det fysiske objektet kan kommunisere med det virtuelle objektet og visa versa [10]. Dermed vil en endring som blir utført på det fysiske objektet automatisk også skje på det virtuelle objektet, og omvendt [11]. Synkroniseringen mellom det fysiske og det virtuelle objektet er dermed helt nødvendig for å kunne kommunisere med hverandre og for å kunne utveksle data. Både det fysiske og det virtuelle produktet må ha god tjeneste og tilkobling for å kunne sikre en kontinuerlig flyt av data og kommunikasjon [10].

3.2.2 Utviklingen av digitale tvillinger

Samtidig som forbedringen og utviklingen innenfor kunstig intelligens har gjort store fremskritt de siste tiårene, har også sensorer, big data, internet of things (IoT) og nettskyen utviklet seg i et fort tempo. Denne veksten har gitt oss muligheten til å nå kunne lage en digital tvilling [10]. Dersom systemet mangler kommunikasjon fra det digitale systemet til det fysiske objektet kalles det en *Digital Skygge*. Industry 4.0 har og vært en svært viktig faktor for å kunne muliggjøre utviklingen av en digital tvilling. Et viktig element for at en digital tvilling skal fungere optimalt er muligheten for raske analyser og evnen til å ta gode beslutninger nøyaktig når det gjelder [11]. En digital skygge vil gjøre det mulig å gjennomføre analyser, men trenger fortsatt menneskelig interaksjon for å gjennomføre foreslåtte endringer. De siste årene har teknologiens marked pushet på for at de digitale tvillingene skal kunne fungere helt optimalt, samtidig som etterspørselen i markedet etter velfungerende digitale tvillinger har vært tilstede [12].

3.2.3 Bruksområder til digitale tvillinger

Digitale tvillinger blir i dag brukt innenfor svært mange sektorer, og tilbyr blant annet optimaliserte løsninger innenfor konstruksjon, distribusjon og produksjon [12]. Helsesektoren har også startet med å utvikle digitale tvillinger, men de er enda bare i startfasen [10]. Digitale tvillinger gir en god mulighet til å teste produkter og systemer, noe som har et stort potensial, for eksempel innenfor produksjon [11]. Ved hjelp av data og sensorer kan de digitale tvillingene predikere og ta avgjørelser i sanntid. Jo mer digitale tvillinger blir utviklet jo bedre trent blir de til å optimalisere seg. [12]

3.2.4 Fordeler og ulemper med bruk av digitale tvillinger

Ved å sette maskiner i arbeid istedenfor mennesker øker man produktiviteten og reduserer feil [10]. Digitale tvillinger er ikke bare nyttig når det kommer til selve bruken av produktet, de vil også være nyttig gjennom hele produktet sin livssyklus. Digitale tvillinger vil være med på å forenkle arbeidet ved at man kan oppdage feil og mangler på en enklere og raskere måte, i tillegg til at det gir økt mulighet for overvåking og kontroll i sanntid, potensielt bedre effektivitet og økt sikkerhet. Med digitale tvillinger vil man også enklere kunne prediktivt vedlikeholde produktene sine, oppdage risiko og dermed fortære finne ut hva man skal gjøre for å minimere den. Dette vil gi oss et bilde av virkeligheten ved at vi får muligheten til å øke sikkerheten på en raskere måte enn vi ellers kunne gjort. I tillegg er den digitale tvillingen kontinuerlig oppdatert på sine omgivelser, og er dermed bevisst på hva som skjer i den virkelige verden. Dette skaper et godt grunnlag til å ta beslutninger på et bedre informasjonsgrunnlag. Samtidig gir det også en mulighet til å oppdage nye mønstre og korrelasjoner. Kommunikasjon på tvers av flere systemer og komponenter vil være med på å optimalisere bruken. På grunn av sine mange fordeler er det derfor mange som velger å investere i digitale tvillinger, og ved den økte digitaliseringen vil dette bli enda mer brukt i fremtiden [12].

En av ulempene med digitale tvillinger oppstår når det kommer til kritisk infrastruktur og sensitiv data med stor betydning som kan bli utsatt for trusler, angrep og svake/ustabile systemer [11]. Siden implementering og bruk av digital tvilling gjerne kombineres med en omfattende oppskalering i mengde data en bedrift eller organisasjon henter inn og lagrer, lager den grunnlag for en økt informasjonssikkerhetsrisiko. Dette vil si at det er en mulighet for å bli frastjålet informasjon som for eksempel omhandler kunder eller eiendeler innad i bedriften, gjerne i større grad enn før på bakgrunn av økning i innhentet datamengde. Sjansen for å bli utsatt for et angrep er hele tiden tilstede, noe den alltid vil være ved digitalt bruk [11]. Dersom en bedrift med heldigitalisert digital tvilling blir utsatt for et cyber-angrep, kan bedriftens fysiske infrastruktur bli forstyrret, siden mye kan kontrolleres digitalt og sabotasje er potensielt trivielt [13]. En digital skygge er ikke like utsatt for slike sabotasjeangrep, siden den ikke påvirker sin fysiske motpart, og det kan i noen tilfeller være hensiktsmessig å begrense den digitale tilgangen til fysiske systemer og maskiner. Digitale tvillinger kan også utfordre det vi synes er etisk riktig eller galt ved å samle inn personlig informasjon som vi ikke har samtykket til. I tillegg er ikke implementasjonen av digitale tvillinger standardisert, noe som fører til at arbeidet vil ta en del tid og kan bli tungvint [11].

3.3 Logistikk

Logistikk handler om å utnytte ressursene man har tilgjengelig på den mest effektive måten ved å ha riktig mengde av riktig type, på riktig sted, i rett tid.[14] Disse fire punktene vil man samtidig gjøre billigst, tryggest og raskest mulig, uten at det går utover kvaliteten på produktet eller tjenesten. I følge SNL er logistikk ”å formidle, motta og sende gods, samt planlegging, lagring og administrasjon av håndtering av materialer og produkter i en bedrift.”[15] God koordinering av disse aspektene er ofte et kritisk punkt for å oppnå et konkurransefortrinn i markedet.

Det finnes mange forskjellige typer logistikk, blant annet produksjonslogistikk, landtransport og sjøfrakt. Alle har forskjellige roller i industrien, men alle omhandler flytting av et produkt enten internt i bedriften, mellom bedrifter eller over større geografiske områder.

3.3.1 Havnelogistikk

Maritime operasjoner er et stort og komplekst område som tar for seg alt av operasjoner som skjer på havet. En vesentlig del av disse operasjonene er maritim logistikk, dette tar for seg frakt og håndtering av gods og varer på vann, både på globale og mer lokale markeder. Felles for alle disse er at de er avhengig av å ha tilgjengelighet på en eller flere havner hvor det er mulig å legge til for så å laste eller losse materiell. En havn er et avgrenset område i nærheten av vann hvor båter kan ankre opp eller legge til. Havnen er et område omgitt av naturlige landskapsformasjoner eller menneskeskapte anlegg som beskytter mot vær og vind [16]. En havn består i enkle trekk av fire komponenter; en kai, et godshåndteringssystem, et sted å lagre gods og varer, og et koordineringsorgan. Havner sørger for at det er mulig å transportere gods og varer kostnadseffektivt og trygt over store avstander og mellom kontinenter. Logistikken på en havn er komplisert og tar for seg alle elementene fra når en båt legger til kai, og til godset er transportert bort fra området. Dette inkluderer den fysiske vareflyten av lastbærere og gods, og utnytter de fire komponentene til sitt fulle.



Figur 1: En visualisering av en containerhavn. Kilde: macrovector / Freepik

En havn tar for seg et stort volum med gods og større lastbærere som har høy omløpshastighet og som krever mye håndtering. Større lastbærere er enheter som rommer et stort volum eller som tåler mye vekt, for eksempel konteinere. Mindre lastbærere kan være en banakasse eller en europall. På en havn blir varer også fraktet i bulk. Dette er store mengder av et produkt som ikke lar seg befraktes ved hjelp av en tradisjonell lastbærer og trenger spesialutstyr for frakt og håndtering. Produkter som ofte blir transportert i bulk er naturgass, olje eller malm [17].

En kai er konstruksjonen som tilrettelegger for at skip kan legge til. Den består av flere fortøyningspunkter, sjokkabsorberere og tilgang til å laste eller losse. Godshåndteringssystemet kan bestå av flere trucker, både mindre gaffeltrucker og større trucker som kan håndtere konteinere, store kraner som laster og lossere konteinere, eller annet utstyr som brukes til å flytte gods som transporteres i bulk. Det er viktig for en havn å ha et sted hvor gods kan lagres midlertidig, og hvordan lagringsplassen er utformet er basert på hva som fraktes fra eller til havnen. Dette kan være store områder hvor man stabler konteinere oppå hverandre eller tanker hvor gass lagres. For at en havn skal kunne driftes er det nødvendig å ha et koordineringsorgan som bestemmer og styrer hvor materiell skal, når og hvilke operasjoner som skal gjennomføres.

3.3.2 Operasjoner i havn

Det finnes forskjellige typer havner og båter som frakter forskjellig type gods på forskjellige måter. En konteinerhavn tar for seg store mengder med konteinere og her blir det brukt kraner som kan håndtere konteinere hurtig. For å lagre konteinere best mulig blir de stablet oppå hverandre over store områder. En konteinerbåt har et veldig likt lagringssystem, den består av flere dekk hvor konteinere blir stablet oppå hverandre. En bulkhavn tar for seg gods som fraktes i bulk og består av spesialutstyr som kan håndtere gass, væske eller fast stoff. En båt som frakter i bulk har gjerne store rom eller tanker. I tillegg til disse to typer havn finnes det en del fler, blant annet oljehavner, orlogshavner og lystbåthavner. Alle disse har forskjellige bruksområder[16].

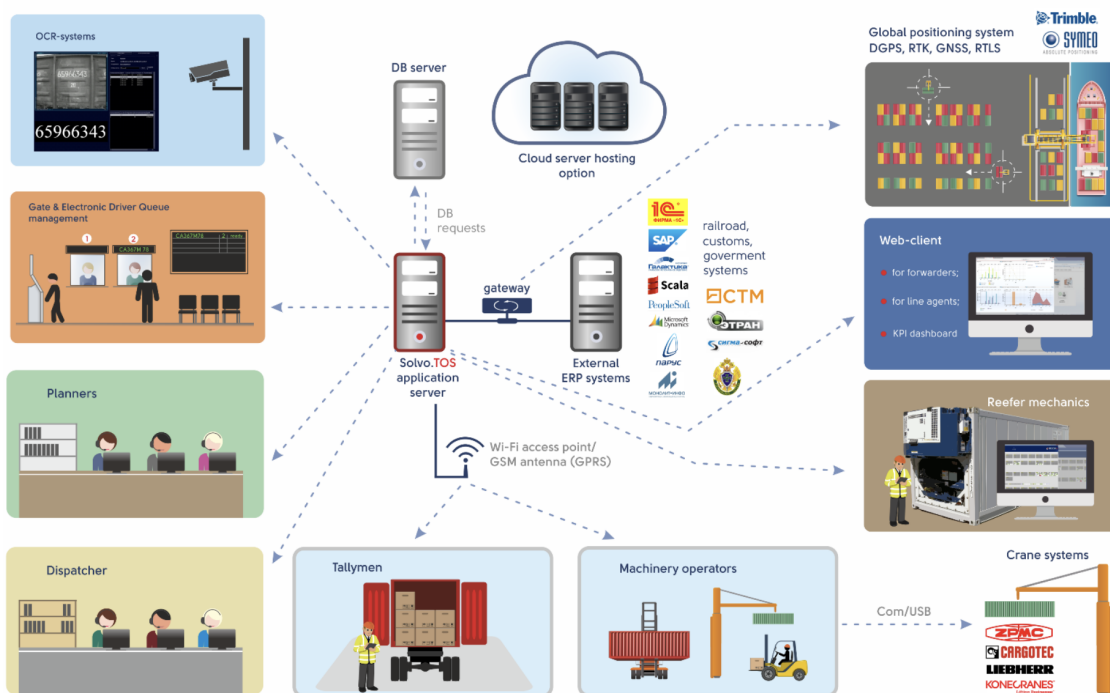
Den fysiske håndteringen av lastbærere og vareflyten på en konteinerhavn starter med at et skip legger til på sin designerte plass. Så vil kraner løfte lastbærere av båten og det blir transportert til oppgitt lagringsplass. Dette gjør kranen med en gang eller så kan en truck eller lastebil transportere det til rett plass. Lagring av lastbærere skjer ved å stable de oppå hverandre, spre de utover i et plan eller lagre de innendørs i hyller og reoler. Her står lastbærere og varene til det er klart for å hentes og fraktes ut av området. Når varer skal ut fra havnen blir de hentet av en kran, truck eller lastebil og det blir satt på ønsket transportmiddel. Type transportmiddel varierer utifra hvor langt lastbæreren skal i neste ledd i transportkjeden. Det er som regel lastebil, tog eller båt som frakter lastbæreren videre [17]. Varer som fraktes i bulk blir losset ved hjelp av pumper eller store gravemaskiner. Disse sender godset til designert lagringsområdet ved hjelp av samlebånd eller rør. Her ligger de til de skal videre i neste ledd i transportkjeden.

3.3.3 Digitalisering av havne- og logistikkoperasjoner

Ettersom logistikkoperasjoner blir mer og mer komplekse får man et større behov for teknologiske fremskritt. Dette har ført til den siste industrielle revolusjonen hittil, Industry 4.0, som tar for seg big data, IoT, autonome roboter med mer. Industry 4.0 har også ført til utviklingen av flere digitale verktøy og optimaliseringssystem som blir brukt i forbindelse med logistikk og flytting av varer. Slike optimaliseringssystem og verktøy er blant annet Enterprise Resource Planning (ERP), Warehouse Management Systems (WMS), Terminal Operating Systems (TOS) og digital tvilling i enkelte bransjer. ERP er en programvare som samler alle avdelinger sine systemer i et. SAP definerer ERP som ” *et programvaresystem som hjelper deg med å drive hele virksomheten, inkludert prosesser innen finans, HR, produksjon, forsyningskjede, tjenester, anskaffelser med mer.*”[18]. WMS er et optimaliseringssystem som kontrollerer og styrer vareflyten i et lager og TOS er en miks av disse to som blir brukt i havner i dag.

TOS er et system som blir brukt for å styre og kontrollere vareflyten i en havn på en effektiv måte. Dette inkluderer alle punkter som inngår i en vareflyt og dens operasjoner. TOS bestemmer når gods og lastbærere skal flyttes og hvor det skal flyttes til for å lagres optimalt. Dette inkluderer

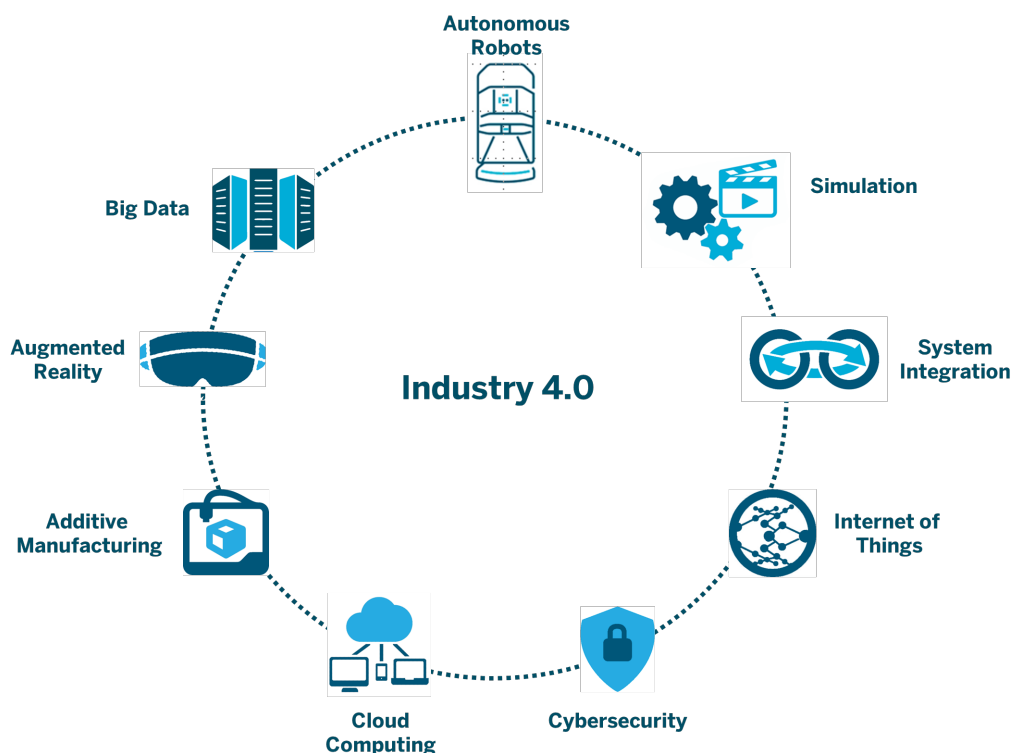
hvilke utstyr og maskiner som skal bli brukt og tar for seg lossing, mellomlagring og lastning på både båt, lastebil og tog. Systemet prøver å utnytte alt av mennesker, utstyr og maskiner til sitt fulle potensiale og det planlegger også når og hvor gitt utstyr skal bli brukt. Alt dette monitorerer systemet i sanntid. TOS tar for seg alle nivåer av kompleksitet og størrelse, fra hvor og når skip skal legge til kai og ned til hvordan en bestemt operasjon konkret skal gjennomføres. [19][20]



Figur 2: Forskjellige moduler i TOS-en som Solvo leverer, samt hvordan disse snakker med hverandre. Kilde: Solvo

3.4 Industry 4.0

Industry 4.0 er den fjerde av en rekke industrielle revolusjoner som menneskeheten har vært igjennom. Den første revolusjonen skjedde da menneskeheten oppfant vann- og dampkraft, og brukte dette til å drive enkle mekaniske maskiner. Det var rundt dette at *Spinning Jenny* ble oppfunnet, en mekanisk symaskin kunne sy mye fortere enn de tradisjonelle symaskinene. Den andre industrielle revolusjonen skjedde da samlebåndskonseptet ble oppfunnet, som muliggjorde masseproduksjon. Det var Henry Ford som oppfant dette konseptet i sine fabrikker og Ford begynte å masseprodusere *Ford Model T*. Den tredje revolusjonen skjedde da automasjon ble introdusert til industrien. Her tok roboter over repetetive arbeidsoppgaver, som har ført til raskere produksjon og bedre kvalitet på tjenester [21]. I de siste årene har man tatt steget videre inn mot mer automatisering i industrien og det er blitt innført "Internet of Things, cloud computing and analytics, and AI and machine learning" [22]. Det er dette som refereres til når Industry 4.0 blir nevnt.



Figur 3: Driverne av Industry 4.0. Kilde: Aethon

Industry 4.0 blir karakterisert som automasjon og bruken av smartere maskiner og fabrikker. Disse blir matet med store datamengder som sørger for høyere effektivitet, bedre beslutningstaking og mer produktivitet langs hele verdikjeden. Det er flere forskjellige teknologier som driver Industry 4.0, disse inkluderer IoT, cloud computing, digitale tvillinger og autonomi[22].

3.5 LiDAR

LiDAR er en forkortelse for *Light Detection and Ranging*, og er et system som eksisterer for å lage digitale overflateanalyser av et fysisk rom eller område. I sin enkleste form består LiDAR av lasersendere, mottaker og et form for posisjonssystem som for eksempel GPS. LiDAR bruker laser på samme måte som radar bruker radiobølger, ved å måle tiden det tar for at en laserpuls reflekteres tilbake til utsender. En LiDAR-måling gjøres da om til et digitalt punkt, som kan kontekstueelt plasseres i et digitalt rom og gi digitale instrumenter romforståelse.

Det finnes 3 LiDAR typer:

- Topografisk: Brukes med fly for å digitalisere store områder, gjerne til kart
- Batymetrisk: Brukes for å måle havbunn
- Terrestrial: Brukes på mindre områder og gir mer nøyaktige målinger

Under temaet digital tvilling i havn vil vi operere med terrestrial LiDAR. Disse systemene har presisjon på centimeter-nivå, og har sendere som er små nok til å monteres på bevegelige kjøretøy.

3.5.1 LiDAR-målinger

Når en laser-puls sendes fra laseren måles tiden det tar før det samme lyset reflekteres tilbake. Likningen for å regne ut distansen d fra referansepunktet gitt tiden t , med lysets hastighet c er

relativt enkel:

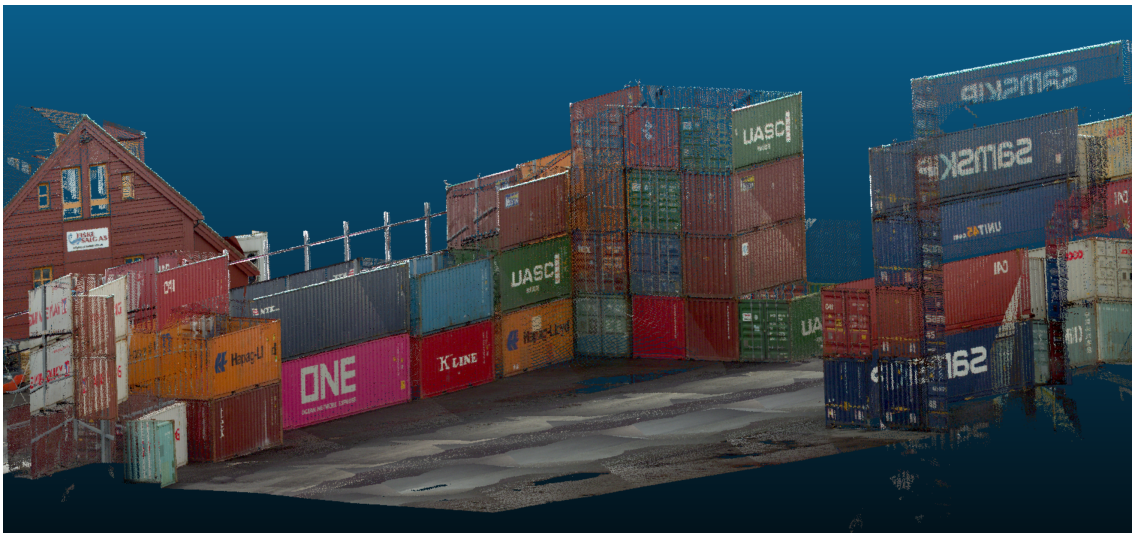
$$d = \frac{ct}{2}$$

Ved å gjøre flere slike målinger i sekundet kan systemet levere en digital fremstilling av den fysiske verden, som andre digitale systemer og algoritmer kan utnytte. En stor fordel med å bruke LiDAR-målinger til å estimere distanser, er at vi kan bygge sikkerhetssertifiserte algoritmer rundt målingene. Det går altså an å si med sikkerhet hvor stor avstand vi befinner oss fra et objekt. En svakhet med LiDAR er at vi ikke nødvendigvis kan si *hva* objektet er for noe. Til dette trenger vi andre måleinstrumenter som kan måle blant annet farge [23]. LiDAR-målinger er med andre ord gode til å beregne *dybde*, men leverer ikke alene *objektforståelse*.

3.5.2 Punktsky

Flere punktmålinger kan legges sammen i en punktsky. Skyen vil inneholde systemets målinger, og den vil kunne oppdatere seg etterhvert som nyere målinger registreres. Hyppigheten av oppdateringer vil variere mellom forskjellige LiDAR-system basert på bruksområde.

Punktskyen kan også være statisk, dette vil defineres ut i fra LiDAR-systemets miljø. Et område i en punktsky fra en topografisk måling vil stort sett være statisk, siden et punkt gjerne bare blir målt en gang. Det er mulig å lage en statisk punktsky som definerer områder som ikke kommer til å flytte seg, som for eksempel veier og bygninger. Derimot vil et LiDAR-system som operer som en komponent i en selvkjørende bil ha hyppige oppdateringer av punktet rundt agenten (bilen), siden det er kritisk at agenten får med seg alle endringene som skjer i miljøet.



Figur 4: Digital-scan av Kristiansand havn gjennomført av Terratech

3.5.3 LiDAR-nettverk

Punktskyer generert av forskjellige typer LiDAR-målinger kan kombineres til samme sky. En slik sky med flere lag kan bestå av data generert av alle de tre forskjellige typene LiDAR-systemene. Dette gjør det mulig å konstruere digitale modeller med informasjon om både land- og havområder, og utnytte informasjonen i LiDAR system som er designet for drift. Et system hvor flere agenter gjennomfører LiDAR-målinger kalles ofte for LiDAR-nettverk. Disse nettverkene varierer både i størrelse og kompleksitet [24].

Slike nettverk kan gi digitale agenter tilgang på virkelighetsdata den ikke selv kan måle for øyeblikket. Med tilgang på større mengder data kan autonome systemer gjøre mer effektive beslutninger,

forberede seg, eller unngå hindringer. LiDAR-nettverk med punktsky bestående av flere lag gjør det mulig å introdusere agenter som gjennomfører mindre eller ingen målinger, men som samtidig har god oversikt over miljøet den befinner seg i.

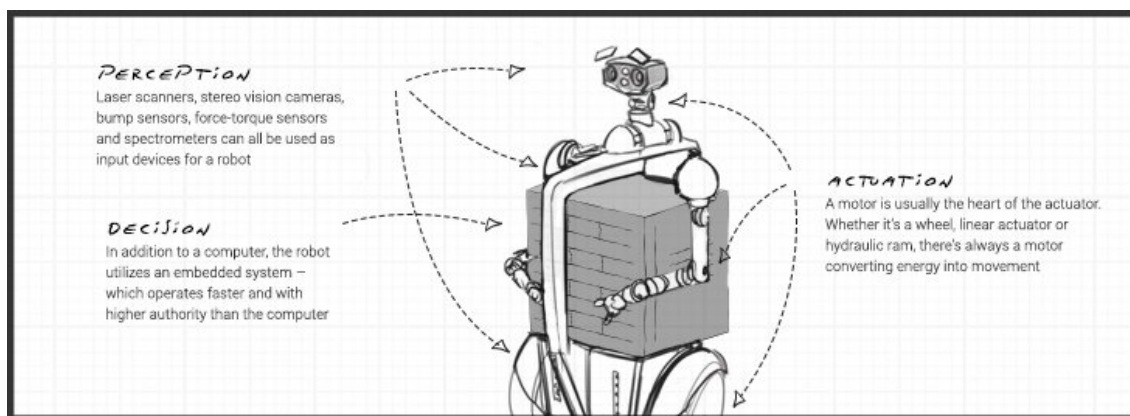
3.6 Autonomi

3.6.1 Definisjon

Ordet autonomi kommer fra de greske ordene *auto* 'selv', og *nomos* 'lov'[25]. En direkte oversettelse er noe som 'følger sin egen lov', men normalt brukes oversettelsen 'selvstyre' eller 'selvstyrende'. Ordet har blant annet betydninger innenfor medisin, filosofi, statsrett, og kybernetikk. Innenfor ingeniørretninger bruker man ordet gjerne i sammenhenger som 'autonome systemer' og 'autonome roboter'. Denne rapporten fokuserer på autonome roboter. I denne sammenhengen brukes definisjonen til selskapet Deloitte: "Autonomous robots are in a growing category of devices [...] that can be programmed to perform tasks with little to no human intervention or interaction." [26] Denne definisjonen dekker den viktigste egenskapen til autonome roboter - at de kan gjennomføre oppgaver uten menneskelig interaksjon - samtidig som den er generell nok til å ikke utelukke noe sentralt. Begrepene autonom robot og intelligent agent har overlappende definisjoner og kan brukes om hverandre.

3.6.2 Komponenter i en autonom robot

For å illustrere noen hovedkonsepter med autonome systemer konstrueres et veldig generelt eksempel på en intelligent og autonom robot. I sin enkleste form har en slik robot tre komponenter: sensorer å oppfatte verden med, en eller annen form for beslutningstagende modul og aktuatorer den kan bruke til å interagere med verden [27]. Dette er illustrert i figur 5. Dette skiller en autonom robot fra en vanlig robot, for eksempel en preprogrammert robotarm, ved at den autonome roboten tar egne beslutninger basert på sensordata i sanntid. Her kommer det også implisitt fram hvor mange fagfelt som inngår i konstruksjonen og programmeringen av autonome roboter. Blant annet inngår sensorteknikk, design, innvedde datasystemer, datasyn, kunstig intelligens, kretsteknikk, elektromotorer, maskinering, og ikke minst all matematikken som ligger som grunnlag for mange av disse spesialiseringene. Videre følger en bedre oversikt over de tre komponentene.



Figur 5: Et enkelt eksempel på en robot fra Waypoint Robotics Kilde: Waypoint Robotics

3.6.3 Sensorer

Autonome roboter i dag bruker gjerne flere forskjellige former for sensordata for å ikke bare beregne egen tilstand og posisjon, men også skaffe informasjon om miljøet den opererer i. GPS er en vanlig

måte for en autonom robot å beregne sin egen posisjon og hastighet på, mens den kan skaffe seg data om sine omgivelser ved for eksempel et kamera og bildegjenkjenning eller bruk av LIDAR. Trykk og kraft-sensorer er også brukt.



Figur 6: Waymo, tidligere Google self driving car project, utvikler autonome roboter i form av selvkjørende biler. Kilde:Waymo

3.6.4 Beslutninger

Autonome roboter skiller seg fra ikke-autonome roboter ved førstnevntes mulighet til å ta avgjørelser basert på sensordata og intern programmering, altså beslutningssystemet. Det er derimot utfordrende å implementere beslutningssystemer i roboter som opererer i omgivelser uten strengt definerte rammer. Hans Moravec oppsummerte det i boken *Mind Children: "It is comparatively easy to make computers exhibit adult level performance on intelligence tests or playing checkers, and difficult or impossible to give them the skills of a one-year-old when it comes to perception and mobility"* [28]. Datamaskinen 'Deep Blue' slo daværende verdensmester i sjakk Gary Kasparov så tidlig som i 1997 [29], mens datasystemer ikke kunne gjenkjenne ansikter uten feilprosjenter på over ti prosent før etter 2012 [23]. Roboter sliter i omgivelser som endrer seg på uforutsigbare måter eller er vanskelige å kvantifisere, men med dagens framskritt i bildegjenkjenning, kunstig intelligens og prosessorkraft kan den interne beslutningstagende modulen forbedres i såpass høy grad at roboter for eksempel kan kjøre bil alene, som vist i figur 6.

Det er ikke nok at den autonome roboten kan sanse omgivelsene sine, den må også ha oversikt over sin egen interne tilstand og hvor den befinner seg i forhold til omverdenen. Noen ganger har den informasjon om omgivelsene sine, for eksempel i form av et kart eller referansepunkter, og andre ganger må den kartlegge omgivelsene sine på egen hånd. Felles for begge tilfellene er at roboten må ha informasjon om hva den kan møte på i omverdenen og hvordan den skal forholde seg til det. Beregningsproblemet som oppstår når den autonome agenten både må fastslå sin egen posisjon og kartlegge området rundt seg heter SLAM. I tillegg til dette må roboten holde oversikt over sine interne funksjoner - for eksempel hvor mye drivstoff eller batteri den har og om alle systemer fortsatt fungerer som de skal.

3.6.5 Aktuatorer

Den tredje modulen autonomieksempelet trenger for å være en fullverdig robot er en måte å interagere med omverdenen på. Mange autonome roboter trenger en måte å transportere seg selv på, for eksempel hjul eller belter. Autonome støvsugere har innebygd støvsuger, og autonome droner har gjerne propeller. Det er omtrent like mange forskjellige aktuatorer som det er bruksområder for roboter. Her spiller gjerne mange forskjellige fagfelt inn, avhengig av hva slags teknologi roboten trenger for å utføre oppgaven sin.

4 Metode

4.1 Vår utvalgte metode

I denne rapporten har vi valgt å benytte oss av kvalitativ metode med en deduktiv tilnærming. Ved bruk av en kvalitativ metode vil man få tekstlige beskrivelser av virkeligheten, mens ved bruk av kvantitativ metode vil man forsøke å forklare virkeligheten med bruk av tall og data [30]. Vi har gjennomført dybdeintervju med Red Rock for å samle inn informasjon vi kan bruke til å svare på problemstillingen vår. I forkant av intervjuene leste vi oss opp og samlet inn teori som vi kunne bruke for å danne grunnlag til intervju spørsmålene. På denne måten benytter vi oss av en deduktiv tilnærming, ved at vi knytter generell teori til enkelttilfeller [30]. Teorien vi har skrevet om har vi blant annet hentet fra tidligere fagbøker og artikler.

4.2 Utførelse av intervju

For å samle inn informasjonen vi trengte til å kunne svare på problemstillingen vår, gjennomførte vi intervju med Red Rock. Intervjuene foregikk over Teams, noe som ga oss en fordel ved at vi kunne ta opp intervjuene. Opptaket ga oss også mulighet til å være fokusert og stille oppfølgings spørsmål dersom vi hadde ønske om det. Hele gruppen var tilstede da intervjuene foregikk. I forkant av intervjuene var alle med på å utforme spørsmål, og intervjuguiden ble sendt til respondentene på forhånd. Respondentene hadde vi delvis kjennskap til fra før gjennom tidligere møter arrangert av Kartverket.

5 Resultat

5.1 Intervju med Red Rock

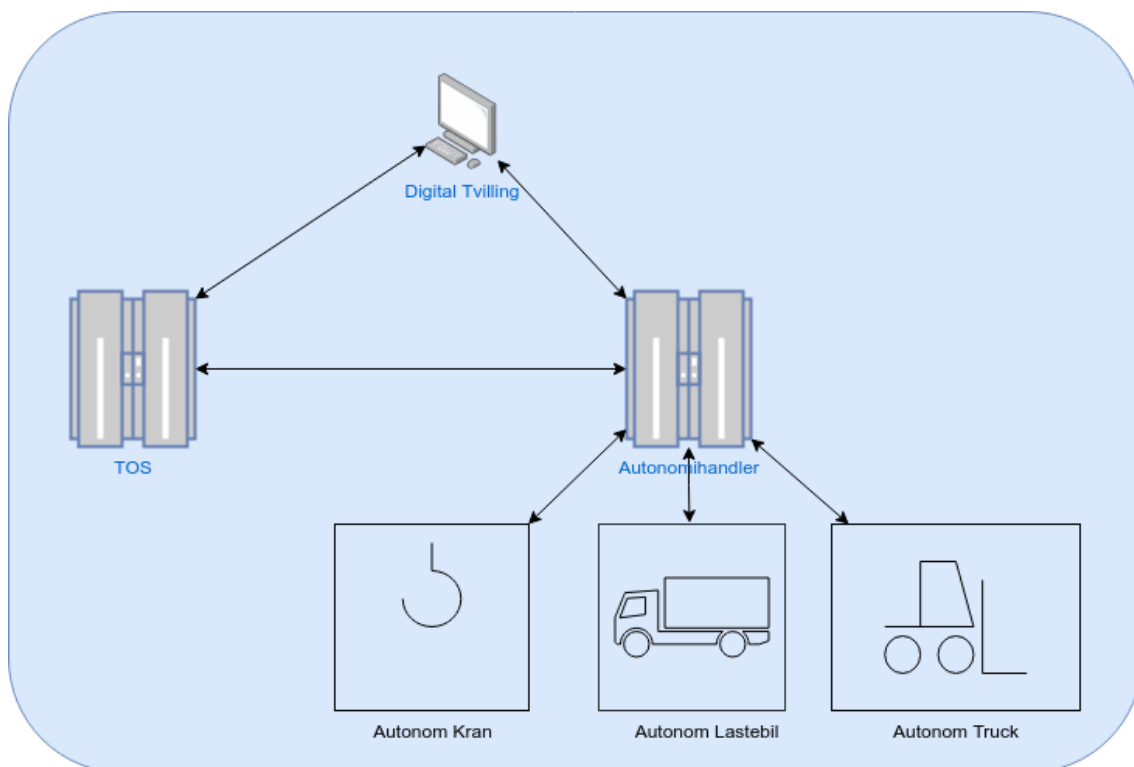
For å få svar på spørsmål om autonomi i havn og havnedrift generelt satte vi opp et intervju med to respondenter fra Red Rock. Dette intervjuet ble gjennomført digitalt den 23 mars 2022. Her er et sammendrag av relevante deler av intervjuet, mens hele intervjuet kan finnes i 8.1.

- Nåværende logistikk-løsninger i havn kan være veldig ineffektive, og opp til 40 % av transportkostnadene til en konteiner kan gå til operasjoner i selve havnen.
- Det er et potensiale i å utvikle et nytt system for logistikk i havn som kan ta inn flere variabler for å bedre optimalisere vareflyt i havnen, for eksempel ved å regne på kjøreruter og totalvekt.
- Mye av mobiliteten i havner er bundet opp i konteinere uten eier som verken kan flyttes eller åpnes.
- Det er generelt lite samarbeidsvilje i havnen, der aktører vil bruke egne maskiner og ikke la andre bruke disse. Ressursbruken kan optimaliseres.
- Det brukes roboter i havner, for eksempel Hamburg, men disse er ikke autonome. Tanken er å utvikle løsninger som er generelle og kan være lønnsomme i små havner så vel som store.
- HMS forbedres av autonomi i havn. Det er stressende å bruke store maskiner og de som jobber i havn har gjerne begrenset arbeidstid i maskin. Autonome løsninger kan også lage mindre støy, samt få mennesker ut av havneområdet.
- Autonomi er en prosess. Man vil ikke få bedre effektivitet enn mennesker fra dag en, men man får mange andre fordeler som HMS og kapasitet. Det er også sannsynlig at autonome løsninger overgår menneskelig kapasitet på sikt.
- Dagens autonome systemer i havn bruker en kombinasjon av mange sensorer, som GPS, LiDAR, bildegjenkjenning, akselerometer, gyro og enkodere.
- De eksisterende autonome løsningene bruker bildegjenkjenning for å gjenkjenne paller og konteinere. Systemet må ”huske” hvor de forskjellige pallene og konteinerene kommer fra og hva som er inni dem.
- Menneskelige aktører i havn er tilbøyelige til å feilplassere eller miste konteinere og paller. Dette løses ved bruk av autonome systemer med kommunikasjon seg imellom.
- Både kraner og trucker trenger informasjon om hvor paller og konteinere befinner seg og hvor de skal, mens trucker og lastebiler jobber mer i 2D og kan for eksempel bruke forenklete versjoner av havnekartet.
- Sikkerhet for mennesker i havn er sentralt i utviklingen av havneautonomi og sikres blant annet med menneskegjenkjenning på bilder og nødstopper.
- Initiativet for å standardisere havnedata kan hjelpe på utviklingen av autonomi i havn, fordi standardisering av data er sentralt for å utvikle digitale tvillinger og autonomi. Det er ingen som har gjort dette før og derfor tar det tid.
- Det er lettere å sikkerhetsertifisere en LiDAR enn bildegjenkjenning, og LiDAR fungerer bedre i visse situasjoner, for eksempel i forhold til monotone flater. Bildegjenkjenning spiller likevel en stor rolle for blant annet objekt- og menneskegjenkjenning.
- Autonomien er både sentralisert og de-sentralisert. Når arbeidslisten er gitt jobber hver maskin autonomt for seg selv for å løse sitt oppdrag. Likevel er det en form for sentralstyring som overvåker alle robotene, selv om de løser oppgavene sine på egen hånd.

- Det å ha en digital punktsky av en havn kan spare på inngangskostnadene til autonomien, siden robotene ikke trenger å lage kartene selv. De eksisterende kartene er gjerne også mer nøyaktige. Dermed kan de autonome agentene heller fokusere på å oppdatere kartet og avdekke avvik.

5.2 Praktisk Del

Som utgangspunkt for å svare på problemstillingen har vi laget en løsningsskisse basert på informasjonen vi har samlet inn. Skissen viser sensorer og dataflyt i et system hvor en digital tvilling brukes til å optimalisere logistikkoperasjoner i havn, samt hvilke data et autonomt kjøretøy vil trenge i dette systemet.

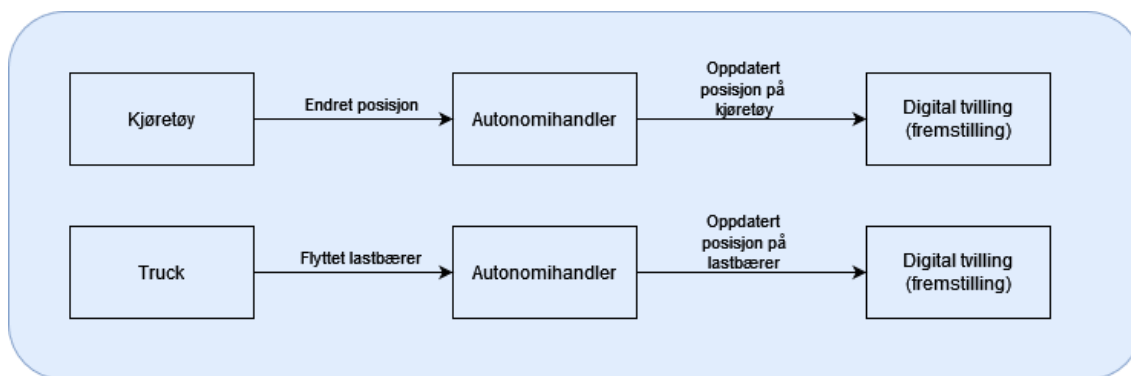


Figur 7: Figur som viser tiltenkt kommunikasjon i en autonom havn med digital tvilling.

Denne figuren viser hvordan et digitalt interface kan brukes for å kommunisere med autonome agenter i havn. Her er det også mulig å manuelt legge til oppgaver som må utføres i havnen, og å overkjøre både TOS og autonomihandler om nødvendig.

Ved normal drift vil TOS gi instruksjoner til autonomihandleren om hvilke operasjoner som må utføres. Autonomihandleren vil da finne den nærmeste ledige agent for oppgaven. Agenten vil da gjennomføre denne operasjonen og sende informasjon tilbake til autonomihandler, som vil videregjøre til TOS og oppdatere digital tvilling. TOS vil alltid informere digital tvilling om planlagte operasjoner. De autonome agentene sender lidar-data til autonomihandleren som igjen deler den oppdaterte informasjonen med den digitale tvillingen som oppdaterer virkelighetsfremstillingen. TOS bruker data fra den digitale tvillingen for til enhver tid å ha kontroll over hvor de forskjellige lastbærere befinner seg og for å optimalisere vareflyten.

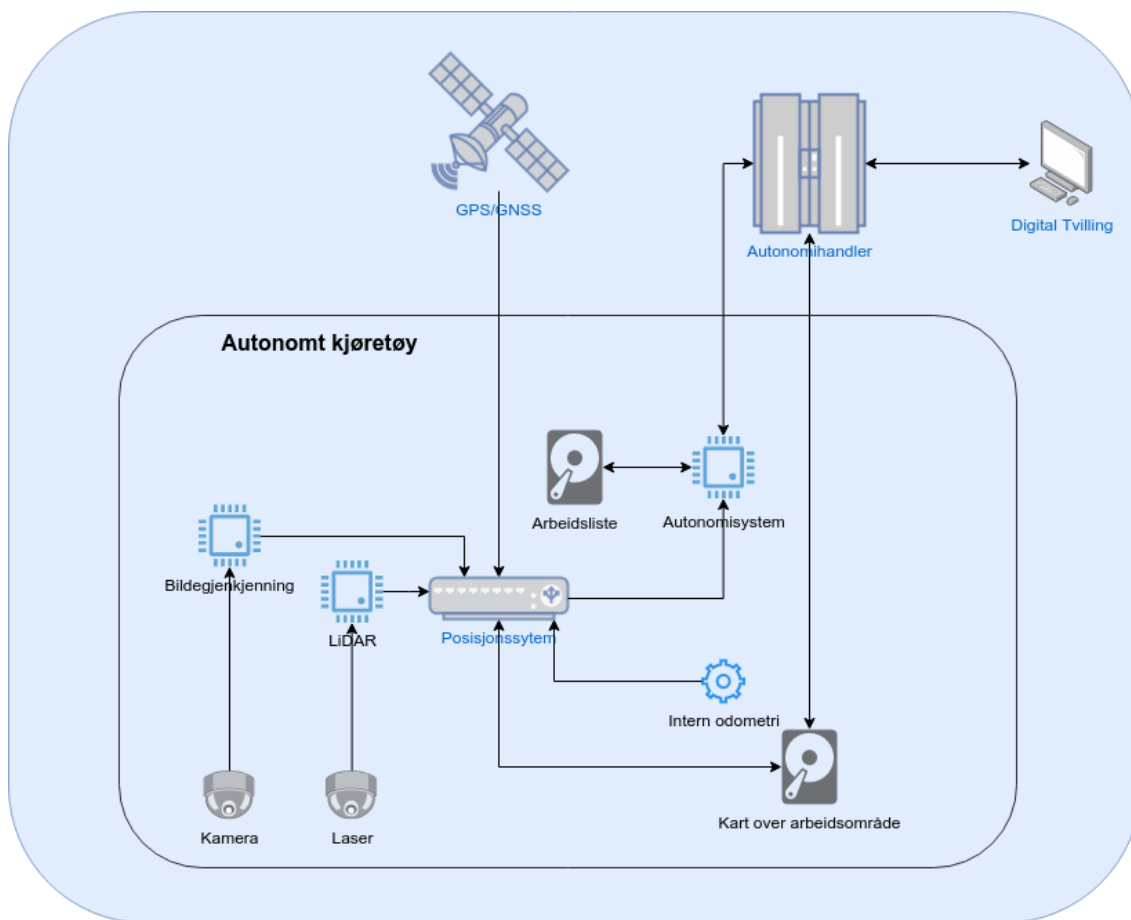
5.2.1 Dynamisk Oppdatering



Figur 8: Figur som viser hvordan autonome agenter kan melde fra om sin posisjon til en digital tvilling.

For at den digitale tvillingen skal utnyttes fullt må den ha kontinuerlig oppdatert informasjon fra alle agenter i havna. Figur 8 viser et enkelt eksempel på dette. For eksempel kan TOS si fra til autonomihandleren at en lastbærer skal fraktes fra punkt A til punkt B. Deretter tar autonomihandleren en beslutning på hvilken agent eller hvilke agenter som skal samarbeide for å flytte lastbæreren. Dette kan være en eller to kraner og en spesifikk truck eller lastebil. Deretter vil disse autonome agentene jobbe i tandem for å flytte nevnte lastbærer. Samtidig som oppgaven utføres vil trucken oppdatere den digitale tvillingen kontinuerlig med sin egen posisjon, og når lastbæreren er satt på plass på sitt nye sted vil dens posisjon også oppdateres, både i digital tvilling og i TOS.

5.2.2 Autonomt kjøretøy

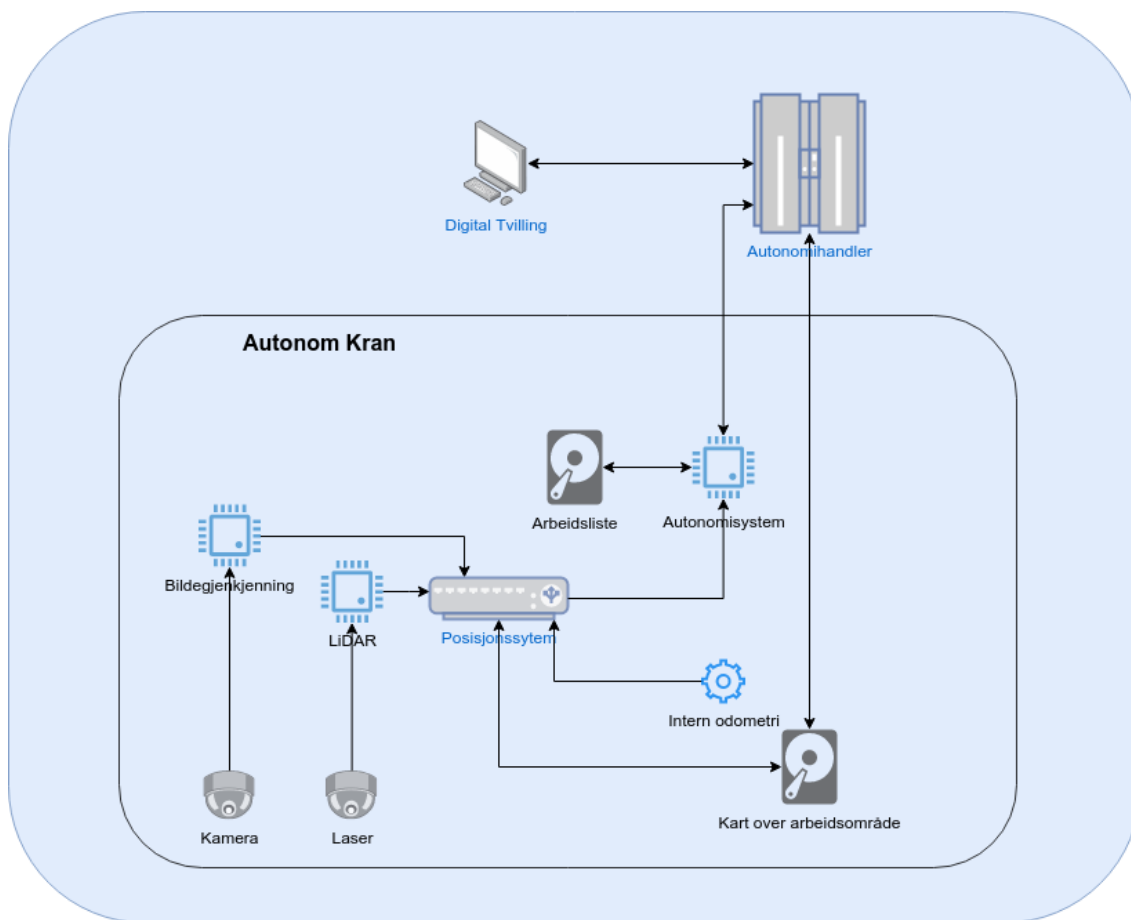


Figur 9: Figur som viser hva vi mener et autonomt kjøretøy bør kunne støtte som en del av digital tvilling.

I vårt system vil de autonome kjøretøyene forholde seg til et kontinuerlig oppdatert digitalt 3D-kart for å gjennomføre arbeidsoppgavene sine. For å få den nødvendige rom- og posisjonsforståelsen den trenger bruker vi en kombinasjon av intern odometri, bildegjenkjenning, LiDAR, GPS og det tidligere nevnte 3D-kartet. Slik kan den autonome agenten gjennomføre oppgavene sine uten å kjøre på verken andre agenter eller mennesker i havna. En autonom truck eller lastebil trenger dog trolig ikke et 3D-kart for å utføre oppgavene sine, og kan dermed bruke en 2D-versjon av 3D-kartet fordi den ikke trenger høydeinformasjon om lastbærerne. Dermed sparer man lagringsplass i systemet. Arbeidslisten blir oppdatert kontinuerlig fra autonomihandleren som bruker oppdatert informasjon fra den digitale tvillingen til å fordele oppgaver til den mest optimale agenten. Agenten sender også oppdatert posisjonsinformasjon samt informasjon om gjennomførte arbeidsoppgaver opp til autonomihandleren som også oppdaterer den sentraliserte digitale tvillingen. Kartet over arbeidsområdet blir også oppdatert både fra autonomihandleren og det interne posisjonssystemet ved registrering av avvik fra punktskyen.

Den modellerte arbeidslisten er en liste med operasjoner som autonomihandleren kan sende til en autonom agent, slik at det er mulig å planlegge flere operasjoner frem i tid.

5.2.3 Kran

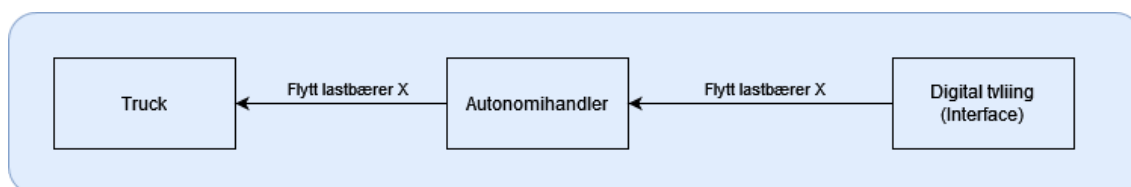


Figur 10: Figur som viser hva vi mener en autonom stasjonær kran bør støtte som en del av digital tvilling.

En stasjonær autonom kran vil trenge mye av de samme målesystemene som det et kjøretøy trenger. En forskjell er at en kran som er stasjonær ikke vil trenge GPS/GNSS siden den ikke vil bevege seg i havnen. Dersom det er en bevegelig kran, vil denne trenge GPS/GNSS. Til forskjell fra autonome kjøretøy vil kranen jobbe i 3 dimensjoner og vil utnytte alle dimensjonene i det digitale kartet.

Arbeidslisten modellert har tiltenkt samme funksjon som for 5.2.2.

5.2.4 Kommunikasjon og Digital Tvilling



Figur 11: Figur som viser hvordan digital tvilling kan påvirke en autonom truck i havnen.

Som tidligere nevnt er det viktig at kommunikasjonen fra den digitale tvillingen skal kunne gå begge veier, hvis ikke er det ikke en digital tvilling, men en digital skygge. Den modellerte kommunikasjonen vil kunne åpne for overnede operasjoner, samt detaljstyring av menneskelig operatør dersom det er nødvendig.

6 Diskusjon

6.1 Autonomi i havn

Dagens autonome roboter i havn bruker flere forskjellige sensorteknologier for å fullføre oppgavene sine. For å estimere posisjon brukes akselerometer, enkodere, bildegjenkjenning, satellittposisjonering, LiDAR og kommunikasjon med andre roboter i tandem. Det er derimot ikke nok at en robot bare kan posisjonen sin, den må også gjøre meningsfylt arbeid. Den må selvfølgelig vite hvor den er når den skal hente eller levere lastbærere, men for å gjenkjenne disse spiller gjerne bildegjenkjenning inn. Bildegjenkjenning er også et nyttig verktøy for å gjenkjenne mennesker og andre autonome agenter i havnen, som er viktig input til de autonome lagene. Bildegjenkjenning derimot presterer dårlig når den må estimere avstand og posisjon til monotone flater. Her dekker LiDAR over bildegjenkjenningens svakheter. For å estimere avstand og størrelse til lastbærere er LiDAR både bedre egnet og lettere å sikkerhetsklarere, da denne gir direkte fysisk informasjon i form av en punktsky og er mye mer transparent enn diverse black box systemer som brukes i bildegjenkjenning. LiDAR-en kan også vise seg å være uvurdelig for innendørs odometri, da satellittbaserte posisjonssystemer slutter å fungere. Dette fordrer at agenten enten selv bygger eller importerer et kart over interne dimensjoner på området slik at den kan bruke sin relative posisjon til noe nyttig.

6.1.1 Forutsetninger for autonomi

For at et en robot skal være autonom, må den være istand til å ta avgjørelser på egen hånd i forhold til dens sensordata og interne tilstand. En autonom robot i havn vil av nødvendighet måtte være klar over sin egen posisjon relativt til paller og containere den skal flytte. Det oppstår derimot et problem når det er flere autonome agenter i samme havn som skal utføre samme oppgave: hvem skal ta oppgaven? Her bruker man gjerne flere lag av autonomi: for eksempel kan det være en autonom eller ikke-autonom sentral som delegerer oppgaver videre til truckene og kranene i havnen. Disse robotene kan deretter utføre oppgaven autonomt på optimalt vis gitt deres interne tilstand og kunnskap om omgivelser, posisjon til lastbærere og destinasjoner og liknende. Her spiller den digitale tvillingen en sentral rolle. Selv om alle agentene utfører oppgaver i parallell, kan de kommunisere med en sentral som kontinuerlig oppdaterer en digital tvilling av havnen som den deler med agentene. Slik får alle agentene en oppdatert verdensforståelse i sanntid som de kan bruke for å vite nøyaktig hvor spesifikke lastbærere er plassert, samtidig som de unngår kollisjoner med andre roboter og optimaliserer logistikken i havnen.

6.1.2 Punktsky

Videre kan et eksisterende LiDAR-kart over havnen, enten som en del av en digital tvilling eller ikke, være svært bidragsytende i forhold til posisjonssystemet til de autonome truckene og andre transportkjøretøy i havnen. Som tidligere nevnt slutter satellittbaserte posisjonssystemer å fungere innendørs. Da kan det eksisterende kartet brukes i tillegg til standardssystemene, som enkoder og akselerometermåling, for at en autonom agent ikke mister posisjonsestimatet sitt eller forhindre at posisjonsestimatet avviker uakseptable mengder. Når agenten allerede har et kart over de innendørs omgivelsene den skal operere i kan den kalibrere egne sensorer i forhold til det interne kartet, og dermed bruke mindre tid og datakraft på å kartlegge omgivelsene før den kan begynne å utføre oppgaver. Denne fordelene gjelder også generelt i havn. Autonome kjøretøy må ofte operere i ukjente omgivelser og bruke mye utvikling- og kalibreringstid på å bygge opp et kart av omgivelsene sine. Dersom dette kartet allerede eksisterer, for eksempel som en LiDAR-punktsky, kan det redusere inngangskostnaden til de autonome systemene ved at de ikke trenger å implementere en hel SLAM-algoritme, men heller kan bruke LiDAR-data i sanntid for å kalibrere og oppdatere et allerede eksisterende kart som godt kan være mer presist enn det ville vært om man skulle bygget kartet fra bunn.

Videre kan bruken av ferdig innmålte objekter som del av det digitale kartet over havnen bidra enda mer til havneautonomien. Prosjektet havnedata spesifiserer innmåling av flere forskjellige objekter

i havnen, som for eksempel EL-uttak, lastebegrensningsområder og posisjon til både mobile og immobile kraner [5]. Nøyaktig innmåling av posisjon på disse vil redusere inngangskostnaden ved implementering av autonomi i havn ytterligere ved at man ikke trenger å bruke tid på å ta nye innmålinger eller detektører for eksempel strømmuttak i bildegjenkjenningsmodulen. Likevel trenger ikke en autonom agent å vite mer enn nødvendig om omverdenen, så selv om det finnes informasjon om for eksempel slipp og fortøyningspunkter trenger ikke en autonom agent å vite mer enn at den ikke kan kjøre der.

6.1.3 Løsninger med autonomi i havn

Likevel er ikke verdien av en digital tvilling fullt forklart ved å bare trekke fram dens flertallige positive sider for utviklingen av havneautonomi. Posisjonering og klassifisering av lastbærere er et stadig problem i havn, der konteinere kan bli borte eller omplasseres mange ganger før de kommer seg videre i logistikkjeden, eller rett og slett blir stuet bort og glemt. Dersom man bruker en digital tvilling til å holde oversikt over lastbærerposisjonering blir disse problemene løst helt automatisk, og kostnadene ved om- og feilplassering reduseres kraftig. Algoritmer kan for eksempel regne ut den optimale måten å flytte lastbærere på i sanntid, noe som også reduserer antall flyttinger som må gjøres totalt i havnen, samt kostnader rundt dette.

6.2 Logistikkperspektiver ved en digital tvilling i havn

Nåværende logistikk-løsninger i havn er ikke så effektive som de burde være. Det er veldig mye manuelt arbeid av forskjellig kvalitet og det er dårlig utnyttelse av det utstyret som er tilgjengelig. Ofte kjører havnen på rundt 50% kapasitet fordi aktørene samarbeider lite og de ser på det som «Denne konteineren er min, det er kun jeg som skal håndtere denne». Dette gjør at når det er mer gods som kan håndteres, men godset «tilhører ikke meg» så blir ikke utstyr utnyttet til sitt fulle potensial. Ved hjelp av digitale verktøy og autonome kjøretøy kan dette løses mer effektivt. En digital tvilling over havnen, med tilhørende autonome agenter, kan føre til at utnyttelsen bli høyere. Dette legger bedre til rette for at aktører kan samarbeide mer og at alle aktørene kan håndtere alt gods. For å tilrettelegge for dette må den digitale tvillingen overvåke alle operasjoner på havnen og utnytte en tilgang til TOS, som er dagens styringssystem.

6.2.1 Autonom utnyttelse av TOS

TOS håndterer godt de styringsparameterne som er satt og kontrollerer havnen ut i fra dette, men den tar ikke for seg utførelsen og den er avhengig av menneskelige interaksjoner for å fungere optimalt. TOS sier når, hvor og hva som skal flyttes, samt hvilke utstyr som skal brukes, men den utfører det ikke. I dag er utførelsen og flyttingen av gods mye gjort av mennesker, og det er ikke alltid at de gjør de operasjonene som er best. TOS sier hva en skal gjøre, men det er ikke 100% sikkert at det blir gjort slik systemet vil fordi det krever en del menneskelige interaksjoner. TOS er et system en digital tvilling og dens agenter må ha tilgang til og støtte seg opp til da det er dette som bestemmer logikken og tar beslutninger basert på vareflyten. Hvordan oppgavene blir utført er opp til menneske eller den autonome agenten.

Det at havner er så avhengige av mennesker gjør at de kan bli mindre effektive enn potensielt mulig og det er flere uforklarlige hendelser som finner sted. I dagens havner blir gods flyttet sporadisk fordi en trenger det som ligger bak. Dette gjør det veldig vanskelig å holde følge med hvor gods står og letingen og flyttingen på gods tar opp kapasitet og tid som ellers kunne blitt utnyttet mer effektivt. En sporadisk flytting av gods blir ikke nødvendigvis oppdatert i TOS automatisk eller av menneske som flyttet på det, og dette fører til at lastbærere blir udokumentert flyttet dermed forsvinner. En dynamisk oppdatering av plasser, nøyaktige ordre fra TOS som blir gjennomført slavisk og autonome kjøretøy som ikke gjør menneskelige feil eller sporadiske flyttinger kan gjøre en havn mer effektiv.

6.2.2 Dagens havnelogistikk

I dag er opptil 40% av alle kostnader knyttet til konteinerfrakt bundet opp i havnelogistikk og operasjonene som utføres her. Dette kan blant annet komme av at det er lite effektive prosesser i havnen og at utnyttelsen av havnen ikke er optimal. Lagring og frakt av containere er aspekt som tar mye plass, krever mye ressurser og det tilfører ikke noe direkte verdi for produktet eller sluttkunden. Det er derfor ønskelig å redusere tiden det tar å transportere godset og tiden det er på lagring. Ved å effektivisere prosessene kan kostnadene bli redusert fordi gods ligger kortere på lager og det kommer raskere ut av havnen og til sluttkunden.

6.3 Samfunnsnytte

Digitalisering av norsk havnedrift har flere fordeler for samfunnet. Oppdaterte digitale kart over havneområder senker inngangskostnadene til autonome aktører ved å redusere deres kartleggings- og kalibreringskostnader. Videre vil innføringen av autonomi i havn bringe med seg flere fordeler, som for eksempel økt oversikt og på sikt sannsynligvis økt effektivitet i havnen. Videre vil logistikkomkostninger knyttet til tapte lastbærere og unødvendig flytting av disse kunne reduseres gjennom økt oversikt over logistikkflyten i havnen. Slik strømlinjeformes havnedrift og unødvendige ressurs- og tidsomkostninger reduseres.

Videre kan sentralisering og standardisering av en digital tvilling i havn være gunstig for andre aktører i samfunnet framover. Dersom de digitale tvillingene blir utformet i samarbeid med aktuelle aktører kan tvillingene inkludere nødvendig informasjon som for eksempel reduserer kostnader eller øker effektiviteten til nevnte aktører. Det er dog viktig å presisere at det tar tid og ressurser å lage disse digitale tvillingene. Derfor bør de ta med så mye relevant informasjon som mulig og lages tett opp til spesifikasjonene fra privat og offentlig industri. Dette vil maksimere den positive effekten disse har for samfunnet.

6.4 Validering av resultat

I dette studiet er det kun gjennomført ett intervju med en ekstern aktør i tillegg til at det er gjennomført en praksis del basert på våre og ekstern aktør sine oppfatninger. Red Rock, den eksterne aktøren, er en aktør som gruppen hadde lite kjennskap til fra før, men som er en pålitelig kilde i våre øyne. Red Rock jobber nemlig i front med teknologien som omtales i dette prosjektet. Vi intervjuet to ansatte fra Red Rock i samme intervju. Dette kan ha svekket kredibiliteten da intervjuobjektene kan ha avtalt hva de skal si på forhånd. For å øke validitetet og kredibiliteten av dette prosjektet måtte det ha blitt gjennomført flere intervjuer med flere aktører, både hos Red Rock og hos andre som har ekspertise på området.

Det er brukt flere sekundærkilder i sammenheng med rapporten vår. Vi har sørget for at kildene er oppdaterte, og har valgt å belage oss på denne informasjonen da vi mener den er pålitelig. Etersom digitale tvillinger og autonomi stadig er i utvikling har vi konsekvent benyttet oss av nyere artikler.

7 Konklusjon

LiDAR-data kan brukes til å gi digital tvilling både en statisk og dynamisk virkelighetsrepresentasjon, noe som kan utnyttes av digitale optimaliseringssystemer og autonome agenter. Den statiske punktskyen bygget opp av LiDAR-data reduserer inngangskostnadene til aktører som vil implementere autonomi i havn. Ved å starte med et presist digitalt kart over havneområdet reduseres behovet for kalibrering av sensorer og utvikling av SLAM-algoritmer, samtidig som interessepunkter som EL-uttak og kranfester allerede er innmålt. LiDAR-dataene kan også kombineres med bildegjenkjenning for å kontinuerlig oppdatere den statiske punktskyen i den digitale tvillingen med både avvik fra innmåling og endring av posisjon til lastbærere. For TOS så kan disse dataene brukes til å oppdatere avvik som følge av at operasjoner ikke har blitt gjennomført i henhold til TOS sine ordre.

For at en agent skal kunne gjøre operasjoner autonomt trenger den en virkelighetsforståelse. Denne virkelighetsforståelsen bygger på intern odometri, GPS, LiDAR-data, og støttedata fra den digitale tvillingen. Støttedataen kan være et kart bygget på en statisk LiDAR-måling som inneholder flere interesseområder. Kartet bør være begrenset til det området agenten opererer i. Interesseområder vil blant annet være ladepunkt og steder hvor den skal hente eller sette fra seg last. For at autonomihandleren skal kunne delegere operasjonene på den mest optimale måten trenger den, og kartet, informasjon om maksimal bærekapasitet, antall agenter tilgjengelige og hvilke operasjoner de forskjellige agentene kan utføre.

En digital tvilling i seg selv vil ikke direkte gjøre logistikken i havn mer optimal, men bruken av autonomi vil hjelpe til med å optimalisere flyten ved å konsekvent finne gode logistiske løsninger. Slik en digital tvilling og autonomi kan forbedre logistikken, er ved å tilby et system hvor menneskelige feil og tilfeldige flyttinger av lastbærer ikke vil forekomme. Det vil kunne gi et bedre datagrunnlag til TOS og faren for å miste oversikt over lastbærere vil minke betraktelig, siden det alltid finnes en digital logg av operasjoner som er gjennomført og hendelser som har oppstått.

7.1 Videre arbeid

Etter samarbeidet med Kartverket og resultatene vi har kommet frem til, har vi funnet noen punkter vi mener at kunne vært spennende å se videre på. Det finnes flere aktører i havn enn de som jobber med autonome agenter. Ved å kartlegge disse aktørenes behov kan samfunnsnyttene som fremkommer av en kontinuerlig oppdatert digital tvilling i havn økes. Det vil da også være mulig å se på hvilke støttedata disse aktørene trenger eller har nytte av for å forsterke nytten av digital tvilling i havn.

Problemstillingen vår kan også videreføres ved å se mer konkret på spesifikke behov for støttedata diverse autonome kjøretøy trenger for å utføre oppgavene sine. Vårt prosjekt har av natur vært av mer teoretisk art, men ved å fysisk besøke havner og undersøke dagens autonome løsninger kan man dypere og mer presist redegjøre for hva slags støttedata disse kan dra nytte av.

Bibliography

1. NTNU. Ekspert i team. Available from: <https://www.ntnu.no/eit> [Accessed on: 2022 Mar 2]
2. NTNU. Ekspert i team. Available from: <https://eitbok.no/> [Accessed on: 2022 Apr 20]
3. Informasjonsteknologi og Elektronikk - NTNU F for. Ekspert i team - TDT4860 Digitale tvillinger. Available from: <https://www.ntnu.no/eit/tdt4860> [Accessed on: 2022 Feb 23]
4. Kartverket. Frå det yteste verdsrommet til dei djupaste havbotnar. Available from: <https://www.kartverket.no/om-kartverket/kva-kartverket-gjer>
5. Kartverket. Norsk digital havneinfrastruktur. 2021
6. Redrock. Redrock - marine and offshore. Available from: <https://www.redrock.no/marine-and-offshore/>
7. Redrock - marine and offshore. Available from: <https://www.redrock.no/>
8. Lastbærer. Available from: <https://snl.no/lastb%C3%A6rer>
9. al. J et. Characterising the digital twin: a systematic literature review. 2020. DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581720300110>
10. B.R. Barricelle EC og Fogli D. A survey on digital twins: definitions, characteristics, applications, and design implications. 2019. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8901113>
11. A. Fuller Z. Fan CD og Barlow C. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. 2020. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9103025>
12. A. Resheed OS og Kvamsdal T. Digital twin: values, challenges and enablers from a modeling perspective. 2020. DOI: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8972429>
13. How Secure is your Digital Twin? Available from: <https://www.slingshotsimulations.com/technical/how-secure-is-your-digital-twin/>
14. PostNord. Logistikk - hva er det? Available from: <https://www.postnord.no/tips-og-rad/hva-er-logistikk> [Accessed on: 2022 Mar 8]
15. Einar Spurkeland SNL. Logistikk. Available from: <https://snl.no/logistikk> [Accessed on: 2022 Mar 8]
16. Andreas Osnes NL. Havn. Available from: <https://snl.no/havn>
17. Song D. A Literature Review, Container Shipping Supply Chain: Planning Problems and Research Opportunities. 2021
18. SAP. Hva er ERP? Available from: <https://www.sap.com/norway/insights/what-is-erp.html>
19. G2. Best Terminal Operating Systems (TOS). Available from: <https://www.g2.com/categories/terminal-operating-systems-tos>
20. Solutions RB. Terminal Operating System (TOS). Available from: <https://rbs-tops.com/glossary/terminal-operating-system-tos/>
21. J. Prinsloo JVEM. TOWARDS INDUSTRY 4.0: A ROADMAP FOR THE SOUTH AFRICAN HEAVY INDUSTRY SECTOR. 2019
22. University OS. IBM. Available from: <https://www.ibm.com/topics/industry-4-0> [Accessed on: 2022 Mar 14]
23. Demush R. A brief history of computer vision and convolutional neural networks. Available from: <https://hackernoon.com/a-brief-history-of-computer-vision-and-convolutional-neural-networks-8fe8aacc79f3> [Accessed on: 2022 Mar 8]
24. Zhien Wang MM. Challenges and Opportunities in Lidar Remote Sensing. Available from: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsen.2021.641723/full>
25. Ordbok DNA. autonom. Available from: <https://naob.no/ordbok/autonom> [Accessed on: 2022 Mar 8]
26. Deloitte. Using autonomous robots to drive supply chain innovation. Available from: <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/autonomous-robots-supply-chain-innovation.html> [Accessed on: 2022 Mar 8]

-
27. Walker J. What are autonomous robots? 8 applications for today's AMRs. Available from: <https://waypointrobotics.com/blog/what-autonomous-robots/>
 28. Moravec H. Mind Children: The Future of Robot and Human Intelligence. Harvard University Press, 1988
 29. IBM. Deep Blue. Available from: <https://www.ibm.com/ibm/history/ibm100/us/en/icons/deepblue/> [Accessed on: 2022 Mar 8]
 30. Ringdal K. Enhet og mangfold 4. utgave. Fagbokforlaget, 2018

8 Vedlegg

8.1 Intervju med Redrock

For å få svar på spørsmål om autonomi i havn og havnedrift generelt satte vi opp et intervju med to korrespondenter fra Red Rock. Dette intervjuet ble gjennomført digitalt den 23 mars 2022. Våre spørsmål er uthevet.

Hvordan ser en havn ut? Hvordan styres en havn? Litt hvordan materialflyten er og hvordan styres en havn? Det er jo mange typer havner, det er nummer én. Alt i fra store oljeterminaler er de kommer inn med tankskip og kobler seg på med ledning og får alt om bord, til mere rene logistikksentere som er store konteiner havner. Disse i forskjellige størrelser i tillegg. Det er her vi er mest inne nå, på konteiner «scopet». [...] Også er det jo globale føringer på hele logistikksektoren. Man har disse store båtene til Maersk og MSC som tar 30 000 konteinere, de har kanskje bare en 4-5 havner i verden de faktisk kan gå inn til. I dette segmentet kalles det ofte «Deep sea», altså dypt gående fartøyer. Typisk fra Kina til Antwerpen eller Hamburg også har man de som går til USA på vestkysten. [...] Også har man det som kalles «Short sea», da er det mindre havner man fordeler ut alle disse store også går de mer lokale ruter mellom Europa, Storbritannia og langs kysten i USA. Så det blir litt sånn de går til større logistikksentre også blir de distribuert ut? Ja. Der vi er inne nå med noen av de initiativene våres er mindre havner i Europa som kan ta båter som tar kanskje opp til 2000 konteinere. Ofte het ned til båter tar 2-300 konteinere som ofte går på disse short sea rutene som er på sjøen i 2-3 dager, kanskje opp til 1 uke før de går i land igjen.

Nå har vi sett på havet, hvordan fungerer det mer i havn? [...] Vi har hørt med våre potensielle kunder og ca. 40 % av all kostnadene de har med å transportere ting forsvinner i havneoperasjoner i selve havna. Noen eksempler fra Kristiansand havn der en konteiner kan bli flyttet på over 30 ganger internt i havna før den kommer ut på båten igjen. Rent logistikk messig kommer det en båt, du tar av (kollit), så blir det omlastning, også blir det satt på ny båt. Veldig ofte kommer det også inn trailere som fyller opp havna med konteinere, også skal de ut igjen også. Dette har jo de forskjellige logistikkoperatørene sine logistikk systemer som varetransaksjonen mellom den som eier varen og fp den inn til havna. Her ligger det ofte et, skal ikke kalle det ERP system, men et ordrehåndteringssystem i bunn som styrer alt. En utvidelse av den type systemer blir kalt «Terminal Operating System», altså terminal operasjons systemer som er en hybrid av et lager og vareflyts portefølje der man optimaliserer plassering av konteinere i havn. [...] Det har veldig fokus med lastefrekvens ut på båt med tanke på vekt plassering av konteinerne, så den gjør en del optimaliseringer så når krana først begynner å gå bygges det opp et lastbalanseprogram i tillegg. Dette er ikke noe «hokus pokus» men mange ser et potensiale av å lage et system som kan ta inn alle disse dimensjonene og planlegge rundt. Det man før optimaliserte i et WMS bare, optimaliserer man nå i vekt, i transaksjoner, i kjøreruter i havna. Inkludere alle disse planleggingsfunksjonene i et. Det er dette vi ser de sliter med, vanskeligheten med å ta for seg alle disse dimensjonene samtidig. [...]

En annen morsom faktor oppi dette med selve logistikken på havn, er et av de største problemene de har er plass. [...] Konteinere som har mistet eierskap er ikke lov å åpne eller flytte og må dermed stå og bare ta plass. Så mye av den mobiliteten som man rent logistikk messig kan forvente i en slik terminal blir bundet opp i at det er konteinere uten eier. [...]

Er det dette som har ført til den konteiner krisen som er akkurat nå? Nei. [...] Det vi har hørt er at det er veldig mange konteiner skip fra 50- og 60-tallet. Så det som har skjedd nå er at man har dumpa og tatt ut mange av disse skipene de siste fem årene, de har blitt for gamle. Også ble det et himla vakuu samtidig som det var «all time high» vekst i Kina og det har ikke vært kapasitet i markedet. [...] I tillegg nå så får de jo ikke ut konteinere fra havnene både på deep sea segmentet og short sea segmentet. Det har bare havarert. [...]

Det er også viktig å nevne at det er mange aktører inne i en havn, mange aktører som har sine kaier og sine områder. Akkurat der båten legger til er det felles og der jobber alle for å laste på og av, men så kan det være at de har sine deler rundt forbi. De kan bli litt proteksjonistiske og si «det

er mine maskiner som skal håndtere mine traktorer og containere». Også har de bare en oppetid på kanskje 50%, men de kunne ha delt den med en annen til havnens gode totalt. [...] Hvis de kunne si «vi har våre logistikkentre, en tredjepart kan ha maskinene. Vi trenger bare kapasitet». Så ville de ha mulighet til å komme et godt stykke videre på disse tingene. Der er det kundene ønsker å komme også, at containeren kommer fra der til der, men hva som skjer i mellom er de ikke så nøye på. Det er der dere kommer inn i bildet. Yes. [...]

Hvor stor må en havn være før det lønner seg med autonomi? Det jeg kan si nå, altså tradisjonelt så er det, for eksempel i Hamburg, «scripa» systemer, ikke autonome. Det er «container carrier» som bare følger magnetspor og bare går fra A til B og tilbake igjen. Det er et system som er laget til å funke akkurat der i havnen som en kran egentlig. Dette er jo en plass vi prøver å utfordre i dag, vi lager faktisk mer autonome løsninger som gjøre det mer lønnsomt å sette et utstyr inn på en havn som ser likt ut uavhengig av hvordan havnen ser ut. Og gjøre dette lønnsomt å bruke på mindre havner. Inntil nå har det ikke vært lønnsomt, antar at det er derfor det ikke finnes i dag. Det er så mange «edge cases» man må ta hensyn til og man kan ikke bygge opp hele havnen med autonomi i bilde. [...]

Helt konkret: hvorfor autonomi i havn? Hva tjener man på det? Det er to [grunner] jeg kommer på med en gang. Det ene er basert på diskusjon med noen av disse operatørene. Det er faktisk ganske slitsomt å sitte inne og operere disse maskinene. [...] Det er en av faktorene, rett og slett HMS-siden av det. Det er mest på den personlige opplevelsen, det er jo ingen personlig fare ved å sitte inne i disse maskinene. Det andre HMS-perspektivet er å fjerne folk ifra området der tunge løft og håndtering foregår. I tillegg er det det vi har snakket litt med kunder om, nemlig støyfaktorer. Når du kjøre manuelt [...] 'slår' du containerene inni hverandre for å være sikker på at du treffer for de kjenner maskinene og hører når det sitter ordentlig og låser. Du kan ikke stå i Moss og gjøre det klokka 12 på natten.”

Hva med effektiviteten? Vil den eventuelt gå opp ved å bruke autonome kjøretøy? ”Ja med tiden tror jeg. Det man veldig ofte ser når man starter automatisering av prosesser og implementerer autonomitet er at man ikke klarer å konkurrere på dag en med en gaffeltruckoperatør som har kjørt i 20 år. De gjør jo alt på feel og i blinde og er veldig raske [...]. Også tar du det ikke på dag en der menneske og maskin er i samhandling, altså der du har delte områder. [...] Så en maskin som går alene er det sannsynlig å tro at vil gå seinere enn et menneske dag en. Fordelen er at jeg kan ha, og det er gjerne de første målene vi jobber med sånn reint ressursmessig på sånt er om vi kan ha en-til-mange operasjoner, altså kan jeg ha en operatør som styrer mange maskiner. Operatøren har da ansvar for de komplekse greiene, men kan da styre en, to, tre, fire forskjellige maskiner, samtidig som han har en bedre og mer komfortabel hverdag det han kan være mer årvåken over de situasjonene han følger med på. [...] Det er helt nærliggende å tro at en operatør kan ha full oversikt over fire forskjellige maskiner og gripe inn der det trengs.

Hva slags data- og sensorinformasjon bruker dere i de eksisterende [autonome] systemene i havn idag?

”Vi bruker GPS, LiDAR, bildegjenkjenning [...] vi bruker gjerne også GNSS i tillegg til GPS. [...] Det vi bruker i tillegg er jo basicen i robotikk. Det er jo odometri sant, vi bruker jo faktisk aktivt enkodere og posisjonsfeedback fra hjulene og systemet for å forstå hvor vi er. En spesiell plass dette er en utfordring er jo at GPS ikke har signal inne. Så hvis jeg skal ha høyrekvent feedback på min posisjon inne må jeg jo ha LiDAR og bildegjenkjenning-matching av lokasjoner din og sånt. Du vil gjerne ha en redundans på posisjonen din. [Odometri] er en forståelse av hvor maskinen sier den har ting integrert over tid. Det en gjerne skjønner nå er at den er veldig prone to error over tid. Jo lenger tid det går jo mer drift har jeg. Jo lenger du går uten en GPS eller en LiDAR-kamera ground truth, jo mindre kontroll har jeg på hvor jeg er. Odometri bruker gjerne Kalman-filter med noe statisk akselerometer og gyro også Kalman-filter med det igjen. [...] For jeg har en høyfrekvent [sensor] som er gjerne akselerometer og gyro også har jeg en som er enkoder på hjulene som gjerne er veldig lavfrekvent i forhold til akselerometer. Så kan jeg kjøre den opp igjen til en LiDAR og kanskje det sammen med et kamerasystem også kan vi hive inn GPS-en.”

Hva bruker dere bildegjenkjenningen til? Gjenkjenner dere containere?

”Ja akkurat nå jobber vi mest med paller på den faktisk, men ja, containere er jo og aktuelt.”

Pallene og containerne må vel være markert for å gjenkjenne dem. Er de det?

Nei de trenger ikke å være markert, vi gjenkjenner objekter. Så går vi på lokasjon. Selvfølgelig vil det bli potensielt aktuelt å se på varenummer eller serienummer og får å se dem, men ta for eksempel Asko. Når de skal ha sine traller og tilhengere over båten. De kommer jo land og strand fra og de har jo tusenvis av traller. Jeg kan ikke gå og legge på markering eller noe annet. [...] Noe av det vi jobber med er jo at vi må ha kontroll på lokasjoner og hvor ting er. Der kommer digital tvilling inn. Jeg kan jo ha 5 containere i høyden, og det kan for eksempel være at [en spesifikk] container er i f eks felt B lokasjon 3.”

Kan man da bruke skiltgjenkjenning på [lastebilene]?

”Ja på de så har vi sett på skiltgjenkjenning. Og det er der vi har sett på verifisering av posisjon og. At du rett og slett leser nummerskilt for å se om de står der de skal stå. Med en gang du har et menneske inn har du ikke lenger kontroll på hvor ting står.”

En annen ting [...] er at det som ofte skjer i en havn er at en operatør bare flytter en container fordi operatøren trengte den som sto under, eller en palle for den saks skyld, og plutselig har du ikke kontroll over hvor den er lenger. Slik at du rett og slett mister containere.” **Ja for da er vi direkte inne på Digital tvilling med en gang.** ”Ikke sant. Du har ikke lenger logg over hva som har blitt gjort og mennesker er ikke perfekte.”

Hvordan skiller sensorinformasjonen som en autonom truck trenger kontra det en autonom kran trenger. Landbaserte kraner trenger for eksempel ikke GPS. [...] En truck jobber generelt i to dimensjoner, kranen må jobbe mye mer i tre dimensjoner. Selv når en gaffeltruck skal laste opp noe i en hylle er operasjonsplanet to dimensjoner. I en kran vil du alltid jobbe i tre dimensjoner. Du krever en bedre romlig forståelse i kranen. [...] Den digitale punktskyen som kartverket nå jobber med [...] er en potensiell ground truth over hvordan havnen har sett ut. Kanskje nesten viktigere for kranen. ”

Hvordan gjør dere det med mennesker? Det kan jo hende det er mennesker i [operasjonsområdet]

”Vi kjører jo menneskegjenkjenning på de kameraene vi har og fokuserer på å ha det. Det handler jo om sikkerheten igjen. Noe av det vi skal kunne gjøre er å finne mennesker og stoppe maskinen før den kommer i nærheten. Samtidig ønsker vi at i de miljøene vi er i nå er menneskene som er der instruert i å jobbe rundt autonome trucker, slik at de går med nødstopper og skal ha kontroll over dem.

Hva er det som gjenstår av infrastruktur og problemer som gjør at man ikke implementerer toveis digitale tvillinger i norske havner idag?

Det tror jeg det er mange svar på. Det er ikke modent nok teknologimessig. Jeg sitter med en følelse av at folk ikke helt vet hvordan de skal gjøre det. [...] Også tror vi at det initiativet som er nå til å prøve å lage noe standard for hvordan vi skal representere dataene vil nok hjelpe. Når vi bygger vår digitale tvilling må jo jeg bygge den fra bunnen etter min standard, men hvis jeg vet at det finnes standarder som jeg kan få den til som jeg vet at gjør det mye billigere for meg å lage neste digitale tvilling så er det ikke en engangsinvestering. [...] Sånn som vi har jobbet fram til vi kom i kontakt med havnedata er at vi egentlig bare har implementert en digital tvilling der det gagnar det autonome systemet vi skal ha og til den grad det gagnar mitt system. Vi ser da ikke nødvendigvis på synergiene over til det neste eller på de som utvikler det neste systemet sine behov. ”

Hvor viktig er bruker en av LiDAR for dynamisk oppdatering av en digital tvilling i havn? Hvorfor ikke bare bruke nevraltnett f.eks eller andre type sensorer og når man har LiDAR, hvordan annen data trenger du for å oppdatere en hensikts messig modell av havn?

LiDAR-en er helt irrelevant for meg i seg selv, det jeg trenger er en god dybde forståelse. Jeg trenger en tre dimensjonal input og forståelse til maskinen. [...] Det er mange teknologier som gjør dette; LiDAR, kamera og andre. Også er det mange som forskjellige styrker og utfordringer. Grunnen til at jeg vil bruke LiDAR dag 1 framfor kamera dag 1 er egentlig flerdelt. Den ene delen,

den rent tekniske delen, så er det dyrere for meg å utvikle på kamerateknologi i dag enn på en LiDAR fordi jeg trenger mer trening. Det ser man for eksempel på Tesla sin siste utgave. [...] Et kamera bruker veldig mye ressurser på å få det ut i tre dimensjoner, i tillegg så har de dårlig nøyaktighet på monotone flater. [...] Et kamera vil slite med å se dybden selv om det kanskje er den viktigste informasjonen for meg, mens LiDAR tar det med en gang. Den treffer jo bare og spretter av. Selvfølgelig så har LiDAR andre problemer, så jeg sier ikke at den er det beste å finne et menneske med for eksempel. Der vil man jo ha kameraer og knytte kamera opp til punktskyene våre og finne mennesker. Kameraene er veldig gode på å finne objekter og mennesker, punktskyen per i dag er billigere, skal ikke nødvendigvis si den er best. Dette er det mye forskning på. Men LiDAR er billigere enn punktsky i dag.

Også har man den andre tingen som handler om sikkerhetsgradering. For meg, å skrive en linje software som kan ta en roterende laser og si med ganske stor nøyaktighet hvor lang avstand det er til der og der. For meg å sikkerhetsgradere en kode som sier: «nødstop om du er så mye nærmere enn her». Å få en tredjepart til å verifisere at det ikke er noe bug i den koden, det er ikke noe annet den kan gjøre. Om den logikken hadde vært ganske enkel å sikkerhetsgradere, det hadde vært digg. Per nå for å få de beste dybdekamera algoritmene med bilder er ofte AI, blackbokser, komplisert matematikk og logikk som er veldig vanskelig for meg å sikkerhets sertifisere på noe vis. [...] Det er mulig å få tak i ferdig sikkerhets klassifiserte LiDAR-er, men de er veldig dyre fra leverandør.

Kjapp oppsummering: LiDAR fungerer veldig bra for noen ting. Også har man støtdata i form av bildegjenkjenning GPS, og gjerne andre liknende GPS teknologier. Også har man enkodere og akselerasjonsmeters

Hva slags annen input har du? Har du noe kommunikasjon mellom de forskjellige autonome agentene? Spørsmål 9 også?? Vi ser på en kombinasjon av et sentralisert og desentralisert system. Og vi ser noen forskjeller der, for eksempel AutoStore. [...] Sånne systemer som de har bruker et sentralisert styringssystem på hele robotikk stacken sin. Det vil si at det er en mastermind som styrer og orkistrerer hele greia. [...] Det vi ser at man ønsker en kombinasjon. Vi ser på vareflyt og sekvenser også desentraliserer vi det. Også har vi et system som bestemmer hvem er best til å utføre denne jobben etter at jobblisten er generert, desentralisert. [...] Måten vi ønsker å gjøre det er å desentralisere operasjonen, som vil si at når man har gir arbeidslisten så jobber hver maskin for seg selv som en del av en sverm for å løse sitt oppdrag. Når to agenter er nærme hverandre snakker de to direkte med hverandre om posisjonene. Sverm logikk gjør det mye lettere å kjøre komplekse styringsscenarier hvor man har en person eller high value target som kun den ene agenten ser. Agentene ved at de ikke kan kjøre på hverandre eller på personen som kun den ene ser. [...]

Hvor mange lag av autonomi finnes? Dette er veldig avhengig av hvem du snakker med. Det kommer an på sine egne implementasjoner fordi det finnes ingen standard enda. Våre metoder er sikkerhet alltid så langt ned man kan. Vi har: maskinkontroll, hardware kontroll, samle den hardwaren, få kontroll på systemet, høy nivå 50:20 – 50:30 , et lag der føreren ville vært som er operatør laget, her ligger også autonomien. Dette for at autonomien skal bruke maskinen slik en person ville.

Kan en statisk punktsky hjelpe til med kalibrering av nye agenter? Der en digital tvilling gjør det enklest for oss å komme inn i havn er at det senker vår inngangskost. Det gjør at jeg kan komme inn før jeg trenger å skrive veldig mye på SLAM-algoritmene mine. For SLAM har alltid problemer med closing the loop. [...] Det er løsbart, men det er komplekst, og du trenger høysensorgreier. Så for meg i starten, når jeg vil utvikle dette litt rimeligere, så kan jeg kanskje droppe hele SLAM-en for det første kartet. Da kan jeg bare få det, konvertere det til 2D, så oppdatere et eksisterende kart og se om det er avvik på det. Da slipper jeg en del av disse problemene som allerede er løst med den litt dyrere scanneriggen de går rundt med første gang. ”

Og det fungerer?

”Jeg har ikke prøvd det enda, men jeg regner med det. Det er jo billigere for meg å oppdatere og lokalisere [kartet] enn å skrive den første mapping-algoritmen. Det er en hel algoritme jeg slipper å skrive. Hvordan mapper jeg fra en tom verden.”