

Rapport

Kartlegging av nye kjøretøy- eller maskinteknologier for vinterdrift av gang- og sykkelveger

Lavutslipps- og autonome kjøretøyer eller selvkjørende maskiner

Forfattere

Hampus Karlsson

Isabelle Roche-Cerasi

Torun Rise



Rapport

Kartlegging av nye kjøretøy- eller maskinteknologier for vinterdrift av gang- og sykkelveger

EMNEORD:

Vinterdrift, gang- og sykkelveg, FoU
Bevegelse,
kjøretøyteknologi,
lavutslipp, autonome kjøretøy

VERSJON

1.0

DATO

2020-07-03

FORFATTERE

Hampus Karlsson
Isabelle Roche-Cerasi
Torun Rise

OPPDRAGSGIVER

Statens vegvesen, Drift og vedlikehold

OPPDRAGSGIVERS REF.

Katja-Pauliina Skille

PROSJEKTNR

102019148

ANTALL SIDER OG VEDLEGG:

45+ 0 vedlegg

SAMMENDRAG

Det stilles stadig strengere krav til både reduksjon i klimagassutslipp og til standard på gang- og sykkelveger. Økt bruk av barvegsstandard medfører en hyppigere frekvens av ulike kjøretøy på gang- og sykkelveger, noe som skaper flere utfordringer knyttet til miljø, fremkommelighet, sikkerhet, kostnader og nødvendig maskinell og personell.

Drift av gang- og sykkelveger er ressurskrevende da det ofte omfatter små maskiner og lave hastigheter. Dette er elementer som gjør det interessant å kartlegge om bruk av selvkjørende maskiner kan være en løsning slik at drift av gang- og sykkelveger kan effektiviseres. Foreliggende rapport er en kartleggingsstudie med mål om å avdekke hvilke lavutslippskjøretøyer/maskiner samt selvkjørende maskiner som finnes for vintervedlikehold av gang- og sykkelveger. Rapporten søker å gi en oversikt over hva som finnes av tilgjengelig teknologi og hvilket utstyr som finnes på markedet i dag, hvilke driftsoppgaver disse har og hvilke erfaringer man har høstet så langt, samt i hvilken grad teknologien er moden nok til å være et alternativ under norske vinterforhold.

UTARBEIDET AV

Hampus Karlsson, Isabelle Roche Cerasi, Torun Rise

SIGNATUR
Roche Cerasi (Jul 1, 2020 11:41 GMT+2)**KONTROLLERT AV**

Terje Moen

SIGNATUR**GODKJENT AV**

Gunrid Kjellmark

SIGNATUR
Gunrid Kjellmark (Jul 1, 2020 13:50 GMT+2)**RAPPORTNR**

2020:00525

ISBN

978-82-14-06506-0

GRADERING

Åpen

GRADERING DENNE SIDE

Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0.1	2020-03-16	Utkast til rapport oversendt SVV for kommentarer.
1.0	2020-07-03	Ferdigstilt rapport.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	5
2	Metode	6
3	Lav- og nullutslippskjøretøy	6
3.1	Lavutslipp	6
3.1.1	Biodrivstoff	6
3.1.2	Kjøretøy	7
3.1.3	Er det mulig å stille krav om biodiesel i dag?	8
3.2	Nullutslipp	8
3.2.1	Nullutslippstraktorer	8
3.2.2	Traktorer som er/har vært i drift.....	9
3.2.3	Traktorer på konseptstadiet	9
3.2.4	Nullutslipps hjullastere	10
3.2.5	Andre redskapsbærere	10
4	Selvkjørende maskiner	11
4.1	Utprøving av selvkjørende maskiner - Lover og forskrifter	11
4.2	Selvkjørende feiemaskin, Spring Mobility GmbH (Tyskland)	13
4.2.1	Beskrivelse	13
4.2.2	Europeiske direktiver	14
4.2.3	Installasjonsprosess	16
4.3	Selvkjørende feiemaskin, Husqvarna (Sverige).....	16
4.4	Autonome feiemaskin, Autowise.ai (Kina).....	17
4.5	Selvkjørende feiemaskin, ENWAY (Tyskland)	19
4.5.1	Beskrivelse	19
4.5.2	Installasjonsprosess	20
4.6	Selvkjørende feiemaskin, China Mobile Ltd (Kina)	21
4.7	Selvkjørende feiemaskin, Mock skyscrapers (Singapore)	21
4.8	Selvkjørende feiemaskin, COWAROBOT-GiGadgets-ZOOMLION (Kina)	22
4.9	Selvkjørende feiemaskin, DustClean, RobotTechsrl (Italia)	22
4.10	Selvkjørende feiemaskin, ECOBOT (Singapor/Kina).....	25
4.11	Selvkjørende snørobot (Estland).....	26
4.12	Selvkjørende feiemaskin, Power Broom RT-1000, Left Hand Robotics (USA)	28
4.13	Selvkjørende snøploger, Yeti Snow Technology (Norge/Sverige).....	29
4.14	Selvkjørende AT135 traktor, Charlatte Autonom (Frankrike).....	30

4.15	Autovals, AF gruppen (Norge).....	31
4.16	Selvkjørende nytte og logistisk kjøretøy, Spring Mobility GmbH (Tyskland).....	32
4.17	Selvkjørende deliveryrobot, NURO (Frankrike)	34
4.18	Selvkjørende leveringsrobot, TwinswHeel (Frankrike).....	35
4.19	ZhenRobotics, Beijing (Kina)	36
4.20	Selvkjørende nytterobot, Starship Technologies (Estland, Finland og Storbritannia).....	37
5	Konklusjon	38
5.1	Lav- og nullutslippskjøretøy	38
5.2	Selvkjørende maskiner.....	38
5.2.1	Styresystem	39
5.2.2	Teknologi - Sikkerhet	39
5.2.3	Fremkommelighet	39
5.2.4	Motorkraft og nyttelast	40
5.2.5	Batterikapasitet og ladetid	40
5.2.6	Veitilstand	40
5.2.7	Hastighet (med hensyn til effektivitet).....	40
5.2.8	Funksjonell sikkerhet	40
5.2.9	Lover og forskrifter	40
	Referanser	44

BILAG/VEDLEGG

Ingen

1 Innledning

SINTEF er engasjert av Statens vegvesen (SVV) Drift og vedlikehold i FoU-programmet Bevegelse som har pågått siden 2017 og avsluttes i 2021. Målet er å øke forståelsen for hvordan drift og vedlikehold av gang- og sykkelveger kan bidra til å øke andelen fotgjengere og syklister. FoU-programmet er delt opp i fire arbeidspakker der denne rapporten inngår i arbeidspakke 2 Drift, metoder og utstyr.

Statens vegvesens strategi for drift og vedlikehold skal sikre at vegnettet er egnet til bruk for trafikantene og at vegnettet opprettholder sin funksjon, i tillegg til at den fysiske infrastrukturen blir ivaretatt. Dette omfatter blant annet at "ferdselsareal for gående og syklende skal være farbart og attraktivt for fotgjengere og syklister slik at de foretrekker å ferdes der framfor i kjørebane" [1]. Basert på blant annet trafikkvolum i tillegg til flere andre kriterier, har Statens vegvesen definert flere vinterdriftsklasser. Disse vinterdriftsklassene omfatter ulike typer tiltak samt ulike syklustider på tiltakene.

Dagens samfunn stiller stadig strengere krav, både til reduksjon i klimagassutslipp samt til standard på gang- og sykkelveger også vinterstid. Økt bruk av barvegsstandard medfører også en hyppigere frekvens av ulike kjøretøy på gang- og sykkelveger. Dette skaper flere utfordringer, både knyttet til miljø, sikkerhet og nødvendig maskinell og personell.

Målet med kartleggingsstudien er å avdekke hva status på tilgjengelig teknologi er, hvilke fordeler, ulemper og begrensninger finnes, og om dagens teknologi er moden nok til å tas i bruk for vintervedlikehold av gang- og sykkelveger under norske forhold. Dette vil også være med på å legge grunnlag for hvilke krav SVV både kan og bør stille i sine framtidige driftskontrakter.

I dag benyttes i hovedsak dieseldrevne maskiner for å utføre drift og vedlikehold på norske gang- og sykkelveger. Med bakgrunn i blant annet Norges forpliktelser knyttet til miljø og reduksjon i klimagassutslipp, er overgang til lavutslippskjøretøy et naturlig steg.

Drift av gang- og sykkelveger er ressurskrevende da det ofte omfatter små maskiner og lave hastigheter. Dette er elementer som gjør det interessant å kartlegge om bruk av autonome kjøretøy kan være en løsning slik at drift av gang- og sykkelveger kan effektiviseres.

Foreliggende rapport beskriver en utført kartleggingsstudie med mål om å avdekke hvilke lavutslippsmaskiner samt autonome maskiner som finnes for vintervedlikehold av gang- og sykkelveger. Rapporten søker å gi en oversikt over hva som finnes av tilgjengelig teknologi og hvilket utstyr som finnes på markedet i dag, hvilke driftsoppgaver disse har og hvilke erfaringer man har høstet så langt, samt i hvilken grad teknologien er moden nok til å være et alternativ under norske vinterforhold.

2 Metode

Lav og- nullutslippskjøretøy som er inkludert i denne rapporten er identifiserte gjennom søk på internett og kontakt med norske importører for de største internasjonale traktormerkene. Søkene på internett har både blitt gjort med søkemotorer som Google og direkte gjennomgang av ulike produsenters hjemmesider samt fagtidsskrifter innenfor landbruk og anlegg. Norsk, svensk og engelsk er benyttet som språk for søkene.

Kjøretøyer som kun blir nevnt på sider med en datostempling lenger tilbake i tid en fem år har blitt utelatt i rapporten da det er antatt at produktet ikke har blitt videreutviklet og finnes tilgjengelig i dagens marked. Det kan også være mangler i forhold til små og ukjente produsenter som ikke finnes i lister over kjøretøyprodusenter eller kommer opp i generelle søk. Men da det er et krevende innovasjonsarbeid å utvikle nye kjøretøy er det sannsynligvis svært få, om noen, tilfeller der små produsenter har kommet veldig mye lenger enn de store internasjonale selskapene.

Autonome kjøretøyer som er presentert i denne rapporten er kun prototyper som for de meste ikke er testet under reelle forhold. Informasjon om de ulike kjøretøyene er mottatt direkte fra flere internasjonale produsenter, men tekniske spesifikasjoner er ofte ikke tilgjengelige. Dette kan forklares med at de fleste autonome maskinene eller kjøretøyene er i konkurranse for å få europeisk sertifisering. Derfor var det vanskelig å sammenligne teknologier og produkter samt vurdere at de er eller vil kunne bli tilpasset norske forhold. Uavhengig av dette viser rapporten at det er et stort framtidig potensial i å automatisere oppgaver relatert til vinterdrift av gang- og sykkelveger.

3 Lav- og nullutslippskjøretøy

Nullutslippskjøretøy for persontransport er på sterk frammarsj og utvalget øker hele tiden. Nyttekjøretøy står samtidig for en vesentlig del av de totale utslippene fra transportsektoren, uten at man kan se den samme utviklingen her. De vanligste typene kjøretøy som brukes til vinterdrift av gang- og sykkelveger er traktorer og hjullastere samt i noen tilfeller spesielle koste/brøtemaskiner. I det videre følger en oversikt av hva som finnes eller er på veg inn i markedet av lav- og nullutslipps-traktorer, -hjullastere og -redskapsbærere.

3.1 Lavutslipp

Med lavutslipp menes kjøretøy som kan benytte biodrivstoff istedenfor diesel for å redusere klimagassutslippene. Kapitlet vil beskrive ulike typer av biodrivstoff samt fordeler og ulemper med å bruke det. Etterpå vil ulike produsenter som produserer kjøretøy som kan benytte biodrivstoff i ulike konsentrasjoner bli beskrevet uten at hver modell blir nevnt.

3.1.1 Biodrivstoff

Det er vanlig å skille mellom konvensjonelle og avanserte biodrivstoff hvor forskjellen er råmaterialet som brukes til å framstille det ferdige produktet. Konvensjonelle biodrivstoff framstilles av råstoff som også kan benyttes til framstilling av mat til mennesker og dyr. Avanserte drivstoff benytter på den andre siden restavfall fra industri og skogbruk. Hvor og hvordan biodrivstoffet er framstilt har stor effekt det totale utslippet. Produksjonen av råstoff, framstilling av biodrivstoff og transport til sluttforbruker er tre hovedfaktorer som påvirker det totale bildet. Derfor er det viktig at krav om biodrivstoff også etterfølges om krav til opphav og produksjonsmåte for å sikre klimagevinster [2] [3].

Biodrivstoff brukes ofte som en tilsetning til vanlig diesel for å redusere utslippene. Hvor mye som blir tilsatt varierer imidlertid fra noen få prosent opp til 100 prosent. Konsentrasjonen av biodrivstoff i biodiesel beskrives som B5, B20, B100 og så videre der tallet viser andelen biodrivstoff i prosent. Ulike motorer/leverandører tillater ulike blandingsforhold. Vanligvis er det konvensjonelt biodrivstoff FAME (Fatty Acid Methyl Ester) som brukes som tilsetning i konvensjonell diesel, denne har en annen struktur og

kan ikke brukes alene uten negative effekter på motoren, særlig i den kaldere årstiden. Hydrert vegetabilsk olje (HVO) er et annet biodrivstoff som har lik struktur med diesel og kan i praksis erstatte fossil diesel uten at kjøretøyet må modifiseres. FAME og HVO kalles ofte for henholdsvis generasjon 1 og generasjon 2 av biodiesel. Diesel av generasjon 2 type er sertifisert med egen europeisk standard (EN15940).

Ruralis og høyskolen i Innlandet gjennomførte i 2018-2019 et prosjekt for å teste ut effektene av å bruke nye sorter diesel av EN15940-type [4]. Prosjektet inkluderte både nye og gamle traktorer og strekte seg over 12 måneder med fokus på brukerens opplevelse og tekniske vurderinger av kjøretøyet underveis. Både tekniske undersøkelser og brukeropplevelser peker på at fornybar diesel av EN15940-type kan benyttes i dagens kjøretøyer, også når det er kaldt ute. Det er framfor alt kulde som har skapt problemer ved bruk av første generasjons biodiesel.

Kunnskapen rundt bruk av biodiesel er begrenset i det norske markedet. Etter å ha kontaktet samtlige av de største leverandørene av traktorer i Norge, er det få som kan svare på om EN15940 kan brukes i deres maskiner uten videre.

3.1.2 Kjøretøy

I det videre følger en oppsummering av merker som har modeller som kan benytte biodiesel etter standarden EN15940 uten at det påvirker garantier eller drift.

Det finske traktormerket Valtra er blant de som har kommet lengst med å promotere muligheten for å benytte biodiesel av type EN15940. Alle deres nye traktorer leveres fra fabrikk med biodiesel på tanken for å demonstrere at det er mulig å benytte ny biodiesel og at det ikke påvirker garantier eller drift [5].

Massey Ferguson bekrefter gjennom den norske leverandøren at deres S-modeller i traktorsortimentet kan benytte biodiesel generasjon 2 med full dekning av garantiordningen. Samtidig viser de til prosjektet gjennomført av Ruralis [4], hvor også andre modeller fra Massey Ferguson inngikk og klarte å kjøre på biodiesel uten komplikasjoner.

John Deere har kun informasjon om at det går å benytte biodiesel generasjon 1 med en blanding på opptil 20 % (B20) på alle deres traktorer [6]. Den norske importøren Felleskjøpet deltok imidlertid i prosjektet med Ruralis [4] hvor det på John Deere traktorer ble benyttet 100 % biodiesel generasjon 2. I kontakt med Felleskjøpet oppgir de også at det vil være mulig å få til løsninger for bruk av biodiesel generasjon 2 i nye traktorer dersom det er ønskelig.

New Holland har ikke noen tydelig informasjon om hvorvidt det er mulig å bruke 2. generasjons biodiesel i deres traktorer, men viser til en lang historie hvor de har benyttet alternative drivstoff for å redusere utslippene fra sine maskiner. Den norske importøren mener at det skal være mulig å benytte 2. generasjons biodiesel i deres traktorer, men importøren tørr ikke å si hvordan dette påvirker garantiordninger [7].

Redskapsbærere fra merket Wille blir fra 2019 levert med nye motorer fra Kohler som tillater bruk av andre generasjons biodiesel uten at dette påvirker drift eller garantiordninger for kjøretøyet.

Volvo, som blant annet produserer hjullastere, har begynt å benytte biodiesel generasjon 2 på sine demonstrasjoner, både for å informere om at det er mulig og for å redusere sine utslipp. Det er uklart om også eldre kjøretøy kan benytte 2. generasjons biodiesel eller om det kun er nye kjøretøyer som blir lansert [8].

3.1.3 Er det mulig å stille krav om biodiesel i dag?

I kontakt med norske leverandører er det tydelig at det er variert kunnskap om biodiesel generasjon 2 og dets kompatibilitet med dagens kjøretøy. Dette skyldes sannsynligvis at det er lav etterspørsel i markedet på grunn av at biodiesel er nesten dobbelt så dyr som vanlig diesel.

Gjennomgangen av maskiner som er kommersielt tilgjengelige viser imidlertid at det finnes maskiner i flere ulike størrelser på markedet i dag som kan benytte biodiesel. I tillegg viser forsøket gjennomført av Ruralis [9] at det er mulig å bruke andre generasjons biodiesel på både nye og gamle maskiner uavhengig av om de er godkjent for biodrivstoff eller ikke, og uten at det går ut over ytelse eller levetid på maskinene. Dermed er det ikke kjøretøyene som utgjør et hinder for å ta i bruk biodiesel i vinterdrift av gang- og sykkelveger.

Det største hindret mot biodiesel i dag er tilgjengeligheten og produksjonsmåten. For å sikre klimagevinster må biodieselen framstilles uten tap av regnskog eller at det benyttes arealer som trengs til å dyrke mat. Teknologitvillingen skjer imidlertid raskt og i en rapport fra Ruralis [10] vises det til at det er flere initiativ som pågår i Norge for å øke den norske produksjonen av biodiesel. Når det er sagt, er det imidlertid ikke nødvendigvis slik at den tilgjengelige biodieselen vil være tilgjengelig for traktorer og lignende i framtiden. Det kan tenkes at den blir allokert til andre formål som for eksempel flytrafikk, hvor problemene med utslipp er større.

Per dags dato er det imidlertid sannsynligvis mulig å kreve at det benyttes biodiesel til drift av gang- og sykkelveger, da drivstoffetterspørselen her vil være beskjeden i det store bildet. Samtidig vil det være mulig å kompensere for økte drivstoffkostnader gjennom driftskontrakten slik at kostnaden for de reduserte utslippene bæres av det offentlige.

3.2 Nullutslipp

I den videre oversikten er det elektriske kjøretøy som har blitt inkludert. Bakgrunnen for dette er at det pr. i dag kun er elektriske kjøretøy som finnes på markedet eller som er på veg inn i markedet, og som kan klassifiseres som nullutslippskjøretøy. Hydrogen diskuteres også som et alternativ til batterielektriske løsninger blant nullutslippskjøretøy. Dette brukes pr. i dag i lastebiler og busser enkelte steder i Norge, men for anleggskjøretøy er det ikke identifisert noen hydrogenkjøretøy utover en gammel prototyptraktor fra New Holland.

3.2.1 Nullutslippstraktorer

Traktorer er i utgangpunktet utviklet for landbruksoppgaver, men brukes i dag også innenfor flere andre sektorer, deriblant vinterdrift. Dette gjør også at utviklingen til en viss grad preges av behovene i landbruksdrift framfor andre typer sektorer. For eksempel kan det nevnes at John Deere jobber med en elektrisk selvkjørende traktor, men der framdriften bygger på at den er koblet til strømmettet med en kabel. Dette er både kostnadseffektivt og mulig i landbruksdrift, men umulig å bruke utenfor lukkede områder. Pr. dags dato er det kun en elektrisk traktor som er mulig å kjøpe gjennom en norsk forhandler.

3.2.2 Traktorer som er/har vært i drift

Tabell 1: Elektriske traktorer.

Navn	Batteritid (timer)	Ladetid	Motoreffekt (kW)	Vekt (kg)	Egnet til vinterdrift
Fendt e100 Vario	5	40 min / 80%	50	-	Ja
Rigitrac SKE 50	3-6	3t / 80%	50	2800	Ja
Soletrac	3-6	-	-	-	Nei
Escort Farmtrac	6	3t / 80%	19	-	Nei

Traktorene i Tabell 1 er traktorer som er tilgjengelige eller har vært i drift. Traktorene fra Fendt og Rigitrac er de eneste to som er identifisert og som er store nok til å brukes i vinterdrift. Fendt e100 Vario har vært i drift i utvalgte byer og innen landbruk i samarbeid med Fendt for å videreutvikle konseptet. Pr. i dag er traktoren ikke mulig å bestille gjennom den norske forhandleren. Rigitrac har ikke en norsk leverandør, men modellen skal være mulig å bestille fra produsenten.

Soletrac og Escort Farmtrac er begge mulige å få levert i Norge, men er to små traktorer og hvor kun Escort Farmtrac har tildekket hytte. Traktorene er i utgangspunktet tiltenkte for enklere oppgaver i parker og på små gårder og er ikke egnet til vinterdrift på grunn av den åpne hytten og liten motor.

3.2.3 Traktorer på konseptstadiet

Det finnes i tillegg noen traktorer som går på elektrisitet, men som fortsatt er under utvikling. To av disse er utviklet som autonome traktorer og tre er utviklet som en tradisjonell traktor. Ingen av dem finnes ennå på markedet.

Tabell 2: Konsepttraktorer.

Navn	Autonom	Batteritid (timer)	Ladetid	Motoreffekt (kW)
John Deere Sesam		4	3	298 (400 hk)
New Holland	-	-	-	-
Fendt	Nei	-	-	90 hk
John Deere GridCON	Ja	Kabel		300
Case IH	Ja	-	-	-

De to autonome traktorene vil ikke være aktuelle for andre oppgaver enn jordbruk på grunn av at autonomien ikke er tilpasset bymiljø. I tillegg er John Deere GridCON basert på en løsning der den er tilkoblet strømmettet via kabel.

John Deere Sesam er på videoer og presentasjoner vist fram som en fullverdig erstatter til en vanlig traktor som klarer å utføre de samme oppgavene og bruker eksisterende standarder for tilleggsutstyr. Størrelsen er imidlertid en begrensning for denne traktoren når det gjelder å kunne brukes til drift og vedlikehold, da den er bygget på en av de større modellene fra John Deere. New Holland oppgir kun at de holder på å utvikle batterielektriske kjøretøy som er i bruk i Europa, men det foreligger ingen videre opplysninger. Fendt jobber med en erstatter til eVario 100, og de oppgir at denne vil være på ca. 90 hk (67kW). Denne vil tidligst være på markedet om to år.

3.2.4 Nullutslipps hjullastere

Hjullastere er i dag brukt i vinterdrift i flere norske byer, både på grunn av at de har kort svingradius og at det finnes mye forskjellig tilleggsutstyr tilgjengelig. Utvalget av elektriske hjullastere er imidlertid fortsatt begrenset.

Tabell 3: Elektriske hjullastere.

Navn	Batteritid (timer)	Ladetid (timer)	Motoreffekt (kW)	Vekt (kg)
Kramer 5055e	3-5	5-8,5	15	4150
Volvo L25 Electric (Salgsstart 2020)	8	2t /80% hurtiglading	-	4900
Wacker Neuson WL20e	1,5-3,5	8	6,5	2350
Multione EZ	-	-	-	1263
Catepillar Electric 906 (Konsept)	4,5-6,5	3	-	-

I Tabell 3 vises samtlige identifiserte elektriske hjullastere. Modellen fra Catepillar er kun på konseptstadiet og det er ukjent når den vil være tilgjengelig i markedet. Av de øvrige fire modellene er det to som har en åpen løsning for føreren, hvilket gjør at de ikke er egnet til vinterdrift. Kramer 5055e og Volvo L25 er på den andre siden kompakte hjullastere med dekket førerhytte som ligner det som i dag brukes til vinterdrift. Begge har nok effekt og kapasitet til å kunne brukes til å rydde snø, men det stilles spørsmål til hvordan rekkevidde vil påvirkes av arbeidsbelastning og temperatur.

3.2.5 Andre redskapsbærere

Tabell 4: Elektriske redskapsbærere.

Navn	Batteritid (timer)	Ladetid (timer)	Motoreffekt (kW)	Vekt (kg)
Ravo 5 eSeries	8	-	-	-
Johnston VE652	8	4-5	-	16 000
Alke ATX330E	-	-	-	-

Det er i tillegg identifisert tre redskapsbærere; to feiemaskiner og en kompakt flakbil som bruker elmotor. Feiemaskinen (Ravo 5 eSeries) er ikke tilpasset vinterdrift, men har en driftstid på opptil 8 timer og kapasitet til å frakte opp til 5 m³ med grus/støv fra vegbanen, noe som indikerer god kapasitet på motor og batteri. Johnston VE 652 er en feiebil som er produsert og testet i drift. Det primære bruksområdet er feiing og renhold av gateareal. Totalvekten på 16 tonn gjør at den kan bli i tyngste laget for å brukes på gang- og sykkelveger. Flakbilen (Alke ATX330E) tilbyr imidlertid tilbehør for vinterdrift i form av saltspreder og snøplog. Rekkevidden er ikke oppgitt for samtlige batterikonfigurasjoner, men det minste batteriet skal gi en rekkevidde på opptil 60 km.

4 Selvkjørende maskiner

Autonome maskiner er maskiner som enten står helt i ro og aldri kjører seg. Derfor bruker vi begrepet, selvkjørende maskiner for å presisere at det er maskiner uten fører, men andre begreper kan brukes som autonome mobile maskiner eller autonome robotkjøretøy.

Hovedmålet for dette kapittel er:

- Å beskrive norske lover og forskrifter som er relevante for å teste ut selvkjørende maskiner på gang- og sykkelveger. En utfordring er å finne ut om prototyper av maskiner som er tilgjengelige på markedet i dag følger opp europeiske direktiver og ISO standarder, og hvilke av disse standardene som kan være hensiktsmessige for slike nye selvkjørende maskiner. Samtidig blir maskiner mer og mer selvkjørende og det kan også være behov for endringer i lover og forskrifter for å sette mer krav til at selvkjørende maskiner heller styres av en operatør i et kontrollrom eller fjernstyres utenfor et beskyttet område.
- Å beskrive selvkjørende maskiner for drift av gang- og sykkelveger som er tilgjengelige på markedet (dvs. prototyper), deres spesifikasjoner samt fordeler og ulemper ved å bruke dem. Det finnes foreløpig ingen nordiske importører.

4.1 Utprøving av selvkjørende maskiner - Lover og forskrifter

Lovene og forskriftene som er hensiktsmessige for utprøving av selvkjørende maskiner for drift av gang- og sykkelveger (eller maskiner som det er nevnt i lovene) kan være knyttet til:

- Utforming og funksjonalitet av maskiner.
- Utprøving av maskiner.
- Bruken av maskiner.

Disse lover og forskrifter kan derfor være knyttet til to sentrale forvaltningsorganer; Vegdirektoratet og Arbeidstilsynet [11].

For utforming og funksjonalitet vil følgende lover og forskrifter være relevante [11]:

- Forskrift om maskiner (Maskinforskriften) FOR-2009-05-20-544 ved Klima- og miljødepartementet, Justis- og beredskapsdepartementet og Arbeids- og sosialdepartementet, forvaltet av Arbeidstilsynet.
- Forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (Kjøretøyforskriften) FOR-2019-01-07-10 ved Samferdselsdepartementet, forvaltet av Statens vegvesen Vegdirektoratet.

For utprøving av selvkjørende maskiner vil følgende lover og forskrifter være relevante [11]:

- Lov om utprøving av selvkjørende kjøretøy, LOV-2017-12-15-112 ved Samferdselsdepartementet, forvaltet av Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Forskrift om utprøving av selvkjørende motorvogn, For-2017-12-19-2240 ved Samferdselsdepartementet, forvaltet av Statens vegvesen Vegdirektoratet.

Når det gjelder selvkjørende maskiner, finnes det ikke tilsvarende norske lover og forskrifter. Det Europeiske dokumentet, *Guidelines on the exemption procedure for the EU approval of automated vehicles* [12], kan hjelpe med å sette mer sikkerhetskrav i framtiden i norske lover og forskrifter.

For bruken av den selvkjørende maskinen vil følgende lover og forskrifter være relevante [11]:

- Lov om arbeidsmiljø, arbeidstid og stillingsvern mv. (arbeidsmiljøloven), LOV-2005-06-17-62, ved Arbeids- og sosialdepartementet og forvaltet av Arbeidstilsynet.
- Forskrift om utførelse av arbeid, bruk av arbeidsutstyr og tilhørende tekniske krav (forskrift om utførelse av arbeid), FOR-2011-12-06-1357 ved Arbeids- og sosialdepartementet og forvaltet av Arbeidstilsynet.
- Forskrift om utforming og innretning av arbeidsplasser og arbeidslokaler (arbeidsplassforskriften) FOR-2011-12-06-1356, ved Arbeids- og sosialdepartementet og forvaltet av Arbeidstilsynet.
- Lov om vegtrafikk (vegtrafikkloven), LOV-1965-06-18-4 ved Samferdselsdepartementet og forvaltet av Statens vegvesen Vegdirektoratet.

I tilfelle utprøving av selvkjørende maskiner, må disse lover derfor undersøkes grundigere hos Arbeidstilsynet og Vegdirektoratet;

- Krav til sikkerhet (f.eks. materialer, belysning og håndtering).
- Krav til styresystems sikkerhet og pålitelighet (f.eks. nødstop).
- Krav til styrings- eller driftsmåte (f.eks. laserutstyr).
- Krav om vern mot farer som skyldes maskiners bevegelighet.
- Krav om fjernstyret maskiner.
- Og eventuelt andre krav.

Flere internasjonale ISO-standarder er også relevante for å stille flere sikkerhetskrav til maskinen og programvaresystemet. Noen relevante eksempler er listet nedenfor [11]:

- ISO 9001:2015. *Quality management systems*. ISO 9001 standarden oppfordrer til prosessutvikling når et system for kvalitetsstyring utformes, iverksettes, og forbedres.
- ISO 26262. *Automotive Safety Integrity Level (ASIL)*. ASIL D er de høyeste integritetskravene til systemet og er basert på risikovurdering og fareanalyse. Standarden definerer risikoparametere av alvorlighetsgraden, eksponeringen og kontrollerbarheten til maskinen.
- ISO 17757. *Earth moving machinery and mining – Autonomous and semi- autonomous machine system safety*. Denne standarden spesifiserer sikkerhetskravene både for selve autonome og semi-autonome maskiner som brukes masseflytting og i gruvedrift og deres tilhørende systemer og infrastruktur inkludert maskinvare og programvare.
- ISO/PAS 21448:2019 *Road vehicles – Safety of the intended functionality (SOTIF)*. Denne standarden gir veiledning om design, verifisering og valideringstiltak som er nødvendige for å oppnå SOTIF.

Det er i det videre gitt en beskrivelse av aktuelle selvkjørende maskiner. En oppsummering er gitt i Tabell 16.

4.2 Selvkjørende feiemaskin, Spring Mobility GmbH (Tyskland)

4.2.1 Beskrivelse

Spring S1 selges av Spring Mobility GmbH i Tyskland, som er en distributør. Spring S1 selvkjørende feiemaskinen er kompakt, elektrisk og autonom. Maskinen kan unngå hindringer og kan oppdateres trådløst [13] [14] [15]. Den kan brukes til å børste sand, grus, løv og smuss i byområder og på gang- og sykkelveger. Maskinen kan brukes både utendørs og innendørs, er utstyrt med en vanntank slik at den også kan vaske arealet, i tillegg til at den også har varsellys som et arbeidsverktøy.

Spring S1 bruker en teknologi kalt *Multi-perception fusion technology*. Denne teknologi inneholder flere sensorer (frontkamera, radar og LiDAR) kombinert med programalgoritmer som bidrar til å optimere persepsjonssystemet til maskinen (ISO 23262-ASIL D nivå er tilsvarende menneskets persepsjon). Tabell 5 oppsummerer maskinens spesifikasjoner.

Autonom kjøring på høyst nivå, som *L4 automotive grade autonomy stack* nevnt av S1 produsenten, krever avansert forståelsen (*sensing*) av miljøet og kjøring med lite eller ingen hjelp av mennesker. Maskinen må inneholde et automatisk sikkerhetssystem som kontrollerer bremsing, styring og andre kjøringaspekter. Sikkerhet for autonom kjøring på nivå 3-5 er det viktigste elementet produsenten må ta i betraktning. Nivå 4 krever et funksjonelt sikkerhetsnivå av ISO 26262-ASIL D.



Figur 1: Spring S1 – Demonstrasjon i Kongsberg (Foto: Isabelle Roche Cerasi).

Tabell 5: Spesifikasjoner, Spring S1 selvkjørende feiemaskin.

Styringssystem	Manuell fjernkontroll Automatisk med planlagt rute
Dekket areal per time	3000 m ² /t (Teoretisk: 5000 m ² /t)
Hovedbørste	300*590 mm
Maks hastighet	5 km/t
Batteri	1000W/24V/200Ah
Kjøring tid per lading	5-8 timer
Ladetid	5 timer
Bredde ved feieg	1 m
Temperatur	-10° til +40°C
Dekket areal per lading	20000 m ²
Volumkapasitet	60 liter beholder
Størrelse	Høyde: 1042 mm + 154 mm (Antenne) Bredde: 916 mm Lengde: 1450 mm
Bruttovekt	395 kg
Støynivå	73 dB
Stigningsevne	15 grader (27 %)

Utfordringer

Spring S1 krever infrastruktur, en garasje, lading med 220 V og en tank som den kan tømme avfallet i underveis i oppdraget. Tømmingen kan også skje manuelt, ved at den gir beskjed til et driftssenter som kan sende ut personell for å gjøre dette [16].

Data fra driftsoppgaver som blir utført og mengder oppsamlet avfall kan samles inn. Maskinen kan pr. i dag ikke brukes for tilstandsregistrering eller stikkprøvekontroller av veg. For å evaluere effektivitet og kvaliteten i forhold til hastigheten må maskinen testes.

4.2.2 Europeiske direktiver

Spring S1 er ISO9001 sertifisert og produktet har i mars 2020 fått EC sertifisering fra Shenzhen CTL Testing Technology Co, Ltd, for:

- Directive 2006/42/EC *on machinery* (maskinforskriften er hjemlet i Arbeidsmiljøloven og er basert på det Europeiske direktivet) inneholder viktige helse- og sikkerhetskrav. Forskriften retter seg mot produsenter, deres representanter, importører, leverandører og forhandlere. Veiledning (Edition 2.2 - oktober 2019) for anvendelse av maskindirektivet spesifiserer at produsenten bør ha fullt ansvar for å sertifisere deres maskin og for maskiner med høyere risikofaktorer er en strengere sertifiseringsprosedyre anbefalt.
- EN 60204-1:2018 er en harmonisert standard, med målet å forhindre skader forårsaket av elektriske farer eller elektriske feil: *Safety of machinery. Electrical equipment of machines – Part 1: General requirements*. Standarden spesifiserer kontrollenheten for operatørgrensesnitt med sikte på å forhindre tilfeldig aktivisering.

- EN ISO 12100:2010, *Safety of machinery — General principles for design — Risk assessment and risk reduction* spesifiserer grunnleggende terminologi, prinsipper og en metodikk for å oppnå sikkerhet i design av maskiner. Den spesifiserer prinsipper for risikovurdering og risikoreduksjon for å hjelpe designere med å nå dette målet.
- Machinery Directive 2006/42/EC Annex 1, *Essential health and safety requirements relating to the design and construction of machinery*. Produsenten må sørge for at det blir foretatt en risikovurdering for å bestemme helse- og sikkerhetskrav for maskinen.
- Directive *relating to radio equipment* 2014/53/EU om harmonisering av lovene om tilgjengeliggjøring på markedet av radioutstyr.
 - ETSI, *European Telecommunications Standards Institute*, produserer spesifikasjoner og standarder som EN, *European Standard*.
 - ETSI EN 60950-1:2016+A11:2019+A1:2010+A2:2011+A2:2013. *Information technology equipment. Safety. Part 1: General requirements*.
 - ETSI EN 62311:2008. *Assessment of electronic and electrical equipment related to human exposure restrictions for electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)*.
 - ETSI EN 300 220-1 V3.1.1 (2017-02). *Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1000 MHz; Part 1: Technical characteristics and methods of measurement*.
 - ETSI EN 300 220-2 V3.1.1 (2017-02). *Short Range Devices (SRD) operating in the frequency range 25 MHz to 1 000 MHz; Part 2: Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU for non specific radio equipment..*
 - ETSI EN 301 908-1 V11.1.1 (2016-07). *IMT cellular networks; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of the Directive 2014/53/EU; Part 1: Introduction and common requirements*.
 - ETSI EN 301 908-13 V11.1.2 (2017-07). *IMT cellular networks; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.2 of Directive 2014/53/EU; Part 13: Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE)*.
- EMC (*Electromagnetic compatibility*).
 - ETSI EN 301 489-1 V2.1.1 (2017-02). *ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 1: Common technical requirements; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.1(b) of Directive 2014/53/EU and the essential requirements of article 6 of Directive 2014/30/EU*.
 - ETSI EN 301 489-3 V2.1.1 (2019-03). *ElectroMagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 3: Specific conditions for Short-Range Devices (SRD) operating on frequencies between 9 kHz and 246 GHz; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.1(b) of Directive 2014/53/EU*.
 - ETSI EN 301 489-52 V1.1.0 (2016-11). *Electromagnetic Compatibility (EMC) standard for radio equipment and services; Part 52: Specific conditions for Cellular Communication Mobile and portable (UE) radio and ancillary equipment; Harmonised Standard covering the essential requirements of article 3.1(b) of Directive 2014/53/EU*.

Det anbefales å undersøke nærmere om denne CE-godkjenningen inneholder nok krav for å teste maskinen på en definert rute med bemanning. En risikovurdering må gjennomføres og maskinen må ivaretas av en godkjent operatør. Testene skal danne grunnlag for å utvikle et lovverk som kan tillate utprøver av helt ubemannet maskiner på åpne områder.

4.2.3 Installasjonsprosess

Maskinen kan være både manuelt fjernstyrt og programmert til å følge en bestemt rute. Området må skannes på forhånd og data lastes opp med hjelp av fjernoppdatering (over-the-air) av softwaresystem. Systemet gjør det mulig å endre ruten eller driftsoppgaver, samt registrere planlagt oppgaver. Tabell 6 nedenfor viser installasjonsprosessen for å få et kjøretøy i rute.

Tabell 6: Installasjonsprosess for demonstrasjon (5 til 10 dager).

Fase	Beskrivelse	Timing
Kalibrering av kjøretøy på stedet	Kjøretøy leveres på stedet og sensorer er kalibrert.	1 til 2 dager
Skanning	Kjøretøy er fjernstyrt på stedet for å fange miljøet.	2 til 4 dager
Høyoppløselig skanning	Raw data blir behandlet for å lage et HD-kart over stedet.	Remote
Rutetegning	Kjøretøyruten er definert på kartet og det genereres en kart- og rutefil.	Remote
Kartverifisering	Kart- og rutefil lastes på kjøretøyet og installasjonen testes og valideres.	Remote
Kvalitetssikring og testing	Når valideringen er gjort, gjennomføres en kvalitetssikringstest.	2 til 4 dager

4.3 Selvkjørende feiemaskin, Husqvarna (Sverige)

En selvkjørende feiemaskin fra Husqvarna ble demonstrert på Kongsberg i mai 2019. Dette er en tidlig prototype uten sensorer for å gjenkjenne omgivelsene eller kunne stoppe ved eventuelle hinder i løypa.



Figur 2: Demonstrasjon av prototypen av Husqvarna feiemaskin i Kongsberg (Foto: Isabelle Roche Cerasi).

For å styre hvor maskinen skal kjøre/koste ble det benyttet geofence-teknologi hvor en grense ble definert basert på GPS-punkt. Innenfor denne sonen hadde kostemaskinen fått beskjed om å koste to runder før den skulle stoppe igjen. Framdriften var av hybrid type hvor el ble benyttet til transportkjøring og dieselmotor ved kosting for å sikre nok kraft. Figur 3 viser hvordan feiemaskinen styres fra et kontrollrom.

Maskinen hadde biodiesel som energikilde. Den kan ha gressklipper, tilhenger, børstemaskin, sandstrøkkasse, fres og snøplog som ekstrautstyr.



Figur 3: Eksempel av operatør i "kontrollrommet" (Foto: Isabelle Roche Cerasi).

Erfaringene med børstemaskinen var følgende [16]:

- Sand og grus sprutet relativt langt og ville kunne skade biler om de var parkert i nærheten.
- Maskinen har løsning for å oppdage hindringer på god avstand.
- Børsten arbeidet effektivt og kunne egne seg til å børste løv og snø. Kraften på børsten var imidlertid så sterk at det kunne være uheldig om det var glasskår eller stein blandet inn løvet eller snøen, da denne kan sprute med stor kraft.

4.4 Autonome feiemaskin, Autowise.ai (Kina)

Autowise.ai har hovedkontor i Shanghai, Kina, og presenterer seg som en verdensledende leverandør av autonome feieteknologitjenester. I mars 2018 lanserte de den første elektriske og autonome feieflåten. Selskapet endrer eksisterende kjøretøyer og gjør dem autonome. Dette kan være interessant for testperioder hvor en sjåfør kan sitte på inne i kjøretøyet og bruke nødstoppen i tilfelle hendelser. Feieflåten kan ifølge produsenten brukes for forskjellige applikasjoner som begrensede/ikke begrensede parker og områder, åpne kommunale veger eller hovedveger/motorveger. Autowise.ai har startet forretnings samarbeidet med andre land som Tyskland, Singapore og USA.

Figur 4 viser tre typer av feiemaskin med tre forskjellige vekt og lengde; 3 tonn / 3 m lang liten rengjøringsmaskin og 5 tonn / 6 m lang mellomstor maskin og en 16 tonn stor maskin.



Figur 4: Autonome feiemaskiner, Autowise.ai [17].

I januar 2020 startet Autowise.ai i samarbeid med andre partnere å teste førerløse maskiner på hovedveger i Jiangsu, Zhejiang og Shanghai. Ifølge produsenten kan maskinen under operasjon passe på trafikkforhold som trafikklys og hindringer ved vegkanten, eksempelvis parkerte biler. Maskinen kan kjøre til dumpestedet hvor den automatisk dumper grus eller søppel og til slutt returnerer til startstedet eller parkerer selv på en parkeringsplass [17] [18].

Partnere er bevisste at det er behov for mer forskning og utvikling rundt flere av fremtidens scenarier for førerløs drift. De nevner også manglende kinesiske forskrifter og bransjestandarder [17].

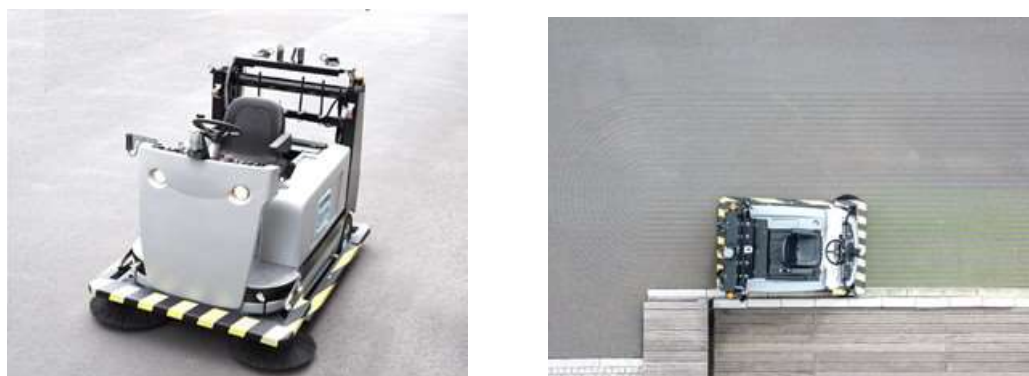
De ønsker i dette tilfelle å samle rengjøringsdata for å forbedre effektiviteten til maskinen og utvide maskinens evne for å imøtekomme andre behov. Videre skal de også jobbe mer med maskins livssyklus, samt teste oppgaver som å rengjøre fortauskanter eller andre oppgaver som er vanskelige å gjennomføre i byområder. Systemet husker hvor kjøretøyet har kjørt og kan optimere kjøring for å dekke store arealer. Det bruker sanntidsdata og høy oppløsning kart som er kontinuerlig oppdatert [17].

Hovedfokus er å sikre effektiv, energibesparende og bærekraftig utvikling av ubemannede rengjøringsoperasjoner. Sømløs drift er basert på GPS-punkter. Multisensorsystemet benytter en multi-LiDAR og en GPS/Inertial Measurement Unit sensorfusion (IMU), en elektronisk enhet som måler og rapporterer maskinens spesifikke kraft, vinkelhastighet, og noen ganger dens orientering, ved hjelp av en kombinasjon av akselerometre, gyroskoper og noen ganger magnetometre. Systemet bruker multi low-beam LiDAR og kamera-fusjonsteknologi (for å erstatte 64-linjers LiDAR som er oftest brukt) [17].

4.5 Selvkjørende feiemaskin, ENWAY (Tyskland)

4.5.1 Beskrivelse

Selskapet, ENWAY er basert i Tyskland og tilbyr selvkjørende feiemaskin, hovedsakelig for industri sektoren. Dette omfatter maskiner både for rengjøring av innendørs- og utendørs overflater, for eksempel på lager, i industrimiljøer og på anlegg. Kjøretøyet kan automatisk tømme innholdet i avfallsbeholderen og rengjøringsoppgavene kan planlegges via en web-app.



Figur 5: Selvkjørende feiemaskin, Blitz One, ENWAY [19].

Selskapet endrer eksisterende kjøretøyer og gjør dem autonome. Det er derfor mulig å ha en operatør som sitter på maskinen i tilfeller der testing utføres i områder hvor folk beveger seg.

Tabell 7: Spesifikasjoner for ENWAY selvkjørende feiemaskin.

Styringssystem	Automatisk med planlagt rute
Drivstoff	100% elektrisk med litium batteri
Bruttovekt	850 kg
Maks hastighet	8 km/t
Dekket areal per time	Maks. 9000 m ² /t
Temperatur	NA
Kjøretid per lading	Opptil 6 timer
Ladetid	3 timer
Dekket areal per dag	35000 m ²
Volumkapasitet	150 liter beholder
Størrelse	Høyde 1770 mm Bredde 1350 mm Lengde 2170 mm
Stigningsevne	20 %

Ifølge produsenten er maskinen mer presis og pålitelig enn en tradisjonell operatør. Maskinen kan feie langs kanter og kjøring er optimalisert for maksimal rengjøringskvalitet og dekning. Planleggings- og rutealgoritmer adapterer seg dynamisk etter omgivelsene, unngår hindringer og finner sin rute tilbake. Ifølge produsenten er sikkerhetsfunksjoner inkludert i datasystemer, med 360 ° robotsyn og beskyttende støtfangere for å ivareta sikker og smidig drift uten risiko for kollisjoner eller menneskers sikkerhet [19] [20] [21].

Maskinen bruker 3D kameraer, lasersensorer og bevegelsessensorer for å oppdage statiske eller bevegelige mennesker, dyr eller kjøretøy "på et øyeblikk".

Maskinen bruker en 80 cm hovedrullebørste og et kraftig sugesystem, som kan koste og samle opp vanskelige avfall slik som steiner og flasker, samt store mengder støv som er holdt tilbake i lamellære filter.

I januar 2019 testet ENWAY den første maskinen for å rense et travelt fotgjengerområde i Tyskland. Figur 6 nedenfor viser en ny ENWAY maskin uten sete [22].



Figur 6: ENWAY selvkjørende maskin.

I tillegg til sertifiserte sikkerhetskomponenter, har maskinen et 3-funksjonelt sikkerhetsnivå og er i prosess til å være CE sertifisert innen juni 2020. I februar 2020, erklærer ENWAY på facebook at deres Blitz One maskinen har testet i CETRAN (self-drive test center) senter i Singapore.

4.5.2 Installasjonsprosess

SETUP: Etter en enkel rutekartlegging (Figur 6, gjennomført av en ENWAY ingeniør), bestemmes daglige rengjøringsbehov for området. Med bruk av ENWAY app, kan rengjøringsoppgaver planlegges og endres uten at det trengs ny programmering, trening eller handling fra ENWAY ingeniør.

SCHEDULE: Alle rengjøringsrutiner er planlagt og administrert med det enkelte webgrensesnittet. Når rengjøringsbehov endrer seg, kan rutetider og rengjøringsområder endres på en enkel måte.

MONITOR: Rengjøringsoppgavene, maskinruteposisjonene og rengjøringsytelsene kan følges i sanntid med appen. Alle data relatert til maskinbevegelsen eller rengjøringsoppgavene blir samlet som historiske data og kan analyseres i sanntid. Appen vil automatisk sende korte rapporter samtidig som operasjonene pågår.

4.6 Selvkjørende feiemaskin, China Mobile Ltd (Kina)

I september 2019 ble en 5G selvkjørende feiemaskin testet i Lijiang City, Kina [23]. Det er et samarbeid mellom China Mobile Ltd, Lenovo og byen [24]. Dessverre finnes det nesten ingen tilgjengelig informasjon på engelsk om denne maskinen. Maskinen identifiserer fotgjengere og hindringer, og feier søppel. Med hjelp av LiDAR optiske sensorer og ultrasonisk radar får maskinen sanntid informasjon.



Figur 7: 5G selvkjørende feiemaskin i Kina (Kilde: CGTN).

4.7 Selvkjørende feiemaskin, Mock skyscrapers (Singapore)

En selvkjørende feiemaskin er utviklet av Nanyang Technological University og testet på CETRAN senter (self-drive test center) i Singapore (Figur 8, bildet til venstre). Senteret har etablert et anlegg med trafikklys, fortau og gangfelt for å teste ut slike maskiner. Testsenteret brukes til å prøvekjøre ulike autonome kjøretøy inne på et lukket område før de testes nærere og tillates ute på offentlig veg med øvrig trafikk [25].

To konsortier i Singapore skal gjennomføre FoU prosjekter med utprøving av førerløse kjøretøy for rengjøring. Disse prosjektene er finansiert av National Environment Agency og Transportdepartement. Det første konsortiet omfatter Nanyang Technological Universitet, Enway, Veolia ES Singapore Industrial and Wong Fong Engineering Works. Det andre består av ST Engineering Land Systems og 800 Super Waste Management. Begge to skal prøve ut et autonomt miljøtjenestekjøretøy (AESV) med anvendte teknologier for feiemaskiner på veg. Dette vil bli utført over 18 måneder med en ett-års utviklingsfase av en proof-of-concept prøve over seks måneder (Figur 8, bildet til høyre). Prosjekter skal starte i løpet av 2020.



Figur 8: Selvkjørende feiemaskin i Singapore [25].

4.8 Selvkjørende feiemaskin, COWAROBOT-GiGadgets-ZOOMLION (Kina)

COWAROBOT i Kina har bygget om et eksisterende kjøretøy for å gjøre det autonomt. I samarbeid med ZOOMLION Environment Industry Company lanserte selskapet en selvkjørende feiemaskin i april 2018. Maskinen startet kommersiell drift i Changsha Orange Island Park i juli 2018 [26].

Den selvkjørendende maskinen er autonom med smart path-planlegging og kan ved hjelp av bildeanalyse endre ruten hvis den detekterer søppel på veien. Maskinen har også et smart *risk-avoidance* system for å endre ruten og kjøre rundt fotgjenger og syklister.



Figur 9: Selvkjørende feiemaskin, COWAROBOT (kilde: COWAROBOT [26]).

4.9 Selvkjørende feiemaskin, DustClean, RobotTechsrl (Italia)

EU-prosjektet "DustBot, Networked and Cooperating Robots for Urban Hygiene" ble gjennomført i perioden 2006-2009. Prosjektets mål var å designe, utvikle, teste og demonstrere et system for å forbedre styring av renhold i byer basert på et nettverk av autonome og samarbeidende roboter, som igjen var koblet sammen gjennom en AI-infrastruktur. Prosjektet hadde til sammen 9 partnere fra 5 land. Hovedhensikten med robotene er å sørge for rengjøring i bygatene, slik som på torg, i gater, parker og så videre. I tillegg skal de kunne transportere mindre mengder søppel fra privatpersoner. Dette fungerer slik at man sender en forespørsel om henting av søppel, så kan roboten komme hjem og hente søppelet [27].

DustClean er en autonom mobil robot for feiing og oppsamling av søppel. Roboten er utstyrt med børster og avfallsbeholder, og er ifølge produsenten godt egnet til bruk i områder med mye folk, eksempelvis i gågater i byer. Produsenten beskriver videre at roboten potensielt kan feie 24/7, uten inngripen fra operatør eller tradisjonelle feiemaskiner. I en demonstrasjon fra Sverige blir det derimot sagt at roboten kan feie gatene i ca. 3 timer før den må returnere til ladestasjonen for lading [28]. Ved hjelp av robotens sensorer og kontrollprogramvare kan den programmeres til å arbeide autonomt, og ved å unngå hindringer i bybildet slik som blant annet mennesker [29].

Tabell 8: Spesifikasjoner for DustClean.

Maks hastighet /navigasjon	3 km/t
Batteri	AGM 2x12Vx100Ah
Kjøring tid per lading	Ca. 10 timer
Ladetid	6 timer
Deteksjon hindringer	0,1-30 m
Posisjonsnøyaktig	< 3cm
Produktivitet	200 m ² /t
Volumkapasitet	37 l Høyde: 25 cm Bredde: 30 cm Lengde: 50 cm
Størrelse	Høyde: 1060 mm Bredde: 1123 mm Lengde: 1651 mm
Bruttovekt	Ca. 150 kg
Stigningsevne	20 % (11,3 grader)



Figur 10: Selvkjørende feiemaskin, DustClean [29].

Robotene og sensorene er en del av en Ambient Intelligence-plattform. Dette innebærer integrering mellom sensorer og verktøy for å overvåke utførelsen, det vil si hvordan rengjøringen blir utført. I tillegg omfatter denne integreringen også systemer for kommunikasjon i forbindelse med beredskap og kunnskapsoppdagelse i databaser for å hente ut og øke kunnskapen rundt renhold i byer [30].

Robotech srl har videreutviklet blant annet DustCart, som vist i Figur 11.



Figur 11: DustCart Urban Robot [31].

Dette er en robot som kan brukes til flere ting, blant annet hente søppel eller levere varer. Roboten har en størrelse og en form som gjør den godt synlig og kan derfor være interessant.

Tabell 9: Spesifikasjoner for DustCart.

Hastighet	Typisk: 3 km/t, Maks: 4,5 km/t
Batteri	AGM 2/12V/100Ah
Kjøring tid per lading	Ca. 10 timer
Ladetid	6 timer
Deteksjon hindringer	0,1-30 m
Posisjonsnøyaktig	< 3cm
Container nyttelast	15 kg
Volumkapasitet	Høyde: 400 mm Bredde: 350 mm Lengde: 450 mm
Størrelse	Høyde: 1450 mm Bredde: 1000 mm Lengde: 750 mm
Bruttovekt	Ca. 150 kg
Stigningsevne	20 % (11,3 grader)

DustCart har vært testet ut i flere ulike sammenhenger, og er for tiden del av European Robot Era-prosjektet. Robotech har som mål å markedsføre dette produktet også utenfor forskningsverden så snart markedet er klart og nødvendig lovgivning er på plass. Det er gjennomført flere større tester av DustCart, deriblant sommeren 2010 hvor 35 brukere var inkludert. Her ble DustCart testet gjennom 402 husoppkallinger, den beveget seg totalt 120 km og samlet inn til sammen 585 kg søppel. I følge Robotech har DustCart en batteritid på ca. 10 timer, og en ladetid på ca. 6 timer [31].

4.10 Selvkjørende feiemaskin, ECOBOT (Singapor/Kina)

Ecobot Sweep 91 er en selvkjørende feiemaskin utviklet av Gaussian Robotics. Feiemaskinen har tosidige børster og vakuumsystem som skal bidra til svært god utførelse. Ifølge produsentens tekniske spesifikasjoner er maskinen stillegående og har en hastighet på 0-3,7 km/t. Videre er det oppgitt at den har en gjennomsnittlig batteritid på 4-6 timer [32].



Figur 12: Selvkjørende feiemaskin, Ecobot Sweep 91 [33].

Gaussian Robotics har også utviklet ECOBOT Sweep 111, som vist i Figur 13. ECOBOT Sweep 111 er en autonom rengjøringsrobot som benytter børste og et kraftig vakuum for å samle opp støv og rusk i ett sveip [34]. Denne kan også selv ta med oppsamlet materiale og tømme beholderen som vist i Figur 13. I Tabell 10 viser spesifikasjoner for Ecobot Sweep 111.

Tabell 10: Spesifikasjoner for Ecobot Sweep 111.

Effektivitet	Opptil 6000 m ² /t
Maks operasjonell hastighet	5 km/t
Motoreffekt	24 V, 2500 W
Kjøring motoreffekt	800 W
Rullebørste effekt	500 W, 1500 RPM
Sidebørste effekt	100 W, 110 RPM
Vakuum motoreffekt	115 W
Batteri	LiFePO4
Kjøring tid per lading	Opptil 4 timer
Volumkapasitet	60 liter beholder
Vekt	400 kg
Størrelse	Høyde: 1290 mm Bredde: 890 mm (1200 mm feiing) Lengde: 1480 mm
Stigningsevne	11,3 grader (20 %)



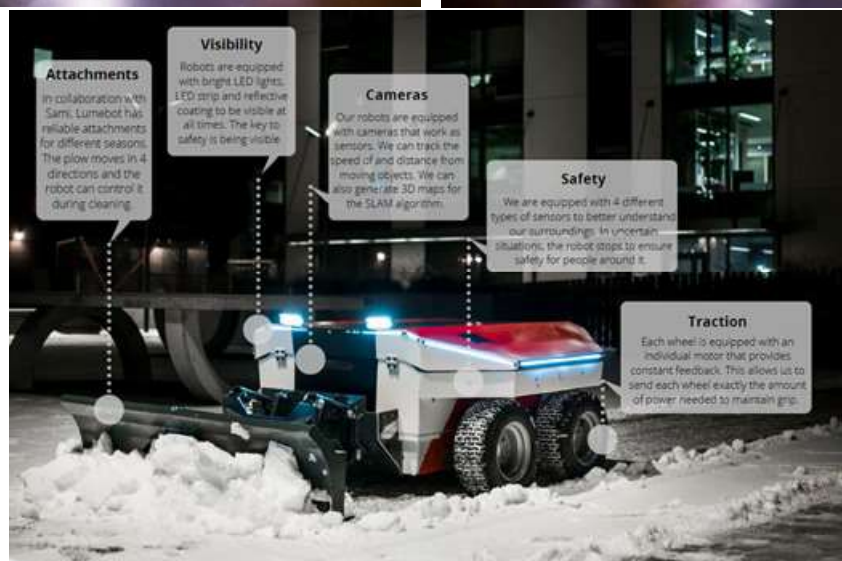
Figur 13: ECOBOT Sweep 111 [35].

4.11 Selvkjørende snørobot (Estland)

Lumebot produserte en ny robot i 2019 som ifølge produsenten, kan fjerne snøen eller vaske veien. Roboten kan spre salt, sand og grus. Figur 14 viser et bilde av roboten som kan kjøre med en maks. hastighet på 6 km/t. Maskinen har en bredde på 1,4 m og en lengde på 2,05 m. Tabell 11 viser robotspesifikasjoner som er tilgjengelige i juni 2020. Roboten lader på ladestasjoner uten behov for menneskelig hjelp, har 4 typer sensorer for å overvåke omgivelser, to sterke LED lys foran, LED striper på side og bak, i tillegg til refleks belegg. Når det er usikre omgivelser, stopper roboten. En versjon er nå tilgjengelig med en rullebørste (uten bøtte). De utvikler en stor versjon på 3500 x 1400 mm for slutten av 2020.

Tabell 11: Spesifikasjoner for Lumebot snørobot.

Effektivitet	Opptil 5000 m ² eller 12 km per lading
Størrelse	Lengde 2050 mm Bredde 1400 mm
Kjøring tid	4 timer
Ladetid	20 minutter – maks. 1 time
Batteri	5.2kWh Lithium-Ion
Hastighet	Ca. 6 km/t
Kjøring tid per lading	Opptil 2 timer
Vekt	500 kg



Figur 14: Lumebot autonome snørobot, Versjon 2.2 Sahaga og feiemaskin, Versjon 2.2, Harjasega [36] [37].

4.12 Selvkjørende feiemaskin, Power Broom RT-1000, Left Hand Robotics (USA)

Power Broom er beskrevet som smart, trådløst og GPS-kontrollert. Ruten er på forhånd programmert i systemet og maskinen kan rydde snø på gang- og sykkelveg [38] [39]. Teknologier som LiDAR og radar sensorer detekterer hindringer og gjør det mulig for maskinen å kjøre uten hjelp av mennesker.

Maskinen kunne brukes hele året for å fjerne snø, blader, støv, grus, sand, og annen ting fra fortau, gang- og sykkelveg. Ifølge produsenten kan de kraftige polybørstene fjerne større avfall uten å skade vegoverflater, og børsten kan vinkles til høyre eller venstre.



Figur 15: Power Broom, Left Hand Robotics (kilde: Left Hand Robotics).

I Tabell 12 vises spesifikasjoner for Power Broom. Ruten er forhåndsprogrammert og maskinen er GPS kontrollert og koblet til skyen. Kamera om bord tar automatiske før- og etterbilder inkludert rapporter om driftsoppgaver. Overvåkningssystemet lar operatøren overvåke maskinen i sanntid fra nettet eller ved hjelp av en mobil. Maskinen kan bruke faste eller flytende midler etter å ha ryddet snø.

Tabell 12: Spesifikasjoner av Power Broom RT-1000.

Type	Vanguard 37HP EFI Oil Guard frontmontert feiekost
Drivstoff	Bensin, 45,4 l tank
Størrelse	Lengde: 2362 mm Høyde: 1803 mm Bredde: 965,2 mm
Vekt (uten feiekost)	567 kg
Feiekost bredde	1,63 cm
Kraft	Hydraulisk, 300RPM
Rotasjon	Framover og baklengs
Børste diameter	45,7 cm med polybørster
Løftesystem	Hydraulisk med float mode
Pivot	Hydraulisk. Hybrid 4 bar holder feiekost sentrert på hjulsporet

4.13 Selvkjørende snøploger, Yeti Snow Technology (Norge/Sverige).

Yeti Snow Technology i Kongsberg eies av Semcon, Øveraasen og Husqvarna, og har utviklet et kontrollsystem for autonome kjøretøyer [40]. De selvstyrte kjøretøyene er testet på flyplasser gjennom et prosjekt med den norske flyplassoperatøren Avinor. Semcon i Norge bidrar i prosjektet med sin ekspertise innen komplekse sanntidssystem og selvstyrt teknologi. Semcon har modifisert to standard snøploger med en styringsaktivator, en bremseaktivator og en gasspedalstyring. I tillegg bruker de et 4G modem for kommunikasjon og RTK (Real Time Kinematic) og GPS navigasjonssystemer.

I vinteren 2018/2019 ble disse to snøploger testet på Gardemoen flyplass. Snøplogene fulgte hverandre, og den første snøplogen i kolonnen ble styrt av en sjåfør. I de selvkjørende snøplogene var det en operatør til stede i tilfellet det skulle oppstå en situasjon hvor det var behov for manuell styring. Disse kjøretøyer passer bra for områder slik som en flyplass med bestemt rute og ingen hindringer eller fotgjengere på veggen (Figur 16 og Figur 17).



Figur 16: Selvkjørende snøploger [41].

Snøplogene er 20 meter lange, 5,5 meter brede og har kapasitet til å brøyte et areal på 357 500 m² i timen. Ifølge Semcon, kan de rydde snø i formasjoner med flere kjøretøy og med samme presisjon uansett værforhold [42].



Figur 17: Selvkjørende snøploger på Gardemoen, Oslo flyplass (Foto: Isabelle Roche Cerasi).

Det er et stort potensial for å bruke dette systemet innenfor andre områder og markeder. I desember 2019, opplyste Yeti Snow Technology at snøploger også vil bli testet av Swedavia. Swedavia er et svensk statlig selskap med Hovedkontor på Arlanda lufthavn og i Stockholm [43]. Tester vil bli gjennomført på Örnsköldsviks flyplass.

4.14 Selvkjørende AT135 traktor, Charlatte Autonom (Frankrike)

NAVYA som er en fransk produsent av selvkjørende minibusser, og Charlatte Manutention, som er produsenten av elektriske og termiske industrikjøretøyer og flyplasskjøretøyer, opprettet i oktober 2018 et nytt selskap som heter Charlatte Autonom for å utvikle selvkjørende traktorløsninger for industrisektorer og flyplasser.

Charlatta Manutention har allerede mer enn 20 000 T135 elektriske bagasjetraktorer i drift på franske flyplasser. Bruken av selvkjørende kjøretøy for å transportere bagasje til fly kan effektivisere hele prosessen med forflytning av bagasje på flyplasser med å gjøre det helt autonome.



Figur 18: Selvkjørende TRACT AT 135, Charlatta Autonom [44].

I desember 2019 ble den elektriske og selvkjørende AT 135 traktoren (se Figur 18) testet under reelle forhold på en fransk flyplass for å transportere bagasje mellom bagasjesorteringsarealet og flyet. Kjøretøy kan styres både manuelt og autonomt, og har sete og ratt inne i førerhuset.

Det brukes et Real-Time Kinematics GPS navigasjonssystem og har et flerlags LiDAR system med kameraer foran og bak kjøretøyet.

I Tabell 13 vises spesifikasjoner for den AT 135 selvkjørende bagasjetraktoren.

Tabell 13: Spesifikasjoner, AT 135 Charlatta Autonom traktor

Størrelse	Lengde 3270 mm Bredde 1620 mm Høyde 2150 mm	Motor	23 kW
Bruttovekt	4215 kg	Maks. hastighet (manuelt) Maks. hastighet (autonom)	25 km/t Opptil 15 km/t
Batteri	Bly/Litium	Stigningsevne (lastet/ulastet)	4,2% / 40%
Batterikapasitet	Opptil 32 kWh	Maks. last (manuelt) Maks. last (autonom)	25 tonn Opptil 25 tonn

4.15 Autovals, AF gruppen (Norge)

Når AF Gruppen bygger E39 Kristiansand vest – Mandal øst for Nye Veier, er utvikling av ny teknologi en integrert del av prosjektet. I 2019 ble en selvkjørende vals testet på et avgrenset område. SINTEF er partner i prosjektet, og bidrar med kunnskap om sensorteknologi, kompaktering samt lover og regler for selvkjørende anleggskjøretøy.

AF Gruppen utvikler prototypen sammen med Hamm og Semcon. Semcon har utviklet kontrollsystemet, inkludert kjøretøyfunksjonaliteter. Hamm har klargjort maskinen for styring av en tredjepart [45].

Det er ikke krav om operatør om bord. Ansvarlig operatør skal ha mulighet til å stanse valsen uavhengig av om operatøren er i eller utenfor valsen. Utenfor valsen kreves en sikkerhetsgodkjent fjernstyrt nødstop. Valsen ble testet under reelle og krevende forhold for å komprimere stein i tykkelsene som utsetter valsen for enorme påkjenninger.



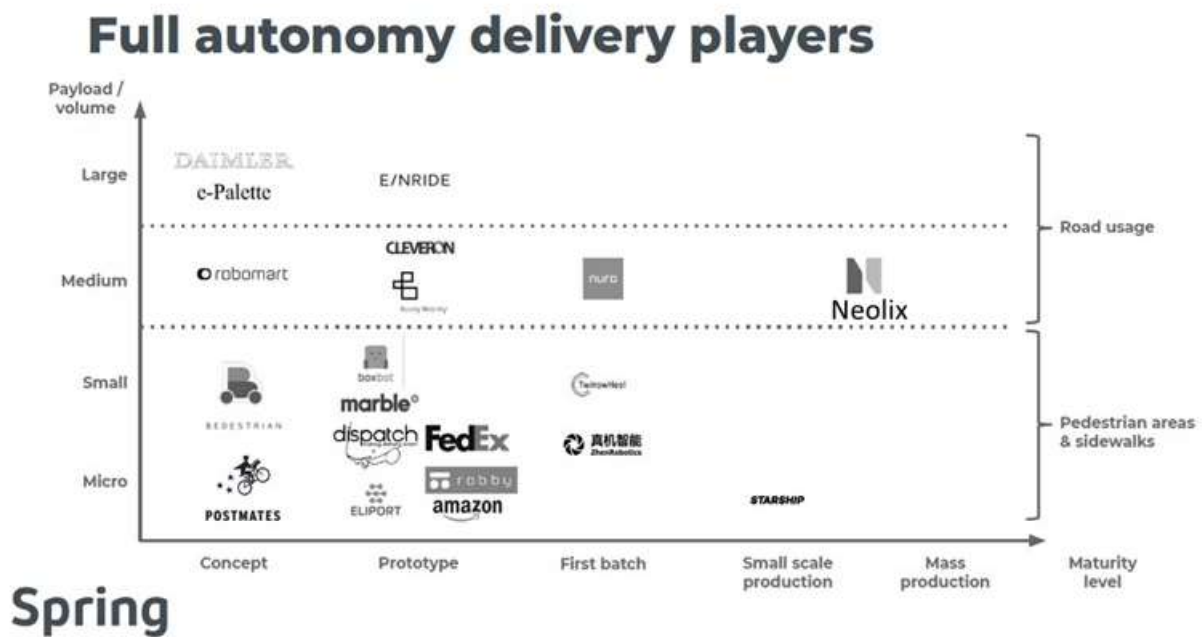
Figur 19: Selvkjørende vals, AF Gruppen [45].

Selvkjørende maskiner kan bidra med sikrere og mer effektiv vegbygging. Komprimering må være nøyaktig og utføres på et avgrenset område. Et slikt arbeid passer bra for å bli kontrollert av kun en operatør. Det kan også være mulig å styre flere maskiner samtidig og gjennomføre arbeidet om natten. Det må testes under norske klimaforhold og lovverket må tilpasses for selvkjørende og tunge anleggsmaskiner.

4.16 Selvkjørende nytte og logistisk kjøretøy, Spring Mobility GmbH (Tyskland)

Flere selvkjørende kjøretøyer er utviklet for å automatisere pakke- og matlevering. Disse kjøretøyer bruker en utforming samt leveres med funksjonaliteter som kan være relevante for andre sektorer.

Figur 20 viser flere prototyper som er under utvikling eller venter på tillatelser for å bli testet under reelle forhold. Nuro, TwinswHeel og ZhenRobotics har ferdigstilt de første prototypene og Starship og Neolix har et ferdig produkt klar for kommersialisering.



Figur 20: Selvkjørende nytte eller logistikk prototyper (status 01/2020), Spring Mobility GmbH, Tyskland.

Spring Mobility GmbH er en distributør av Neolix, et kinesisk startup grunnlagt i 2018 og basert i Beijing [46]. Figur 20 viser Spring X1 som er et nytte- og logistikkkjøretøy som kan levere pakker og dagligvarer, Spring X1 har kjølerom eller salgsautomat som kan være spesialbygget med modulsystemer. Ifølge Spring Mobility, er kjøretøyet designet og produsert under europeisk klassifisering L6e: Light quadricycle. Systemet bruker Apollo plattformen med profesjonelle utviklere for å bygge en full-stack GraphQL-drevet app for flåtestyring. Autonom kjøring er på ISO 26262-ASIL D L4 automotive grade autonomy stack som Spring S1 [47].



Figur 21: Selvkjørende nytte og logistikk kjøretøyer, Spring Mobility GmbH. Kilde: Spring Mobility/Neolix.

I Tabell 14 vises spesifikasjoner for Spring X1. Kjøretøyet er et smart skiftbart batterisystem som veier 18kg og kan skiftes innen 30 sekunder ifølge distributøren. Reisevidden er 100 km og systemet bruker et dynamisk GPS posisjoneringssystem [48].

Tabell 14: Spesifikasjoner, Spring X1 selvkjørende feiemaskin.

Maks hastighet	20 km/t
Bremselengde	0,98 m
Vegvann	< 120 mm
Utskiftbart batterisystem basert på 18650 lithium ion ladbare battericeller	30 s for å skifte batteri 18 kg 6,45 kWh
Kjøring tid per lading	100 km
Volumkapasitet	2,4 m ³
Belastning	500 kg
Stigningsevne	20 grader (37 %)

4.17 Selvkjørende deliveryrobot, NURO (Frankrike)

I februar 2020 fikk Nuro, en fransk startup, tillatelse av US DOT (Department of Transportation) til å teste en robot for å levere gods under reelle forhold i Houston, Texas og California. Den første generasjon av roboten har vært testet i Scottsdale i Arizona på avgrenset område og var det første selvkjørende nyttekjøretøyet som fikk tillatelse. Den andre generasjonen har utviklet i samarbeid med Roush, et selskap som produserer høy kvalitet interiørdesign for Nuro kjøretøy.

Figur 22 viser den elektriske roboten Nuro R2 (andre generasjon) som har videoovervåkning som dekker 360° i horisontalplanet og et LiDAR-system for å detektere hindringer eller fotgjengere [49].



Figur 22: Selvkjørende kjøretøy for pakkelevering, Nuro [50].

I Tabell 15 vises flere spesifikasjoner for Nuro R2. Det finnes lite tilgjengelig informasjon om kjøretøyet på nettet.

Tabell 15: Spesifikasjoner, Nuro R2 selvkjørende kjøretøy for pakkelevering.

Maks hastighet	40,2 km/t
Batterikapasitet	31 kWt
Bruttovekt	1150 kg
Volumkapasitet	0,63 m ³

4.18 Selvkjørende leveringrobot, TwinswHeel (Frankrike)

TwinswHeel er en fransk startup grunnlagt i Cahors og samarbeider med Nissan, Renault, SNCF (fransk statsjernbane) og Franprix (fransk matbutikkjede). Figur 23 viser Pegasus Cargo, en robot som er utviklet for levering i urbane områder [51].

Pegasus Cargo kan levere pakker og hjelpe personer som trenger hjelp for å bære hjem butikkposer i urbane områder hvor det er et forbud mot å kjøre biler. Roboten kan også brukes for e-handel som vokser raskt. Pegasus Cargo kan transportere pakker på opptil 300 kg med et volum på maks 1000 liter.

Roboten kan kjøre opp på fortauet og leveres med 2D og 3D overvåkingskameraer, ultrasoniske sensorer og et GPS-navigasjonssystem. Den ble testet i april 2019 (sammen med 12 andre eksperimenter som har fått finansiering etter en offentlig utlysning).



Figur 23: Pegasus Cargo, selvkjørende robot for gods levering, TwinswHeel [52].

I Tabell 16 vises spesifikasjoner for Pegasus Cargo. TwinwHeel utvikler også andre typer lette roboter for e-handel som kan tilpasses urbane soner og trange veger.

Tabell 16: Spesifikasjoner, Pegasus Cargo fra TwinwHeel.

Maks hastighet	15 km/t
Batterirekkevidde	14 km
Total vekt	300 kg
Volumkapasitet	1000 l

4.19 ZhenRobotics, Beijing (Kina)

ZhenRobotics ble grunnlagt i 2016 og er et samarbeid mellom ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich), Imperial College London, Tsinghua University og Alibaba (et kinesisk internettelskap som primært driver med netthandel) [53].

ZhenRobotics utvikler teknologier for autonome roboter. De produserer en robot som heter RoboPony mini som leverer medisiner eller mat, og en robot som kalles RoboWhale som kan vaske gulvoverflater på sykehus, butikker, gater eller andre offentlige arealer.



Figur 24: Roboter utviklet av ZhenRobotics, RoboPony og RoboWhale [53].

Tabell 17 viser spesifikasjoner for robotene utviklet av ZhenRobotics, som har seks hjul og en batterilevetid på 12 timer. De har et 360° overvåkingskamerasystem, LiDAR optisk sensor for å detektere hindringer og fotgjengere, samt et GPS-navigasjonssystem og kommuniserer trådløst.

Robot har vært testet på fortau med fotgjengere. Det er litt usikker om robotene har signallys eller andre typer lys.

Tabell 17: Spesifikasjoner, RobotWhale, ZhenRobotics.

Maks hastighet	15 km/t
Batteri	Litium Ion, 24V
Batterirekkevidde	150 km
Volumkapasitet	1000 l
Størrelse	Lengde: 0,68 m Bredde: 0,62 m Høyde: 0,74 m
Vekt	30 kg
Nyttelast	40 kg
Stigningsevne	35 grader

4.20 Selvkjørende nytterobot, Starship Technologies (Estland, Finland og Storbritannia)

Starship Technologies ble grunnlagt i 2014 og har utviklet en robot for å levere dagligvarer, catering og pakker i byen. Det er et opprinnelig samarbeid mellom Estland, Finland og Storbritannia. Hovedkontoret er i dag i San Fransisco og robotene produseres i Estland.

Roboten har seks hjul, kan kjøre opp på fortau og tilpasser hastigheten til tilstedeværelsen av fotgjengere [54]. Figur 25 viser Starship-roboten, som også har en mikrofon, en høyttaler og 9 kameraer, et GPS-navigasjonssystem og ultralydsensorer for å sikre navigasjonen av roboten i urbane områder. Starship erklærer at roboten er testet i 100 byer i hele verden, har kjørt 100000 km og gjennomført 100000 leveringer i august 2019.



Figur 25: Robot for matlevering, Starship Technologies [55].

For sikkerhetsskyld er lasterommet låst under hele reisen og kan åpnes av mottakeren med smarttelefon. Roboten blir sporet slik at det er mulig å vite nøyaktig hvor den er og mottakeren får en varsling ved ankomst via en app. Roboten kan kjøre innenfor en radius på 6 km [56].

Det finnes lite tilgjengelig informasjon om Starship-roboten. Roboten kan kjøre med en maks hastighet på 6 km/t og kan ha en maks belastning på 18-20 kg. Roboten veier selv rundt 45,5 kg.

5 Konklusjon

5.1 Lav- og nullutslippskjøretøy

Er teknologien moden nok til å bli tatt i bruk?

Som vist i avsnitt 4.2.2 og 4.2.3 finnes det få nullutslippsalternativer på markedet som kan bestilles og brukes pr. dags dato. John Deere Sesam og Fendt e100 Vario er begge traktorer som ble presentert for 3-4 år siden uten at de har kommet ut på markedet og er mulige å bestille i dag. Det er uklart hva dette skyldes, men lav interesse i markedet kan være en årsak.

De to traktorene som finnes og er tilgjengelige i dag, eller blir det innen snarlig framtid, er begge små traktorer som ikke vil være egnet til vinterdrift. Basert på erfaringer fra driftsfolk, vil en nedre grense på motoreffekt i forhold til å klare å fjerne snø, sannsynligvis være rundt 40 kW / 50 hk.

I tillegg krever en del vinterdriftsutstyr slik som koster, spredere og ploger hydrauliske pumper med en viss kapasitet for å fungere, dette gjelder særlig koster som drives rundt av hydraulikk. Dette er sannsynligvis et mindre problem da det finnes koster som er tilpassede små enheter i dag og som kan tilpasses eller brukes slik de er.

Det mest kritiske i forhold til å ta i bruk nullutslippskjøretøy i dag er driftstiden. Batteriene som er brukt i traktorene nevnt over tillater en driftstid på opptil 6 timer for enklere arbeidsoppgaver. Vinterdrift med mye snø og kuldegrader vil trolig redusere denne driftstiden betraktelig. Enheter som brukes til vinterdrift i dag kan i ekstreme tilfeller være i drift i opptil 15 timer i strekk ved langvarige værhendelser. For å få til å bruke elektriske kjøretøy uten at kjøretøyparken må utvides betraktelig for å alltid sikre at det finnes operative kjøretøy, må derfor batteriene få bedre kapasitet gjennom økt størrelse eller forbedret teknologi. Problemet med økt størrelse vil imidlertid være at traktoren blir tyngre, noe som igjen er kritisk i forhold hva gang- og sykkelveger er konstruert for å tåle. En løsning på dette kan være at traktorene får batterier som er utskiftbare slik at de kun trenger å returnere til garasjen eller batteridepot for å skifte batteri.

Hurtiglading for driftskjøretøy kan også være et alternativ for å redusere ulempen med begrenset driftstid. Dette vil imidlertid kreve omfattende utbygging av infrastruktur både i form av ladepunkt og strømnett for å sikre tilstrekkelig effekt til hurtiglading.

Samtidig må det bemerkes at utviklingen innenfor batteriteknologi skjer svært raskt i dag og at det i løpet av bare noen år kan forventes at det finnes fullgode alternativer.

5.2 Selvkjørende maskiner

Det er flere forutsetninger som må være til stede for at autonome maskiner skal kunne implementeres i større grad:

- Robuste og pålitelige teknologier og styresystem (navigasjonssystem, styrefunksjonaliteter, osv.)
- Effektivitet og kvalitet (våt/tørt vær, høst/vinterdrift for gang- og sykkelveger)
- Kjøretøy og ladeteknologi (størrelse, motorkraft, kjøringstid, ladetid, osv.)
- Miljøeffekt (karbonfotavtrykk, batteri, støynivå)
- Sikkerhet (synlighet, størrelse, kommunikasjon og varslingssystem, deteksjon avstand, hastighet, nødstop, fleksibilitet, osv.)
- Lovverk og forskrifter om selvkjørende maskiner/roboter

5.2.1 Styresystem

Vinterdrift av gang- og sykkelveg er ressurskrevende, og selv om smarte teknologier finnes på markedet, er det usikkert at disse kan tilpasses norske forhold. Det finnes i hovedsak to typer autonome maskiner eller kjøretøyer; konvensjonelle kjøretøyer som blir endret til å være autonome og nye små roboter (uten sete). Begge kan styres med en joystick, en PC eller fra et kontrollrom. De digitale styresystemer må evalueres med tester under reelle forhold og i henhold til kjøretøy- og maskindirektiver.

5.2.2 Teknologi - Sikkerhet

Alle robotene har ganske liknende teknologier slik som 360° overvåkningskameraer, GPS-navigasjonssystem, LiDAR optisk system for å detektere hindringer og ultrasonisk system for å evaluere avstander. Videre testing er nødvendige for å evaluere robotsytelsene og hvor effektive og nøyaktige disse digitaliserings- og robotiseringsfunksjonaliteter er. For eksempel, en robot kan detektere et objekt på en bestemt avstand og en annen robot på en lengre avstand, men den siste kan ikke analysere hvilket objekt det er. Egenskaper for å analysere alle objekter i ulike former og størrelser er viktig for at roboten skal kunne bestemme selv om den vil stoppe eller endre ruten. I tillegg kommer problematikken om hastighetsforskjell mellom roboten og evt. syklist eller biler hvis for eksempel innkjørsel eller parkeringsplass. En robot som kjører på en gang- og sykkelveg krever mer avansert programmering og teknologier enn et kjøretøy som følger andre biler på en veg, fordi menneskets atferd er vanskelig å forutsi (mennesker viser ikke hva de planlegger å gjøre med signallys). Robotene trenger også en utforming som tar i betraktning personer med nedsatt syn eller bevegelser og skolebarn. Det er for lite om robotene bruker signallys eller vokal informasjon, noe som for øvrig absolutt anbefales for gang- og sykkelveger. Hvis en robot stopper bratt, må syklisten som sykler bak, får god for å kunne bremse og stoppe.

5.2.3 Fremkommelighet

Robotene er mindre i størrelse enn konvensjonelle kjøretøyer. De kan derfor bedre tilpasses for å rydde grus på fortau eller sykkelsti som har en bredde på 1,5 meter. Dersom de bruker kun rundt halvparten av fortauet, gir dette muligheter for å ikke redusere fremkommelighet til syklist og fotgjengere. Dessverre finnes det ingen robot med en bredde rundt 750 mm. Stor høyde og liten bredde kan dessverre også redusere stabiliteten til maskinen, men samtidig er høyden også viktig for synlighet. Maskiner med større hjul (slik som for barnevogn i Norge) kan trolig bedre tilpasses norske forhold, men bredden kunne være for stor for bruk på gang- og sykkelveg eller fortau da dette reduserer fremkommeligheten for fotgjengere.

5.2.4 Motorkraft og nyttelast

De største kjøretøyene bruker bensin, diesel eller biodiesel mens små roboter er 100 % elektriske. Det er usikkert at disse robotene er utstyrt med en motor som kan sikre nok kraft til både fremdriftskapasiteten og ryddingskapasiteten under norske forhold. Det er stor variasjon på hvilke arealer roboter kan dekke (fra 200 m²/t til 9000 m²/t) avhengig av hastighet, motorkraft og vekt. Men en bølge på 60 liter, er det ofte ukjent hvor mye vekt robotene kan tåle, men en robot ikke tåler vanligvis mellom 15 – 40 kg. Det betyr at maskinen ikke tåler en full bølge av grus (ca. 120 kg) og det må undersøkes hvordan nyttelastvekten er kjent under turen og når roboten krever menneskelig hjelp. De største maskinene dekker større arealer men har også større bredde. Det er derfor viktig å avklare hva som må prioriteres.

5.2.5 Batterikapasitet og ladetid

Roboter har en operasjonell kjøringstid på rundt 4-6 timer og en ladetid på 3-6 timer. Kjøringstid må testes under reelle forhold siden den kan reduseres kraftig ved stor stigning, dårlig vegtilstand eller vanskelig værforhold (inkludert høye/lave temperaturer). En robot som kan dekke 3500 m²/t med en kjøretid på 4 timer, kan feie 2 meter bredde (kun en gang) over ca. 7.5 km (i beste fall med en hastighet på 3,5 km/t) før den trenger å ladebatteriet igjen (med ladetid 3-6 timer). Det er også viktig å undersøke om robotene trenger høyere hyppighet for bedre kvalitet enn vanlig drift.

5.2.6 Veitilstand

Hvis en gang- og sykkelveg har høye kanter eller skilles med kantsteinsone, kan en maskin med store hjul eller en robot med seks små hjuler tilpasses bedre og være mer stabil. Dersom vegtilstanden er dårlig og med store eller dype hull eller sprekker i asfalten, kan større hjuler klare seg bedre og skaper problemer for små roboter med små hjuler. Generelt kan roboter klare å kjøre en stigning på 15-20 %. Her er det viktig å undersøkes hvor mye nyttelastvekt tåler roboten i forbindelse med stigning, vegtilstand eller værforhold.

5.2.7 Hastighet (med hensyn til effektivitet)

Robotutforming og hva den er best egnet til er vanskelig å vurdere uten dokumentasjon. Det finnes ofte lite informasjon om designmaterialer eller oppgaver robotene kan gjennomføre under reelle forhold. En høyere hastighet er viktig for effektivitet, men kvaliteten er ofte ukjent. Hastigheten når roboten beveger seg (uten å gjennomføre feiing) er selvfølgelig mye høyere enn når den feier vegen med nyttelastvekt.

5.2.8 Funksjonell sikkerhet

Robotene bygges uten sete, og i en første testfase må det vurderes hvordan robotene kan testes uten at det er noe risiko for mennesker og hvordan nødstoppen kan bygges for å stoppe roboten raskt hvis det kan bli farlig for mennesker. Når det gjelder detektering av hindringer og evaluering av avstand, mangler det informasjon om hvordan robotene forholder seg i forskjellige situasjoner.






5.2.9 Lover og forskrifter






I dag er det manglende lover og forskrifter for utprøving av selvkjørende roboter eller maskiner på gang- og sykkelvei. Det er viktig å undersøke om hvordan de som er tilgjengelige for maskiner eller selvkjørende kjøretøy kan være relevante for selvkjørende maskiner. Disse lover og forskrifter kan være under ansvarlighet til Arbeidstilsynet og Vegdirektoratet. Prosjektet Bevegelse kan derfor bidra til å undersøke grundigere alle relevante direktiver og standarder for styringssystemet og sikkerhetskrav som må stilles til roboter.

Det er i tabell 18 gitt en oppsummert vurdering av 11 maskiner basert på viktige faktorer for vinterdrift av gang- og sykkelveg. Vurderingen er dessverre ikke presise nok på grunn av manglende dokumentasjon, tester eller informasjon. Det er benyttet en praktisk vurderingskala med farger, med 1 for ikke tilrettelagt til 4 utmerket tilrettelagt, basert på tilgjengelige spesifikasjoner mottatt fra produsenter.

Farge	Beskrivelse
1	Ikke tilrettelagt
2	
3	
4	Utmerket tilrettelagt

Tabell 18: Oppsummeringstabell med relevante faktorer for vinterdrift av gang- og sykkelveg.

Navn, kapittel	Robot	Bredde/ Børstebredde (mm)	Drivstoff	Effektivitet	Hastighet	Operasjonell kjøringstid	Volum kapasitet	Støynivå	Stigning	Hindring deteksjon
5.2 Spring Mobility (Tyskland)		918/1000	Elektrisk	3500 m ² /t	< 5 km/t	5-8 timer	60 liter	73 dB	15%	Ukjent
5.3 Husqvarna (Sverige)		1220/ 1550	biodiesel	Ukjent	Ukjent	Ikke aktuelt	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ikke aktuelt
5.4 Autowise.ai (Kina)		Ukjent	Elektrisk	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent
5.5 ENWAY (Tyskland)		1350	Elektrisk	< 9000 m ² /t	< 8 km/t	< 6 timer	150 liter	Ukjent	20 %	Ukjent
5.6 Lijiang City (Kina)		Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent

Navn, kapittel	Robot	Bredde/ Børstebredde (mm)	Drivstoff	Effektivitet	Hastighet	Operasjonell kjøringstid	Volum kapasitet	Støynivå	Stigning	Hindring deteksjon
5.7 Mock skyscraperse (Singapor)		Ukjent	Elektrisk	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent
5.8 Cowarobot (Kina)		Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent	Ukjent
5.9 DustClean (Italia)		1123	Elektrisk	200 m ² /t	1,8- 3 km/t	10 timer	37 liter	Ukjent	20 %	0,1-30m
5.10 ECOBOT Sweep 111 (Singapor/Kina)		890/1200	Elektrisk	< 6000 m ² /t	5 km/t	< 4 timer	60 liter	Ukjent	20 %	Ukjent
5.11 Power Broom (USA)		965/1630	Gasolin	Ukjent	Ukjent	Ikke aktuelt	Ikke aktuelt	Ukjent	Ukjent	Ukjent

Referanser

- [1] Statens vegvesen, «Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger,» 2014.
- [2] [Internett]. Available: <http://tema.miljodirektoratet.no/no/Tema/Energi/Biodrivstoff/Fakta-ombiodrivstoff/>.
- [3] [Internett]. Available: <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/fornybar-energi/biodrivstoff/>.
- [4] [Internett]. Available: <https://ruralis.no/prosjekter/ren-biodiesel-som-drivstoff-i-norsk-landbruk/>.
- [5] [Internett]. Available: <https://www.valtra.com/news-and-events/News/valtra-switches-to-100-percent-renewable-fuel-to-fill-new-tracto.html>.
- [6] [Internett]. Available: <https://www.deere.com/en/engines-and-drivetrain/learn-more/biodiesel/>.
- [7] [Internett]. Available: <https://agriculture.newholland.com/apac/en-in/about-us/new-holland/clean-energy-leader/growing-energy/biodiesel>.
- [8] [Internett]. Available: <https://www.volvoce.com/europe/en/products/wheel-loaders/loader-upgrade-2-0/loader-upgrade-l150h-l220h/> .
- [9] [Internett]. Available: https://ruralis.no/wp-content/uploads/2019/12/notat-3_19-hovedrapport-ren-biodiesel-i-norsk-landbruk.pdf.
- [10] [Internett]. Available: https://ruralis.no/wp-content/uploads/2019/03/notat-2_19-delrapport-ombrekraft-og-klimagevinst-ved-overgang-til-fullraffinert-fornybar-biodiesel-i-norsk-jordbruk--b--eidem-f-1.pdf.
- [11] T. Foss, «Autonom kompakteringsvals – lover og regler. AF gruppen.,» SINTEF rapport (Fortrolig), 2020.
- [12] [Internett]. Available: https://ec.europa.eu/growth/content/guidelines-exemption-procedure-eu-approval-automated-vehicles_en.
- [13] [Internett]. Available: https://getspring.co/sweeper?gclid=CjwKCAjwmKLzBRBeEiwACCVihmu_pIsfxGBI3SJIAYMe2U1Uob9iIwJxxAlqZ4tAf_jJH-nrWlub1xoCm6kQAvD_BwE.
- [14] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=5wQRQuJeZCY>.
- [15] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=MafunXVu8t8>.
- [16] E. Stuggevik, I. Vaskinn og O. Madland, «Autonome driftsrutiner og maskiner. Dokument produsert i Testarena Kongsberg By&Lab.,» drive.google.com/file/d/1bmgNWWyHeEdiTJh9uneGicTGVNqeoCI6/view, 2019.
- [17] [Internett]. Available: <http://autowise.ai/>.
- [18] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=zSVPwvOogZ4> .
- [19] [Internett]. Available: <https://enway.ai/en/>.
- [20] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=YkJUcO8fgdA>.
- [21] [Internett]. Available: <https://www.facebook.com/pg/Enwaytech/posts/>.
- [22] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=d5XTEoR7Dcs>.
- [23] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=A4dZoknA3DE>.
- [24] [Internett]. Available: <https://www.chinamobiletd.com/en/media/contact.php>.
- [25] [Internett]. Available: <https://www.arabnews.com/node/1602691/business-economy>.
- [26] [Internett]. Available: <http://www.cowarobot.com/?lang=2>.

- [27] [Internett]. Available: <http://dustbot.org/index.php?menu=home>.
- [28] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=5GW7O204R3Y>.
- [29] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=rYqRpUzDnwU>.
- [30] [Internett]. Available: <https://cordis.europa.eu/project/id/045299>.
- [31] [Internett]. Available: <https://www.robotechsrl.com/dustcart-en-urban-robot/>.
- [32] [Internett]. Available: <https://www.gaussianrobotics.com/sweep91>.
- [33] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Ewn9wIh3MfY>.
- [34] [Internett]. Available: <https://www.roboticgizmos.com/ecobot-sweep-111/>.
- [35] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=OXscmm414-w>.
- [36] «<https://lumebot.com/>,» [Internett].
- [37] «<https://www.youtube.com/watch?v=CX50M2utjrs>,» [Internett].
- [38] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=WSiaM6w5UDA>.
- [39] [Internett]. Available: <https://lefthandrobotics.com/product/>.
- [40] [Internett]. Available: <https://semcon.com/no/yeti/>.
- [41] [Internett]. Available: www.Yetisnowtech.com.
- [42] [Internett]. Available: <https://semcon.com/no/yeti/>.
- [43] [Internett]. Available: <https://www.yetisnowtech.com/>.
- [44] [Internett]. Available: <https://www.charlatte-autonom.com/en>.
- [45] [Internett]. Available: <http://www.bygg.no/article/1413542>.
- [46] [Internett]. Available: www.neolix.cn.
- [47] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=0DYTNujDII4>.
- [48] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=IvXtqwPSq8E>.
- [49] [Internett]. Available: <https://medium.com/nuro>.
- [50] [Internett]. Available: www.nuro.ai.
- [51] [Internett]. Available: <http://www.twinswheel.fr/>.
- [52] [Internett]. Available: <https://www.usine-digitale.fr/article/twinswheel-presente-son-nouveau-robot-autonome-destine-aux-livraisons-de-centre-ville.N905339>.
- [53] [Internett]. Available: http://www.zhenrobot.com/team_en.html.
- [54] [Internett]. Available: <https://www.starship.xyz/>.
- [55] [Internett]. Available: <https://www.starship.xyz/follow/>.
- [56] [Internett]. Available: https://www.youtube.com/watch?v=dagjQW_jgtE.
- [57] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=JUDZD1xdtjw>.
- [58] [Internett]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=S3M9MaMHSW4>.
- [59] [Internett]. Available: <https://www.gaussianrobotics.com/sweep91>.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no